



TUGAS AKHIR (MO 184804)

**ANALISIS TEGANGAN LOKAL PADA SAMBUNGAN ANTAR
RANTAI *MOORING LINE* SPM (*SINGLE POINT MOORING*)
YANG MENGALAMI DEGRADASI DIAMETER**

RAFLIANSYAH AZHAR PUTERA

NRP. 04311640000015

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

2020

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TEGANGAN LOKAL PADA SAMBUNGAN ANTAR RANTAI MOORING LINE SPM (SINGLE POINT MOORING) YANG MENGALAMI DEGRADASI DIAMETER

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:

Rafliansyah Azhar Putera

NRP. 04311640000015

Disetujui oleh:

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

2. Ir. Murdjito, M.Sc. Eng.

(Pembimbing 2)

3. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T., Dr. Eng.

(Penguji 1)

4. Wimala L. Dhanista, S.T., M.T.

(Penguji 2)

**ANALISIS TEGANGAN LOKAL PADA SAMBUNGAN ANTAR RANTAI
MOORING LINE SPM (SINGLE POINT MOORING) YANG MENGALAMI
DEGRADASI DIAMETER**

Nama : Rafliansyah Azhar Putera
NRP : 04311640000015
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.

ABSTRAK

Rantai *mooring* yang digunakan secara terus menerus tersebut dapat mengalami degradasi diameter yang disebabkan oleh faktor umur, faktor penggunaan, atau korosi. Degradasi yang dialami oleh rantai tersebut tentu saja akan berpengaruh dengan nilai *tension* yang terjadi pada rantai tersebut. Berdasarkan permasalahan diatas, penulis ingin melakukan analisis tegangan lokal pada sambungan rantai dengan melakukan variasi pengurangan diameter pada sambungan rantai untuk mengetahui perubahan nilai dari tegangan rantai *mooring* pada setiap pengurangan diameter sambungan rantai yang terjadi. Pada aturan ABS *Position of Mooring System* 2019 dijelaskan jika nilai *safety factor* untuk mooring line pada kondisi operasional atau DOC adalah 2.25 dan kondisi ekstrim atau DEC adalah 1.67. Setelah melakukan simulasi pada software ORCAFLEX, penulis mendapatkan hasil jika nilai *tension* terbesar yang terjadi pada kondisi DEC adalah 1554.055 kN dan nilai *tension* terbesar yang terjadi pada kondisi DEC adalah 1838.252 kN. Setelah itu, dapat dilakukan analisis tegangan local pada model sambungan rantai menggunakan software ANSYS dengan memasukkan nilai *tension* terbesar yaitu sebesar 1838.252 kN. Hasil penelitian menunjukkan jika sambungan rantai yang dikenakan gaya sebesar 1838.252 kN, maka besar degradasi diameter yang terjadi pada sambungan rantai tidak boleh melebihi 15% dari diameter awal agar besar tegangan local atau *von Mises* nya tidak melebihi 369 MPa (90% dari yield strength material sebesar 410 MPa).

Kata Kunci : Sambungan rantai *mooring*, degradasi diameter, *DOC*, *DEC*, *von Mises stress*

**LOCAL STRESS ANALYSIS OF SINGLE POINT MOORING ON
MOORING CHAIN CONNECTION THAT OCCURRED DIAMETER
DEGRADATION**

Name : Rafliansyah Azhar Putera
NRP : 04311640000015
Department : Ocean Engineering
Supervisors : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.

ABSTRACT

The mooring chain that is used continuously can experience diameter degradation caused by age factor, usage factor, or corrosion. The degradation occurred by the chain will certainly affect the value of the tension that occurs in the chain. Based on the problem above, the author wants to do a local stress analysis on the chain connection by varying the diameter degradation in the chain connection to determine the change in the value of the mooring chain stress at each degradation diameter of the chain connection that occurs. The ABS Position of Mooring System 2019 rule are explained if the safety factor value for mooring lines in operational condition or DOC is 2.25 and extreme condition or DEC is 1.67. After simulating the ORCAFLEX software, the author got the results if the greatest tension value that occurs in DOC is 1554.055 kN and the greatest tension value that occurs in DEC is 1838.252 kN. After that, local stress analysis can be performed on the chain connection model using ANSYS software by entering the greatest tension value of 1838.252 kN. The results show that if the chain connection is subjected to a force of 1838.252 kN, the diameter degradation that occurs in the chain connection must not exceed 15% from the initial diameter so that the local stress or von Mises stress does not exceed 369 MPa (90% from the yield strength of the material, 410 MPa).

Keywords : Mooring chain connection, diameter degradation, *DOC*, *DEC*, *von Mises stress*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Tuhan YME, atas segala nikmat-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Tegangan Lokal Pada Sambungan Antar Rantai *Mooring Line* SPM (*Single Point Mooring*) Yang Mengalami Degradasi Diameter”. Tugas Akhir ini digunakan oleh penulis sebagai syarat kelulusan mahasiswa S1 jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini berisi tentang pengaruh besar degradasi yang terjadi pada sambungan rantai *mooring line* dengan nilai *safety factor* (SF) nya. Dengan menganalisis sistem tambat dengan jenis SPM yang menggunakan *buoy*, maka penulis akan mendapat *tension* terbesar dan nilai SF disetiap kondisi degradasi diameter. Setelah itu, penulis juga meninjau efek dari degradasi diameter di sambungan antar-rantai dengan besar nilai tegangan local nya.

Sebelumnya, penulis ingin meminta maaf terlebih dahulu jika terdapat kesalahan dan kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat sebanyak-banyaknya kepada pembaca, serta, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk kesempurnaan penulisan dan penyusunan Tugas Akhir selanjutnya.

Surabaya, April 2020

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam Tugas Akhir penulis ini, diantaranya :

1. Orang tua penulis yang telah memberikan doa dan dukungannya kepada penulis.
2. Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing pertama yang selalu sabar membimbing penulis dan memberi arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Murdjito, M.Sc., Eng., selaku dosen pembimbing kedua yang selalu sabar membimbing penulis dan memberi arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T., selaku dosen wali penulis yang telah memberikan bantuan selama perkuliahan kepada penulis.
5. Bapak-bapak dosen penguji Ruang Sidang A yang telah memberikan masukan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
6. M. Afif Zahiru Fajar dan Revy Maghriza, selaku teman satu bimbingan penulis yang telah membantu mengajarkan *software* MOSES dan ORCAFLEX kepada penulis selama penyelesaian Tugas Akhir penulis.
7. Semua teman-teman Adhiwamastya yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan penulis satu persatu yang telah membantu selama penyelesaian Tugas Akhir Penulis.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Sistem Tambat Bangunan Apung.....	8
2.2.2 Kondisi Lingkungan.....	10
2.2.3 Gaya Gelombang.....	12
2.2.4 Gaya Arus.....	14
2.2.5 Gaya Angin	15
2.2.6 <i>Tension Pada Mooring Line</i>	17

2.2.7	Tegangan Normal dan Tegangan Geser	18
2.2.8	Tegangan <i>Von Mises</i>	19
2.2.9	Derajat Kebebasan Bangunan Apung	20
2.2.10	<i>Response Amplitude Operator</i>	22
2.2.11	Spektrum Energi Gelombang.....	24
2.2.12	Respon Bangunan Apung pada Gelombang Acak.....	26
2.2.14	<i>Offshore Mooring Chain</i>	28
2.2.15	<i>Chain Corrosion and Wear Allowance</i>	30
2.2.16	<i>Finite Element Method (FEM)</i>	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		43
3.1	Metode Penelitian.....	43
3.3	Jadwal Kegiatan	45
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		46
4.1	Pengumpulan Data	46
4.1.1	Data Kapal.....	46
4.1.2	Data CALM <i>Buoy</i>	46
4.1.3	Data <i>Mooring Component</i>	47
4.1.4	Data Lingkungan.....	50
4.2	Pemodelan Kapal dan CALM <i>Buoy</i>	50
4.2.1	Pemodelan Kapal	51
4.2.2	Pemodelan CALM <i>Buoy</i>	55
4.3	Analisis Gerakan Struktur	58
4.3.1	Analisis Gerakan Kapal Kondisi <i>Full Load</i>	59
4.3.2	Analisis Gerakan Kapal Kondisi <i>Ballast</i>	65
4.3.3	Analisis Gerakan <i>Buoy</i>	72
4.4	Pemodelan <i>Mooring System</i>	78

4.5	Perhitungan <i>Tension</i> Rantai Pada Setiap <i>Mooring System</i>	89
4.5.1	<i>Mooring System</i> Dengan Kondisi Lingkungan DOC.....	90
4.5.2	<i>Mooring System</i> Dengan Kondisi Lingkungan DEC.....	167
4.6	Pemodelan Degradasi Diameter Pada Sambungan Antar Rantai <i>Mooring</i>	187
BAB V PENUTUP.....		209
5.1	Kesimpulan.....	209
5.2	Saran.....	211
DAFTAR PUSTAKA		212
Lampiran I. Output Tabel Nilai RAO MOSES.....		215
Lampiran II. Output Environmental Profile ORCAFLEX.....		225
Lampiran III. Output Grafik Effective Tension Mooring Line ORCAFLEX....		229
Lampiran IV. Perhitungan R^2 Dari Regresi Grafik Perubahan Nilai SF.....		269

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sistem Tambat Jenis SPM.....	1
Gambar 1.2 Rantai Pada Sistem Tambat Bangunan Apung	2
Gambar 2.1 Sistem Mooring Jenis SPM dan Komponennya.....	9
Gambar 2.2 Struktur Buoy Yang Digunakan Dalam Sistem SPM	10
Gambar 2.3 Gaya Morison pada Silinder Vertikal.....	12
Gambar 2.4 Komponen-Komponen Tegangan Pada Suatu Titik	18
Gambar 2.5 Permukaan Benda yang Luluh Akibat Tegangan Dibidang 3 Dimensi	20
Gambar 2.6 Enam Derajat Kebebasan Gerak Bagunan Laut.....	21
Gambar 2.7 Kurva RAO	22
Gambar 2.8 Spektrum Gelombang.....	25
Gambar 2.9 Transformasi Spektra Gelombang menjadi Spektra Respon.....	27
Gambar 2.10 Rantai Mooring Tipe Studlink (a) dan Tipe Studless (b).....	29
Gambar 2.11 <i>Meshing</i> Pada Suatu Objek	31
Gambar 2.12 Brick Element.....	32
Gambar 2.13 Pyramid Element.....	32
Gambar 2.14 Wedge Element	33
Gambar 2.15 Tetrahedron Element.....	33
Gambar 2.16 Frictional Support Pada ANSYS Mechanical	34
Gambar 2.17 Cylindrical Support Pada ANSYS Mechanical.....	35
Gambar 2.18 Compression Only Support Pada ANSYS Mechanical.....	35
Gambar 2.19 Simply Support Pada ANSYS Mechanical	36
Gambar 2.20 Fixed Rotation Pada ANSYS Mechanical	36
Gambar 2.21 Tekanan Hidrostik Pada ANSYS Mechanical	38
Gambar 2.22 Bearing Load Pada ANSYS Mechanical	38
Gambar 2.23 Moment Loading Pada ANSYS Mechanical	39
Gambar 2.24 <i>Remote Force Loading</i> Pada ANSYS Mechanical	39
Gambar 2.25 <i>Bolt Pretension</i> Pada ANSYS Mechanical	40
Gambar 2.26 Gaya Yang Bekerja Pada Suatu Objek.....	41
Gambar 2.27 Jenis Elemen Tetrahedon	42

Gambar 2.28 Boundary Condition	42
Gambar 4.1 General Arrangement CALM Buoy Tampak Samping.....	47
Gambar 4.2 Mooring Layout (a), dan Sudut Sebar Mooring Line (b).....	49
Gambar 4.3 Model Kapal Pada Kondisi Full Load (a), dan Kondisi Ballast (b)..	51
Gambar 4.4 Model Kapal Tampak Samping Pada Kondisi Full Load (a) dan Kondisi Ballast (b).....	53
Gambar 4.5 Model Kapal Tampak Atas Pada Kondisi Full Load (a) dan Kondisi Ballast (b).....	54
Gambar 4.6 Model Kapal Tampak Depan Pada Kondisi Full Load (a) dan Kondisi Ballast (b).....	54
Gambar 4.7 Model Buoy Pada Software MAXSURF	56
Gambar 4.8 Model Buoy Tampak Samping	57
Gambar 4.9 Model Buoy Tampak Atas	57
Gambar 4.10 Model Buoy Tampak Depan	58
Gambar 4.11 Grafik RAO <i>Surge</i> Kondisi <i>Full Load</i>	59
Gambar 4.12 Grafik RAO Sway Kondisi Full Load.....	60
Gambar 4.13 Grafik RAO Heave Kondisi Full Load	61
Gambar 4. 14 Grafik RAO Roll Kondisi Full Load.....	62
Gambar 4.15 Grafik RAO Pitch Kondisi Full Load	63
Gambar 4.16 Grafik RAO Yaw Kondisi Full Load	64
Gambar 4.17 Grafik RAO Surge Kondisi Ballast.....	66
Gambar 4.18 Grafik RAO Sway Kondisi Ballast	67
Gambar 4.19 Grafik RAO Heave Kondisi Ballast.....	68
Gambar 4.20 Grafik RAO Roll Kondisi Ballast	69
Gambar 4.21 Grafik RAO Pitch Kondisi Ballast.....	70
Gambar 4.22 Grafik RAO Yaw Kondisi Ballast.....	71
Gambar 4.23 Grafik RAO Surge Buoy	72
Gambar 4.24 Grafik RAO Sway Buoy	73
Gambar 4.25 Grafik RAO Heave Buoy	74
Gambar 4.26 Grafik RAO Roll Buoy	75
Gambar 4.27 Grafik RAO Pitch Buoy	76
Gambar 4.28 Grafik RAO Yaw Buoy.....	77

Gambar 4.29 Layout Mooring System SPM.....	79
Gambar 4.30 Posisi Kapal Pada Kondisi Between Line (a) Serta Variasi Arah Pembebenannya (b).....	83
Gambar 4.31 Posisi Kapal Pada Kondisi Inline (a) Serta Variasi Arah Pembebenannya (b).....	84
Gambar 4.32 Tampak Atas Dari Kondisi Mooring System Pada Kasus Pertama Disemua Kondisi Kapal	85
Gambar 4.33 Tampak Samping Dari Kondisi Mooring System Pada Kasus Pertama Dengan Keadaan Kapal Full Load (a) dan Ballast (b).....	85
Gambar 4.34 Tampak Isometris Dari Kondisi Mooring System Pada Kasus Pertama Dengan Keadaan Kapal Full Load (a) dan Ballast (b).....	86
Gambar 4.35 Arah Pembebanan Lingkungan Pada Kondisi Standalone.....	87
Gambar 4.36 Kondisi Mooring System Pada Kasus Kedua, Tampak Atas (a), Tampak Samping (b), Tampak Isometrik (c).....	88
Gambar 4. 37 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (a) dan Non Collinear (b) Untuk Kondisi Posisi 1	90
Gambar 4.38 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 1-Full Load-Collinear).....	92
Gambar 4.39 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 1-Full Load-Non Collinear).....	94
Gambar 4.40 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 1-Ballast-Collinear)	96
Gambar 4.41 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 1-Ballast-Non Collinear)	98
Gambar 4.42 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (a) dan Non Collinear (b) Untuk Kondisi Posisi 2	100
Gambar 4.43 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 2-Full Load-Collinear).....	102
Gambar 4.44 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 2-Full Load-Non Collinear).....	104
Gambar 4.45 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 2-Ballast-Collinear)	106

Gambar 4.46 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 2-Ballast-Non Collinear)	108
Gambar 4.47 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (a) dan Non Collinear (b) Untuk Kondisi Posisi 3	110
Gambar 4.48 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 3-Full Load-Collinear).....	112
Gambar 4.49 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 3-Full Load-Non Collinear).....	114
Gambar 4.50 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Collinear)	116
Gambar 4.51 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Non Collinear)	118
Gambar 4.52 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (a) dan Non Collinear (b) Untuk Kondisi Posisi 4	120
Gambar 4.53 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 4-Full Load-Collinear).....	122
Gambar 4.54 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 4-Full Load-Non Collinear).....	124
Gambar 4.55 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 4-Ballast-Collinear)	126
Gambar 4.56 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Between Line 4-Ballast-Non Collinear)	128
Gambar 4.57 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (a) dan Non Collinear (b) Untuk Kondisi Posisi 1	130
Gambar 4.58 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 1-Full Load-Collinear).....	132
Gambar 4.59 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 1-Full Load-Non Collinear).....	134
Gambar 4.60 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 1-Ballast-Collinear)	136
Gambar 4.61 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 1-Ballast-Non Collinear)	138

Gambar 4.62 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (a) dan Non Collinear (b) Untuk Kondisi Posisi 2	139
Gambar 4.63 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 2-Full Load-Collinear).....	141
Gambar 4.64 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 2-Full Load-Non Collinear).....	143
Gambar 4.65 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 2-Full Load-Collinear).....	145
Gambar 4.66 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Non Collinear)	147
Gambar 4.67 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (a) dan Non Collinear (b) Untuk Kondisi Posisi 3	148
Gambar 4.68 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 3-Full Load-Collinear).....	150
Gambar 4.69 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 3-Full Load-Non Collinear).....	152
Gambar 4.70 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 3-Ballast-Collinear)	154
Gambar 4.71 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 3-Ballast-Non Collinear)	156
Gambar 4.72 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (a) dan Non Collinear (b) Untuk Kondisi Posisi 4	158
Gambar 4.73 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 4-Full Load-Collinear).....	160
Gambar 4.74 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 4-Full Load-Non Collinear).....	162
Gambar 4.75 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 4-Ballast-Collinear)	164
Gambar 4.76 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 4-Ballast-Non Collinear)	166
Gambar 4.77 Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (a) dan Non Collinear (b) Untuk Kondisi Posisi 1	167

Gambar 4.78 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 1-Collinear).....	169
Gambar 4.79 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 1-Non Collinear).....	171
Gambar 4.80 Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (a) dan Non Collinear (b) Untuk Kondisi Posisi 2	172
Gambar 4.81 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 2-Collinear).....	174
Gambar 4.82 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 2-Non Collinear).....	176
Gambar 4.83 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (a) dan Non Collinear (b) Untuk Kondisi Posisi 3	177
Gambar 4.84 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 3-Collinear).....	179
Gambar 4.85 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 3-Non Collinear).....	181
Gambar 4.86 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (a) dan Non Collinear (b) Untuk Kondisi Posisi 4	182
Gambar 4.87 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 4-Collinear).....	184
Gambar 4.88 Grafik Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (Inline 4-Non Collinear).....	186
Gambar 4.89 Ketentuan Dimensi Rantai Mooring Jenis Studlink.....	187
Gambar 4.90 Daerah Pengurangan Diameter Rantai (Arsir)	188
Gambar 4.91 Model Pengurangan Rantai Diameter Kondisi 1.....	188
Gambar 4.92 Model Pengurangan Rantai Diameter Kondisi 2.....	189
Gambar 4.93 Model Pengurangan Rantai Diameter Kondisi 3.....	189
Gambar 4.94 Model Pengurangan Rantai Diameter Kondisi 4.....	190
Gambar 4.95 Model Pengurangan Rantai Diameter Kondisi 5.....	190
Gambar 4.96 Model Pengurangan Rantai Diameter Kondisi 6.....	191
Gambar 4.97 Boundary Condition Yang Digunakan Pada Semua Kondisi Analisis	192

Gambar 4.98 Model Sambungan Rantai Kondisi 1 Pada ANSYS.....	192
Gambar 4.99 Hasil Meshing Sambungan Rantai Kondisi 1	193
Gambar 4.100 Grafik Mesh Sensitivity Pada Kondisi 1	194
Gambar 4.101 Hasil Tegangan Lokal Pada Kondisi 1	194
Gambar 4.102 Model Sambungan Rantai Kondisi 2 Pada ANSYS.....	195
Gambar 4.103 Hasil Meshing Sambungan Rantai Kondisi 2	195
Gambar 4.104 Grafik Mesh Sensitivity Pada Kondisi 2	196
Gambar 4.105 Hasil Tegangan Lokal Pada Kondisi 2.....	197
Gambar 4.106 Model Sambungan Rantai Kondisi 3 Pada ANSYS.....	198
Gambar 4.107 Hasil Meshing Sambungan Rantai Kondisi 3	198
Gambar 4.108 Grafik Mesh Sensitivity Pada Kondisi 3	199
Gambar 4.109 Hasil Tegangan Lokal Pada Kondisi 3.....	199
Gambar 4.110 Model Sambungan Rantai Kondisi 4 Pada ANSYS.....	200
Gambar 4.111 Hasil Meshing Sambungan Rantai Kondisi 4	201
Gambar 4.112 Grafik Mesh Sensitivity Pada Kondisi 4.....	201
Gambar 4.113 Hasil Tegangan Lokal Pada Kondisi 4.....	202
Gambar 4.114 Model Sambungan Rantai Kondisi 5 Pada ANSYS.....	203
Gambar 4.115 Hasil Meshing Sambungan Rantai Kondisi 5	203
Gambar 4.116 Grafik Mesh Sensitivity Pada Kondisi 5	204
Gambar 4.117 Hasil Tegangan Lokal Pada Kondisi 5.....	204
Gambar 4.118 Model Sambungan Rantai Kondisi 6 Pada ANSYS.....	205
Gambar 4.119 Hasil Meshing Sambungan Rantai Kondisi 6	206
Gambar 4.120 Grafik Mesh Sensitivity Pada Kondisi 6.....	206
Gambar 4.121 Hasil Tegangan Lokal Pada Kondisi 6.....	207

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai C_D untuk Mooring Lines dan Riser	15
Tabel 2.2 Nilai C_h	16
Tabel 2.3 Nilai C_s	16
Tabel 2.4 Nilai Safety Factor untuk Tension pada Mooring Line Disetiap Kondisi Lingkungan	17
Tabel 2.5 Kekuatan Minimum Pada Setiap Jenis Rantai Mooring	29
Tabel 2.6 Batas Laju Degradasi Rantai Yang Diijinkan	30
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan	45
Tabel 4.1 Data Kapal Tanker AKROTIRI.....	46
Tabel 4.2 Data CALM Buoy	46
Tabel 4.3 Koordinat Jangkar SBM.....	48
Tabel 4.4 Spesifikasi Rantai Dan Hawser.....	49
Tabel 4.5 Data Lingkungan Disekitar Buoy	50
Tabel 4.6 Validasi Model Kapal Terhadap Data Disetiap Kondisi Dengan Software Maxsurf	52
Tabel 4. 7 Validasi Model Kapal Terhadap Data Disetiap Kondisi Dengan Software MOSES	55
Tabel 4.8 Validasi Model Buoy Terhadap Data Dengan Software MAXSURF ..	56
Tabel 4.9 Validasi Model Buoy Terhadap Data Dengan Software MOSES	58
Tabel 4.10 Nilai RAO Maksimum Gerakan Surge Kondisi Full Load.....	59
Tabel 4.11 Nilai RAO Maksimum Gerakan Sway Kondisi Full Load	60
Tabel 4.12 Nilai RAO Maksimum Gerakan Heave Kondisi Full Load.....	61
Tabel 4.13 Nilai RAO Maksimum Gerakan Roll Kondisi Full Load	62
Tabel 4.14 Nilai RAO Maksimum Gerakan Pitch Kondisi Full Load.....	63
Tabel 4.15 Nilai RAO Maksimum Gerakan Yaw Kondisi Full Load.....	64
Tabel 4.16 Nilai RAO Maksimum Pada Kapal Kondisi Full Load Disetiap Gerakan	65
Tabel 4.17 Nilai RAO Maksimum Gerakan Surge Kondisi Ballast	66
Tabel 4.18 Nilai RAO Maksimum Gerakan Sway Kondisi Ballast.....	67
Tabel 4.19 Nilai RAO Maksimum Gerakan Heave Kondisi Ballast	68

Tabel 4.20 Nilai RAO Maksimum Gerakan Roll Kondisi Ballast.....	69
Tabel 4.21 Nilai RAO Maksimum Gerakan Pitch Kondisi Ballast	70
Tabel 4.22 Nilai RAO Maksimum Gerakan Yaw Kondisi Ballast	71
Tabel 4.23 Nilai RAO Maksimum Pada Kapal Kondisi Ballast Disetiap Gerakan	71
Tabel 4.24 Nilai RAO Maksimum Gerakan Surge Buoy	73
Tabel 4.25 Nilai RAO Maksimum Gerakan Sway Buoy.....	73
Tabel 4.26 Nilai RAO Maksimum Gerakan Heave Buoy	74
Tabel 4.27 Nilai RAO Maksimum Gerakan Roll Buoy.....	75
Tabel 4.28 Nilai RAO Maksimum Gerakan Pitch Buoy	76
Tabel 4.29 Nilai RAO Maksimum Gerakan Yaw Buoy	77
Tabel 4.30 Nilai RAO Maksimum Pada Buoy Disetiap Gerakan.....	77
Tabel 4.31 Lokasi Buoy dan Jangkar.....	78
Tabel 4.32 Perhitungan Jarak Jangkar dari Buoy.....	79
Tabel 4.33 Jumlah Kondisi Pengurangan Diameter Pada Sambungan Rantai	80
Tabel 4.34 Jumlah Kasus Yang Akan Dianalisis.....	80
Tabel 4.35 Nilai MBL Rantai U3 Dari Setiap Kondisi Degradasi Diameter.....	89
Tabel 4.36 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line1-Full Load).....	91
Tabel 4.37 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line 1-Full Load).....	92
Tabel 4.38 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 1-Full Load).....	93
Tabel 4.39 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 1-Full Load).....	94
Tabel 4.40 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line 1-Ballast)	95

Tabel 4.41 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line 1-Ballast)	96
Tabel 4.42 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 1-Ballast)	97
Tabel 4.43 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 1-Ballast)	98
Tabel 4.44 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line 2-Full Load)	101
Tabel 4.45 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line 2-Full Load)	101
Tabel 4.46 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 2-Full Load)	103
Tabel 4.47 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 2-Full Load)	103
Tabel 4.48 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line 2-Ballast)	105
Tabel 4.49 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line 2-Ballast)	106
Tabel 4.50 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 2-Ballast)	107

Tabel 4.51 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 2-Ballast)	108
Tabel 4.52 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line 3-Full Load)	110
Tabel 4.53 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line 3-Full Load)	111
Tabel 4.54 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 3-Full Load)	113
Tabel 4.55 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 3-Full Load)	113
Tabel 4.56 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line 3-Ballast)	115
Tabel 4.57 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line 3-Ballast)	116
Tabel 4.58 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 3-Ballast)	117
Tabel 4.59 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (iBetween Line 3-Ballast)	118
Tabel 4.60 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (between Line 4-Full Load)	121

Tabel 4.61 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line 4-Full Load)	121
Tabel 4.62 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Full Load-4)....	123
Tabel 4.63 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 4-Full Load)	123
Tabel 4.64 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Between Line-Ballast)	125
Tabel 4.65 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Ballast-4)	126
Tabel 4.66 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between line 4-Ballast)	127
Tabel 4.67 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Between Line 4-Ballast)	128
Tabel 4.68 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 1-Full Load) .	130
Tabel 4.69 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 1-Full Load) .	131
Tabel 4.70 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 1-Full Load)	133
Tabel 4.71 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 1-Full Load)	133
Tabel 4.72 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 1-Ballast).....	135

Tabel 4.73 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 1-Ballast).....	135
Tabel 4.74 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 1-Ballast)	137
Tabel 4.75 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 1-Ballast)	137
Tabel 4.76 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 2-Full Load) .	140
Tabel 4.77 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 2-Full Load) .	140
Tabel 4.78 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 2-Full Load)	142
Tabel 4.79 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 2-Full Load)	142
Tabel 4.80 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 2-Ballast).....	144
Tabel 4.81 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 2-Ballast).....	145
Tabel 4.82 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 2-Ballast)	146
Tabel 4.83 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 2-Ballast)	147
Tabel 4.84 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 3-Full Load) .	149
Tabel 4.85 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 3-Full Load) .	150

Tabel 4.86 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 3-Full Load)	151
Tabel 4.87 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 3-Full Load)	152
Tabel 4.88 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 3-Ballast).....	153
Tabel 4.89 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 3-Ballast).....	154
Tabel 4.90 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 3-Ballast)	155
Tabel 4.91 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 3-Ballast)	156
Tabel 4.92 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 4-Full Load) .	159
Tabel 4.93 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 4-Full Load) .	159
Tabel 4.94 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 4-Full Load)	161
Tabel 4.95 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 4-Full Load)	161
Tabel 4.96 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (inline 4-Ballast)	163
Tabel 4.97 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 4-Ballast).....	164

Tabel 4.98 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 4-Ballast)	165
Tabel 4.99 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 4-Ballast)	166
Tabel 4.100 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 1)	168
Tabel 4.101 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 1)	169
Tabel 4.102 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 1).....	170
Tabel 4.103 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 1).....	171
Tabel 4.104 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 2)	173
Tabel 4.105 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 2)	173
Tabel 4.106 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 2).....	175
Tabel 4.107 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 2).....	175
Tabel 4.108 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 3)	178
Tabel 4.109 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 3)	178
Tabel 4.110 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 3).....	180
Tabel 4.111 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 3).....	180
Tabel 4.112 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 4)	182

Tabel 4.113 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Collinear (Inline 4)	183
Tabel 4.114 Hasil Tension dan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 4).....	185
Tabel 4.115 Perubahan Nilai SF Mooring Lines Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan Non Collinear (Inline 4).....	185
Tabel 4.116 Mesh Sensitivity Pada Kondisi 1	193
Tabel 4.117 Mesh Sensitivity Pada Kondisi 2	196
Tabel 4.118 Mesh Sensitivity Pada Kondisi 3	198
Tabel 4.119 Mesh Sensitivity Pada Kondisi 4	201
Tabel 4.120 Mesh Sensitivity Pada Kondisi 5	203
Tabel 4.121 Mesh Sensitivity Pada Kondisi 6	206
Tabel 4.122 Hasil Tegangan Lokal Disetiap Kondisi Degradasi Diameter	207

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemilihan bangunan terapung terbilang cukup efektif untuk melakukan eksplorasi migas, kerana lokasi migas yang tidak menentu, oleh karena itu, bangunan apung memerlukan suatu sistem tambat atau *mooring* (Ayu, 2016). Sistem tambat secara umum digunakan untuk menambatkan kapal pada suatu tempat tertentu, seperti di pelabuhan atau di lepas pantai agar bangunan tersebut tidak dapat berpindah dari tempat yang telah ditentukan. Menurut Chakrabarti (1987), ada beberapa sistem tambat yang dapat digunakan untuk menambatkan sebuah bangunan apung, salah satunya adalah metode *Single Point Mooring* (Gambar 1.1). SPM adalah suatu struktur terapung yang berfungsi sebagai penambatan bangunan terapung pada dasar laut, termasuk kapal (Nurhuda *et al*, 2018). Pada umumnya, *mooring line* yang digunakan untuk sistem SPM di daerah lepas pantai adalah rantai karena mempunyai *breaking strength* yang tinggi.



Gambar 1.1 Sistem Tambat Jenis SPM
(Sumber : SBM Offshore Catalog, 2012)

Pada kondisi lapangan, rantai tersebut akan terjadi degradasi atau pengurangan diameter (Gambar 1.2). Degradasi ini umumnya disebabkan oleh korosi, factor usia dan factor penggunaan (Chaplin *et al*, 2008). Faktor

korosi disebabkan karena rantai *mooring* yang digunakan secara umum akan terpapar secara langsung dengan air laut yang dapat mempercepat terjadi korosi (Melchers *et al*, 2007; Arredondo *et al*, 2016; Zhang *et al*, 2016). Beberapa upaya dilakukan untuk meminimalisir pengurangan diameter yang terjadi pada rantai, seperti pemberian proteksi katodik untuk mengurangi laju korosi pada rantai *mooring*, namun hal tersebut ternyata belum cukup efektif dalam mengurangi laju korosi pada rantai *mooring* tersebut (Arredondo *et al*, 2016). Sehingga, pengurangan diameter pada rantai *mooring* akan sangat berpengaruh besar dalam kekuatan dari rantai tersebut. Jika hal tersebut diabaikan, maka akan muncul kendala pada *mooring system* tersebut yaitu berupa putusnya rantai pada SPM tersebut, sehingga hal tersebut dapat membahayakan kapal dan awak kapal tersebut (Nurhuda *et al*, 2018).



Gambar 1.2 Degradasi Diameter Rantai Akibat Faktor Korosi dan Faktor Penggunaan
(Sumber : API RP 2SK 4th Edition, 2018)

Sehingga, perlu dilakukan suatu kegiatan berupa inspeksi pada diameter rantai tersebut. Sesuai dengan aturan API dan ABS, rata-rata dari diameter rantai *mooring line* secara keseluruhan yang diukur tidak boleh

kurang dari 10% dibawah diameter awal (Shu *et al*, 2018). Di Indonesia, hal tersebut diatur oleh Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2018, yaitu rata-rata dari diameter rantai *mooring line* yang diukur tidak boleh kurang dari 20% dibawah diameter awal. Selain itu, pada aturan ABS *Position of Mooring System* tahun 2019 dijelaskan jika nilai *safety factor* untuk *mooring line* pada kondisi operasional (*Design Operating Condition* atau DOC) adalah 2.25 dan kondisi ekstrim (*Design Environmental Condition* atau DEC) adalah 1.67. Namun, apabila terjadi suatu kondisi dimana diameter pada sambungan rantai terjadi pengurangan diameter diatas dari 20%, dan diameter pada selain sambungan rantai tidak mengalami pengurangan diameter yang signifikan (dibawah 20%), maka rata-rata dari diameter rantai *mooring line* yang diukur akan tetap dibawah 20%. Sehingga dengan permasalahan ini, kondisi tersebut akan menyebabkan peningkatan nilai tegangan pada rantai tersebut terutama di sambungan antar rantai.

Berdasarkan permasalahan diatas, penulis ingin melakukan analisis tegangan lokal pada sambungan rantai dengan melakukan variasi pengurangan diameter pada sambungan rantai untuk mengetahui perubahan nilai SF dari tegangan rantai *mooring* pada setiap pengurangan diameter sambungan rantai yang terjadi disetiap kondisi lingkungan (DOC dan DEC). Pertama, penulis mencari nilai tegangan yang terjadi pada rantai *mooring* disetiap kondisi lingkungan dengan melakukan variasi pengurangan diameter. Nilai tegangan tersebut nantinya dinyatakan dalam nilai *safety factor* (SF). Setelah itu, penulis melakukan analisis tegangan local pada sambungan antar rantai untuk mendapatkan nilai tegangan *von Mises*. Nilai tegangan *von Mises* tersebut akan divalidasi sesuai dengan kriteria ABS *Position of Mooring System* tahun 2019, dimana tegangan *von Mises* suatu struktur memiliki batas dibawah 90% dari nilai *yield strength material*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana perubahan nilai SF pada SPM *mooring line* pada setiap kondisi DOC dan DEC akibat pengurangan diameter pada sambungan rantai?
- b. Berapakah nilai pengurangan diameter pada sambungan rantai yang diijinkan sehingga SF pada *mooring line* memenuhi kriteria ABS dan BKI?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui besar perubahan nilai SF SPM *mooring line* pada setiap kondisi DOC dan DEC akibat pengurangan diameter pada sambungan rantai.
- b. Mengetahui besar nilai pengurangan diameter pada sambungan rantai yang diijinkan sehingga SF pada *mooring line* memenuhi kriteria ABS dan BKI.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang didapat yaitu :

- a. Bagi akademisi (perguruan tinggi)
Memperoleh informasi mengenai besarnya pengaruh dari pengurangan diameter yang terjadi pada rantai *mooring*.
- b. Bagi instansi yang terkait
Diharapkan memberikan informasi yang dapat digunakan dalam mengembangkan kembali peraturan di bidang system tambat bangunan apung, terutama pada aturan inspeksi pada rantai *mooring*.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini :

- a. Analisis menggunakan dua kondisi lingkungan, yaitu *Design Operating Condition* (DOC) dan *Design Environmental Condition* (DEC)
- b. Untuk kondisi DOC menggunakan data lingkungan dengan periode ulang 10 tahun
- c. Untuk kondisi DEC menggunakan data lingkungan dengan periode ulang 100 tahun

- d. Kondisi kapal untuk analisis adalah kondisi *full load* dan kondisi *ballast*
- e. Jenis sistem tambat yang digunakan adalah *single point mooring* (SPM)
- f. Analisis dilakukan dengan posisi kapal yang *inline* dan *between line* terhadap *mooring line*
- g. Arah datang gelombang, arus, dan angin diasumsikan *collinear* dan *non-collinear*
- h. Arah pembebanan yang digunakan adalah arah yang mempunyai nilai beban lingkungan yang signifikan
- i. Tidak memodelkan PLEM
- j. Sifat material yang diakibatkan oleh degradasi diameter tidak diperhitungkan
- k. Peraturan (*codes*) yang digunakan untuk validasi pada tugas akhir ini bersumber dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan *American Bureau of Shipping* (ABS)

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang dilakukan dalam tugas ini adalah sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi acuan yang menjadi dasar dalam analisis berupa dasar teori dan rumus yang digunakan dalam penelitian.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah yang akan dilakukan dalam mengerjakan tugas akhir ini yang digambarkan dalam diagram alir yang disusun secara sistematis

4. BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan data-data yang digunakan dalam analisis didalam tugas akhir ini, serta pembahasan dari setiap hasil analisis yang dilakukan.

5. BAB 5 PENUTUP

Bab ini menjelaskan kesimpulan yang didapat oleh penulis setelah melakukan analisis, sehingga diharapkan kesimpulan tersebut dapat menjawab rumusan masalah yang ada. Serta, bab ini juga berisi saran-saran untuk melakukan penelitian atau tugas akhir selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Hal-hal yang akan dibahas pada tugas akhir ini masih belum banyak yang dilakukan penelitian, terutama pada penelitian pengaruh pengurangan diameter pada sambungan antar rantai terhadap besar tegangan yang terjadi pada *mooring line*. Ramadhan (2017) dan Resy (2017) menjelaskan dalam analisisnya, jika analisis tegangan pada *mooring* penting dilakukan karena dapat menentukan nilai *safety factor* dari tali tambat yang terkena beban lingkungan serta besar kekuatan pada komponen sistem tambatnya. Ramadhan (2017), melakukan penelitian menghitung besar tegangan pada *mooring line* dengan desain *layout mooring* berupa *dolphin*, serta Resy (2017) menghitung besar tegangan pada *mooring line* dengan desain *layout mooring* berupa SBM. Namun, kedua penulis belum memperhitungkan pengaruh jika terjadi pengurangan diameter pada *mooring line* terhadap nilai tegangan yang terjadi yang mana dapat mempengaruhi nilai *safety factor* nya.

Selain itu, penelitian yang hampir sama dilakukan oleh Bastid *et al* (2013) dan Oikonomidis *et al* (2019). Kedua penulis melakukan penelitian untuk menghitung nilai tegangan dan nilai konsentrasi tegangan pada sambungan antar rantai *mooring*. Namun, penulis dalam penelitiannya belum memperhitungkan pengaruh jika terjadi pengurangan diameter pada sambungan antar rantai terhadap nilai tegangan *mooring line* dan konsentrasi tegangan yang terjadi pada sambungan antar rantai *mooring*.

Selain itu, Nurhuda *et al* (2018) yang telah melakukan analisis tegangan rantai *mooring line* pada tanker *AFRAMAX*, serta, Qiao *et al* (2014) telah melakukan analisis kelelahan pada rantai *mooring semi-submersible platform*. Kedua penelitian tersebut dilakukan dengan memodelkan rantai *mooring* lalu dimasukkan nilai laju korosinya yaitu 0.2 mm/tahun, setelah itu dihitung nilai tegangannya dan umur kelelahan. Namun, penelitian ini hanya menggunakan nilai laju korosi sebagai acuan dalam pengurangan diameter, maka tidak diketahui nilai tegangan yang

terjadi jika besar nilai pengurangan diameter diatas dari nilai tersebut. Serta, penelitian tersebut juga tidak mempertimbangkan efek jika terjadi pengurangan diameter pada sambungan antar rantai *mooring*.

Penelitian-penelitian diatas tidak menjelaskan adanya pengaruh degradasi diameter yang diakibatkan oleh korosi serta faktor lainnya pada sambungan antar rantai *mooring*. Hal tersebut dapat menimbulkan peningkatan tegangan pada *mooring line* tersebut. Sehingga dalam penelitian ini, akan dilakukan analisis tegangan *mooring line* dengan melakukan variasi pengurangan diameter rantai secara global dan tegangan local pada daerah sambungan antar rantai *mooring* melakukan variasi pengurangan diameter didaerah tersebut.

2.2 Dasar Teori

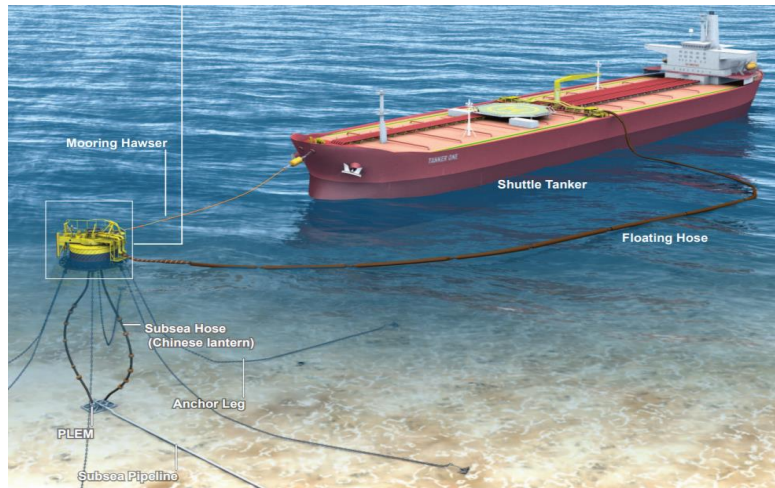
2.2.1 Sistem Tambat Bangunan Apung

Sistem tambat adalah suatu sistem yang digunakan oleh bangunan apung dengan menambatkan bangunan tersebut ke dasar laut atau sebuah struktur dengan suatu sistem tersebut agar bangunan tersebut tidak bergerak berpindah tempat. Menurut Bureau Veritas (2015), ada dua jenis tipe sistem tambat berdasarkan jangka waktunya, yaitu:

- *Permanent mooring*, yaitu sistem tambat yang digunakan pada bangunan apung yang beroperasi selama lebih dari 5 tahun
- *Mobile mooring*, yaitu sistem tambat yang digunakan pada bangunan apung yang beroperasi selama kurang dari 5 tahun

Selain itu, ada dua jenis sistem tambat yang digunakan saat ini, yaitu *spread mooring* dan *single point mooring* (SPM). *Spread mooring* adalah sistem tambat dengan menambatkan bangunan apung dengan dasar laut dengan konfigurasi titik jangkar yang menyebar tanpa bantuan sebuah struktur lainnya. Menurut ABS (2019), sistem tambat dengan jenis SPM adalah sebuah sistem tambat yang dapat membuat kapal tersebut bergerak sesuai dengan

arah datang gelombang, arus, dan angin (*weathervane*) selagi kapal tersebut ditambatkan pada satu titik di dasar laut dengan bantuan sebuah struktur lainnya. Untuk lebih jelasnya, sistem *mooring* jenis SPM ditunjukkan pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Sistem *Mooring* Jenis SPM dan Komponennya
(Sumber : SBM Offshore Catalog, 2012)

Salah satu struktur yang digunakan untuk membantu menambatkan kapal pada *seabed* adalah *buoy* (Gambar 2.2). Secara umum, ada dua jenis sistem tambat SPM ini, yaitu :

- a. *Fixed*, yaitu sistem tambat dengan cara kapal ditambatkan pada struktur yang terpancang, contohnya *Single Anchor Leg mooring* (SALM), dan *tower mooring*.
- b. *Floating*, yaitu sistem tambat dengan cara kapal ditambatkan pada struktur yang terapung, contohnya

Single Buoy Mooring (SBM), dan Catenary Anchored Leg Mooring (CALM).



Gambar 2.2 Struktur *Buoy* Yang Digunakan Dalam Sistem SPM
(Sumber : SBM Offshore Catalog, 2012)

2.2.2 Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan sangat penting dalam melakukan desain dalam suatu sistem tambat pada sebuah struktur. Menurut ABS (2019), ada dua kondisi lingkungan yang harus digunakan dalam melakukan analisis sistem tambat, yaitu :

a. *Design Operating Condition (DOC)*

DOC untuk SPM adalah kondisi lingkungan maksimum pada suatu lokasi dimana kapal tersebut ditambatkan tanpa mengakibatkan bertambahnya nilai beban dan tegangan yang diijinkan pada kapal tersebut. DOC ini ditentukan oleh beban lingkungan dengan periode ulang 1 tahun atau sesuai dengan kebutuhan lapangan. Karakteristik dari beberapa kondisi lingkungan untuk DOC adalah sebagai berikut :

- Gelombang

Karakteristik gelombang yang digunakan dalam DOC adalah harus terdiri dari tinggi

gelombang signifikan, spektrum gelombang yang sesuai, dan periode spectral rata-rata.

- Angin

Karakteristik angin untuk DOC adalah kecepatan angin yang diukur harus berada pada 10 m (33 ft) diatas permukaan laut dan dirata-rata dalam periode 1 menit. Pendekatan alternative lainnya adalah menggunakan periode angin satu jam dengan spektrum angin yang sesuai.

- Arus

Karakteristik arus untuk DOC adalah kecepatan arus maksimum yang berasal dari gelombang dan angin maksimum pada tempat kapal itu ditambatkan. Kecepatan arus pada permukaan dan dasar laut harus diperhitungkan juga.

b. *Design Environmental Condition (DEC)*

DEC untuk SPM adalah kondisi lingkungan dimana kondisi gelombang, arus, dan angin maksimum ditentukan berdasarkan periode ulang seratus tahun. Kondisi ini menghasilkan beban lingkungan yang ekstrim untuk kapal yang ditambatkan. Karakteristik dari kondisi lingkungan ini adalah :

- Periode ulang gelombang seratus tahun yang berkaitan dengan angin dan arus

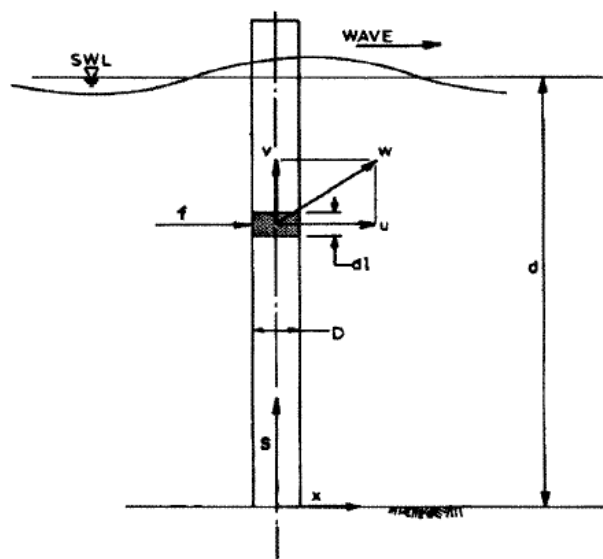
- Periode ulang angin seratus tahun yang berkaitan dengan gelombang dan arus
- Periode ulang arus seratus tahun yang berkaitan dengan gelombang dan angin

2.2.3 Gaya Gelombang

Gaya gelombang adalah besarnya beban yang diterima struktur akibat adanya aliran gelombang disekitar struktur, Gaya gelombang yang terjadi pada struktur SPM dan kapal dapat ditentukan dengan beberapa metode (ABS, 2019), yaitu :

a. Persamaan Morison

Persamaan ini digunakan karena aliran gelombang disekitar benda silinder adalah acak, oleh karena itu aliran disekitar silinder akan menjadi sangat kompleks daripada aliran regular (Gambar 2.3). Oleh karena itu, hal tersebut akan mengubah tekanan disekitar silinder. Dengan menggabungkan efek dari kecepatan partikel gelombang dan percepatan pada struktur, beban gelombang dapat ditentukan dengan suatu persamaan yang disebut oleh persamaan Morison.



Gambar 2.3 Gaya Morison pada Silinder Vertikal

(Sumber : Chakrabarti, 1986)

Persamaan Morison dapat ditulis sebagai Persamaan 2.1 berikut (Chakrabarti, 1986).

$$f = \rho C_M \frac{\pi D^2}{4} \dot{u} + \frac{1}{2} \rho C_D |u|u \dots\dots\dots(2. 1)$$

dimana :

f : Gaya horizontal per satuan panjang

ρ : Massa jenis air laut

D : Diameter silinder

u : Kecepatan partikel gelombang pada arah horizontal

v : Kecepatan partikel gelombang pada arah vertical

C_M : Koefisien massa tambah

C_D : Koefisien *drag*

b. Teori Difraksi

Dimana saat suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang disuatu perairan, maka keberadaan struktur ini akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang disekitarnya. Dalam hal ini, difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang

c. *Strip Theory*

Strip theory adalah sebuah teori pada kapal untuk menentukan besarnya gaya dan gerak tiga dimensi dari kapal dengan hanya menggunakan nilai dari

koefisien-koefisien hidromekanik dan beban gelombang yang terjadi. Teori ini mengasumsikan kapal sebagai *rigid body*. Teori ini menggunakan Persamaan 2.2 dibawah ini (Baso *et al*, 2013).

$$\sum_{j=1}^6 \{(M_{kj} + A_{kj})\ddot{x}_j + B_{kj}\dot{x}_j + C_{kj}x_j\} = F_k \dots\dots\dots(2. 2)$$

For $k = 1,2,3,4,5,6$

dimana :

- k : 1,3,5; untuk *coupled surge, heave, pitch*
- k : 2,4,6; untuk *coupled sway, roll, yaw*
- \ddot{x}_j : Percepatan osilasi harmonic pada arah j
- \dot{x}_j : Kecepatan osilasi harmonic pada arah j
- x_j : Perpindahan osilasi harmonic pada arah j
- F_k : Gaya gelombang atau moment pada arah k
- M_{kj} : Koefisien inertia
- A_{kj} : Koefisien inertia hidrodinamik
- B_{kj} : Koefisien damping hidrodinamik
- C_{kj} : *Spring coefficient*

2.2.4 Gaya Arus

Menurut ABS (2019), perhitungan gaya arus yang terjadi pada struktur sistem tambat harus dilakukan sesuai dengan kondisi lingkungan yang diperlukan. Gaya arus dapat ditentukan dengan Persamaan 2.3 dibawah ini.

$$F_c = 1/2 \times \rho \times C_D \times A_c \times u_c \times |u_c| \dots\dots\dots (2. 3)$$

dimana :

- ρ : massa jenis air laut (1.025 ton/m³)
- C_D : Koefisien *drag* pada aliran steady
- A_c : Luasan permukaan struktur yang terkena arus (m²,ft²)
- u_c : Kecepatan arus yang menuju kepada area yang terkena arus (m/s, ft/s)

Nilai C_d untuk *mooring lines* dan *riser* dapat ditentukan menggunakan Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Nilai C_D untuk *Mooring Lines* dan *Riser*

Line Drag Coefficient	
<i>Component</i>	C_D
Chain	2.4
Unsheathed spiral wire rope	1.6
Strand rope	1.8
Sheathed rope	1.2
Fiber rope	1.6
Pipe/riser	1.2

(Sumber : ABS, 2019)

2.2.5 Gaya Angin

Menurut ABS (2019), gaya angin yang terjadi diasumsikan sebagai gaya konstan yang terjadi karena angin dengan durasi menit. Persamaan 2.4 dibawah ini digunakan untuk menentukan gaya angin adalah sebagai berikut (ABS,2019).

$$F_{wind} = P_{wind} \times A_{wind} \dots\dots\dots(2. 4)$$

dimana :

F_{wind} : Gaya angin yang terjadi (N,kgf,lbf)

P_{wind} : Tekanan angin (N/m², kgf/m², lbf/ft²)

A_{wind} : Luasan permukaan struktur yang terkena angin
(m²,ft²)

Selanjutnya, tekanan angin yang terjadi dapat ditentukan dengan Persamaan 2.5 s/d 2.7 dibawah ini.

$$P_{wind} = 0.6100 \times C_s \times C_h \times V^2_{wind} \text{ (N/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2. 5)$$

$$0.0623 \times C_s \times C_h \times V^2_{wind} \text{ (kgf/m}^2\text{)} \dots\dots(2. 6)$$

$$0.0038 \times C_s \times C_h \times V^2_{wind} \text{ (lbf/ft}^2\text{)} \dots\dots(2. 7)$$

dan,

$$C_h = (V_z/V_{ref})^2 \dots \dots \dots (2. 8)$$

$$V_z = V_{ref} \times (z/Z_{ref})^\beta \dots \dots \dots (2. 9)$$

dimana :

V_{wind} : Kecepatan angin (m/s, knots)

C_s : Koefisien bentuk

C_h : Koefisien ketinggian

V_z : Kecepatan angin pada ketinggian z diatas garis air

Z_{ref} : Referensi elevasi (10 m atau 33 ft)

V_{ref} : Kecepatan angin pada Z_{ref}

β : 0.09 – 0.16 (untuk angin dengan durasi 1 menit)

Untuk mempermudah perhitungan, nilai C_h dan C_s dapat ditentukan dengan Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.2 Nilai C_h

Height Coefficients C_h for Windages

Height above Waterline		C_h	
Meters	Feet	1-min	1-hr
0.0 - 15.3	0 - 50	1.00	1.00
15.3 - 30.5	50 - 100	1.18	1.23
30.5 - 46.0	100 - 150	1.31	1.40
46.0 - 61.0	150 - 200	1.40	1.52
61.0 - 76.0	200 - 250	1.47	1.62
76.0 - 91.5	250 - 300	1.53	1.71
91.5 - 106.5	300 - 350	1.58	1.78

(Sumber : ABS, 2019)

Tabel 2.3 Nilai C_s

Shape Coefficient

Shape	C_s
Sphere	0.40
Cylindrical Shapes	0.50
Hull above waterline	1.00
Deck House	1.00
Isolated structural shapes (Cranes, channels, beams, angles, etc.)	1.50
Under deck areas (smooth)	1.00
Under deck areas (exposed beams and girders)	1.30
Rig derrick	1.25

(Sumber : ABS, 2019)

2.2.6 Tension Pada Mooring Line

Batas dari besarnya *tension* yang terjadi pada *mooring line* dapat ditentukan oleh besarnya *minimum breaking load* (MBL) dari *mooring line* itu sendiri dan harus sesuai dengan *safety factor* yang diberikan pada setiap kondisi lingkungan. Nilai MBL sendiri ditentukan oleh perusahaan-perusahaan pembuat *mooring line* itu sendiri, sedangkan nilai *safety factor* ditentukan sesuai dengan Tabel 2.4 dibawah ini

Tabel 2.4 Nilai Safety Factor untuk *Tension* pada *Mooring Line* Disetiap Kondisi Lingkungan

Strength Factor of Safety for Mooring Lines

Mooring System Condition		Environment Condition	Strength Factor of Safety (FOS)	
			Quasi-Static	Dynamic Analysis
Mobile Mooring	All Intact	DOC	2.70	2.25
	One broken Line (at New Equilibrium Position)	DOC	1.80	1.57
	One broken Line (Transient)	DOC	1.40	1.22
Mooring System Condition		Environment Condition	Strength Factor of Safety (FOS)	
			Quasi-Static	Dynamic Analysis
Mobile Mooring & Permanent Mooring	All Intact	DEC	2.00	1.67
	One broken Line (at New Equilibrium Position)	DEC	1.43	1.25
	One broken Line (Transient)	DEC	1.18	1.05
Mooring Terminal	All Intact	DEC	NA	2.5 ⁽²⁾
	All Intact	DOC	NA	3.0 ⁽¹⁾
Fiber Rope Mooring Line Component ⁽³⁾	All Intact	DEC	NA	1.82
	One Broken Line	DEC	NA	1.43

Notes:

- 1 A lower factor of safety of 2.5 for anchor leg components will be allowed for the intact Design Operating Load Case if an analysis of the mooring system with any one line broken provides a factor of safety of at least 2.00 with respect to the minimum breaking strength of anchor leg component(s).
- 2 Alternatively, the criteria for FPI mooring system could be used, which includes one line damage condition, corrosion allowance, and fatigue assessment
- 3 Applicable to those products that are newly introduced to the mooring application, not applicable to polyester ropes where many years' experience has been gained.

(Sumber : ABS, 2019)

Menurut ABS (2019), perhitungan *tension* pada *mooring line* dapat menggunakan pendekatan *frequency domain*. Dengan pendekatan ini, *tension* didapatkan dari penjumlahan antara rata-rata *tension* tali dengan *tension* maksimum tali akibat gabungan dari frekuensi gelombang dan *low frequency excitation*. Oleh karena itu,

besarnya *tension* pada *mooring line* dapat ditentukan dengan Persamaan 2.10 dan 2.11 dibawah ini.

$$T_{max} = T_{mean} \times T_{lf(max)} \times T_{wf(sig)} \dots \dots \dots (2. 10)$$

$$T_{max} = T_{mean} \times T_{lf(max)} \times T_{wf(sig)} \dots \dots \dots (2. 11)$$

dimana :

T_{mean} : rata-rata *tension* pada *mooring line* akibat beban lingkungan

$T_{lf(sig)}$: *significant single amplitude low frequency tension*

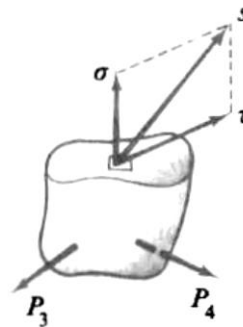
$T_{wf(sig)}$: *significant single amplitude wave frequency tension*

Sedangkan, nilai *safety factor* pada rantai *mooring* didapat dari Persamaan 2.12 dibawah ini.

$$SF = \frac{\text{Minimal Breaking Load}}{\text{Maximum Tension}} \dots \dots \dots (2. 12)$$

2.2.7 Tegangan Normal dan Tegangan Geser

Menurut Popov (1990), tegangan normal adalah intensitas gaya pada suatu titik yang tegak lurus atau normal terhadap suatu penampang. Tegangan yang bekerja pada suatu titik dapat diilustrasikan pada Gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Komponen-Komponen Tegangan Pada Suatu Titik
(Sumber : Popov, 1990)

Tegangan normal pada sebuah titik didapatkan menggunakan Persamaan 2.13 dibawah ini.

$$\sigma = \lim_{\Delta A} \frac{\Delta F}{\Delta A} \dots \dots \dots (2. 13)$$

dimana :

σ : Tegangan normal (N/m²)

F : Suatu gaya yang bekerja tegak lurus pada sebuah penampang (N)

A : Luas penampang (m²)

Sedangkan, tegangan geser adalah intensitas gaya pada suatu titik yang sejajar terhadap suatu penampang. Menurut Popov (1990), tegangan geser didapatkan menggunakan Persamaan 2.14 dibawah ini.

$$\tau = \lim_{\Delta A} \frac{\Delta V}{\Delta A} \dots \dots \dots (2. 14)$$

dimana :

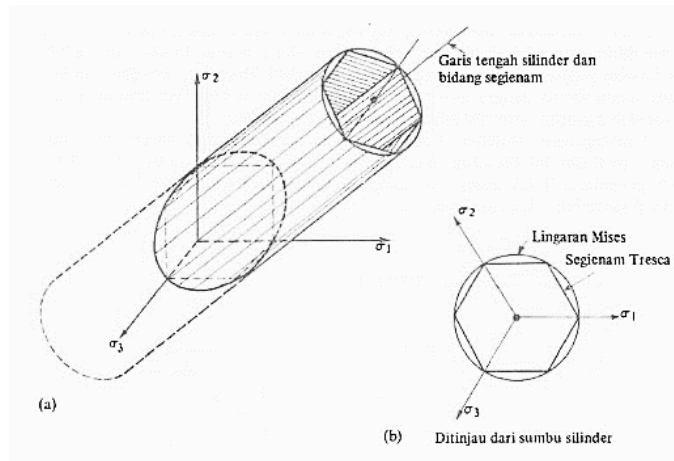
τ : Tegangan geser (N/m²)

V : Suatu gaya yang sejajar pada sebuah penampang (N)

A : Luas penampang (m²)

2.2.8 Tegangan Von Mises

Tegangan *von Mises* adalah tegangan yang digunakan untuk memprediksi tingkat luluh suatu benda atau material yang terkena beban. Tegangan-tegangan yang bekerja pada suatu benda yang dapat menyebabkan benda tersebut luluh dapat diilustrasikan pada Gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 Permukaan Benda yang Luluh Akibat Tegangan Dibidang 3 Dimensi
(Sumber : Popov, 1990)

Persamaan tegangan *Von Mises* secara umum dapat dinyatakan sebagai Persamaan 2.15 berikut.

$$\sigma_{yp} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \quad \dots(2.15)$$

dimana :

σ_{yp} : Tegangan *Von Mises*

σ_x : Tegangan arah sumbu x

σ_y : Tegangan arah sumbu y

σ_z : Tegangan arah sumbu z

τ_{xy} : Tegangan geser arah sumbu xy

τ_{yz} : Tegangan geser arah sumbu yz

τ_{xz} : Tegangan geser arah sumbu xz

2.2.9 Derajat Kebebasan Bangunan Apung

Bangunan laut yang terapung terapung akan mengalami gerakan osilasi akibat adanya gaya eksitasi gelombang dalam 6 derajat kebebasan (Djarmiko, 2012). Gerakan osilasi tersebut adalah:

Gerakan Translasi:

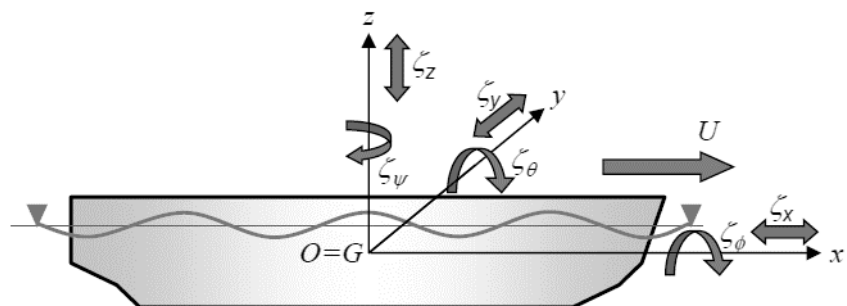
- *Surge* (ζ_x atau ζ_1)

- *Sway* (ζ_y atau ζ_2)
- *Heave* (ζ_z atau ζ_3)

Gerakan Rotasi:

- *Roll* (ζ_ϕ atau ζ_4)
- *Pitch* (ζ_θ atau ζ_5)
- *Surge* (ζ_ψ atau ζ_6)

Gerakan dari 6 derajat kebebasan bangunan apung tersebut dapat diilustrasikan sesuai dengan Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 Enam Derajat Kebebasan Gerak Bangunan Laut
(Sumber : Djatmiko, 2012)

Formulasi dasar gerakan bangunan laut akibat gaya eksitasi gelombang regular menggunakan asumsi gerakan osilasi 6 derajat kebebasan. Persamaan diferensial gerakan dinyatakan pada Persamaan 2.16 sebagai berikut (Djatkiko, 2012):

$$\Sigma[(M_{jk}+A_{jk})\ddot{\zeta}_k + B_{jk}\dot{\zeta}_k + K_{jk}\zeta_k] = F_j e^{i\omega t}; j, k=1 \text{ s/d } 6 \dots \dots (2. 16)$$

dimana :

- M_{jk} = matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut
- A_{jk} = matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik
- B_{jk} = matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamik
- K_{jk} = 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

F_1 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *surge* (N)

F_2 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *sway* (N)

F_3 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *heave* (N)

F_4 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *roll* (N.m)

F_5 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *pitch* (N.m)

F_6 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *yaw* (N.m)

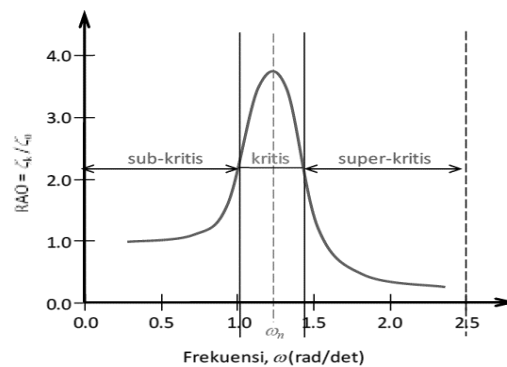
ζ_k = elevasi gerakan pada mode ke k (m)

$\dot{\zeta}_k$ = elevasi kecepatan gerak pada mode ke k (m)

$\ddot{\zeta}_k$ = elevasi percepatan gerak pada mode ke k (m)

2.2.10 Response Amplitude Operator

RAO disajikan dalam bentuk grafik dengan sumbu x adalah parameter frekuensi, sedangkan sumbu y merupakan rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu (ζ_{k0}) dengan amplitudo gelombang (ζ_0). Frekuensi pada absis dapat berupa frekuensi gelombang insiden (ω), frekuensi gelombang papasan (ω_e) atau frekuensi non-dimensi sesuai dengan keperluan analisis.



Gambar 2.7 Kurva RAO
(Sumber : Djatmiko, 2012)

Berdasarkan Gambar 2.7 diatas. kurva respons gerakan pada bangunan apung pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga bagian:

- Bagian pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang dengan periode yang panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan sama dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Gerakan di daerah frekuensi rendah [atau $\omega^2 < k/(m+a)$] akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- Bagian kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva, lalu diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan akan semakin besar. Gerakan pada daerah frekuensi alami [atau $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$] akan didominasi oleh factor redaman.
- Bagian ketiga adalah daerah super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang dengan periode yang pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil, karena semakin tinggi frekuensi gelombang, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu gerakan bangunan laut pada daerah ini disebut sebagai *platforming*. Gerakan di daerah frekuensi tinggi ini [atau $\omega^2 > k/a$] akan didominasi oleh faktor massa (Djarmiko, 2012).

Respons gerakan RAO untuk gerakan translasi *surge*, *sway*, dan *heave* ($k = 1, 2, 3$ atau x, y, z) merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakannya dibanding dengan amplitudo gelombang insiden dalam satuan panjang. Persamaan RAO untuk

gerakan translasi dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.17 dibawah ini.

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} \text{ (m/m)} \dots\dots\dots (2. 17)$$

dimana :

ζ_0 = amplitudo gelombang (m)

ζ_{k0} = amplitudo gerakan pada mode tertentu (m)

Respons gerakan RAO untuk gerakan rotasi *roll*, *pitch*, dan *yaw* ($k = 3, 4, 5$ atau θ, Φ, ψ) merupakan perbandingan amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang. Persamaan RAO untuk gerakan rotasi dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.18 dibawah ini.

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2 / g) \zeta_0} \text{ (rad/rad)} \dots\dots\dots (2. 18)$$

dimana :

ζ_0 = amplitudo gelombang (m)

ζ_{k0} = amplitudo gerakan pada mode tertentu (m)

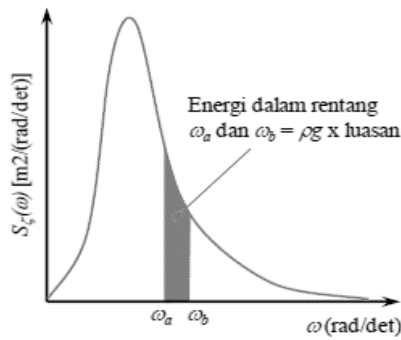
g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

k_w = angka gelombang

2.2.11 Spektrum Energi Gelombang

Menurut Djatmiko (2012), energi yang ada disebuah gelombang acak adalah penjumlahan dari energi-energi yang dikontribusikan oleh semua komponen gelombang reguler. Besarnya energi yang dikontribusikan oleh komponen gelombang reguler ke- n dapat ditentukan dengan Persamaan 2.19 sebagai berikut.

$$E_n = \frac{1}{2} \rho g \zeta_{n0}^2 \dots\dots\dots (2. 19)$$



Gambar 2.8 Spektrum Gelombang
(Sumber : Djatmiko, 2012)

Penjumlahan energi dari seluruh komponen gelombang reguler per satuan luas dapat dinyatakan sebagai kepadatan spektrum energi gelombang atau istilah lainnya sebagai spektrum gelombang (Gambar 2.8). Kontribusi dari tiap energi gelombang reguler dinyatakan sebagai ordinat pada frekuensi yang terkait pada spektrum energi gelombang. Energi yang dikontribusikan oleh gelombang reguler ke- n dengan amplitudo ζ_{n0} dapat ditentukan dengan Persamaan 2.20 sebagai berikut.

$$\frac{1}{2} \rho g \zeta_{n0}^2 = \rho g S_{\zeta}(\omega) d\omega \dots \dots \dots (2. 20)$$

Maka, besar ordinat untuk komponen spektrum gelombang yang terkait dapat ditentukan dengan Persamaan 2.21 sebagai berikut.

$$S_{\zeta}(\omega) = \zeta_{n0}^2 / 2\delta\omega \dots \dots \dots (2. 21)$$

Seiring berkembangnya waktu, telah banyak dihasilkan spektrum gelombang yang beragam sesuai dengan kondisi lingkungan yang dianalisis. Jenis-jenis spektrum gelombang yang biasa digunakan dalam analisis adalah Bretschneider (1959;1969), Pierson-Moskowitz (1964), ISSC (1964), Scott (1965), JONSWAP (1973), ITTC (1975) dan Wang (1991). Menurut Djatmiko (2012), untuk analisis diperairan Indonesia secara umum menggunakan spektrum JONSWAP, karena persamaan untuk spektrum ini menggunakan parameter-parameter yang akan mengakomodasi karakteristik gelombang yang ada diperairan tertutup atau

kepulauan. Persamaan spektrum JONSWAP dapat ditulis sebagai Persamaan 2.22 berikut.

$$S_{\zeta}(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[-1.25 \left\{ \frac{\omega}{\omega_0} \right\}^{-4} \right] \gamma^{\exp \left[\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2r\omega_0^2} \right]} \dots \dots \dots (2.22)$$

dimana :

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

$$X_0 = gX/U_w^2$$

$$X = \text{Panjang fetch}$$

$$U_w = \text{Kecepatan angin}$$

$$\alpha = 0.0081 \text{ jika } X \text{ tidak diketahui}$$

$$\gamma = \text{Parameter ketinggian atau } peakness \text{ parameter (nilai antara 1.0 s/d 7.0), untuk perairan Indonesia bernilai 2 hingga 2.5}$$

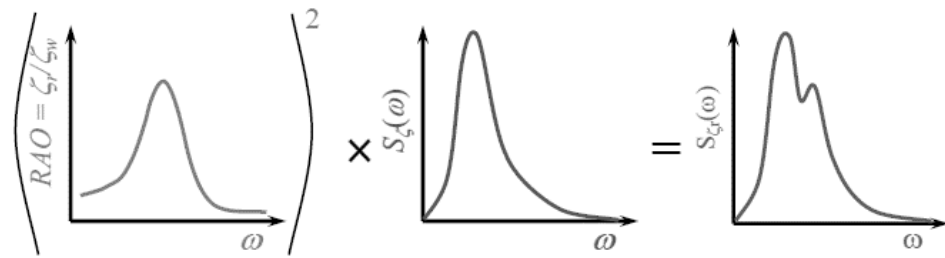
$$\tau = \text{Parameter bentuk atau } shape \text{ parameter (0.07 jika } \omega \leq \omega_0; 0.09 \text{ jika } \omega > \omega_0)$$

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

2.2.12 Respon Bangunan Apung pada Gelombang Acak

Respons bangunan apung terutama kapal yang diakibatkan oleh eksitasi gelombang acak telah diperkenalkan pertama kali oleh St. Denis dan Pierson (1953). Gerakan bangunan apung dalam kondisi ideal dapat dihitung sebagai reaksi adanya eksitasi gelombang sinusoidal, dengan karakteristik tinggi atau amplitudo dan frekuensi tertentu. Perhitungan kemudian dilakukan dengan mengambil amplitudo gelombang yang konstan, namun harga frekuensinya divariasikan dengan interval kenaikan tertentu.

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



Gambar 2.9 Transformasi Spektra Gelombang menjadi Spektra Respon
(Sumber : Djatmiko, 2012)

Dalam analisis respon bangunan apung, pada gelombang reguler dapat diketahui pengaruh interaksi hidrodinamik pada massa tambah, *potential damping* dan gaya eksternal. Analisis tersebut menghasilkan respon struktur pada gelombang reguler. Respon struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon (Gambar 2.9). Spektrum respon didefinisikan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat kuadrat dari *Response Amplitude Operator* dengan spektrum gelombang pada daerah kapal tersebut beroperasi. Persamaan respon secara matematis dapat dituliskan sebagai Persamaan 2.23 berikut (Djatkiko, 2012).

$$S_{\zeta_r}(\omega) = RAO^2 \times S_{\zeta}(\omega) \dots\dots\dots (2.23)$$

dimana :

$S_{\zeta}(\omega)$: Spektra gelombang [$m^2/(\text{rad/s})$]

RAO : *Response Amplitude Operator* (rad/rad; m/m)

$S_{\zeta_r}(\omega)$: Spektra respon [$m^2/(\text{rad/s})$]

2.2.13 Metode Analisis Dinamis

Sesuai dengan ABS (2019), ada dua jenis metode analisis dinamis yang dapat digunakan untuk menentukan tegangan pada *mooring line*, yaitu :

1) Metode Analisis *Frequency Domain*

Pada analisis dengan metode ini, semua parameter-parameter yang dibutuhkan di *linear* kan karena metode ini menggunakan prinsip *linear principle of superposition*. Pada metode ini, frekuensi respon gelombang dapat dihitung terpisah dengan *low frequency responses*. Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan :

- Motion, kecepatan dan percepatan dari bangunan apung
- RAO pada tegangan *mooring*
- Nilai statistik dari respon, seperti standar deviasi, nilai signifikan atau maksimum respon berdasarkan distribusi peluang dari respon terbesar

2) Metode Analisis *Time Domain*

Pada analisis dengan metode ini, frekuensi respon gelombang dengan frekuensi respon rendah gelombang digabungkan lalu dianalisis dalam domain waktu. Persamaan dinamis yang menjelaskan tentang struktur terapung, *mooring lines*, *riser*, dan gaya-gaya lainnya digabungkan menjadi satu simulasi domain waktu. Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan :

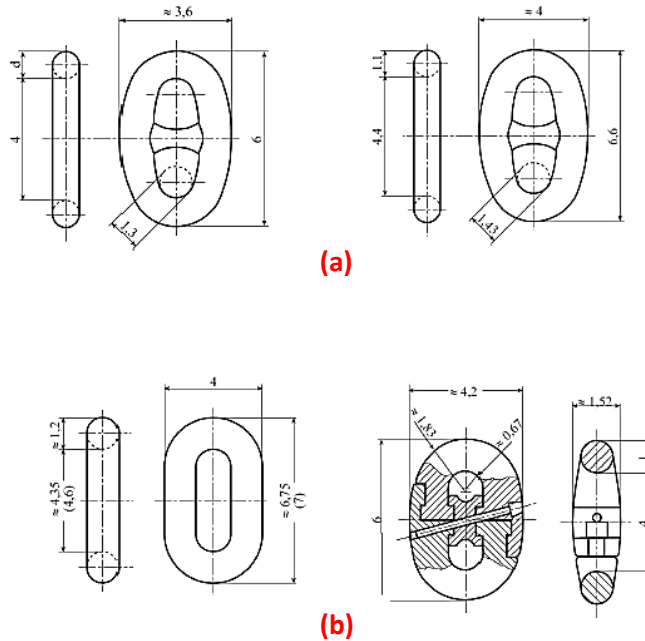
- Respon berdasarkan waktu untuk semua parameter (offset struktur terapung, tegangan pada *mooring line*, dll)
- Nilai ekstrim dari respon yang menggunakan data histori waktu

2.2.14 *Offshore Mooring Chain*

Rantai merupakan salah sistem *mooring line* yang dapat menambatkan bangunan apung pada dasar laut. Rantai dipilih karena memiliki nilai *breaking strength* yang tinggi, sehingga penggunaannya cukup diandalkan. Menurut BKI (2019), ada dua

tipe rantai yang digunakan, yaitu *stud link* dan *studless link* (Gambar 2.10). Berdasarkan nilai kekuatan dari rantai, rantai dibagi menjadi 5 kategori, yaitu :

- a) KI-R3
- b) KI-R3S
- c) KI-R4
- d) KI-R4S
- e) KI-R5



Gambar 2.10 Rantai *Mooring* Tipe *Studlink* (a) dan Tipe *Studless* (b)
(Sumber : Biro Klasifikasi Indonesia, 2019)

Nilai minimum kekuatan disetiap rantai yang dianjurkan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5 dibawah ini.

Tabel 2.5 Kekuatan Minimum Pada Setiap Jenis Rantai *Mooring*

Grade	Yield stress N/mm ² minimum (1)	Tensile strength N/mm ² Minimum (1)	Elongation % minimum	Reduction of area ⁽²⁾ % minimum	Charpy V-notch impact tests		
					Test temperature °C	Average energy J minimum	Avg. energy flash weld J minimum
KI-R3	410	690	17	50	0 -20	60 40	50 30
KI-R3S	490	770	15	50	0 -20	65 45	53 33
KI-R4	580	860	12	50	-20	50	36
KI-R4S ⁽⁴⁾	700	960	12	50	-20	56	40
KI-R5	760	1000	12	50	-20	58	42

Notes:
 (1) Aim value of yield to tensile ratio: 0.92 max.
 (2) At the option of the Classification Society the impact test of Grade KI-R3 and KI-R3S may be carried out at either 0°C or minus 20°C (See Table 13.11).
 (3) Reduction of area of cast steel is to be for Grades KI-R3 and KI-R3S: min. 40 %, for R4, R4S and R5: min. 35 %, cf. item 2.4.4.
 (4) Aim maximum hardness for KI-R4S is HB330 and KI-R5 is HB340.

(Sumber : BKI, 2019)

2.2.15 Chain Corrosion and Wear Allowance

Sesuai dengan aturan ABS (2019), untuk sistem tambat yang bersifat permanen, batas besarnya laju korosi yang diijinkan harus dimasukkan kedalam desain. Besarnya laju korosi yang diijinkan pada rantai *mooring* harus disesuaikan dengan bertambahnya ukuran diameter dari rantai *mooring* tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan inspeksi dilapangan dalam penentuan besarnya laju korosi yang bergantung pada suhu air laut, level DIN (*dissolved nitrogen*), dan lokasi dari rantai (*splash zone*, *catenary*, atau *bottom zones*). Jika data yang ada dilapangan tidak tersedia, maka besarnya laju korosi dapat dilihat pada Tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 Batas Laju Degradasi Rantai Yang Diijinkan

Chain Corrosion and Wear Allowance

Chain Location	Corrosion Allowance on Chain Diameter (mm/year) ⁽¹⁾	
	Low DIN Level ⁽³⁾	High DIN Level ⁽⁴⁾
Splash zone ⁽¹⁾	0.2-0.4	0.8
Mid-catenary ⁽²⁾	0.1-0.2	0.3
Touch down zone	0.2-0.4	0.4

Notes:

- 1 Splash zone: the chain links that are periodically in and out of the water when the unit is at its operating depth. In general, this zone is between 5 m above and 4 m below the waterline.
- 2 Mid-catenary: mooring line below the splash zone and always above the touch down point.
- 3 Dissolved nitrogen (DIN) level smaller than 1 mgN/L
- 4 Dissolved nitrogen (DIN) level close to 7 mgN/L, such as in West Africa
- 5 Higher corrosion allowance should be considered if pitting corrosion associated with Microbiologically Influenced Corrosion (MIC) is suspected.

(Sumber : ABS, 2019)

Karena rantai tersebut akan mengalami degradasi diameter akibat faktor penggunaan dan korosi, maka nilai MBL dari rantai akan berkurang. Berdasarkan Tugas Akhir dari Alfisyahr (2019), untuk menentukan nilai MBL dari rantai yang telah mengalami degradasi diameter, maka dapat menggunakan Persamaan 2.24 dari DNV OS E301 (2014) dibawah ini.

$$S_{mbs-corr} = S_{mbs} \times \left(\frac{D_{corr}}{D_{new}} \right)^2 \dots\dots\dots(2. 24)$$

dimana :

$S_{mbs-corr}$: MBL dari rantai yang mengalami degradasi diameter (kN)

S_{mbs} : MBL dari rantai awal (kN)

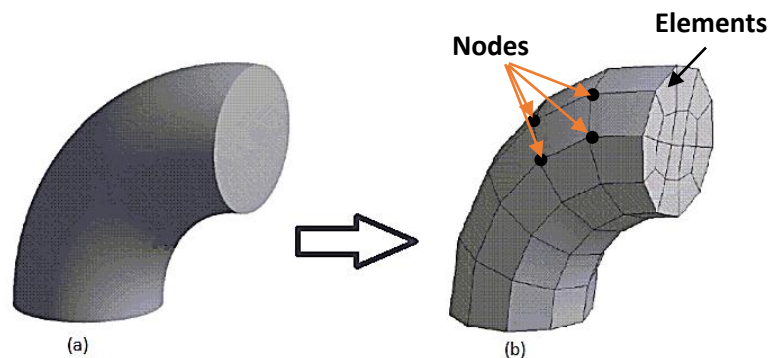
D_{corr} : Diameter rantai setelah mengalami degradasi diameter (mm)

D_{new} : Diameter rantai awal (mm)

2.2.16 *Finite Element Method (FEM)*

Finite Element Method adalah suatu metode numeris yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan teknik secara matematis. Konsep yang digunakan pada metode ini adalah dengan membagi suatu objek yang ditinjau menjadi bagian-bagian kecil yang berhingga atau *finite* jumlahnya, lalu bagian-bagian tersebut dianalisis lalu hasil dari analisis tersebut digabungkan menjadi satu.

Hal pertama yang dilakukan sebelum melakukan analisis statis di ANSYS yaitu melakukan *meshing* pada objek yang akan dianalisis. *Meshing* adalah suatu kegiatan membagi objek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Bagian-bagian kecil dari suatu objek tersebut dapat disebut sebagai *elements*, dimana *elements* tersebut tersusun dari beberapa *nodes*. *Meshing* sendiri dapat diilustrasikan sesuai Gambar 2.11 dibawah ini. (ANSYS Meshing User's Guide, 2013)

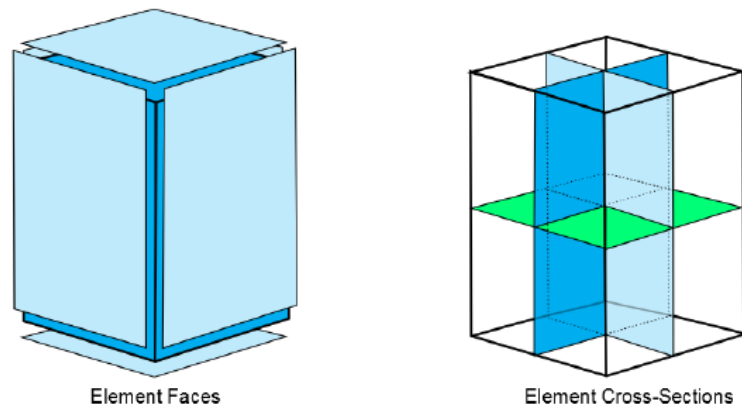


Gambar 2.11 *Meshing* Pada Suatu Objek
(Sumber : ANSYS Meshing User's Guide, 2013)

Sebelum melakukan *meshing*, kita perlu menentukan jenis bentuk elemen yang akan digunakan. Pemilihan jenis elemen ini dapat dilakukan berdasarkan bentuk objek yang digunakan. Hal ini disebabkan karena sebelum melakukan *meshing*, ANSYS secara

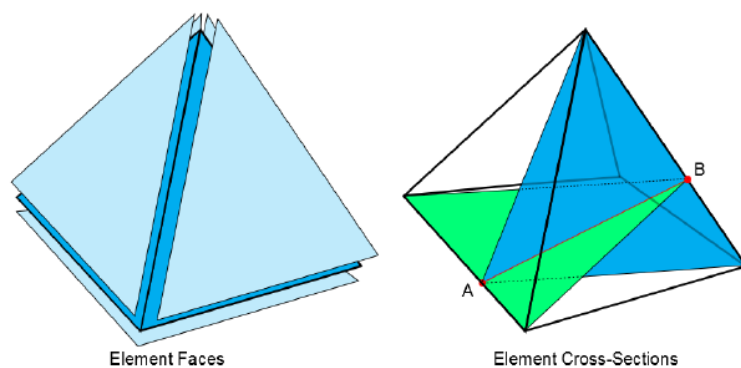
otomatis melakukan *element shape testing* yang dilakukan dengan menghitung parameter bentuk objek dengan batas *element shape* (bentuk elemen) yang dipilih. Selanjutnya, jika pengetesan tersebut berhasil, maka ANSYS akan melakukan *meshing* secara otomatis. Dan jika tidak, maka akan muncul error dimana kita harus merubah bentuk elemen yang kita pilih sebelumnya. Pada objek berupa 3-D Solid, jenis bentuk elemen yang dapat digunakan adalah sebagai berikut (ANSYS Theory Reference, 2013).

- a *Brick element*, dimana elemen tersebut terdiri dari 6 *quadrilateral faces* dan 3 *quadrilateral cross-sections* yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 dibawah ini.



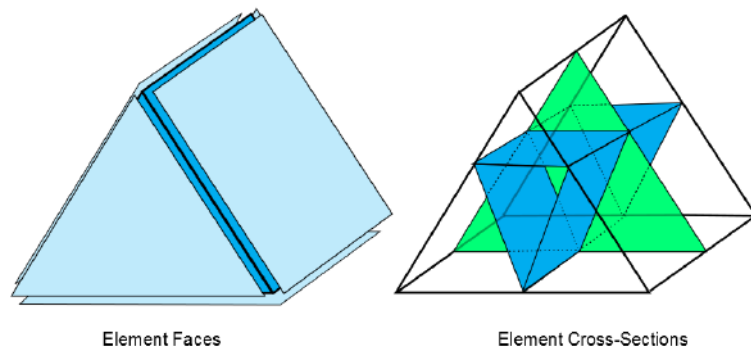
Gambar 2.12 *Brick Element*
(Sumber : ANSYS Theory Reference, 2013)

- b *Pyramid element*, dimana elemen tersebut terdiri dari 1 *quadrilateral faces* dan 4 *triangle faces* yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 dibawah ini.



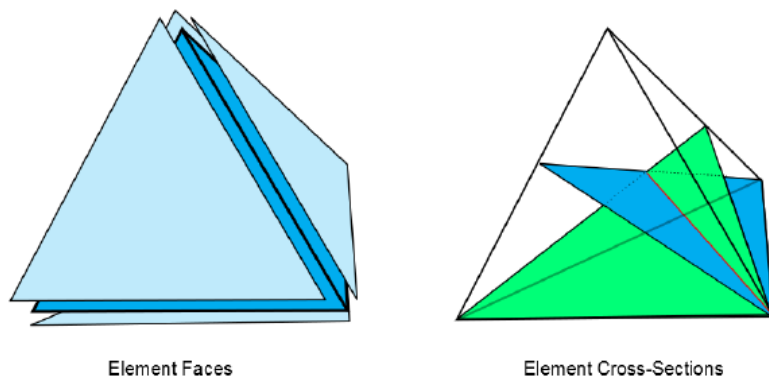
Gambar 2.13 *Pyramid Element*
(Sumber : ANSYS ANSYS Theory Reference, 2013)

- c *Wedge element*, dimana elemen tersebut terdiri dari 3 *quadrilateral faces* dan 2 *triangle faces* serta 3 *quadrilateral faces* dan 1 *triangle cross-section* yang ditunjukkan pada Gambar 2.14 dibawah ini.



Gambar 2.14 *Wedge Element*
(Sumber : ANSYS Theory Reference , 2013)

- d *Tetrahedron element*, dimana elemen tersebut terdiri dari 4 *triangle faces* serta 6 *triangle cross-sections* yang ditunjukkan pada Gambar 2.15 dibawah ini



Gambar 2.15 *Tetrahedron Element*
(Sumber : ANSYS Theory Reference, 2013)

Dari beberapa jenis bentuk element diatas, jenis *tetrahedron element* yang paling banyak digunakan secara umum pada analisis FEA di 3-D objek karena jenis ini merupakan jenis bentuk elemen yang paling mudah untuk dikerjakan. Setelah melakukan *meshing*, selanjutnya perlu ditentukan jenis *boundary condition* yang terjadi pada objek tersebut. *Boundary condition* pada ANSYS terdiri dari

jenis beban dan jenis *support* yang digunakan sesuai dengan kondisi nyata pada objek tersebut dianalisis. Jenis-jenis *support* yang tersedia dalam ANSYS *Mechanical* adalah sebagai berikut. (ANSYS Workbench – Mechanical Introduction, 2009)

a *Fixed Support*

Jenis *support* ini digunakan untuk menahan suatu objek berbentuk *vertex*, *edges*, *surfaces*, atau *solid body* untuk tidak bergerak secara translasi searah sumbu x,y,z dan berotasi terhadap sumbu x,y,z.

b *Displacement*

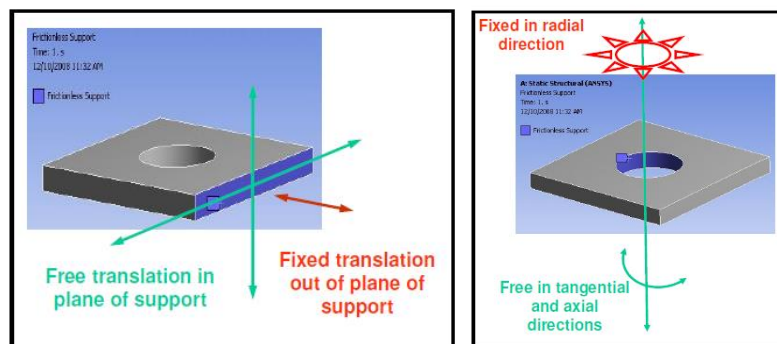
Jenis *support* ini digunakan untuk menahan suatu objek berbentuk *vertex*, *edges*, atau *surfaces* untuk tidak bergerak secara translasi searah sumbu x,y,z.

c *Elastic Support*

Jenis *support* ini digunakan untuk memungkinkan suatu objek berbentuk *faces*, atau *edges* untuk berdeformasi berdasarkan perilaku pegas.

d *Frictional Support*

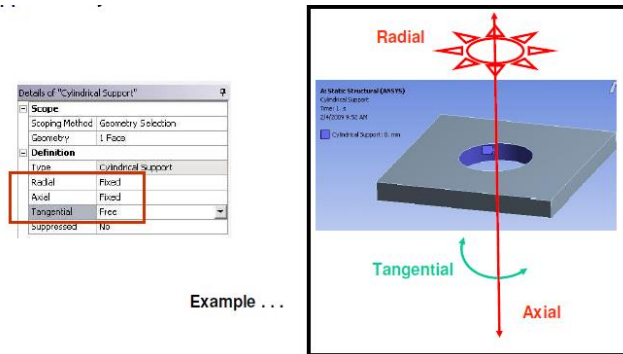
Jenis *support* ini digunakan untuk menahan suatu objek berbentuk *surfaces* untuk tidak bergerak pada arah normal terhadap *surfaces* tersebut. Untuk lebih jelasnya, *support* ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.16 dibawah.



Gambar 2.16 *Frictional Support* Pada ANSYS *Mechanical*
(Sumber : ANSYS Workbench – Mechanical Introduction, 2009)

e *Cylindrical Support*

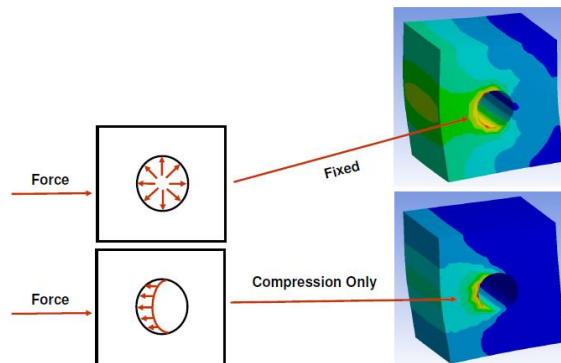
Jenis *support* ini digunakan untuk memungkinkan suatu objek berbentuk *cylindrical surfaces* untuk tidak bergerak secara *axial*, *radial*, atau *tangential*. Untuk lebih jelasnya, *support* ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.17 dibawah ini.



Gambar 2.17 *Cylindrical Support* Pada ANSYS Mechanical (Sumber : ANSYS Workbench – Mechanical Introduction, 2009)

f *Compression Only Support*

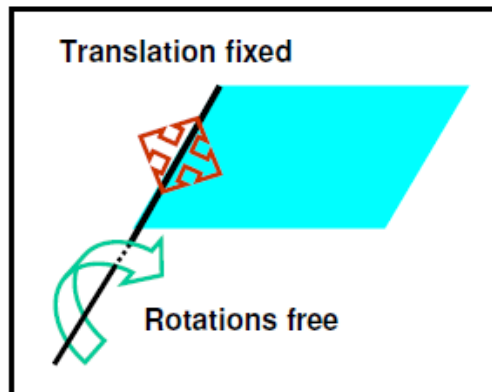
Jenis *support* ini digunakan untuk memungkinkan suatu objek berbentuk *cylindrical surfaces* untuk tidak bergerak pada arah *normal compressive*. *Support* ini dapat digunakan untuk memodelkan objek dengan adanya pin, mur, baut, dsb. Untuk lebih jelasnya, *support* ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.18 dibawah ini.



Gambar 2.18 *Compression Only Support* Pada ANSYS Mechanical (Sumber : ANSYS Workbench – Mechanical Introduction, 2009)

g *Simply Support*

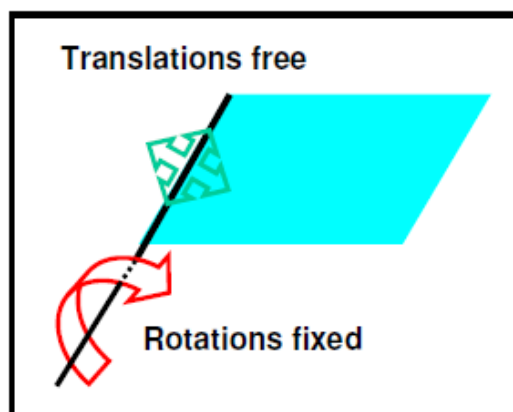
Jenis *support* ini digunakan untuk menahan suatu objek berbentuk *vertex*, *edges*, atau *surfaces* untuk tidak bergerak secara translasi searah sumbu *x,y,z*. Untuk lebih jelasnya, *support* ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.19 dibawah ini.



Gambar 2.19 *Simply Support* Pada ANSYS Mechanical
(Sumber : ANSYS Workbench – Mechanical Introduction, 2009)

h *Fixed Rotation*

Jenis *support* ini digunakan untuk menahan suatu objek berbentuk *vertex*, *edges*, atau *surfaces* untuk tidak berotasi terhadap sumbu *x,y,z*. Untuk lebih jelasnya, *support* ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.20 dibawah ini.



Gambar 2.20 *Fixed Rotation* Pada ANSYS Mechanical
(Sumber : ANSYS Workbench – Mechanical Introduction, 2009)

Selanjutnya, pada *software* ANSYS, kita perlu mendefinisikan jenis beban yang dikenakan pada objek yang dianalisa. Jenis-jenis beban yang ada dalam ANSYS *Mechanical* adalah sebagai berikut. (ANSYS Workbench – Mechanical Introduction, 2009)

a Beban Inersia

Beban ini bekerja diseluruh sistem dan beban ini hanya bekerja jika COG suatu objek didefinisikan. Serta, massa jenis benda juga didefinisikan untuk melakukan perhitungan massa objek. Selain hal-hal yang telah disebutkan, beban inersia juga dapat ditentukan dengan mendefinisikan:

- Percepatan objek
- Percepatan gravitasi
- Kecepatan rotasi objek

b Beban Struktural

Beban ini terdiri dari gaya-gaya atau momen yang bekerja pada suatu objek. Beban structural dapat terdiri dari:

- Tekanan

Beban ini terjadi secara normal terhadap permukaan objek. Satuan yang digunakan berupa gaya per luasan permukaan benda.

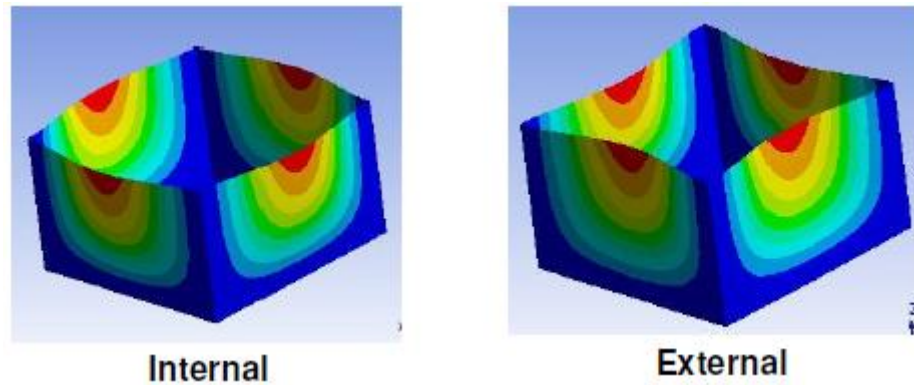
- Gaya / *Force*

Beban ini dapat terjadi pada *vertices*, *edges*, atau *surfaces*. Beban yang terjadi akan didistribusikan secara merata pada semua entity. Beban ini dapat didefinisikan secara vector atau komponen dengan satuan berupa $\text{massa} \cdot \text{panjang} / \text{waktu}^2$.

- Tekanan Hidrostatik

Beban ini disebabkan oleh adanya fluida dan dapat terjadi pada permukaan benda. Letak fluida

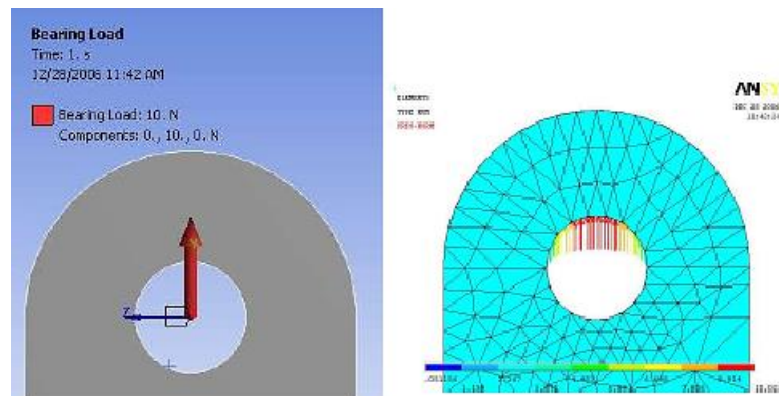
sendiri dapat terletak didalam atau diluar objek. Untuk lebih jelasnya, beban ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.21 dibawah ini.



Gambar 2.21 Tekanan Hidrostik Pada ANSYS Mechanical (Sumber : ANSYS Workbench – Mechanical Introduction, 2009)

– *Bearing Load*

Beban ini disebabkan oleh adanya beban yang terjadi suatu poros (*bearing*) benda. Untuk lebih jelasnya, beban ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.22 dibawah ini.

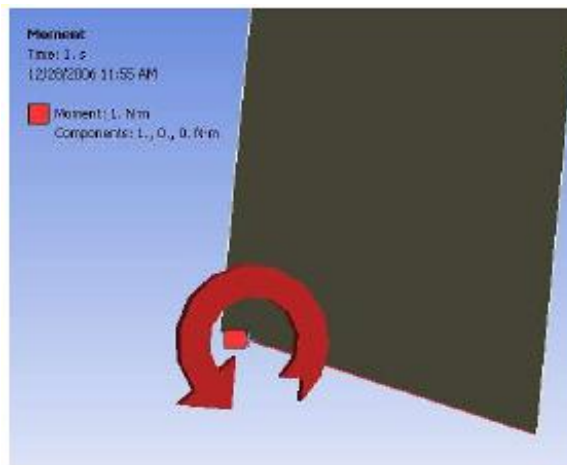


Gambar 2.22 *Bearing Load* Pada ANSYS Mechanical (Sumber : ANSYS Workbench – Mechanical Introduction, 2009)

– *Moment Loading*

Beban ini disebabkan oleh adanya momen yang terjadi suatu permukaan benda. Untuk lebih

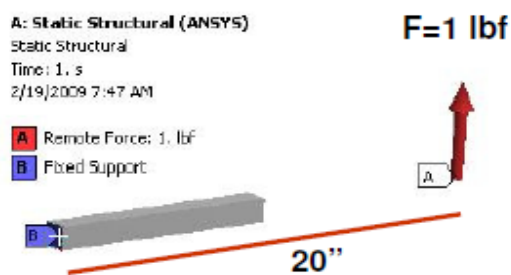
jelasnya, beban ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.23 dibawah ini.



Gambar 2.23 *Moment Loading* Pada ANSYS Mechanical
(Sumber : ANSYS Workbench – Mechanical Introduction, 2009)

– *Remote Force Loading*

Beban ini disebabkan oleh adanya tambahan gaya yang terjadi pada satu titik tertentu terhadap suatu benda. *User* dapat menentukan koordinat gaya tersebut terjadi. Untuk lebih jelasnya, beban ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.24 dibawah ini.



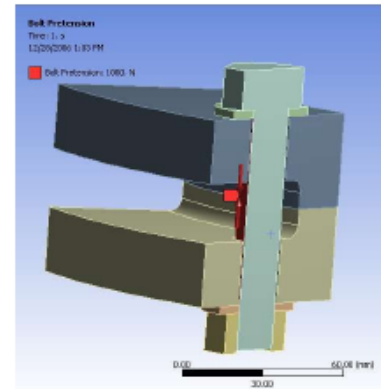
Gambar 2.24 *Remote Force Loading* Pada ANSYS Mechanical
(Sumber : ANSYS Workbench – Mechanical Introduction, 2009)

– *Bolt Pretension*

Beban ini disebabkan oleh adanya beban *pretension* yang terjadi pada baut disuatu benda.

Untuk lebih jelasnya, beban ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.25 dibawah ini.

Details of "Bolt Pretension"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	L Face
Definition	
Type	Bolt Pretension
Suppressed	No
Define By	Load
<input type="checkbox"/> Preload	1000. N

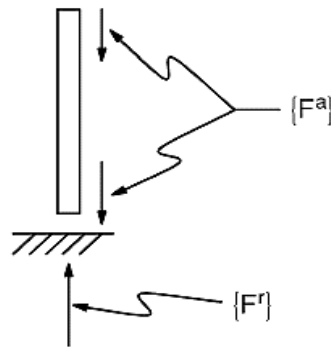


Gambar 2.25 Bolt Pretension Pada ANSYS Mechanical
(Sumber : ANSYS Workbench – Mechanical Introduction, 2009)

– *Line Pressure loading*

Beban ini merupakan distribusi gaya pada suatu *edge* yang hanya digunakan pada simulasi tiga dimensi. Satuan yang digunakan berupa gaya/panjang.

Perlu diketahui jika pada analisis suatu struktur, penggunaan metode FEM dapat digunakan untuk melakukan analisis statis pada struktur tersebut. Penyelesaian yang didapat pada analisis ini adalah nilai tegangan local atau *von Mises* pada setiap *node* dari objek yang dianalisis dengan hanya mendefinisikan *boundary condition*-nya (jenis *support* serta besar dan jenis gaya yang bekerja). Ilustrasi gaya-gaya yang bekerja pada suatu objek yang dianalisis dapat diilustrasi pada Gambar 2.26 dibawah ini.



Gambar 2.26 Gaya Yang Bekerja Pada Suatu Objek
(Sumber : ANSYS Theory Reference, 1999)

Persamaan kesetimbangan untuk analisis statis struktur dapat dinyatakan pada Persamaan 2.25 dan 2.26 berikut. (ANSYS Theory Reference, 1999)

$$\{F\} = [K]\{u\} \dots\dots\dots(2. 25)$$

$$\{F^a\} + \{F^r\} = \sum_{m=1}^N [K_e] \{u\} \dots\dots\dots(2. 26)$$

dimana

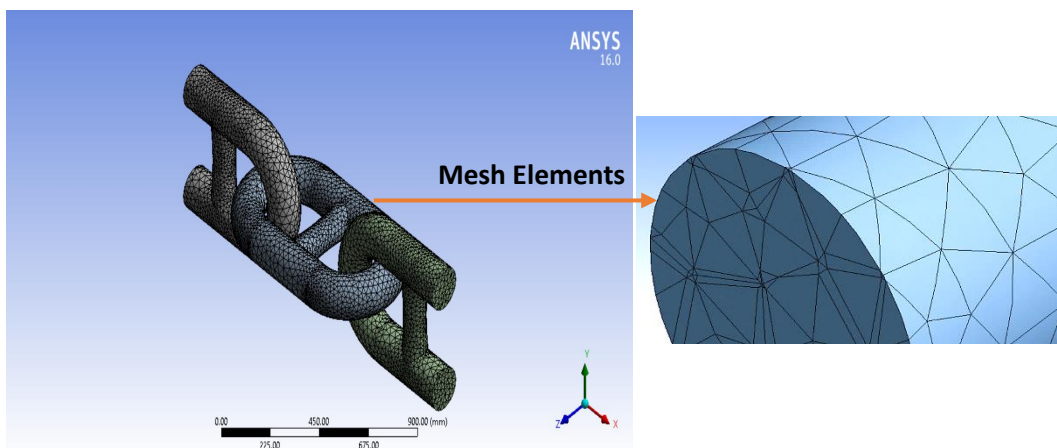
$$\{F^a\} = \{F^{nd}\} + \{F^{ac}\} + \sum_{m=1}^N (\{F_e^{th}\} + \{F_e^{pr}\}) \dots\dots\dots (2. 27)$$

keterangan :

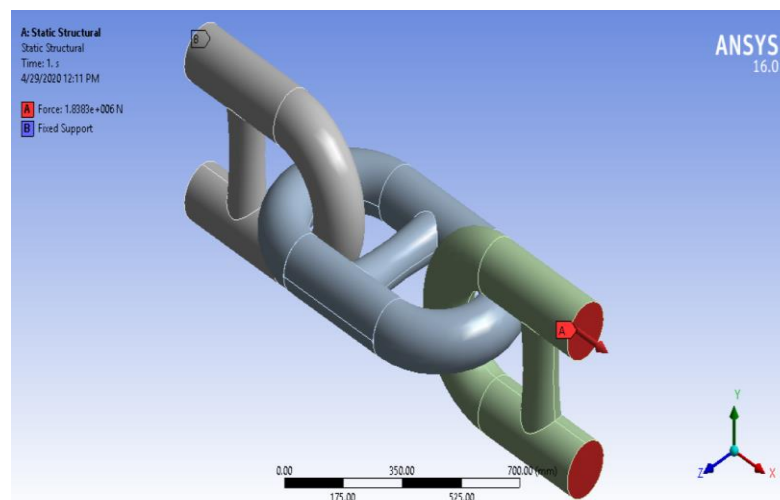
- {F} : Matriks total gaya yang bekerja
- {F^a} : Matriks total vector gaya aksi yang bekerja
- {F^r} : Matriks total vector gaya reaksi yang bekerja
- {K} : Matriks total kekakuan
- [K_c] : Matriks kekakuan setiap element
- {u} : Matriks displacement dari *node*
- {Fnd} : Matriks nilai beban yang ada disetiap *node*
- {F^{nc}} : -[M]{a_c} : Matriks nilai vector dari beban akselerasi
- [M] : Matriks total massa yang bekerja = $\sum_{m=1}^N [M_e]$
- [M_e] : Matriks massa setiap elemen
- {a_c} : Matriks total akselerasi
- {F_eth} : Matriks beban thermal disetiap elemen

$\{F_e^{pr}\}$: Matriks tekanan disetiap elemen

Dari uraian diatas, dapat disimpulkan jika penulis memilih jenis bentuk elemen berupa *tetrahedon element* (Gambar 2.27) karena objek yang digunakan adalah rantai dengan adanya pengurangan diameter pada sambungan rantai, sehingga dengan pemilihan jenis elemen tersebut dapat mempermudah analisis. Sedangkan untuk *boundary condition* nya (Gambar 2.28), untuk jenis *support* yang digunakan berupa *fixed support* (daerah B) agar tumpuan objek tidak bertranslasi dan berotasi terhadap sumbu x,y, dan z jika terkena gaya aksial. Sedangkan gaya aksial (daerah A) berupa *tension mooring line* akan diinput pada kedua face lingkaran pada ujung-ujung rantai dengan total besar nilai gaya dari setiap face adalah sama dengan besar nilai *tension mooring line*. Untuk besar gaya pada setiap face akan dijelaskan pada Bab 4 sub-bab 4.6 .



Gambar 2.27 Jenis Elemen Tetrahedon

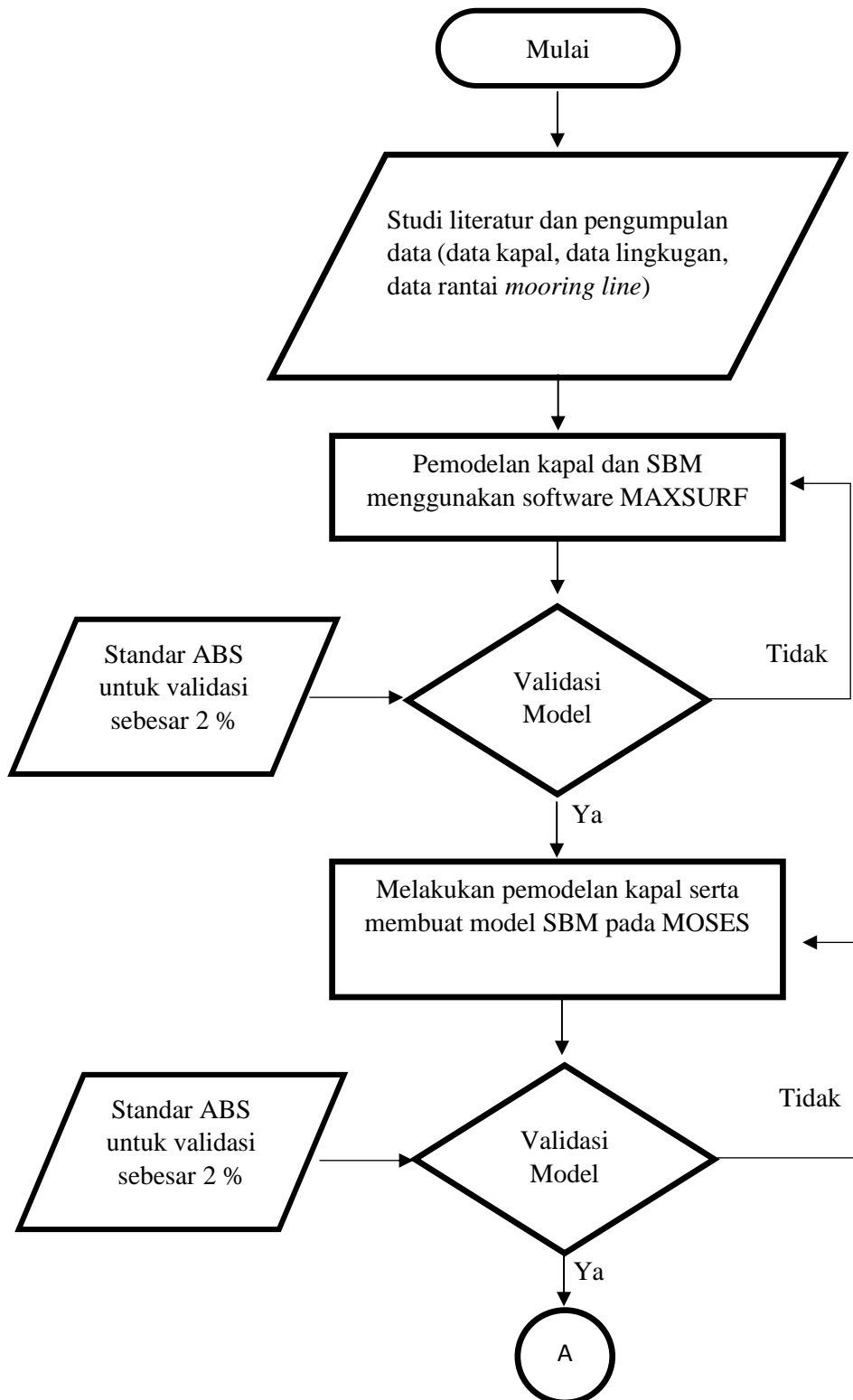


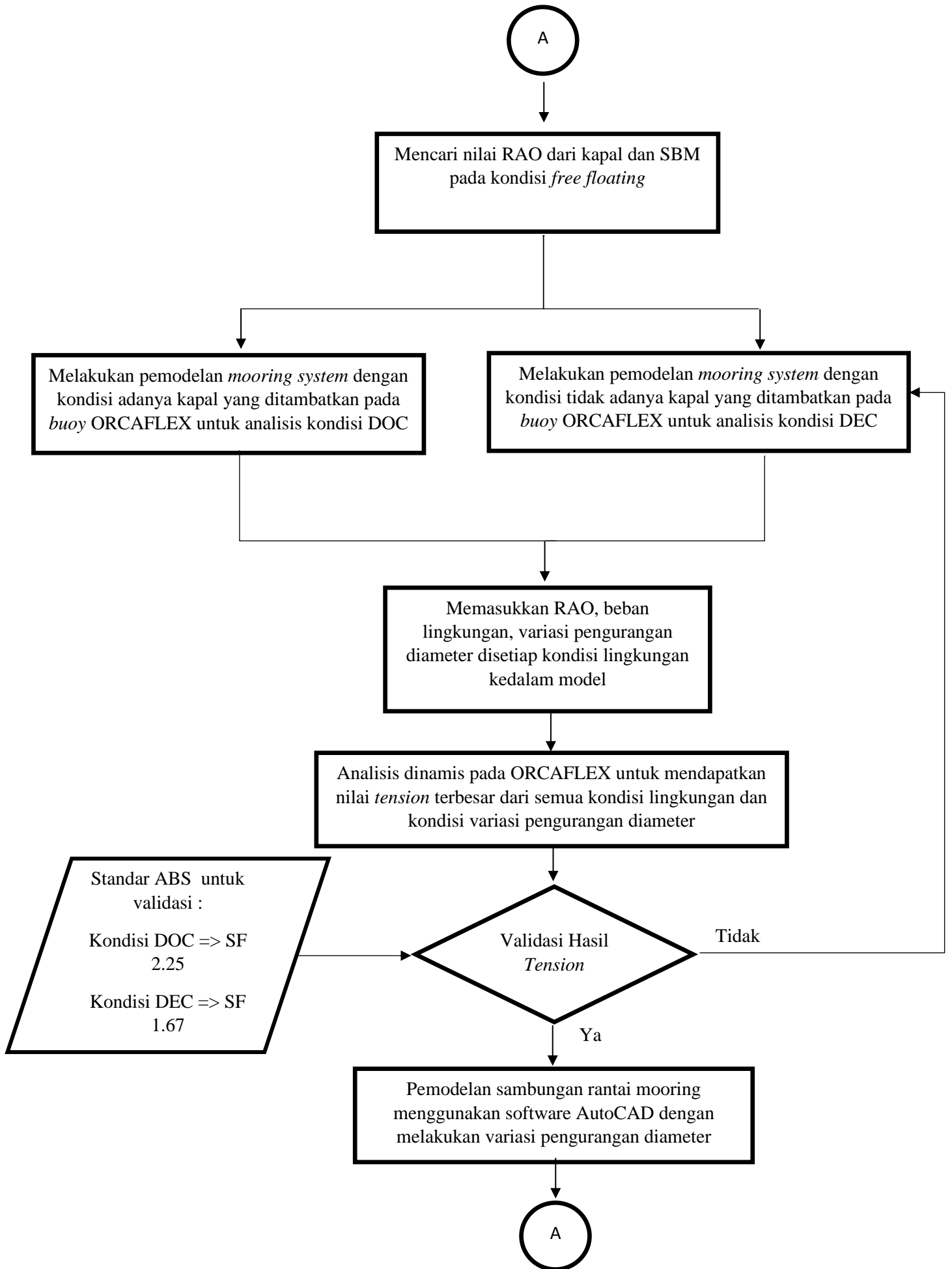
Gambar 2.28 *Boundary Condition*

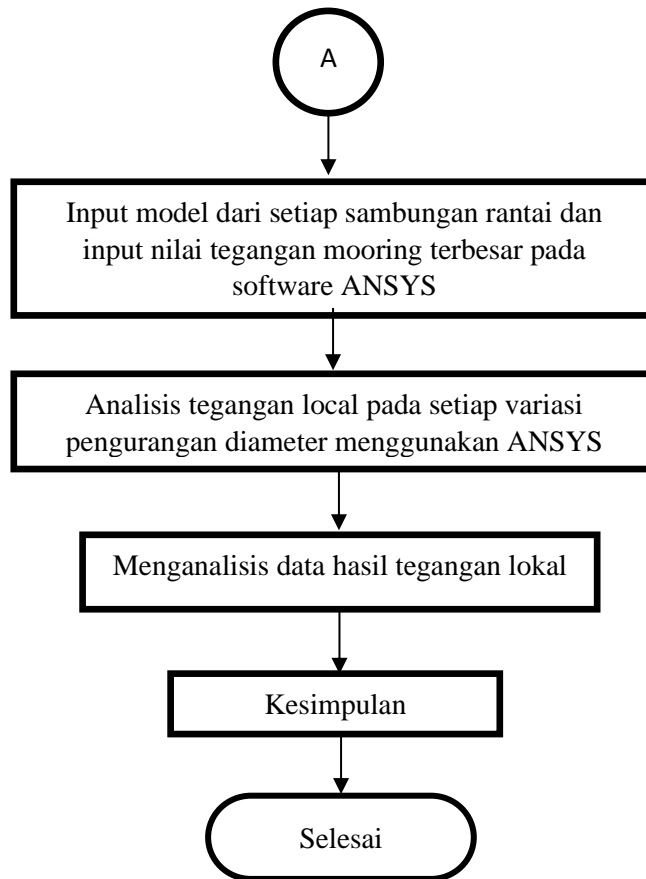
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian dalam tugas akhir ini digambarkan dalam bentuk *flowchart* sebagai berikut :







3.2 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian dalam *flowchart* di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur yaitu pencarian referensi yang berbentuk jurnal, buku, aturan *class*, dan juga tugas akhir yang telah membahas pokok permasalahan yang mempunyai relasi dengan tugas akhir ini.

2. Pengumpulan data

Data yang akan diperlukan berupa :

- Data gelombang
- Data arus
- Data angin
- Data kapal
- Data *layout mooring*
- Data struktur *buoy* SPM
- Data *mooring line* berupa rantai

3. Pemodelan pada MAXSURF

Proses ini bertujuan untuk memodelkan kapal dan SBM serta mendapatkan data hidrostatisnya. Setelah itu, akan dilakukan validasi dari hasil MAXSURF dengan data asli yang ada.

4. Pemodelan pada MOSES

Proses ini bertujuan untuk memodelkan kapal dan SBM pada MOSES dan melakukan validasi pada hasil MOSES dengan hasil MAXSURF. Setelah itu memasukan beban lingkungan agar mendapatkan RAO.

5. Pemodelan pada ORCAFLEX

Melakukan pemodelan kapal, model SBM, dan konfigurasi *mooring* pada ORCAFLEX. Setelah itu, memasukkan hasil RAO setiap struktur serta beban lingkungannya.

6. Analisis *tension* pada rantai *mooring*

Proses ini bertujuan untuk melakukan analisis dinamis pada rantai *mooring* untuk mendapatkan besar *tension* terbesar yang terjadi dari semua kondisi menggunakan *software* ORCAFLEX.

7. Pemodelan Sambungan Rantai

Proses ini bertujuan untuk melakukan pemodelan sambungan rantai dengan variasi pengurangan diameter pada sambungan rantai menggunakan *software* AutoCAD

8. Analisis Tegangan Lokal Pada Sambungan Rantai

Proses ini bertujuan untuk melakukan analisis tegangan lokal pada sambungan rantai disetiap variasi diameter rantai menggunakan *software* ANSYS.

9. Analisis data hasil tegangan local sambungan antar-rantai *mooring*

Proses ini bertujuan untuk menganalisis data hasil tegangan dari *software* ANSYS. Lalu, dari data hasil tegangan tersebut dicari nilai *safety factor* pada sambungan rantai *mooring* disetiap variasi pengurangan diameter.

10. Pengambilan kesimpulan

Mengambil kesimpulan dari nilai *safety factor* yang didapat dengan mengacu pada Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan *American Bureau of Shipping* (ABS).

3.3 Jadwal Kegiatan

Berikut merupakan jadwal pelaksanaan kegiatan Tugas Akhir ini.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan

Nama Kegiatan	Bulan dan Minggu																			
	1				2				3				4				5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi literatur dan pengumpulan data	█	█																		
Asistensi kepada dosen pembimbing	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Pemodelan pada MAXSURF			█	█																
Validasi model					█															
Pemodelan pada MOSES dan mencari RAO						█	█	█												
Validasi model									█											
Pemodelan pada ORCAFLEX										█	█									
Analisis <i>tension</i> pada rantai <i>mooring</i> dengan ORCAFLEX												█	█							
Pemodelan sambungan rantai pada software CAD															█					
Analisis tegangan local disetiap variasi pengurangan diameter sambungan rantai															█	█	█			
Menganalisis data hasil tegangan lokal																			█	
Menyimpulkan hasil penelitian																			█	█

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

4.1.1 Data Kapal

Data kapal yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Nomor IMO : IMO/LR/HIS No. 9007752
 Nama Kapal : AKROTIRI
 Tipe Kapal : *Crude/ Oil Products Tanker*

Tabel 4.1 Data Kapal Tanker AKROTIRI

Deskripsi	Unit	Data	
		Full Load	Ballast
<i>Deadweight (DWT)</i>	ton	34999	34999
<i>Displacement (Δ)</i>	ton	43703	15704
<i>Coefficient Block (Cb)</i>	-	0.774	0.774
<i>Overall Length (LOA)</i>	m	179.7	179.7
<i>Length Between Perpendiculars (LPP)</i>	m	174	174
<i>Breadth (B)</i>	m	30.03	30.03
<i>Depth (H)</i>	m	12.0696	12.0696
<i>Draught (T)</i>	m	10.058	3.92
<i>Roll Gyradius</i>	m	12.23	9.244
<i>Pitch Gyradius</i>	m	51.251	49.368
<i>Yaw Gyradius</i>	m	51.251	49.368

(Sumber : PT. Pertamina-TBBM Semarang Group)

4.1.2 Data CALM Buoy

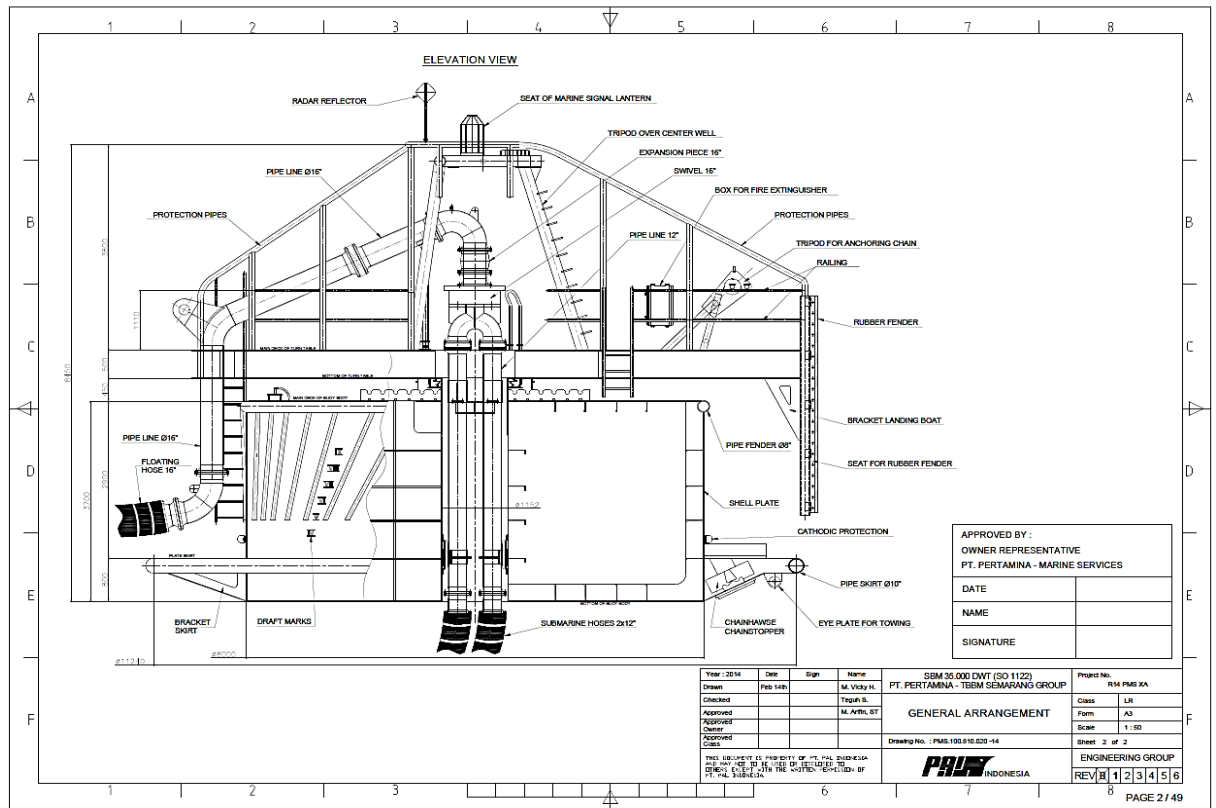
Data *buoy* yang digunakan dapat dilihat pada Table 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Data CALM Buoy

Description	Unit	Data
<i>Displacement (Δ)</i>	ton	132.89
<i>Diameter buoy</i>	m	8
<i>Diameter skirt</i>	m	11.24
<i>Buoy Height</i>	m	3.7
<i>Skirt Height</i>	m	0.8
<i>Draft</i>	m	1.8
<i>VCG</i>	m	2.22

(Sumber : PT. Pertamina-TBBM Semarang Group)

General arrangement dari buoy dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 General Arrangement CALM Buoy Tampak Samping (Sumber : PT. Pertamina-TBBM Semarang Group)

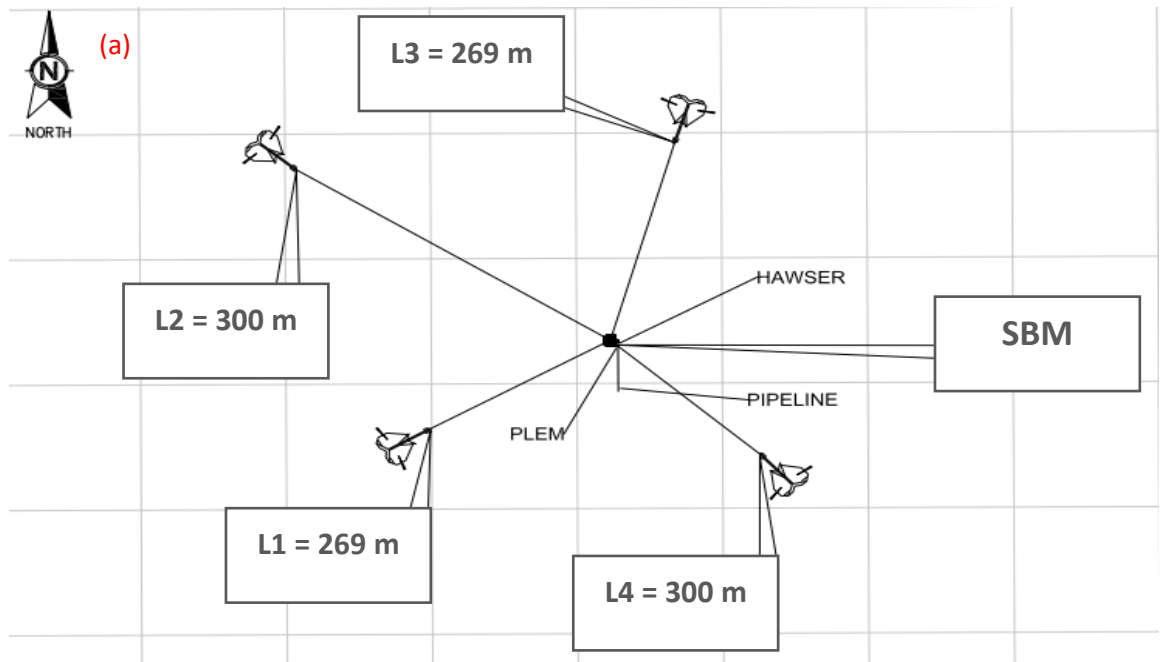
4.1.3 Data Mooring Component

Jenis sistem tambat yang digunakan pada tugas akhir ini adalah SPM dengan menggunakan CALM buoy. CALM buoy ditambatkan oleh empat tali tambat. Line 1 dan Line 4 tersusun atas rantai U3-grade dengan diameter 58 mm, sedangkan Line 2 dan Line 3 tersusun atas rantai U3-grade dengan diameter 58 mm sepanjang 55 m dari titik chain stopper dan sisanya merupakan rantai R4-grade dengan diameter 82.5 mm. Koordinat jangkar ditunjukkan oleh Tabel 4.3 serta mooring layout dan sudut sebar tali ditunjukkan oleh Gambar 4.2 dibawah ini.

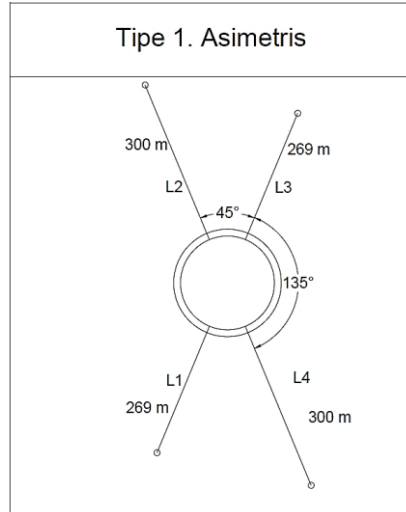
Tabel 4.3 Koordinat Jangkar SBM

Objects	UTM WGS.84		Geographic	
	Easting	Northing	Longitude (T)	Latitude (S)
SPM	436 996.76	9 238 580.08	110°25' 47.02"	6°53' 17.43"
PLEM	437 001.6	9 238 559.7	110°25' 47.17"	6°53' 17.94"
Anchor no.1	436 770.96	9 238 727.84	110°25' 39.56"	6°53' 12.78"
Anchor no.2	437 160.99	9 238 834.45	110°25' 52.31"	6°53' 09.19"
Anchor no.3	437 134.74	9 238 441.56	110°25' 51.63"	6°53' 21.93"
Anchor no.4	436 853.34	9 238 429.82	110°25' 42.34"	6°53' 22.11"

(Sumber: PT. Pertamina-TBBM Semarang Group)



(b)



Gambar 4.2 Mooring Layout (a), dan Sudut Sebar Mooring Line (b)
(Sumber : PT. Pertamina-TBBM Semarang Group)

Sedangkan untuk tipe rantai dan *hawser* yang digunakan ditunjukkan oleh Table 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Spesifikasi Rantai Dan Hawser

Description	Unit	Data
Line 1 and Line 4		
Type	-	Studlink - Chain
Grade	-	U3
Diameter	mm	58
Minimum Breaking Load (MBL)	kN	2600
Line 2 and Line 3		
Type	-	Studlink - Chain
Grade	-	U3
Diameter	mm	58
Minimum Breaking Load (MBL)	kN	2600
Length	m	55
Line 2 and line 3		
Type	-	Studless - Chain
Grade	-	Grade R4
Diameter	mm	82.5
Minimum Breaking Load (MBL)	kN	6974.773
Hawser		
Type	-	Rope
Grade	-	Polypropilene
Diameter	inch	9
Minimum Breaking Load (MBL)	kN	(unknown)

(Sumber : PT. Pertamina-TBBM Semarang Group)

4.1.4 Data Lingkungan

Data lingkungan yang digunakan dalam tugas akhir ini berasal dari laporan akhir survei meteorologi dan oseanografi yang diterbitkan oleh PT. Geotindo Mitra Kencana dan hasil survei ITS Tekno Sains. Kedalaman perairan di sekitar *buoy* yaitu 11.83 m dari MSL. Data angin, gelombang, dan arus ditunjukkan pada Table 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.5 Data Lingkungan Disekitar *Buoy*

Parameter	Periode Ulang (Tahun)				
	Notasi	Unit	1	10	100
Kecepatan Angin					
<i>1-minute mean</i>	U1	m/s	5.58	8.14	12.16
Tinggi Gelombang					
<i>Significant wave height</i>	Hs	m	1.48	2.38	3.31
<i>Significant wave period</i>	Ts	s	4.71	6.12	7.52
<i>Significant wave length</i>	Ls	m	34.34	58.35	84.28
<i>Maximum individual wave height</i>	Hmax	m	2.52	4.05	5.62
<i>Maximum individual wave period</i>	Tmax	s	6.43	8.52	10.91
<i>Maximum individual wave length</i>	Lmax	m	63.06	102.91	145.89
Kecepatan Arus					
0 % kedalaman	V ₀	m/s	0.77	1.69	2.36
10 % kedalaman	V ₁₀	m/s	0.6	1.51	2.29
20 % kedalaman	V ₂₀	m/s	0.43	1.33	2.04
30 % kedalaman	V ₃₀	m/s	0.42	1.35	2.03
40 % kedalaman	V ₄₀	m/s	0.35	1.27	1.98
50 % kedalaman	V ₅₀	m/s	0.34	1.23	1.96
60 % kedalaman	V ₆₀	m/s	0.33	1.21	1.94
70 % kedalaman	V ₇₀	m/s	0.17	1.08	1.91
80 % kedalaman	V ₈₀	m/s	0.16	1.05	1.88
90 % kedalaman	V ₉₀	m/s	0.15	1.02	1.85
100 % kedalaman	V ₁₀₀	m/s	0.14	1	1.83

(Sumber : PT. Pertamina-TBBM Semarang Group)

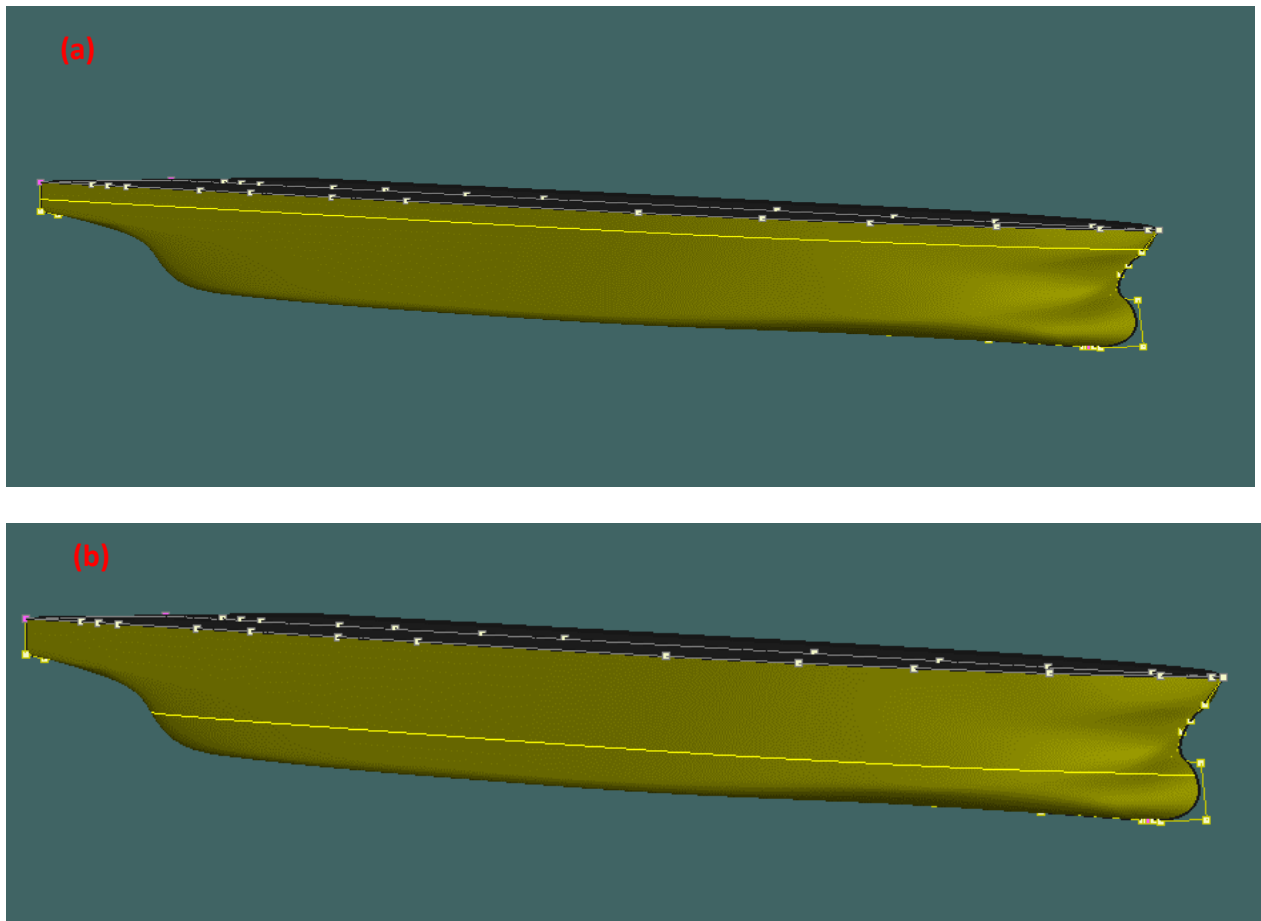
4.2 Pemodelan Kapal dan CALM *Buoy*

Pemodelan kapal dan CALM *Buoy* ini digunakan sebagai *input* model dalam melakukan analisis ini. Hal ini dilakukan agar didapatkan

kondisi struktur yang sesuai dengan kenyataan. Hasil pemodelan ini nanti akan divalidasi sesuai dengan data yang ada dengan perbedaan atau *error* dibawah 2% (sesuai dengan aturan ABS). Penulis menggunakan *software* MAXSURF dan MOSES dalam pemodelan kali ini.

4.2.1 Pemodelan Kapal

Penulis melakukan pemodelan kapal pada kondisi *full load* dan *ballast* dengan menggunakan *software* MAXSURF dan MOSES. Pemodelan di MAXSURF penulis gunakan untuk mempermudah memodelkan kapal sesuai dengan aslinya. Untuk model dengan *software* MAXSURF dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Model Kapal Pada Kondisi *Full Load* (a), dan Kondisi *Ballast* (b)

Sedangkan, hasil validasi model kapal disetiap kondisi pada MAXSURF terhadap data asli ditunjukkan pada Table 4.6 dibawah ini.

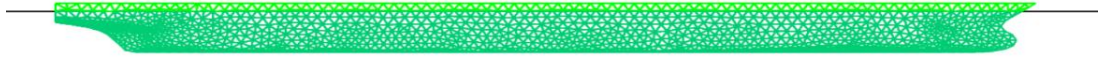
Tabel 4.6 Validasi Model Kapal Terhadap Data Disetiap Kondisi Dengan Software Maxsurf

Deskripsi	Unit	Full Load		Error	Status
		Data	Maxsurf		
<i>Deadweight (DWT)</i>	ton	34999	-	-	-
<i>Displacement (Δ)</i>	ton	43703	43366	0.77%	OK
<i>Coefficient Block (Cb)</i>	-	0.774	0.789	1.94%	OK
<i>Overall Length (LOA)</i>	m	179.7	179.7	0.00%	OK
<i>Length Between Perpendiculars (LPP)</i>	m	174	174	0.00%	OK
<i>Breadth (B)</i>	m	30.03	30.03	0.00%	OK
<i>Depth (H)</i>	m	12.0696	12.0696	0.00%	OK
<i>Draught (T)</i>	m	10.058	10.058	0.00%	OK
<i>Roll Gyradius</i>	m	12.23	-	-	-
<i>Pitch Gyradius</i>	m	51.251	-	-	-
<i>Yaw Gyradius</i>	m	51.251	-	-	-
Deskripsi	Unit	Ballast		Error	Status
		Data	Maxsurf		
<i>Deadweight (DWT)</i>	ton	34999	-	-	-
<i>Displacement (Δ)</i>	ton	15704	15501	1.29%	OK
<i>Coefficient Block (Cb)</i>	-	0.774	0.771	0.39%	OK
<i>Overall Length (LOA)</i>	m	179.7	179.7	0.00%	OK
<i>Length Between Perpendiculars (LPP)</i>	m	174	174	0.00%	OK
<i>Breadth (B)</i>	m	30.03	30.03	0.00%	OK
<i>Depth (H)</i>	m	12.0696	12.0696	0.00%	OK
<i>Draught (T)</i>	m	3.92	3.92	0.00%	OK
<i>Roll Gyradius</i>	m	9.244	-	-	-
<i>Pitch Gyradius</i>	m	49.368	-	-	-
<i>Yaw Gyradius</i>	m	49.368	-	-	-

Selanjutnya, penulis melakukan pemodelan kapal di MOSES untuk mendapatkan responnya. Model kapal didapat dari model MAXSURF yang diimport ke MOSES. Model kapal dengan software MOSES dapat ditunjukkan pada Gambar 4.4 hingga 4.6 dibawah ini.

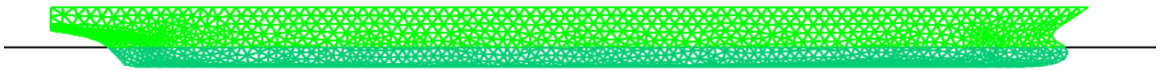
(a)

35000 DWT FULL LOAD
Vessel Model (Side View)



(b)

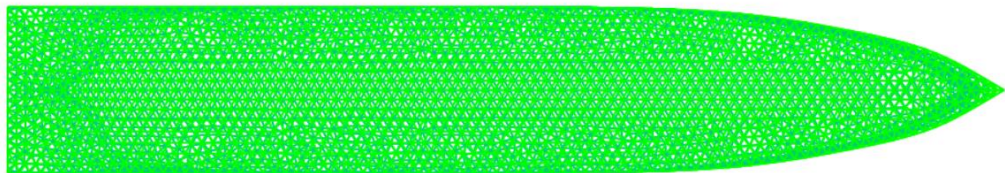
35000 DWT BALLAST
Vessel Model (Side View)

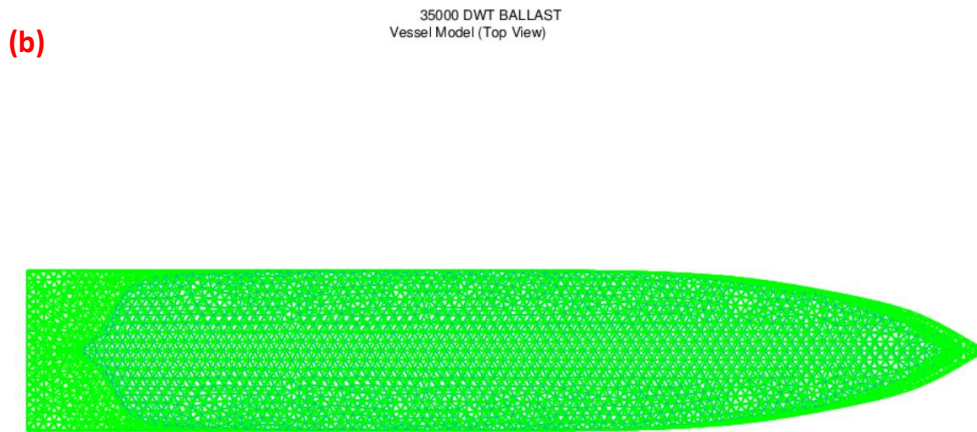


Gambar 4.4 Model Kapal Tampak Samping Pada Kondisi *Full Load* (a) dan Kondisi *Ballast* (b)

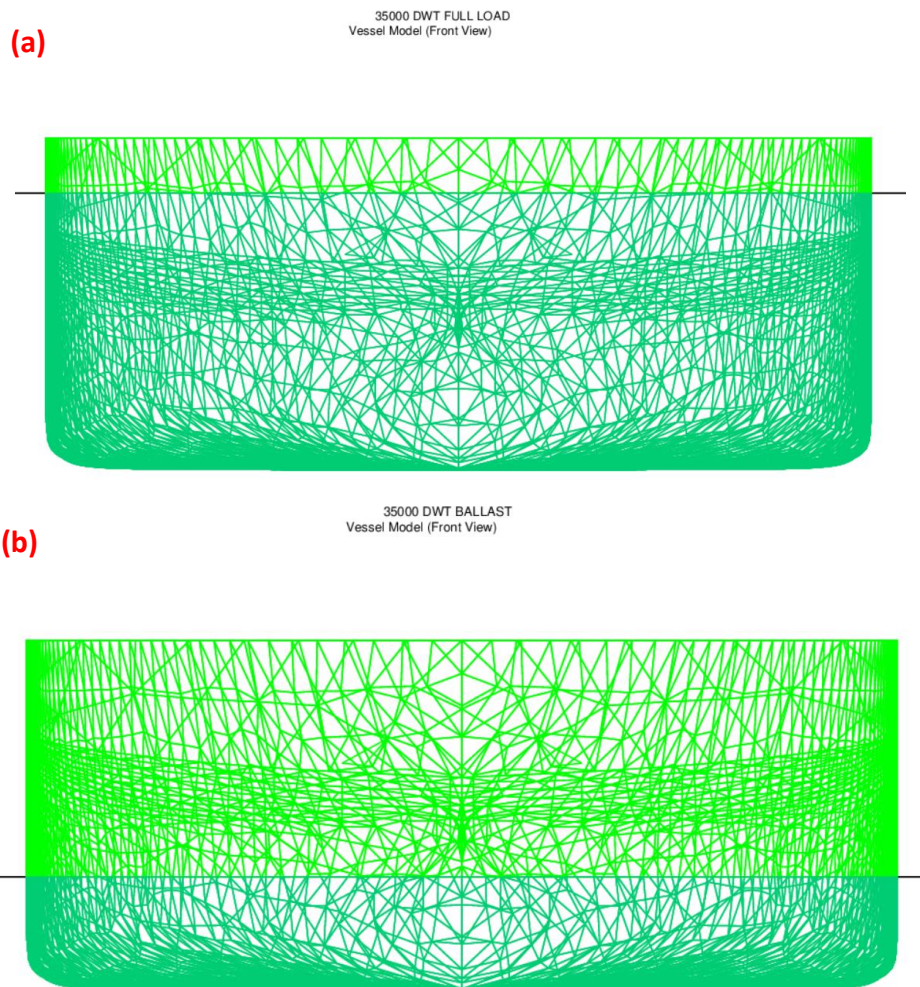
(a)

35000 DWT FULL LOAD
Vessel Model (Top View)





Gambar 4.5 Model Kapal Tampak Atas Pada Kondisi *Full Load* (a) dan Kondisi *Ballast* (b)



Gambar 4.6 Model Kapal Tampak Depan Pada Kondisi *Full Load* (a) dan Kondisi *Ballast* (b)

Sedangkan, hasil validasi model kapal disetiap kondisi pada MOSES terhadap data asli ditunjukkan pada Table 4.7 dibawah ini.

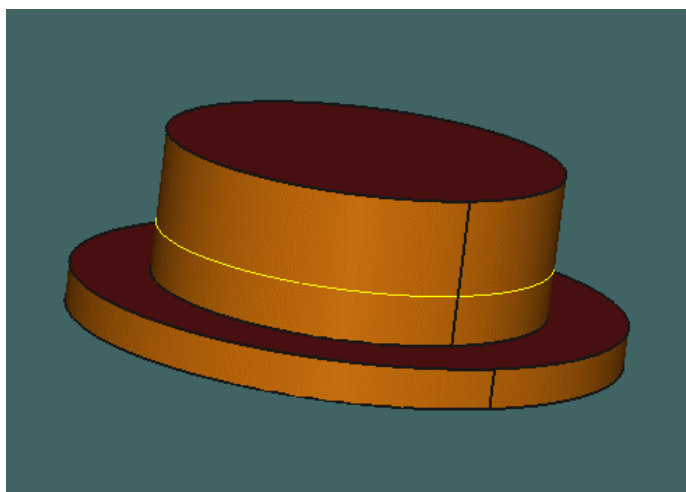
Tabel 4. 7 Validasi Model Kapal Terhadap Data Disetiap Kondisi Dengan Software MOSES

Deskripsi	Unit	Full Load		Error	Status
		Data	Moses		
<i>Deadweight (DWT)</i>	ton	34999	-	-	-
<i>Displacement (Δ)</i>	ton	43703	43357.2	0.79%	OK
<i>Coefficient Block (Cb)</i>	-	0.774	0.789	1.94%	OK
<i>Overall Length (LOA)</i>	m	179.7	179.7	0.00%	OK
<i>Length Between Perpendiculars (LPP)</i>	m	174	174	0.00%	OK
<i>Breadth (B)</i>	m	30.03	30.03	0.00%	OK
<i>Depth (H)</i>	m	12.0696	12.0696	0.00%	OK
<i>Draught (T)</i>	m	10.058	10.058	0.00%	OK
<i>Roll Gyradius</i>	m	12.23	-	-	-
<i>Pitch Gyradius</i>	m	51.251	-	-	-
<i>Yaw Gyradius</i>	m	51.251	-	-	-
Deskripsi	Unit	Ballast		Error	Status
		Data	Moses		
<i>Deadweight (DWT)</i>	ton	34999	-	-	-
<i>Displacement (Δ)</i>	ton	15704	15475.7	1.45%	OK
<i>Coefficient Block (Cb)</i>	-	0.774	0.771	0.39%	OK
<i>Overall Length (LOA)</i>	m	179.7	179.7	0.00%	OK
<i>Length Between Perpendiculars (LPP)</i>	m	174	174	0.00%	OK
<i>Breadth (B)</i>	m	30.03	30.03	0.00%	OK
<i>Depth (H)</i>	m	12.0696	12.0696	0.00%	OK
<i>Draught (T)</i>	m	3.92	3.92	0.00%	OK
<i>Roll Gyradius</i>	m	9.244	-	-	-
<i>Pitch Gyradius</i>	m	49.368	-	-	-
<i>Yaw Gyradius</i>	m	49.368	-	-	-

Dari hasil validasi diatas, dapat dinyatakan jika model kapal yang telah dibuat telah memenuhi kriteria dan dapat digunakan sebagai bahan analisis selanjutnya.

4.2.2 Pemodelan CALM Buoy

Penulis melakukan pemodelan buoy pada dengan menggunakan software MAXSURF dan MOSES. Untuk model dengan software MAXSURF dapat ditunjukkan pada Gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4.7 Model *Buoy* Pada Software MAXSURF

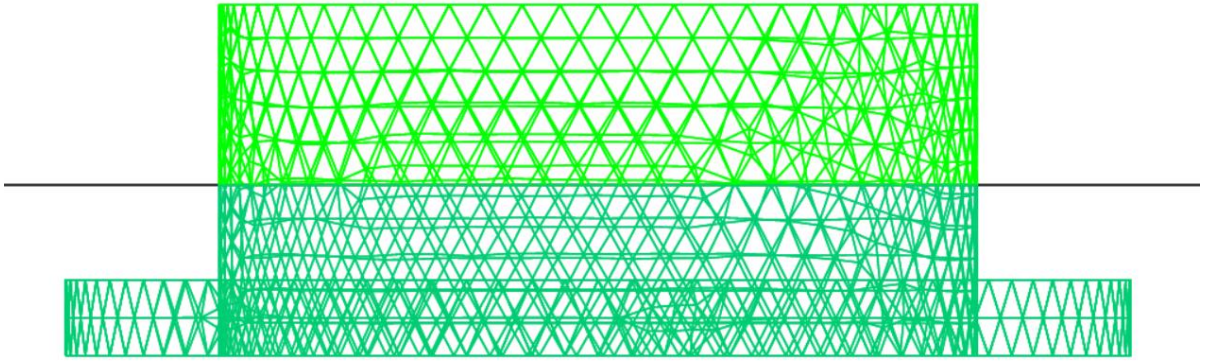
Sedangkan, hasil validasi model *buoy* ditunjukkan pada Tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8 Validasi Model *Buoy* Terhadap Data Dengan Software MAXSURF

Deskripsi	Unit	Data	Maxsurf	Error	Status
<i>Displacement</i> (Δ)	ton	132.89	132.2	0.52%	OK
Diameter <i>buoy</i>	m	8	8	0.00%	OK
Diameter <i>skirt</i>	m	11.24	11.24	0.00%	OK
<i>Height</i>	m	3.7	3.7	0.00%	OK
Draft	m	1.8	1.8	0.00%	OK
COG	m	2.22	-	-	-

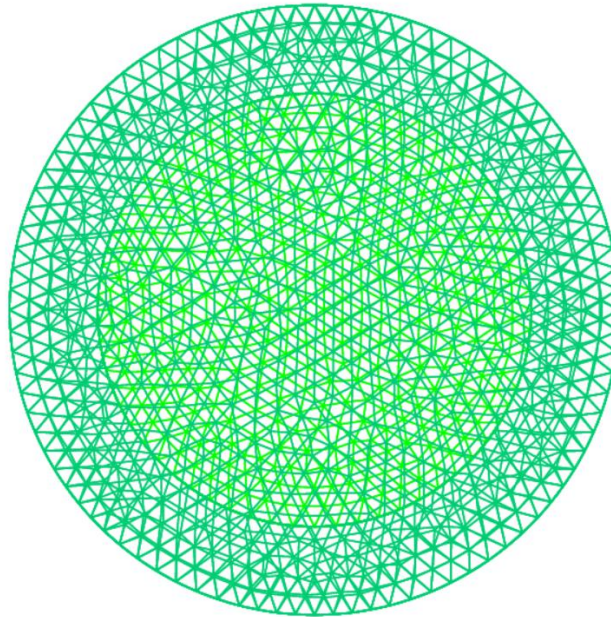
Selanjutnya, penulis melakukan pemodelan *buoy* di MOSES untuk mendapatkan responnya. Model kapal didapat dari model MAXSURF yang diimport ke MOSES. Model *buoy* dengan software MOSES dapat ditunjukkan pada Gambar 4.8 hingga 4.10 dibawah ini.

SBM
Vessel Model (Side View)

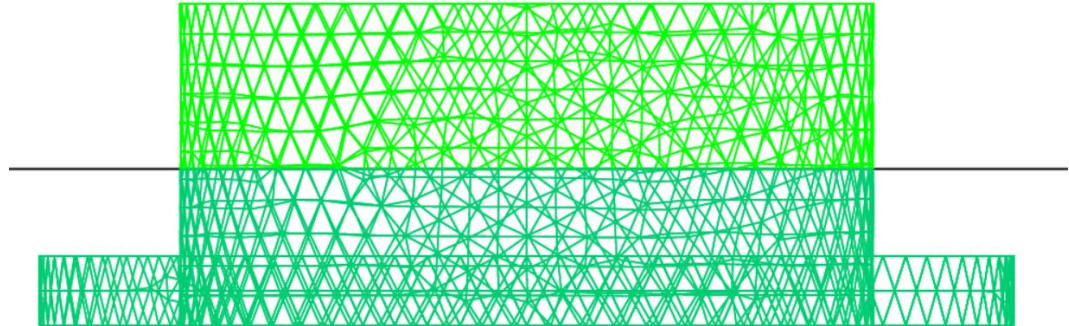


Gambar 4.8 Model *Buoy* Tampak Samping

SBM
Vessel Model (Top View)



Gambar 4.9 Model *Buoy* Tampak Atas



Gambar 4.10 Model *Buoy* Tampak Depan

Sedangkan, hasil validasi model *buoy* terhadap data asli ditunjukkan pada table dibawah ini.

Tabel 4.9 Validasi Model Buoy Terhadap Data Dengan Software MOSES

Deskripsi	Unit	Data	Moses	Error	Status
<i>Displacement</i> (Δ)	ton	132.89	132.41	0.36%	OK
Diameter <i>buoy</i>	m	8	8	0.00%	OK
Diameter <i>skirt</i>	m	11.24	11.24	0.00%	OK
<i>Height</i>	m	3.7	3.7	0.00%	OK
Draft	m	1.8	1.8	0.00%	OK
COG	m	2.22	-	-	-

Dari hasil validasi diatas, dapat dinyatakan jika model buoy yang telah dibuat telah memenuhi kriteria dan dapat digunakan sebagai bahan analisis selanjutnya.

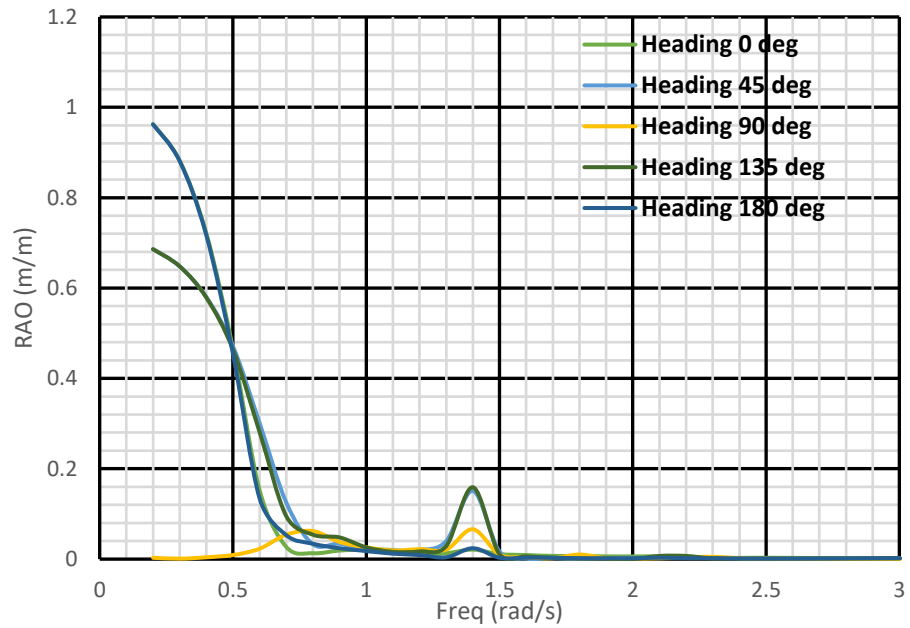
4.3 Analisis Gerakan Struktur

Pada bagian ini, penulis melakukan analisis gerakan kapal 35000 DWT dan buoy untuk mendapatkan respon gerak struktur yang mana digunakan sebagai input perhitungan tegangan *mooring line*. Analisis gerakan struktur dilakukan pada kondisi *free floating* (tanpa ditambat) dengan arah beban lingkungan 0° , 45° , 90° , 135° , 180° terhadap struktur. Dari analisis ini akan didapat grafik RAO (*Response Amplitude Operator*) dari setiap struktur pada gerakan transasional (*surge*, *sway*, *heave*) dan

gerakan rotasional (*roll, pitch, yaw*). Berikut adalah grafik RAO dari setiap model.

4.3.1 Analisis Gerakan Kapal Kondisi *Full Load*

Grafik RAO pada kapal saat kondisi *full load* pada *surge* ditunjukkan pada Gambar 4.11 dibawah ini.



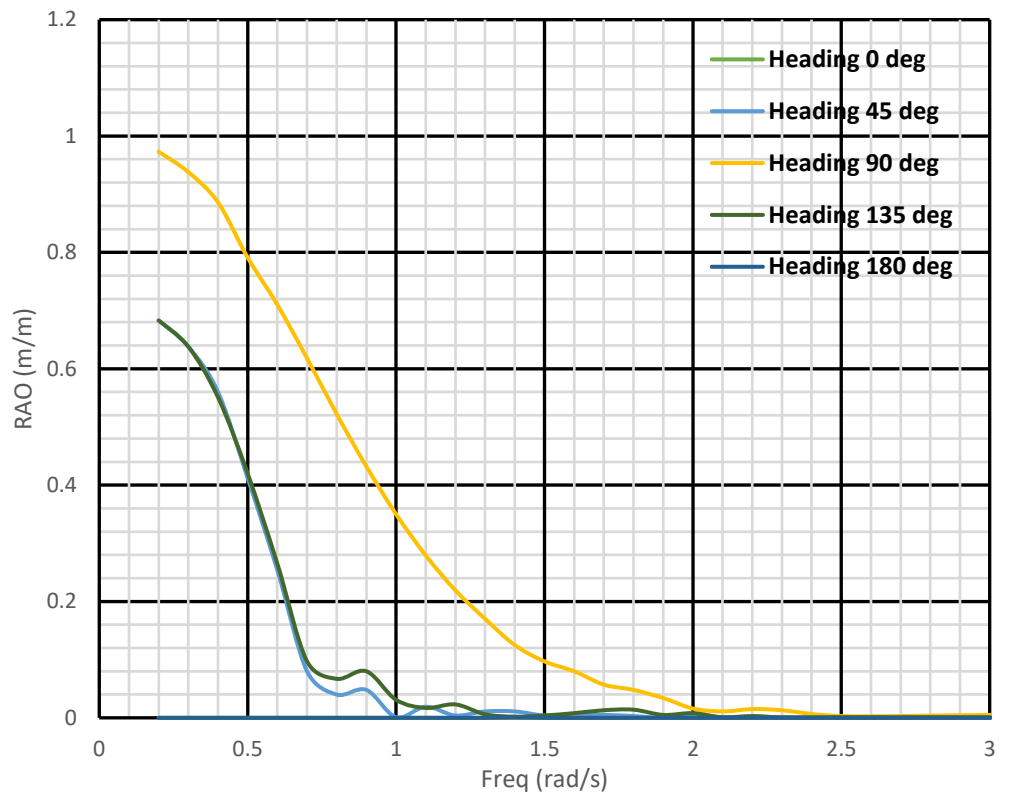
Gambar 4.11 Grafik RAO *Surge* Kondisi *Full Load*

Gambar 4.11 diatas merupakan grafik RAO gerakan *surge* pada kapal dengan kondisi *full load*. Nilai RAO *surge* tertinggi terjadi pada *heading* 0 deg dengan nilai 0.963 m/m pada frekuensi 0.2 rad/s . Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.10 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Surge* Kondisi *Full Load*

Surge	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	0.2	0.2	1.4	0.2	0.2
RAO (m/m)	0.963	0.686	0.066	0.686	0.962

Selanjutnya, untuk grafik RAO pada kapal saat kondisi *full load* pada *sway* ditunjukkan pada Gambar 4.12 dibawah ini.



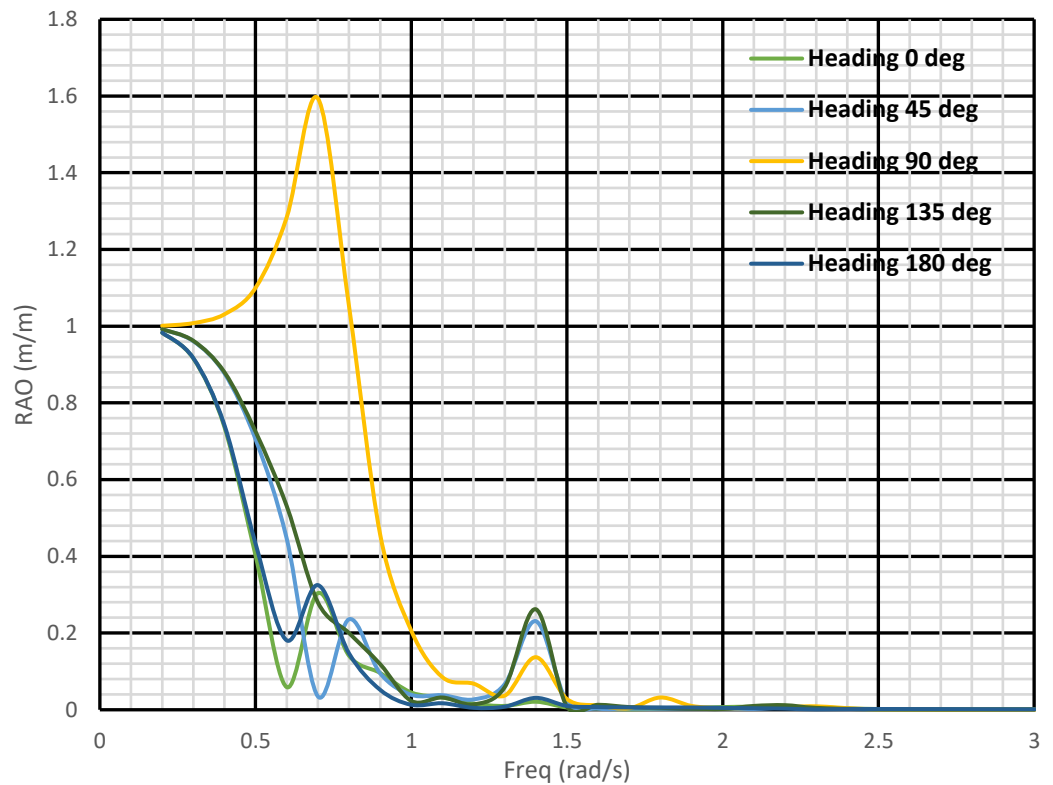
Gambar 4.12 Grafik RAO *Sway* Kondisi *Full Load*

Gambar 4.12 diatas merupakan grafik RAO gerakan *sway* pada kapal dengan kondisi *full load*. Nilai RAO *sway* tertinggi terjadi pada *heading* 90 deg dengan nilai 0.973 m/m pada frekuensi 0.2 rad/s . Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.11 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Sway* Kondisi *Full Load*

Sway	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	1.4	0.2	0.2	0.2	1.4
RAO (m/m)	0.001	0.683	0.973	0.683	0.001

Selanjutnya, untuk grafik RAO pada kapal saat kondisi *full load* pada gerakan *heave* ditunjukkan pada Gambar 4.13 dibawah ini.



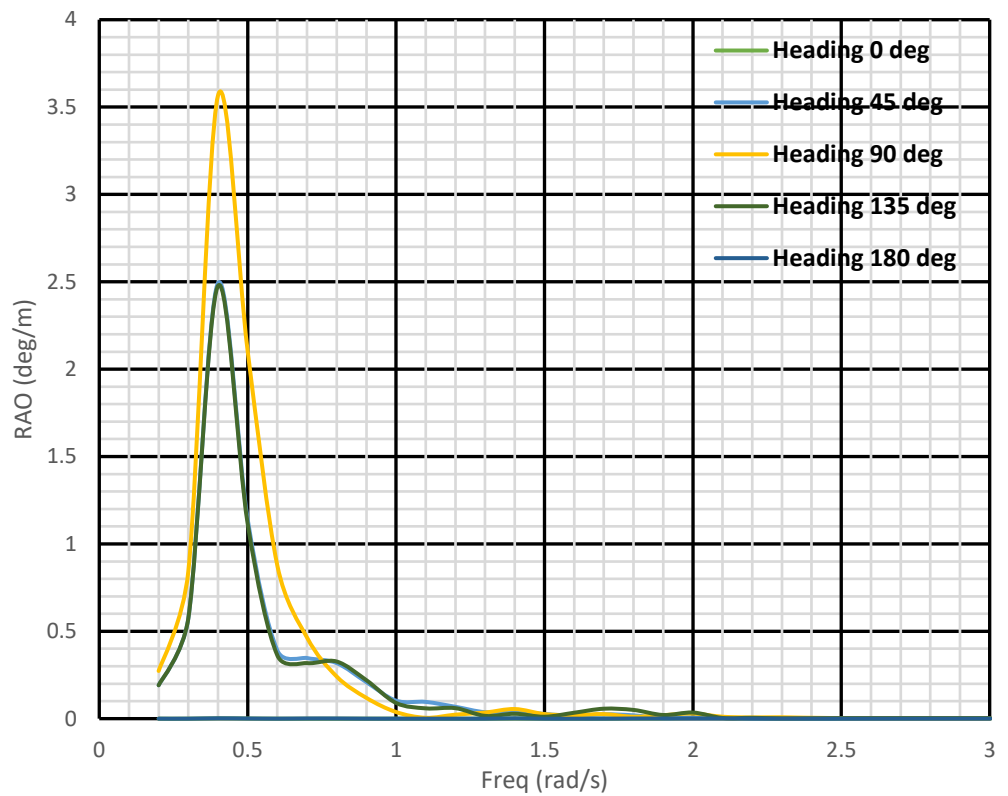
Gambar 4.13 Grafik RAO *Heave* Kondisi *Full Load*

Gambar 4.13 diatas merupakan grafik RAO gerakan *heave* pada kapal dengan kondisi *full load*. Nilai RAO *heave* tertinggi terjadi pada *heading* 90 deg dengan nilai 1.594 m/m pada frekuensi 0.7 rad/s . Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.12 dibawah ini.

Tabel 4.12 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Heave* Kondisi *Full Load*

Heave	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	0.2	0.2	0.7	0.2	1.4
RAO (m/m)	0.983	0.992	1.594	0.992	0.983

Selanjutnya, untuk grafik RAO pada kapal saat kondisi *full load* pada gerakan *roll* ditunjukkan pada Gambar 4.14 dibawah ini.



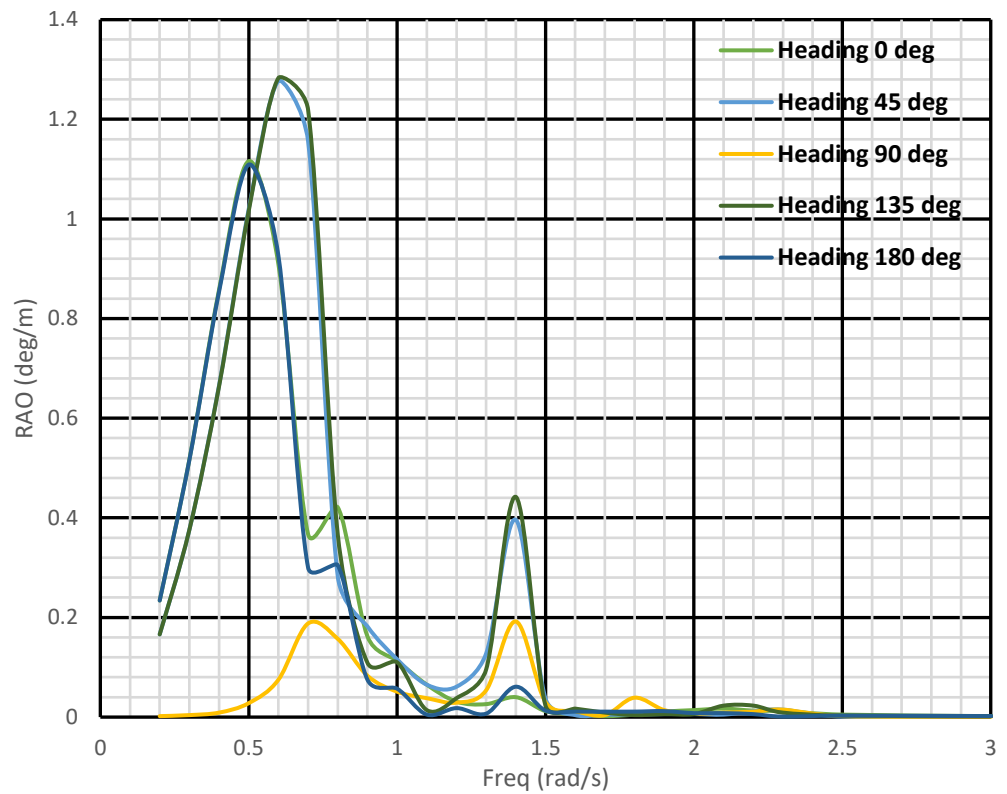
Gambar 4. 14 Grafik RAO *Roll* Kondisi *Full Load*

Gambar 4.14 diatas merupakan grafik RAO gerakan *roll* pada kapal dengan kondisi *full load*. Nilai RAO *roll* tertinggi terjadi pada *heading* 90 deg dengan nilai 3.566 deg/m pada frekuensi 0.4 rad/s. Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.13 dibawah ini.

Tabel 4.13 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Roll* Kondisi *Full Load*

Roll	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	1.99	0.4	0.4	0.4	0.4
RAO (deg/m)	0.003	2.493	3.566	2.477	0.002

Selanjutnya, untuk grafik RAO pada kapal saat kondisi *full load* pada gerakan *pitch* ditunjukkan pada Gambar 4.15 dibawah ini.



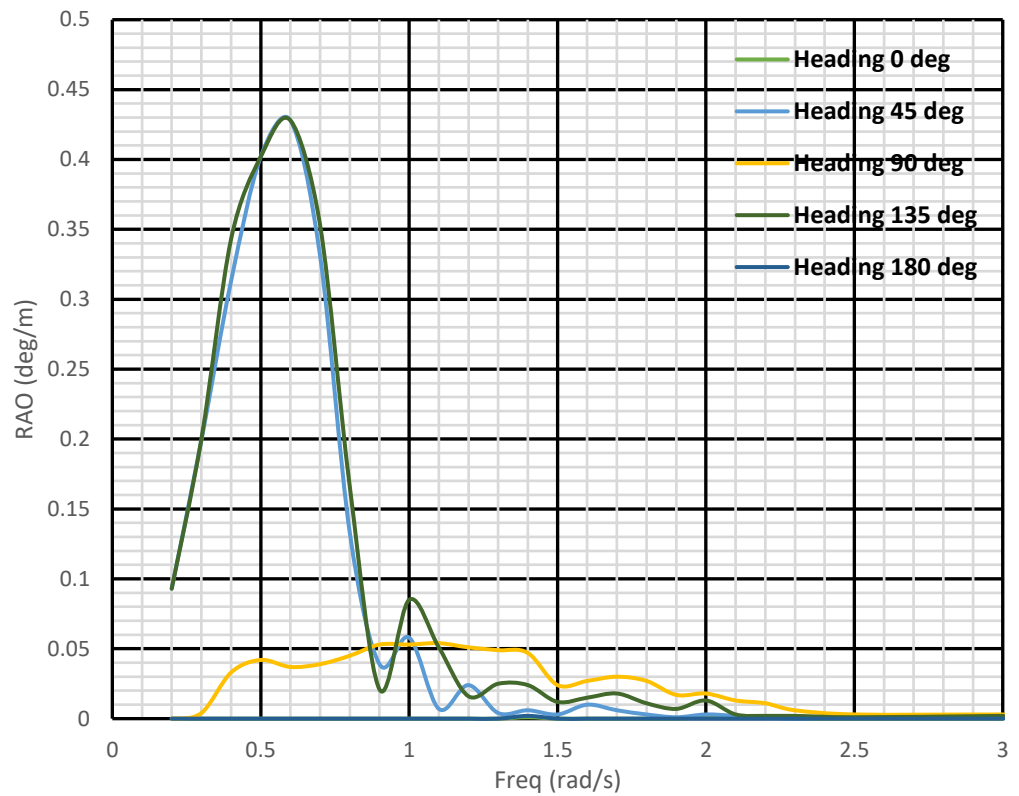
Gambar 4.15 Grafik RAO *Pitch* Kondisi *Full Load*

Gambar 4.15 diatas merupakan grafik RAO gerakan *pitch* pada kapal dengan kondisi *full load*. Nilai RAO *pitch* tertinggi terjadi pada *heading* 135 deg dengan nilai 1.283 deg/m pada frekuensi 0.6 rad/s. Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.14 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Pitch* Kondisi *Full Load*

Pitch	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	0.5	0.6	1.4	0.6	0.5
RAO (deg/m)	1.116	1.277	0.192	1.283	1.109

Selanjutnya, untuk grafik RAO pada kapal saat kondisi *full load* pada gerakan *yaw* ditunjukkan pada Gambar 4.16 dibawah ini.



Gambar 4.16 Grafik RAO *Yaw* Kondisi *Full Load*

Gambar 4.16 diatas merupakan grafik RAO gerakan *yaw* pada kapal dengan kondisi *full load*. Nilai RAO *yaw* tertinggi terjadi pada *heading* 45 dan 135 deg dengan nilai 0.428 deg/m pada frekuensi 0.6 rad/s . Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.15 dibawah ini.

Tabel 4.15 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Yaw* Kondisi *Full Load*

Yaw	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	1.4	0.6	1.1	0.6	1.4
RAO (deg/m)	0.001	0.428	0.054	0.428	0.002

Dari hasil diatas, nilai RAO dari masing-masing gerakan dapat diringkas pada Table 4.16 dibawah ini.

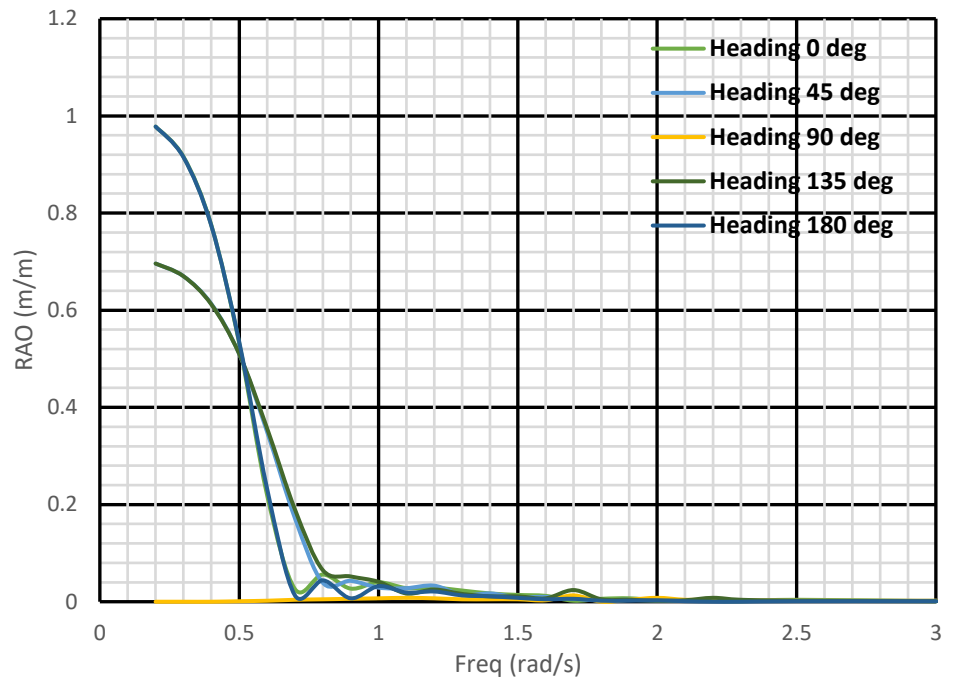
Tabel 4.16 Nilai RAO Maksimum Pada Kapal Kondisi *Full Load* Disetiap Gerakan

DOF	RAO (m/m;deg/m)					
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg	MAX
Surge	0.963	0.686	0.066	0.686	0.962	0.963
Sway	0.001	0.683	0.973	0.683	0.001	0.973
Heave	0.983	0.992	1.594	0.992	0.983	1.594
Roll	0.003	2.493	3.566	2.477	0.002	3.566
Pitch	1.116	1.277	0.192	1.283	1.109	1.283
Yaw	0.001	0.428	0.054	0.428	0.002	0.428

Dari Tabel 4.16 diatas, dapat disimpulkan jika kapal 35000 DWT pada kondisi *full load* mempunyai respon struktur terbesar pada gerakan *roll* dengan nilai 3.566 deg/m. Nilai RAO dari setiap gerakan akan membesar dikarenakan nilai frekuensi gelombang yang terjadi mendekati atau sama dengan frekuensi natural kapal. Dan sebaliknya jika nilai frekuensi gelombang yang terjadi menjauhi frekuensi natural kapal, maka nilai RAO akan menurun. Untuk nilai RAO pada kondisi kapal *full load* disetiap frekuensi dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.3.2 Analisis Gerakan Kapal Kondisi *Ballast*

Grafik RAO pada kapal saat kondisi *ballast* pada gerakan *surge* ditunjukkan pada Gambar 4.17 dibawah ini.



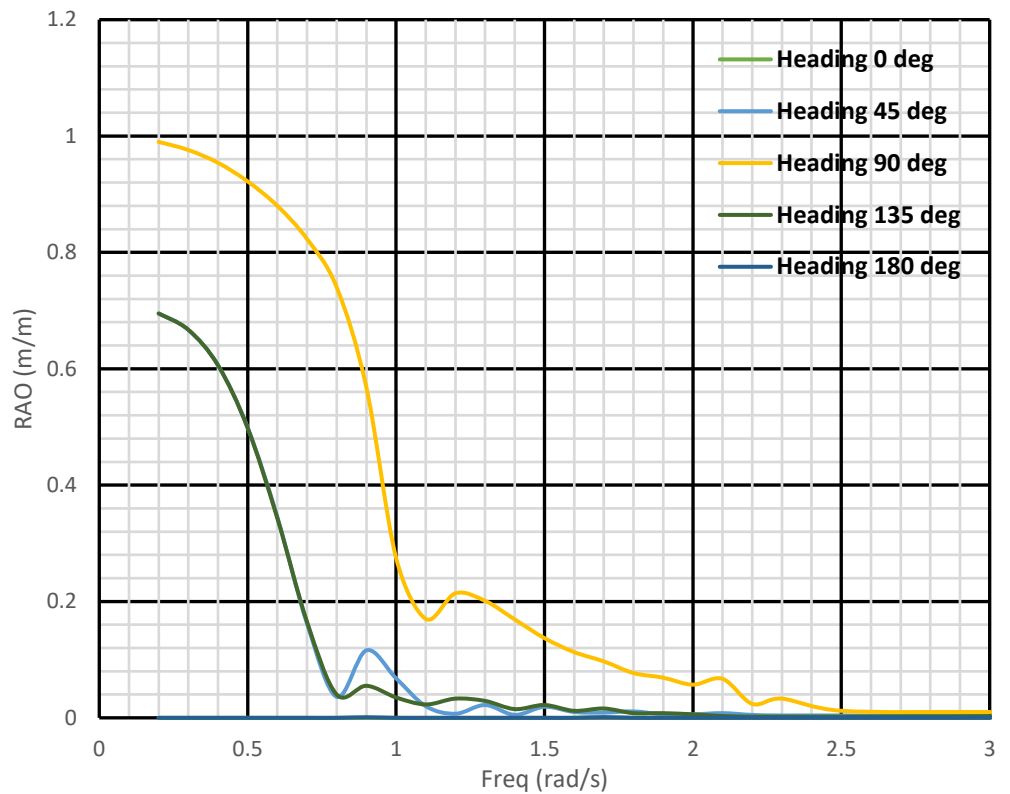
Gambar 4.17 Grafik RAO *Surge* Kondisi *Ballast*

Gambar 4.17 diatas merupakan grafik RAO gerakan *surge* pada kapal dengan kondisi *ballast*. Nilai RAO *surge* tertinggi terjadi pada *heading* 0 deg dan 180 deg dengan nilai 0.978 m/m pada frekuensi 0.2 rad/s . Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.17 dibawah ini.

Tabel 4.17 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Surge* Kondisi *Ballast*

Surge	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	0.2	0.2	1.7	0.2	0.2
RAO (m/m)	0.978	0.696	0.013	0.696	0.978

Selanjutnya, untuk grafik RAO pada kapal saat kondisi *ballast* pada gerakan *sway* ditunjukkan pada Gambar 4.18 dibawah ini.



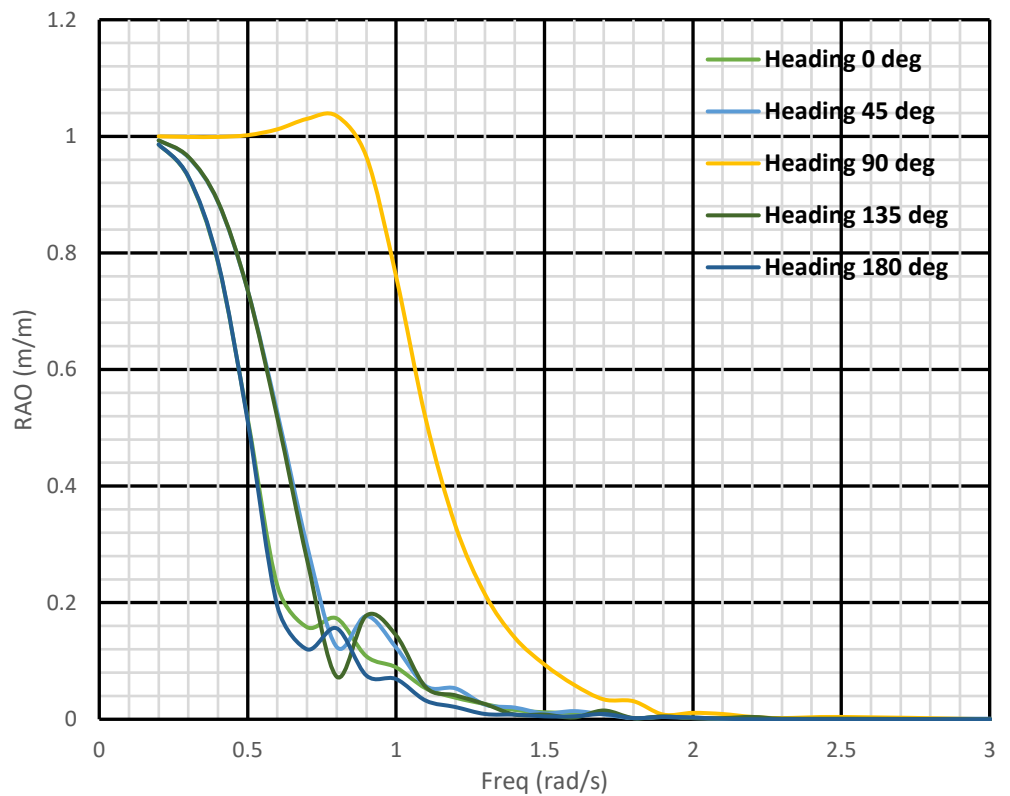
Gambar 4.18 Grafik RAO *Sway* Kondisi *Ballast*

Gambar 4.18 diatas merupakan grafik RAO gerakan *sway* pada kapal dengan kondisi *ballast*. Nilai RAO *sway* tertinggi terjadi pada *heading* 45 deg dengan nilai 0.99 m/m pada frekuensi 0.2 rad/s. Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.18 dibawah ini.

Tabel 4.18 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Sway* Kondisi *Ballast*

Sway	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	1.7	0.2	0.2	0.2	0.9
RAO (m/m)	0.001	0.695	0.99	0.695	0.001

Selanjutnya, untuk grafik RAO pada kapal saat kondisi *ballast* pada gerakan *heave* ditunjukkan pada Gambar 4.19 dibawah ini.



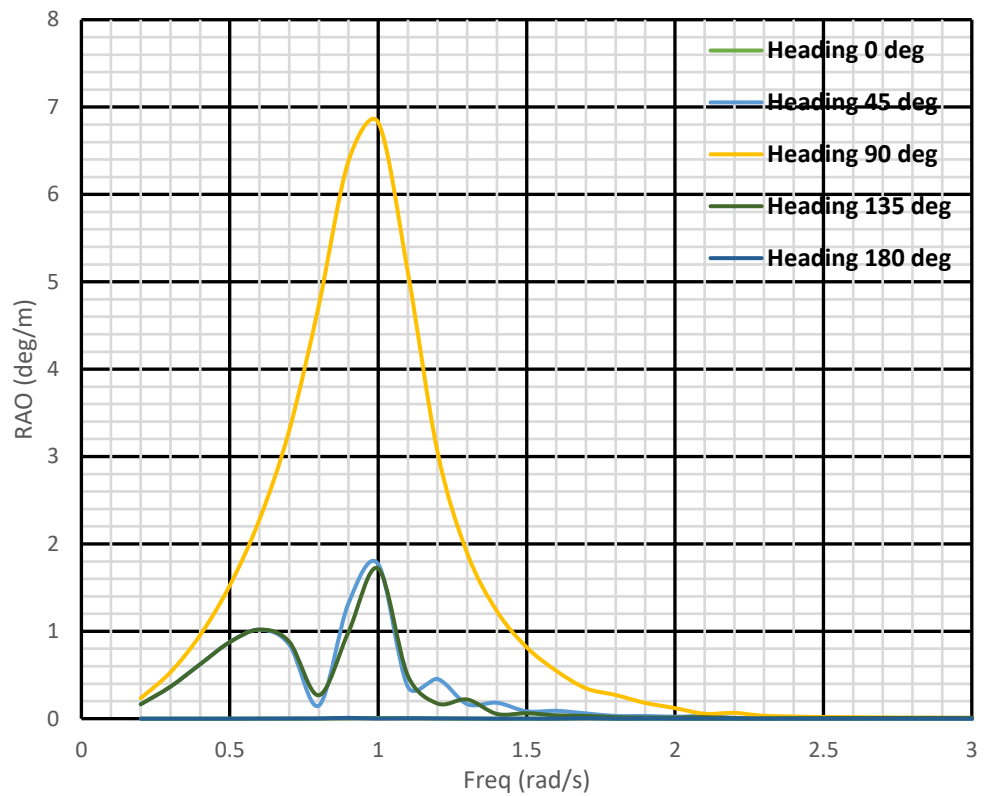
Gambar 4.19 Grafik RAO *Heave* Kondisi *Ballast*

Gambar 4.19 diatas merupakan grafik RAO gerakan *heave* pada kapal dengan kondisi *ballast*. Nilai RAO *heave* tertinggi terjadi pada *heading* 90 deg dengan nilai 1.035 m/m pada frekuensi 0.8 rad/s . Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.19 dibawah ini.

Tabel 4.19 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Heave* Kondisi *Ballast*

Heave	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2
RAO (m/m)	0.986	0.993	1.035	0.993	0.986

Selanjutnya, untuk grafik RAO pada kapal saat kondisi *ballast* pada gerakan *roll* ditunjukkan pada Gambar 4.20 dibawah ini.



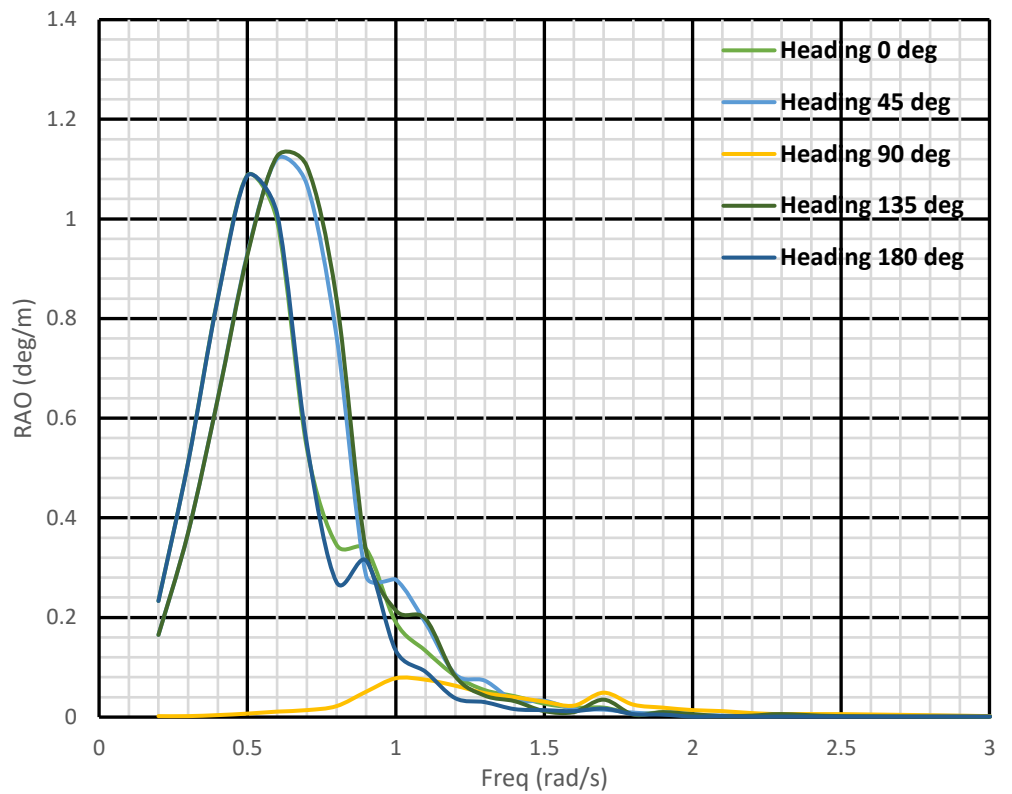
Gambar 4.20 Grafik RAO *Roll* Kondisi *Ballast*

Gambar 4.20 diatas merupakan grafik RAO gerakan *roll* pada kapal dengan kondisi *ballast*. Nilai RAO *roll* tertinggi terjadi pada *heading* 90 deg dengan nilai 6.825 deg/m pada frekuensi 1 rad/s . Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.20 dibawah ini.

Tabel 4.20 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Roll* Kondisi *Ballast*

Roll	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	1	1	1	1	0.9
RAO (deg/m)	0.008	1.769	6.825	1.718	0.009

Selanjutnya, untuk grafik RAO pada kapal saat kondisi *ballast* pada gerakan *pitch* ditunjukkan pada Gambar 4.21 dibawah ini.



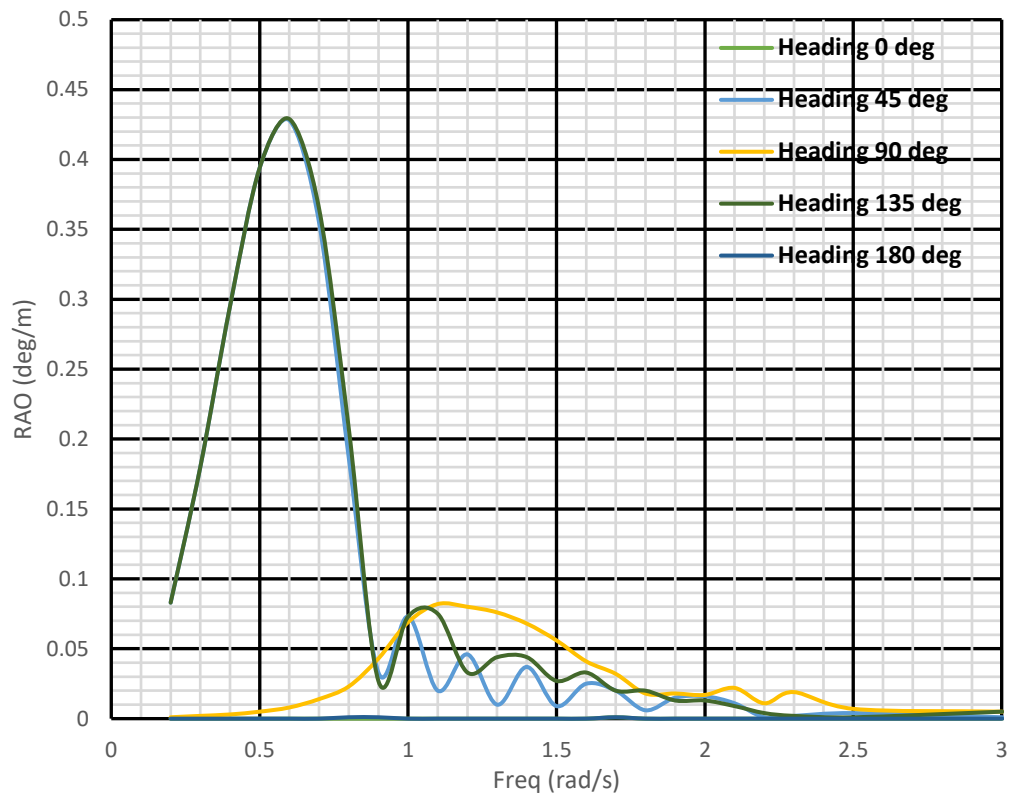
Gambar 4.21 Grafik RAO *Pitch* Kondisi *Ballast*

Gambar 4.21 diatas merupakan grafik RAO gerakan *pitch* pada kapal dengan kondisi *ballast*. Nilai RAO *pitch* tertinggi terjadi pada *heading* 135 deg dengan nilai 1.126 deg/m pada frekuensi 0.6 rad/s. Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.21 dibawah ini.

Tabel 4.21 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Pitch* Kondisi *Ballast*

Pitch	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	0.5	0.6	1	0.6	0.5
RAO (deg/m)	1.088	1.121	0.078	1.126	1.087

Selanjutnya, untuk grafik RAO pada kapal saat kondisi *ballast* pada gerakan *yaw* ditunjukkan pada Gambar 4.22 dibawah ini.



Gambar 4.22 Grafik RAO *Yaw* Kondisi *Ballast*

Gambar 4.22 diatas merupakan grafik RAO gerakan *yaw* pada kapal dengan kondisi *ballast*. Nilai RAO *yaw* tertinggi terjadi pada *heading* 135 deg dengan nilai 0.429 deg/m pada frekuensi 0.6 rad/s. Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.22 dibawah ini.

Tabel 4.22 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Yaw* Kondisi *Ballast*

Yaw	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	1.7	0.6	1.1	0.6	0.8
RAO (deg/m)	0.001	0.428	0.082	0.429	0.001

Dari hasil diatas, nilai RAO dari masing-masing gerakan dapat diringkas pada Table 4.23 dibawah ini.

Tabel 4.23 Nilai RAO Maksimum Pada Kapal Kondisi *Ballast* Disetiap Gerakan

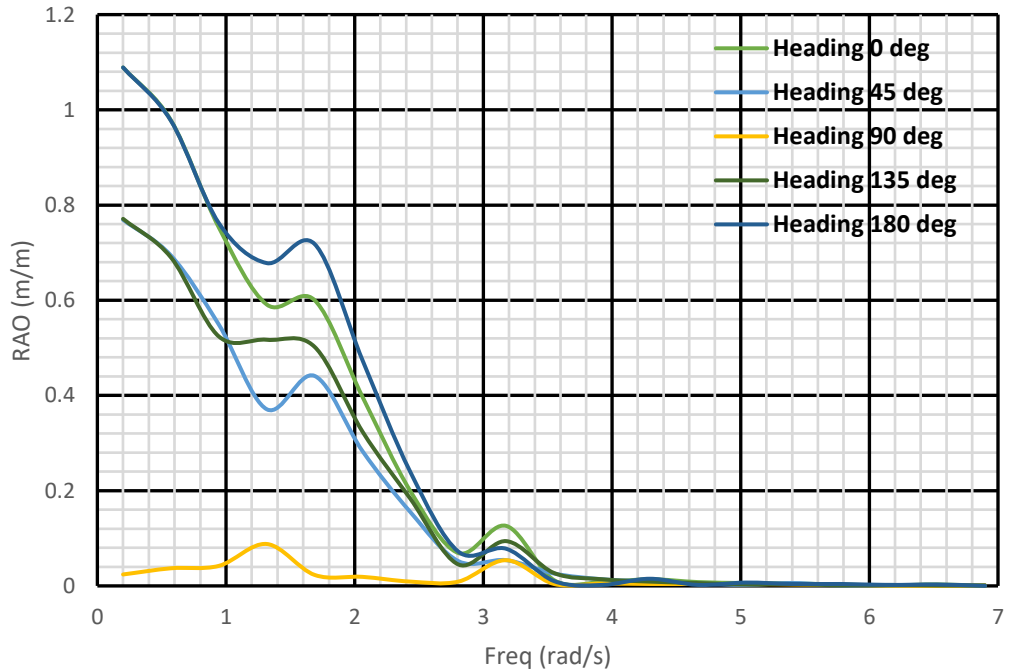
DOF	RAO (m/m;deg/m)					
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg	MAX
Surge	0.978	0.696	0.013	0.696	0.978	0.978

Sway	0.001	0.695	0.99	0.695	0.001	0.99
Heave	0.986	0.993	1.035	0.993	0.986	1.035
Roll	0.008	1.769	6.825	1.718	0.009	6.825
Pitch	1.088	1.121	0.078	1.126	1.087	1.126
Yaw	0.001	0.428	0.082	0.429	0.001	0.429

Dari Tabel 4.23 diatas, dapat disimpulkan jika kapal 35000 DWT pada kondisi *ballast* mempunyai respon struktur terbesar pada gerakan *roll* dengan nilai 6.825 deg/m. Nilai RAO dari setiap gerakan akan membesar dikarenakan nilai frekuensi gelombang yang terjadi mendekati atau sama dengan frekuensi natural kapal. Dan sebaliknya jika nilai frekuensi gelombang yang terjadi menjauhi frekuensi natural kapal, maka nilai RAO akan menurun. Untuk nilai RAO pada kondisi kapal *ballast* disetiap frekuensi dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.3.3 Analisis Gerakan Buoy

Grafik RAO pada *buoy* saat gerakan *surge* ditunjukkan pada Gambar 4.23 dibawah ini.



Gambar 4.23 Grafik RAO *Surge Buoy*

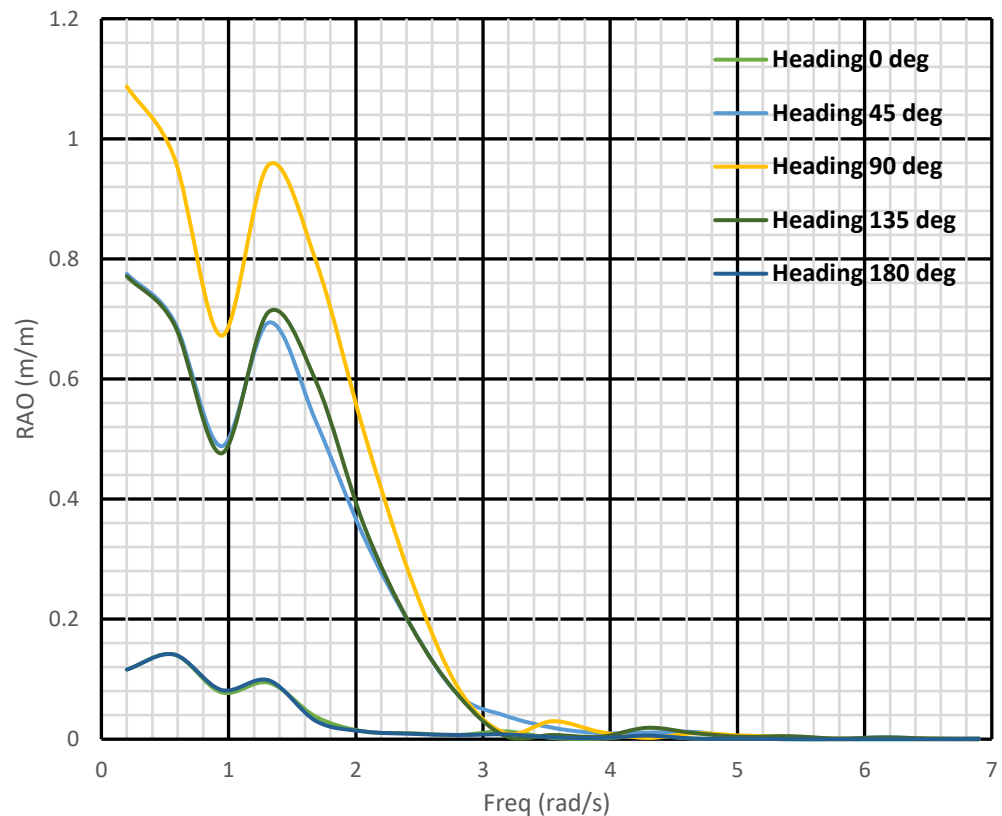
Gambar 4.23 diatas merupakan grafik RAO gerakan *surge* pada *buoy*. Nilai RAO *surge* tertinggi terjadi pada *heading* 0 deg dan

180 deg dengan nilai 1.089 m/m pada frekuensi 0.2 rad/s . Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.24 dibawah ini.

Tabel 4.24 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Surge Buoy*

Surge	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	0.2	0.2	1.317	0.2	0.2
RAO (m/m)	1.089	0.769	0.088	0.771	1.089

Selanjutnya, grafik RAO pada *buoy* saat gerakan *sway* ditunjukkan pada Gambar 4.24 dibawah ini.



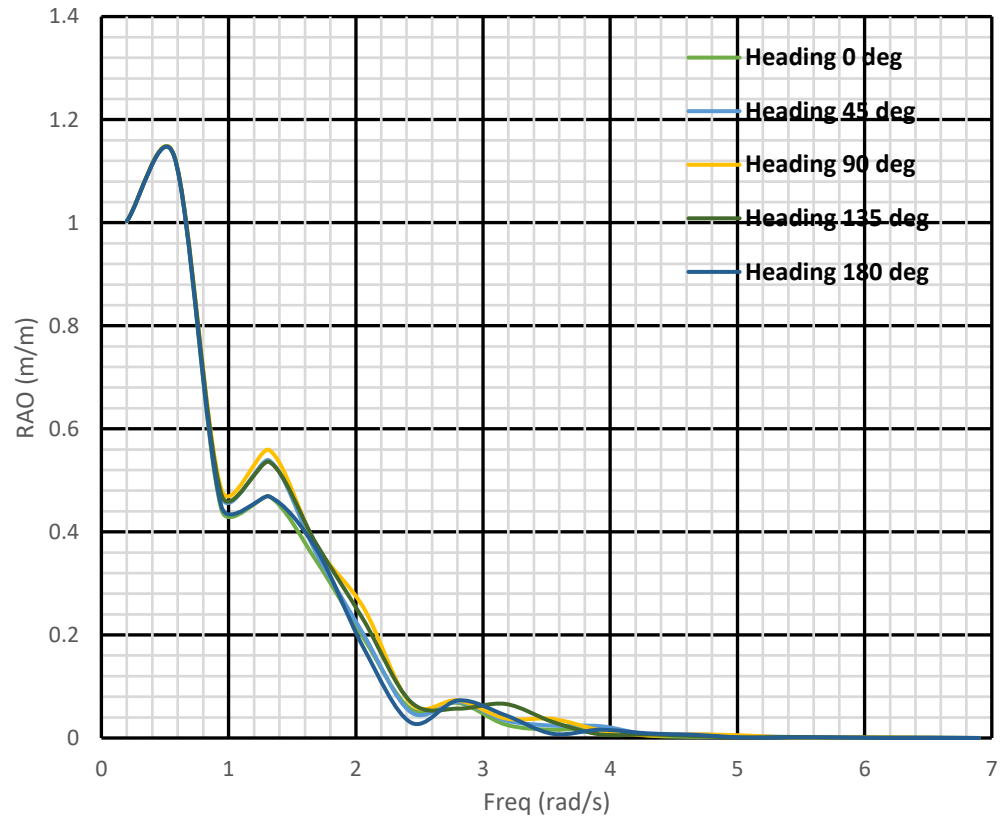
Gambar 4.24 Grafik RAO *Sway Buoy*

Gambar 4.24 diatas merupakan grafik RAO gerakan *sway* pada *buoy*. Nilai RAO *sway* tertinggi terjadi pada *heading* 90 deg dengan nilai 1.087 m/m pada frekuensi 0.2 rad/s . Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.25 dibawah ini.

Tabel 4.25 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Sway Buoy*

Sway	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	0.572	0.2	0.2	0.2	0.572
RAO (m/m)	0.141	0.775	1.087	0.771	0.141

Selanjutnya, grafik RAO pada *buoy* saat gerakan *heave* ditunjukkan pada Gambar 4.25 dibawah ini.



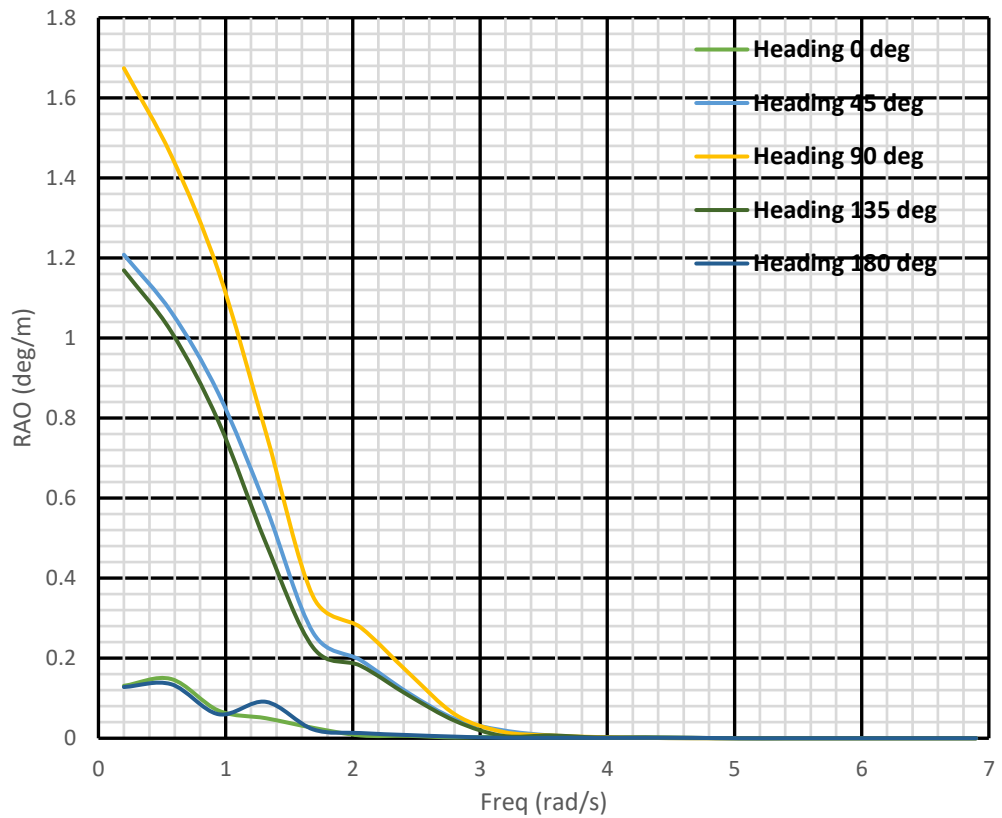
Gambar 4.25 Grafik RAO *Heave Buoy*

Gambar 4.25 diatas merupakan grafik RAO gerakan *heave* pada *buoy*. Nilai RAO *heave* tertinggi terjadi pada *heading* 0 deg dan 90 deg dengan nilai 1.13 m/m pada frekuensi 0.572 rad/s . Untuk nilai maksimum dapat dilihat dari Table 4.26 dibawah ini.

Tabel 4.26 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Heave Buoy*

Heave	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	0.572	0.572	0.572	0.572	0.572
RAO (m/m)	1.13	1.129	1.13	1.129	1.129

Selanjutnya, grafik RAO pada *buoy* saat gerakan *roll* ditunjukkan pada Gambar 4.26 dibawah ini.



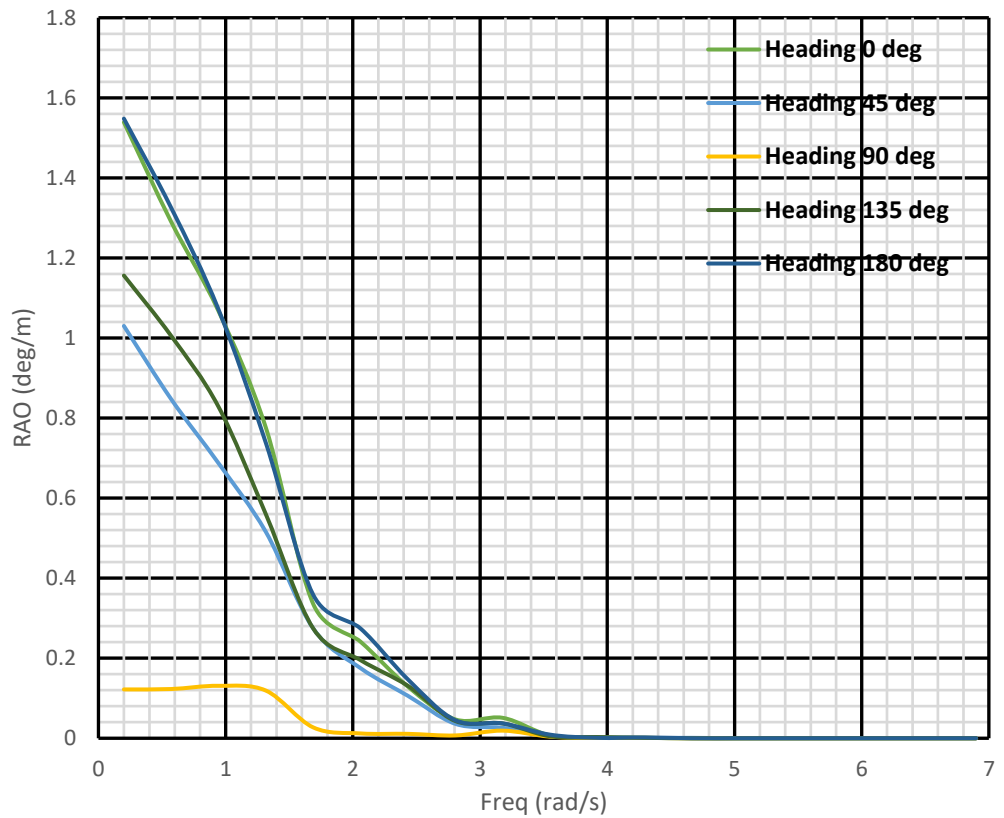
Gambar 4.26 Grafik RAO *Roll Buoy*

Gambar 4.26 diatas merupakan grafik RAO gerakan *roll* pada *buoy*. Nilai RAO *roll* tertinggi pada *heading* 90 deg dengan nilai 1.674 deg/m pada frekuensi 0.2 rad/s . Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.27 dibawah ini.

Tabel 4.27 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Roll Buoy*

Roll	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	0.572	0.2	0.2	0.2	0.572
RAO (deg/m)	0.148	1.208	1.674	1.169	0.135

Selanjutnya, grafik RAO pada *buoy* saat gerakan *pitch* ditunjukkan pada Gambar 4.27 dibawah ini.



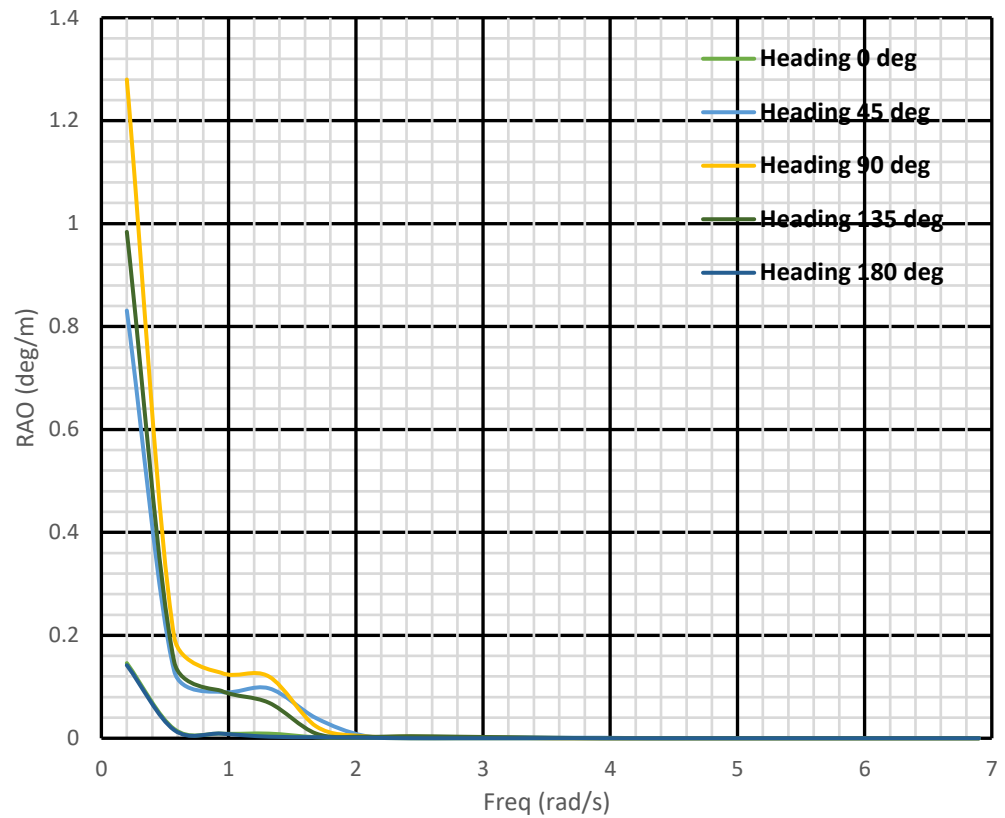
Gambar 4.27 Grafik RAO *Pitch Buoy*

Gambar 4.27 diatas merupakan grafik RAO pada gerakan *pitch* pada *buoy*. Nilai RAO *pitch* tertinggi terjadi pada *heading* 180 deg dengan nilai 1.548 deg/m pada frekuensi 0.2 rad/s . Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.28 dibawah ini.

Tabel 4.28 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Pitch Buoy*

Pitch	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	0.2	0.2	0.944	0.2	0.2
RAO (deg/m)	1.539	1.030	0.131	1.156	1.548

Selanjutnya, grafik RAO pada *buoy* saat gerakan *yaw* ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.28 Grafik RAO *Yaw Buoy*

Gambar 4.28 diatas merupakan grafik RAO gerakan *yaw* pada *buoy*. Nilai RAO *yaw* tertinggi terjadi pada *heading* 90 deg dengan nilai 1.28 deg/m pada frekuensi 0.2 rad/s . Untuk nilai maksimum lainnya dapat dilihat dari Table 4.29 dibawah ini.

Tabel 4.29 Nilai RAO Maksimum Gerakan *Yaw Buoy*

Yaw	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
Freq (rad/s)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
RAO (deg/m)	0.146	0.831	1.28	0.984	0.142

Dari hasil diatas, nilai RAO dari masing-masing gerakan dapat diringkas pada Tabel 4.30 dibawah ini.

Tabel 4.30 Nilai RAO Maksimum Pada *Buoy* Disetiap Gerakan

DOF	RAO (m/m;deg/m)					
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg	MAX
Surge	1.089	0.769	0.088	0.771	1.089	1.089
Sway	0.141	0.775	1.087	0.771	0.141	1.087

Heave	1.13	1.129	1.13	1.129	1.129	1.13
Roll	0.148	1.208	1.674	1.169	0.135	1.674
Pitch	1.539	1.030	0.131	1.156	1.548	1.548
Yaw	0.146	0.831	1.28	0.984	0.142	1.28

Dari Tabel 4.30 diatas, dapat disimpulkan jika buoy mempunyai respon struktur terbesar pada gerakan *roll* dengan nilai 1.674 deg/m. Nilai RAO dari setiap gerakan akan membesar dikarenakan nilai frekuensi gelombang yang terjadi mendekati atau sama dengan frekuensi natural kapal. Dan sebaliknya jika nilai frekuensi gelombang yang terjadi menjauhi frekuensi natural kapal, maka nilai RAO akan menurun. Selain itu, jika terjadi kondisi dimana nilai RAO yang hampir sama pada *heading* yang berbeda, hal itu dapat disebabkan karena profil struktur yang terkena beban gelombang adalah sama atau simetris. Untuk nilai RAO pada *buoy* disetiap frekuensi dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.4 Pemodelan *Mooring System*

Pemodelan *mooring system* perlu dilakukan agar kita dapat mengetahui nilai tegangan yang terjadi pada *mooring line* pada setiap kondisi. Hasil tegangan ini nantinya akan divalidasi untuk mengetahui apakah besar tegangan yang terjadi masih diijinkan oleh *codes*. Jika tegangan yang terjadi masih valid, maka penulis akan mengambil nilai tegangan terbesar dari semua kondisi sebagai input untuk melakukan analisis *finite element* selanjutnya.

Sebelum melakukan pemodelan *mooring system*, kita perlu mengetahui lokasi sebenarnya dimana posisi *buoy* dan jangkar berada. Oleh karena itu, untuk mempermudah penulis melakukan pemodelan titik-titik lokasi *buoy* dan jangkar pada *Google Earth*. Pemodelan dilakukan dengan memasukkan koordinat-koordinat pada Table 4.31 dibawah ini.

Tabel 4.31 Lokasi Buoy dan Jangkar

Objek	UTM WGS.84		Geografis	
	Easting	Northing	Bujur (T)	Lintang (S)
SPM	436 996.76	9 238 580.08	110°25' 47.02"	6°53' 17.43"
PLEM	437 001.6	9 238 559.7	110°25' 47.17"	6°53' 17.94"
Jangkar no.1	436 770.96	9 238 727.84	110°25' 39.56"	6°53' 12.78"

Jangkar no.2	437 160.99	9 238 834.45	110°25' 52.31"	6°53' 09.19"
Jangkar no.3	437 134.74	9 238 441.56	110°25' 51.63"	6°53' 21.93"
Jangkar no.4	436 853.34	9 238 429.82	110°25' 42.34"	6°53' 22.11"

Dengan memasukkan koordinat pada Tabel 4.31 diatas pada *Google Earth*, maka akan didapat gambar seperti Gambar 4.29 dibawah ini.



Gambar 4.29 *Layout Mooring System SPM*
(Sumber: *Google Earth*)

Lalu, penulis mengukur jarak setiap jangkar dari lokasi *buoy*. Perhitungan dilakukan dengan mengasumsikan letak *buoy* sebagai pusatnya ($x = 0, y = 0$). Perhitungan dapat dilihat pada Table 4.32 dibawah ini.

Tabel 4.32 Perhitungan Jarak Jangkar dari *Buoy*

Objek	UTM		Anchor	
	X	Y	x	y
SPM	436996.76	9238580.08	0.00	0.00
1	436770.96	9238727.84	225.80	-147.76
2	437160.99	9238834.45	-164.23	-254.37
3	437134.74	9238441.56	-137.98	138.52
4	436853.34	9238429.82	143.42	150.26

Setelah mendapatkan jarak setiap jangkar terhadap *buoy*, penulis selanjutnya dapat memodelkan *mooring system* tersebut pada *software* ORCAFLEX. Pertama, penulis memodelkan kapal 35000 DWT pada setiap kondisi dan memasukkan data hidrostatisnya, lalu penulis memodelkan *buoy* dan memasukkan data hidrostatisnya. Setelah itu, penulis membuat 4 buah *mooring line* dengan memasukkan koordinat pada table 4.32 dan panjang yang sesuai dengan Gambar 4.2 serta spesifikasinya yang sesuai dengan Tabel 4.4. Pada tugas akhir ini, penulis memodelkan dua kasus yang terjadi pada *mooring system*, yaitu kasus pertama yaitu kondisi *mooring system* dengan adanya kapal yang ditambatkan pada *buoy* dan kasus kedua yaitu kondisi *mooring system* dengan tidak adanya kapal yang ditambatkan pada *buoy* (*standalone*). Serta, penulis juga melakukan enam kondisi pengurangan diameter pada sambungan antar rantai yang terjadi pada setiap kasus nantinya yang dapat dilihat pada Table 4.33 dibawah ini.

Tabel 4.33 Jumlah Kondisi Pengurangan Diameter Pada Sambungan Rantai

Kondisi	Diameter Awal (mm)	Persentase Pengurangan Diameter dari Diameter Awal	Diameter Pada Sambungan Rantai (mm)
Kondisi 1	58	0%	58
Kondisi 2	-	5%	55.1
Kondisi 3	-	10%	52.2
Kondisi 4	-	15%	49.3
Kondisi 5	-	20%	46.4
Kondisi 6	-	25%	43.5

Sehingga, untuk lebih jelasnya, kasus yang akan dianalisis oleh penulis dapat dilihat pada Tabel 4.34 dibawah ini.

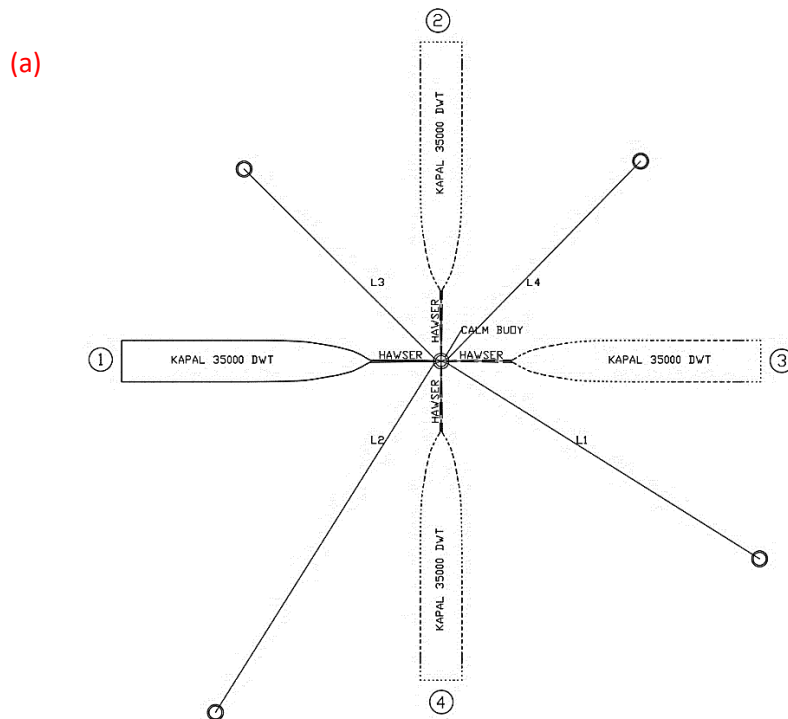
Tabel 4.34 Jumlah Kasus Yang Akan Dianalisis

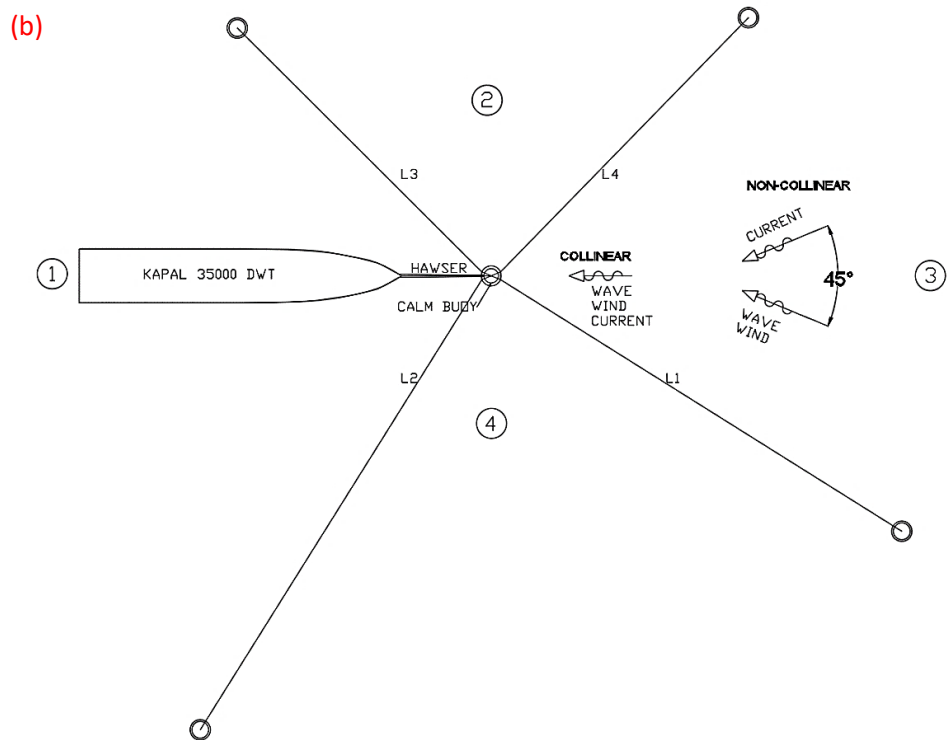
Kondisi Analisis	Struktur	Posisi Struktur	Arah Pembebanan Lingkungan	Pengurangan Diameter
	Kapal (Full Load)	Inline (4 posisi)	Collinear	Kondisi 1
Kondisi 2				
Kondisi 3				
Kondisi 4				
Kondisi 5				
Kondisi 6				

Kasus 1 (Analisis Kondisi DOC)			<i>Non-collinear</i>	Kondisi 1
				Kondisi 2
				Kondisi 3
				Kondisi 4
				Kondisi 5
				Kondisi 6
		<i>Between Line (4 posisi)</i>	<i>Collinear</i>	Kondisi 1
				Kondisi 2
				Kondisi 3
				Kondisi 4
				Kondisi 5
				Kondisi 6
		<i>Non-collinear</i>	Kondisi 1	
			Kondisi 2	
			Kondisi 3	
			Kondisi 4	
			Kondisi 5	
			Kondisi 6	
	Kapal (Ballast)	<i>Inline (4 posisi)</i>	<i>Collinear</i>	Kondisi 1
				Kondisi 2
				Kondisi 3
				Kondisi 4
				Kondisi 5
				Kondisi 6
		<i>Non-collinear</i>	Kondisi 1	
			Kondisi 2	
			Kondisi 3	
			Kondisi 4	
			Kondisi 5	
			Kondisi 6	
	<i>Between Line (4 posisi)</i>	<i>Collinear</i>	Kondisi 1	
			Kondisi 2	
			Kondisi 3	
			Kondisi 4	
			Kondisi 5	
			Kondisi 6	
	<i>Non-collinear</i>	Kondisi 1		
		Kondisi 2		
		Kondisi 3		
		Kondisi 4		
		Kondisi 5		
		Kondisi 6		
Kasus 2 (Analisis Kondisi DEC)	<i>CALM Buoy</i>	-	<i>Collinear</i>	Kondisi 1
				Kondisi 2
				Kondisi 3

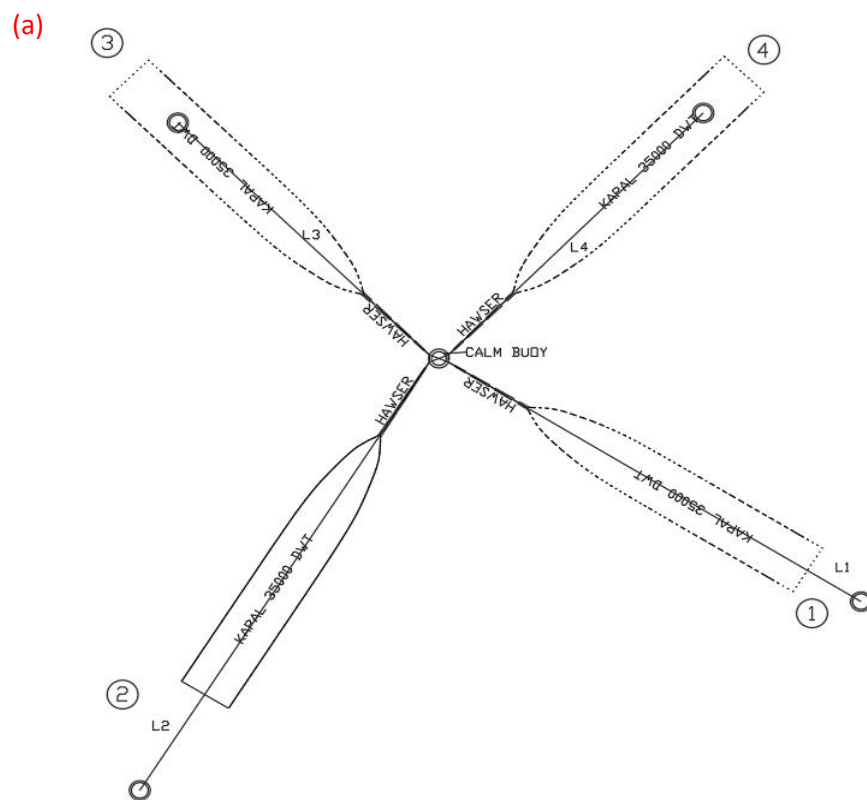
			Non-collinear	Kondisi 4	
				Kondisi 5	
				Kondisi 6	
				Kondisi 1	
				Kondisi 2	
				Kondisi 3	
					Kondisi 4
					Kondisi 5
					Kondisi 6

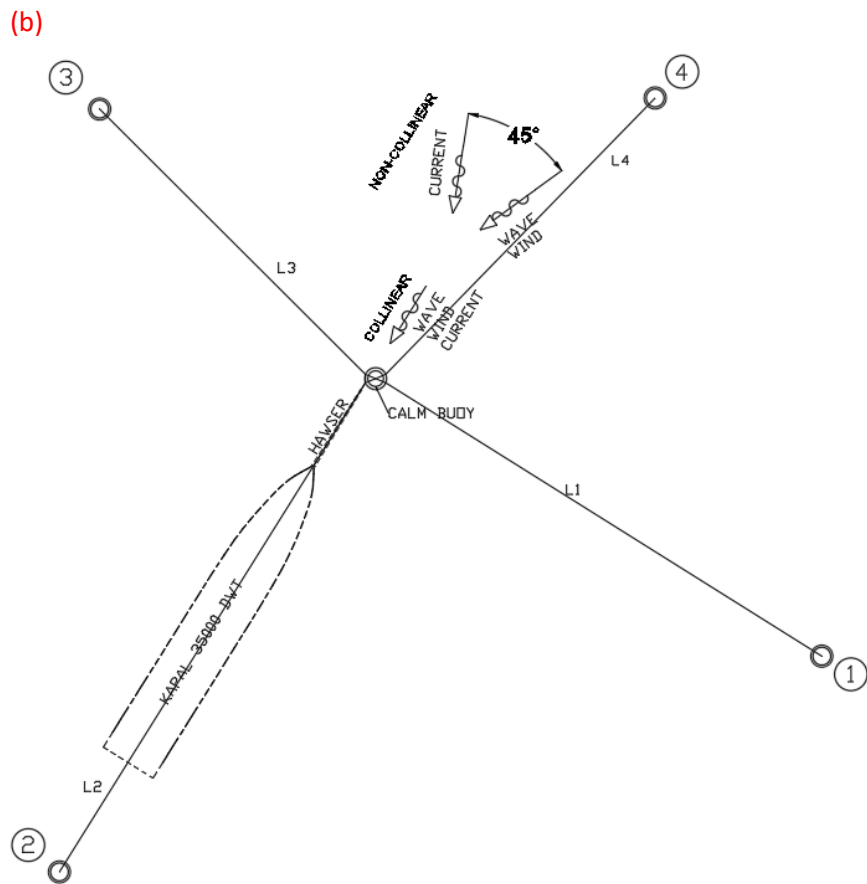
Dari Tabel 4.34 diatas, untuk kasus pertama, penulis menggunakan model kapal pada keadaan *full load* dan *ballast* yang dihubungkan pada *buoy* yang ditambatkan pada *seabed*. Untuk kasus pertama ini nantinya akan digunakan untuk mencari nilai tegangan tali pada kondisi DOC (*Design Operating Condition*). Pada analisis ini akan digunakan kondisi lingkungan dengan periode ulang 10 tahun dengan arah pembebanan *collinear* dan *non-collinear*. Beban lingkungan diasumsikan datang mengenai bagian depan kapal (*head seas*). Serta posisi kapal akan ditempat secara *inline* dan *between line* terhadap *mooring line*. Untuk lebih jelasnya, posisi kapal pada semua kondisi dan arah pembebanannya ditunjukkan pada Gambar 4.30 hingga Gambar 4.31 dibawah ini.





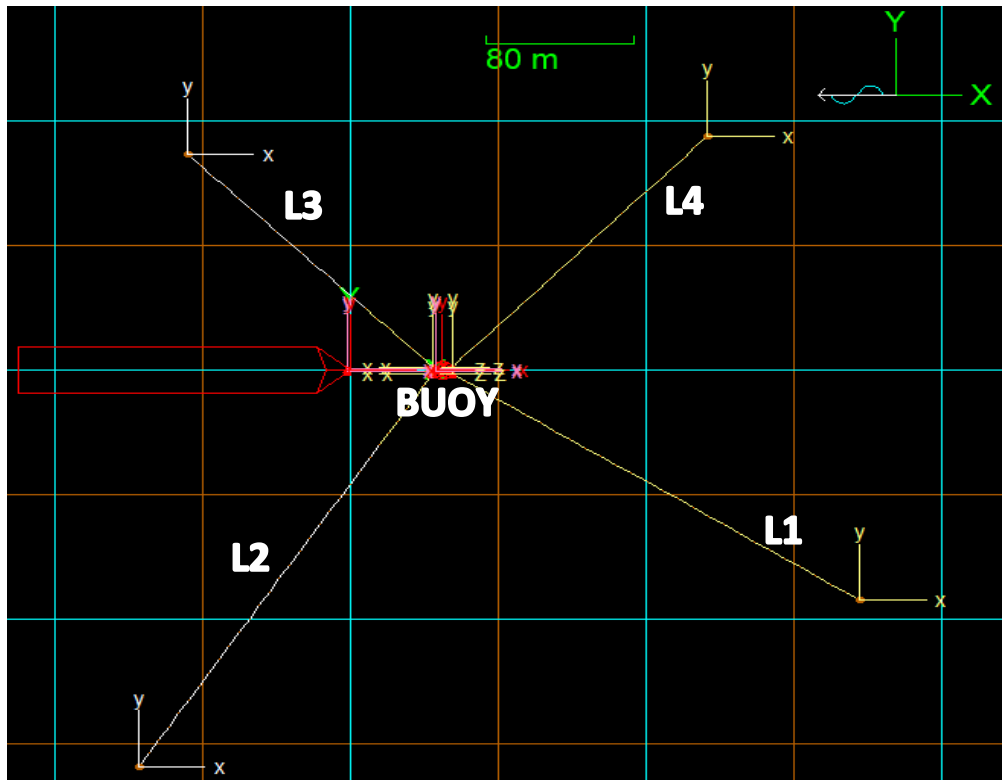
Gambar 4.30 Posisi Kapal Pada Kondisi *Between Line* (a) Serta Variasi Arah Pembebenannya (b)



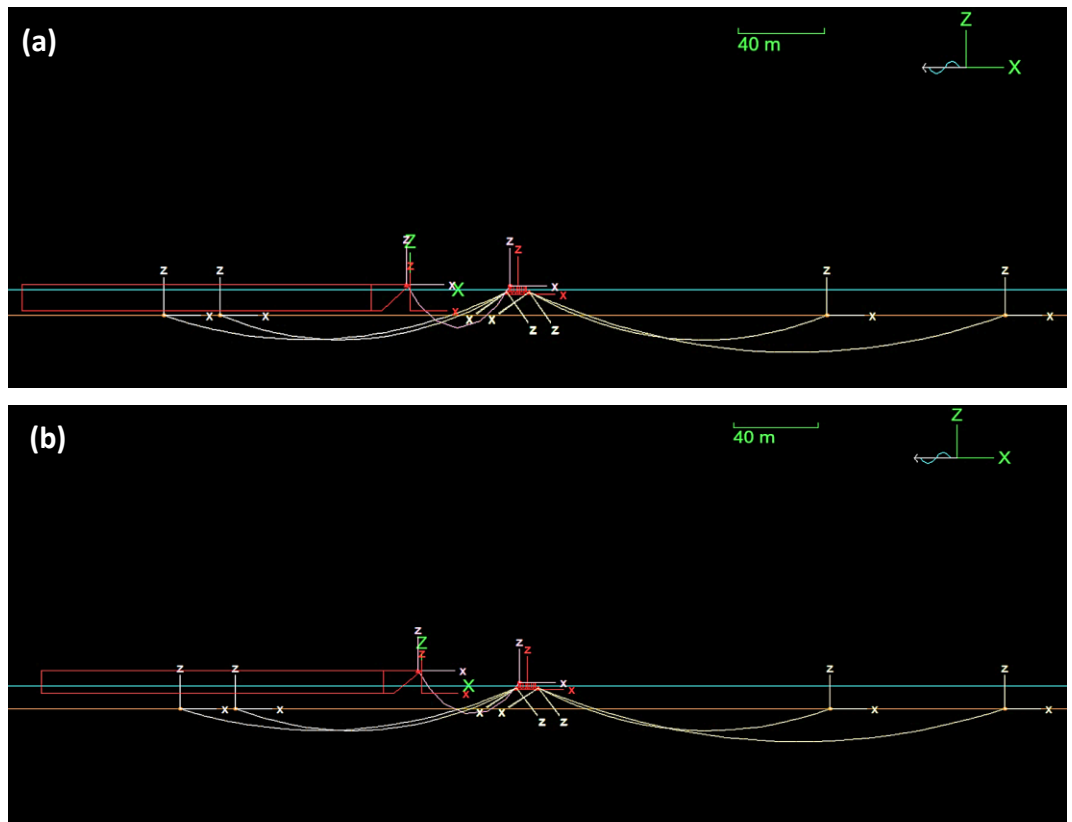


Gambar 4.31 Posisi Kapal Pada Kondisi *Inline* (a) Serta Variasi Arah Pembebenannya (b)

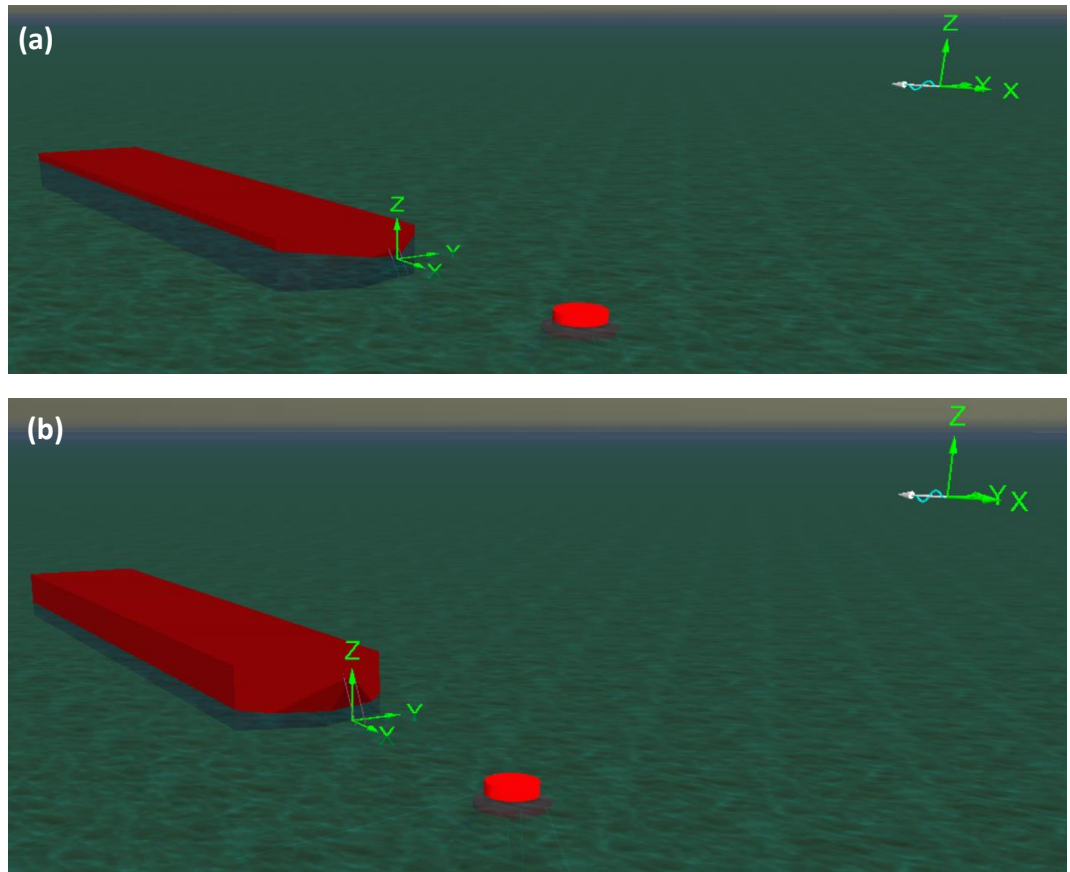
Sebelum melakukan analisis, penulis melakukan pemodelan kondisi awal untuk kasus pertama pada *software* ORCAFLEX. Hasil pemodelan *mooring system* serta kapal pada setiap kondisi dapat dilihat pada Gambar 4.32 hingga Gambar 4.34 dibawah ini.



Gambar 4.32 Tampak Atas Dari Kondisi *Mooring System* Pada Kasus Pertama Disemua Kondisi Kapal

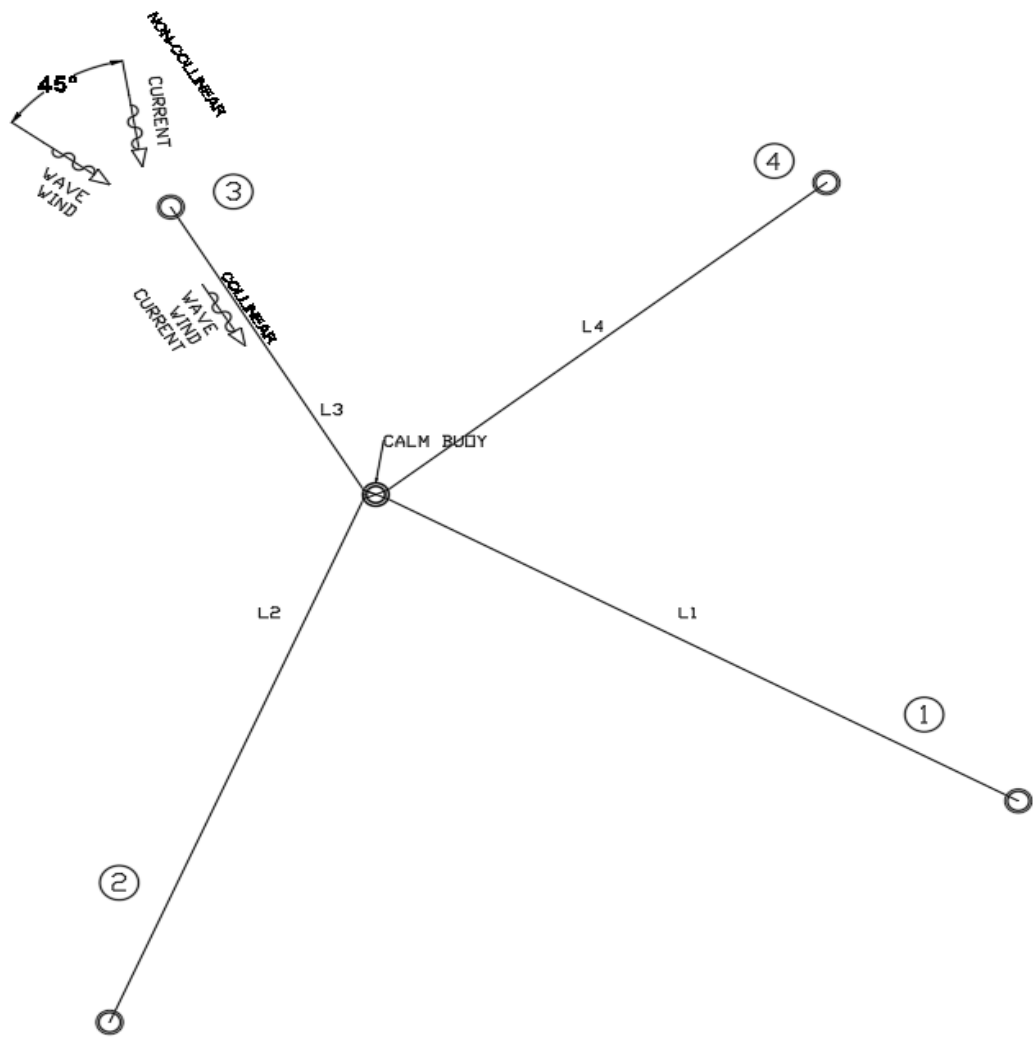


Gambar 4.33 Tampak Samping Dari Kondisi *Mooring System* Pada Kasus Pertama Dengan Keadaan Kapal *Full Load* (a) dan *Ballast* (b)



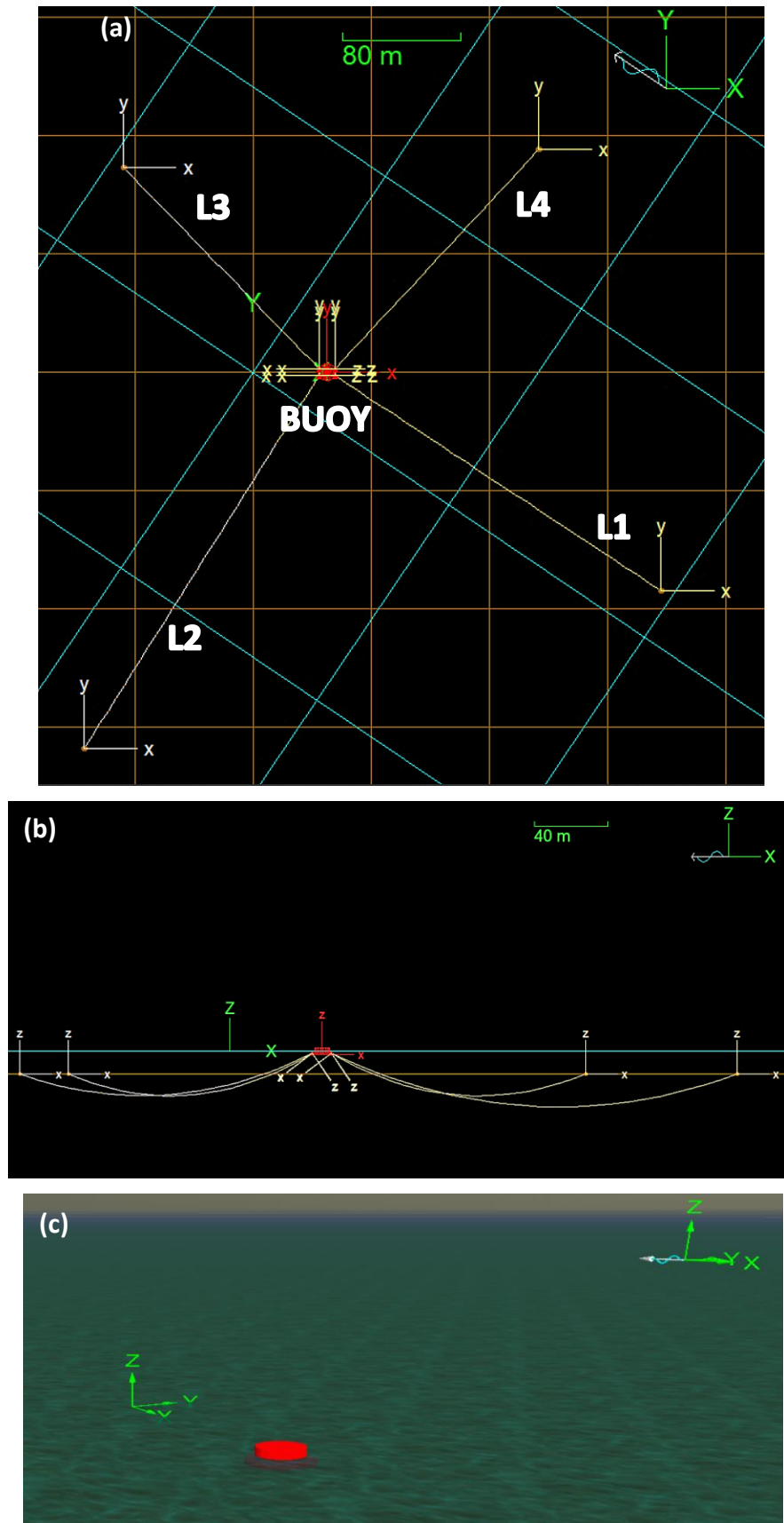
Gambar 4.34 Tampak Isometris Dari Kondisi *Mooring System* Pada Kasus Pertama Dengan Keadaan Kapal *Full Load* (a) dan *Ballast* (b)

Sedangkan untuk kasus kedua (Tabel 4.34), model analisis yang digunakan penulis hanyalah model *buoy* yang ditambatkan pada *seabed* tanpa adanya kapal yang ditambatkan pada *buoy* tersebut (*standalone*). Untuk kasus kedua ini nantinya akan digunakan untuk mencari nilai tegangan tali pada kondisi DEC (*Design Environmental Condition*). Pada analisis ini akan digunakan kondisi lingkungan dengan periode ulang 100 tahun dengan arah pembebanan *collinear* dan *non-collinear*. Arah datang beban lingkungan diasumsikan segaris dengan tali-nya (*inline*). Untuk lebih jelasnya, arah pembebanan lingkungan ditunjukkan pada Gambar 4.35 dibawah ini.



Gambar 4.35 Arah Pembebanan Lingkungan Pada Kondisi *Standalone*

Sebelum melakukan analisis, penulis melakukan pemodelan kondisi awal untuk kasus kedua pada ORCAFLEX. Hasil pemodelan *mooring system* pada kasus kedua ini dapat dilihat pada Gambar 4.36 dibawah ini.



Gambar 4.36 Kondisi *Mooring System* Pada Kasus Kedua, Tampak Atas (a), Tampak Samping (b), Tampak Isometrik (c)

4.5 Perhitungan *Tension Rantai Pada Setiap Mooring System*

Setelah melakukan pemodelan *layout mooring system*, selanjutnya penulis melakukan perhitungan nilai *tension* rantai yang terjadi pada masing-masing kondisi *mooring system* menggunakan *software* ORCAFLEX. Namun, sebelum itu, penulis menghitung nilai MBL dari rantai *mooring* U3 yang mengalami korosi dengan nilai pengurangan diameter sesuai dengan Tabel 4.33 diatas. Perhitungan MBL dilakukan menggunakan Persamaan 2.24 diatas yaitu (DNV OS E301, 2014).

$$S_{mbs-corr} = S_{mbs} \times \left(\frac{D_{corr}}{D_{new}} \right)^2$$

dimana :

$S_{mbs-corr}$: MBL dari rantai yang mengalami degradasi diameter (kN)

S_{mbs} : MBL dari rantai awal (kN)

D_{corr} : Diameter rantai setelah mengalami degradasi diameter (mm)

D_{new} : Diameter rantai awal (mm)

Hasil perhitungan MBL pada setiap kondisi pengurangan diameter ditunjukkan pada Table 4.35 dibawah ini.

Tabel 4.35 Nilai MBL Rantai U3 Dari Setiap Kondisi Degradasi Diameter

Condition (s)	%Degradation	Dnew (mm)	Dcorr (mm)	Smbs (kN)	Smbs-corr (kN)
1	0%	58	58	2600	2600
2	5%	58	55.1	2600	2347
3	10%	58	52.2	2600	2106
4	15%	58	49.3	2600	1879
5	20%	58	46.4	2600	1664
6	25%	58	43.5	2600	1463

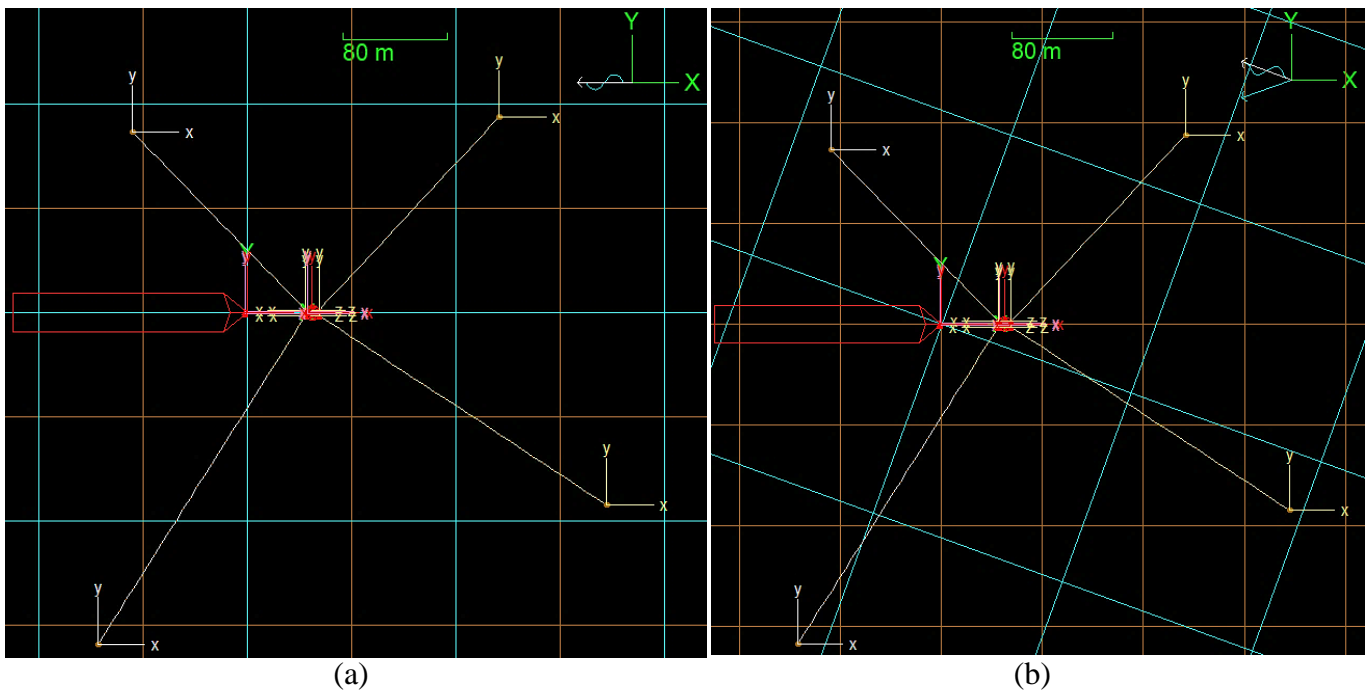
Setelah melakukan perhitungan MBL disetiap kondisi degradasi diameter rantai, selanjutnya penulis melakukan perhitungan besar *tension mooring line* disetiap *mooring system* yang ditunjukkan pada uraian dibawah ini.

4.5.1 Mooring System Dengan Kondisi Lingkungan DOC

4.5.1.1. Mooring System Dengan Posisi Kapal *Between Line*

1) Posisi 1

Posisi kapal (untuk kondisi kapal *full load* dan *ballast*) dalam pemodelan *mooring system* pada ORCAFLEX ini yaitu mengarah pada *heading* 0° dan arah pembebanan lingkungan untuk *collinear* adalah mengarah *heading* 180° dan untuk *non collinear* adalah mengarah *heading* 202.5° (untuk arus) dan *heading* 157.5° (untuk gelombang dan angin). Untuk lebih jelasnya, *layout* posisi 1 ini ditunjukkan pada Gambar 4.37 dibawah ini.



Gambar 4. 37 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (a) dan *Non Collinear* (b) Untuk Kondisi Posisi 1

Setelah dilakukan analisis dinamis pada model diatas, didapat hasil besar *tension* yang terjadi pada setiap *line* dimasing-masing kondisi *mooring system*. Hasil *tension* yang didapat ditunjukkan pada uraian dibawah ini.

a Kondisi Kapal *Full Load*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.36 dibawah ini.

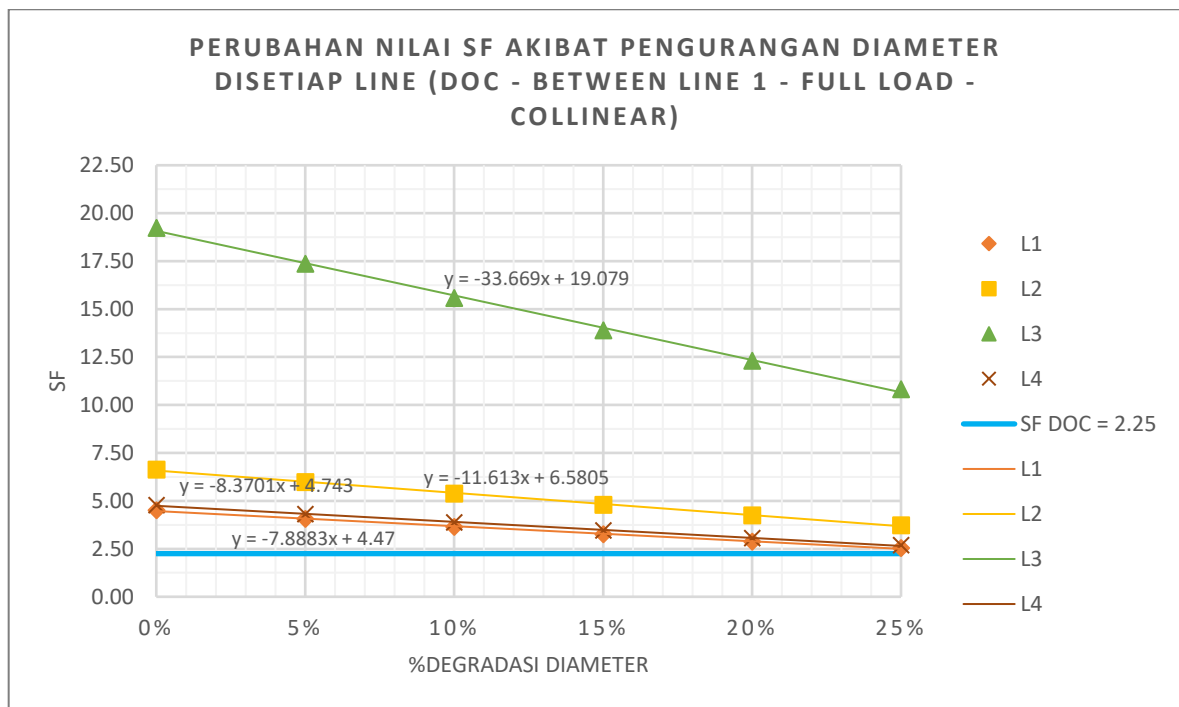
Tabel 4.36 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (*Between Line1-Full Load*)

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	576.806	2600	4.51	OK	L1	576.806	1879	3.26	OK
L2	391.817	2600	6.64	OK	L2	391.817	1879	4.79	OK
L3	135.139	2600	19.24	OK	L3	135.139	1879	13.90	OK
L4	543.604	2600	4.78	OK	L4	543.604	1879	3.46	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	576.806	2347	4.07	OK	L1	576.806	1664	2.88	OK
L2	391.817	2347	5.99	OK	L2	391.817	1664	4.25	OK
L3	135.139	2347	17.36	OK	L3	135.139	1664	12.31	OK
L4	543.604	2347	4.32	OK	L4	543.604	1664	3.06	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	576.806	2106	3.65	OK	L1	576.806	1463	2.54	OK
L2	391.817	2106	5.37	OK	L2	391.817	1463	3.73	OK
L3	135.139	2106	15.58	OK	L3	135.139	1463	10.82	OK
L4	543.604	2106	3.87	OK	L4	543.604	1463	2.69	OK

Dari Table 4.36 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L1 sebesar 576.806 kN dan diikuti oleh L4 sebesar 543.604 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.37 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.38 dibawah ini.

Tabel 4.37 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Between Line 1-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	4.51	6.64	19.24	4.78
5%	4.07	5.99	17.36	4.32
10%	3.65	5.37	15.58	3.87
15%	3.26	4.79	13.90	3.46
20%	2.88	4.25	12.31	3.06
25%	2.54	3.73	10.82	2.69
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.38 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 1-Full Load-Collinear*)

Dari Tabel 4.37 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 1 ini masih memenuhi kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.38 dapat

dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.38 dibawah ini.

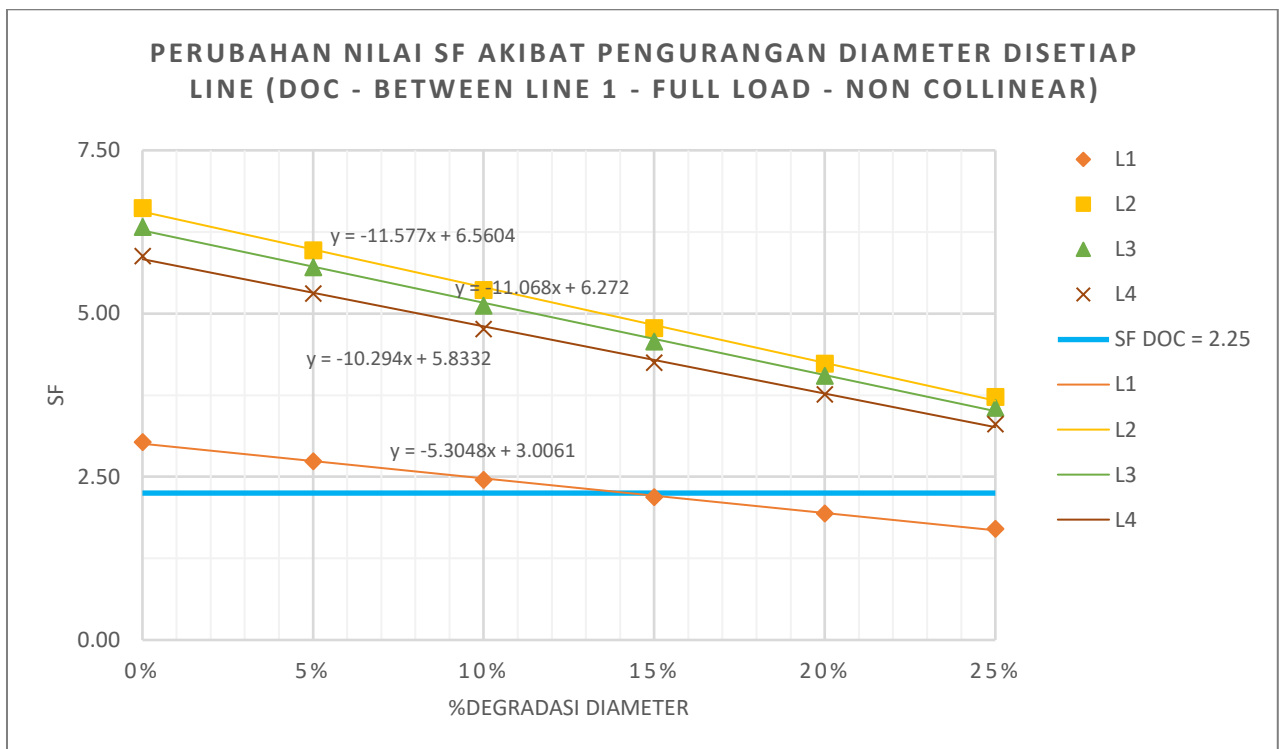
Tabel 4.38 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear* (*Between Line 1-Full Load*)

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	857.707	2600	3.03	OK	L1	857.707	1879	2.19	NO
L2	393.015	2600	6.62	OK	L2	393.015	1879	4.78	OK
L3	411.087	2600	6.32	OK	L3	411.087	1879	4.57	OK
L4	442.008	2600	5.88	OK	L4	442.008	1879	4.25	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	857.707	2347	2.74	OK	L1	857.707	1664	1.94	NO
L2	393.015	2347	5.97	OK	L2	393.015	1664	4.23	OK
L3	411.087	2347	5.71	OK	L3	411.087	1664	4.05	OK
L4	442.008	2347	5.31	OK	L4	442.008	1664	3.76	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	857.707	2106	2.46	OK	L1	857.707	1463	1.71	NO
L2	393.015	2106	5.36	OK	L2	393.015	1463	3.72	OK
L3	411.087	2106	5.12	OK	L3	411.087	1463	3.56	OK
L4	442.008	2106	4.76	OK	L4	442.008	1463	3.31	OK

Dari Table 4.38 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L1 sebesar 857.707 kN lalu diikuti L4 sebesar 442.008 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.39 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.39 dibawah ini.

Tabel 4.39 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Between Line 1-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	3.03	6.62	6.32	5.88
5%	2.74	5.97	5.71	5.31
10%	2.46	5.36	5.12	4.76
15%	2.19	4.78	4.57	4.25
20%	1.94	4.23	4.05	3.76
25%	1.71	3.72	3.56	3.31
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.39 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 1-Full Load-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.39 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L2, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L1 dikondisi degradasi diameter sebesar 15% hingga 25% dibawah 2.25. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear*

dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 1 ini masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan untuk besar degradasi diameter pada L1 tidak boleh mencapai 15% dari diameter awal. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.39 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

b Kondisi Kapal *Ballast*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.40 dibawah ini.

Tabel 4.40 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Between Line 1-Ballast)*

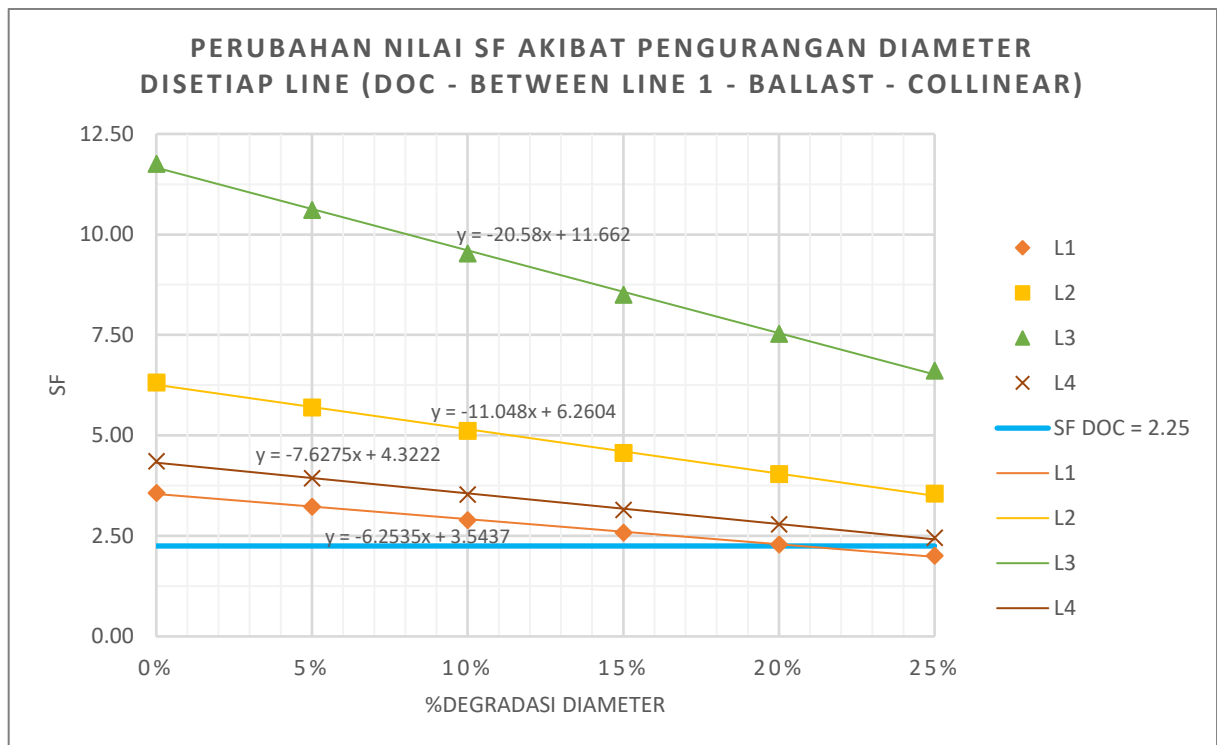
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	727.587	2600	3.57	OK	L1	727.587	1879	2.58	OK
L2	411.846	2600	6.31	OK	L2	411.846	1879	4.56	OK
L3	221.092	2600	11.76	OK	L3	221.092	1879	8.50	OK
L4	596.528	2600	4.36	OK	L4	596.528	1879	3.15	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	727.587	2346.50	3.23	OK	L1	727.587	1664	2.29	OK
L2	411.846	2346.50	5.70	OK	L2	411.846	1664	4.04	OK
L3	221.092	2346.50	10.61	OK	L3	221.092	1664	7.53	OK
L4	596.528	2346.50	3.93	OK	L4	596.528	1664	2.79	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	727.587	2106	2.89	OK	L1	727.587	1463	2.01	NO
L2	411.846	2106	5.11	OK	L2	411.846	1463	3.55	OK
L3	221.092	2106	9.53	OK	L3	221.092	1463	6.61	OK
L4	596.528	2106	3.53	OK	L4	596.528	1463	2.45	OK

Dari Table 4.40 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L1 sebesar 727.587 kN dan diikuti oleh L4 sebesar 596.528 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter

pada arah pembebanan linkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.41 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.40 dibawah ini.

Tabel 4.41 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (*Between Line 1-Ballast*)

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	3.57	6.31	11.76	4.36
5%	3.23	5.70	10.61	3.93
10%	2.89	5.11	9.53	3.53
15%	2.58	4.56	8.50	3.15
20%	2.29	4.04	7.53	2.79
25%	2.01	3.55	6.61	2.45
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.40 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 1-Ballast-Collinear*)

Dari Tabel 4.41 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L2, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter

diatas 2.25, namun nilai SF pada L1 dikondisi degradasi diameter sebesar 25% dibawah 2.25. sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 1 ini masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter pada L1 tidak boleh mencapai 25% dari diameter awal . Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.40 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.42 dibawah ini.

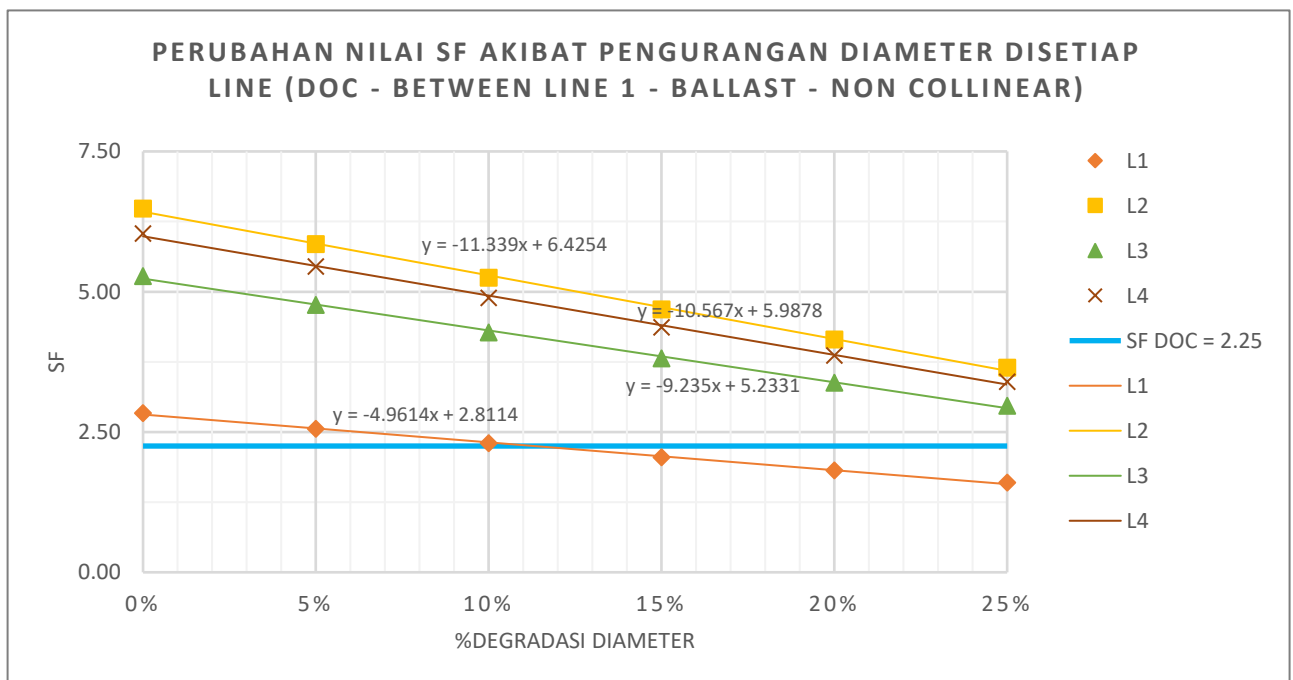
Tabel 4.42 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Between Line 1-Ballast)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	917.085	2600	2.84	OK	L1	917.085	1879	2.05	NO
L2	401.269	2600	6.48	OK	L2	401.269	1879	4.68	OK
L3	492.693	2600	5.28	OK	L3	492.693	1879	3.81	OK
L4	430.601	2600	6.04	OK	L4	430.601	1879	4.36	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	917.085	2347	2.56	OK	L1	917.085	1664	1.81	NO
L2	401.269	2347	5.85	OK	L2	401.269	1664	4.15	OK
L3	492.693	2347	4.76	OK	L3	492.693	1664	3.38	OK
L4	430.601	2347	5.45	OK	L4	430.601	1664	3.86	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	917.085	2106	2.30	OK	L1	917.085	1463	1.59	NO
L2	401.269	2106	5.25	OK	L2	401.269	1463	3.64	OK
L3	492.693	2106	4.27	OK	L3	492.693	1463	2.97	OK
L4	430.601	2106	4.89	OK	L4	430.601	1463	3.40	OK

Dari Table 4.42 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L1 sebesar 917.085 kN lalu diikuti L3 sebesar 492.693kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.43 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.41 dibawah ini.

Tabel 4.43 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear* (*Between Line 1-Ballast*)

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	2.84	6.48	5.28	6.04
5%	2.56	5.85	4.76	5.45
10%	2.30	5.25	4.27	4.89
15%	2.05	4.68	3.81	4.36
20%	1.81	4.15	3.38	3.86
25%	1.59	3.64	2.97	3.40
Keterangan :				
				OK
				NOT OK

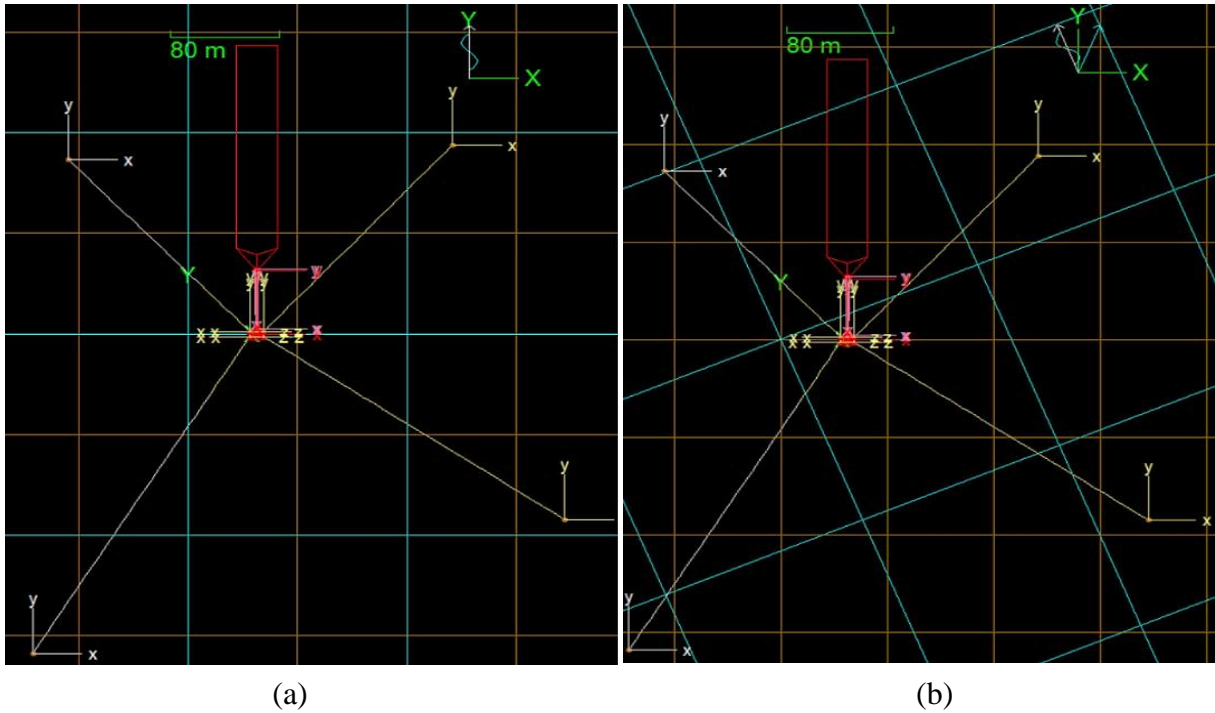


Gambar 4.41 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 1-Ballast-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.43 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L2, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L1 dikondisi degradasi diameter sebesar 15% hingga 25% dibawah 2.25. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 1 ini masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan untuk besar degradasi diameter pada L1 tidak boleh mencapai 15% dari diameter awal. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.41 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

2) Posisi 2

Posisi kapal (untuk kondisi kapal *full load* dan *ballast*) dalam pemodelan *mooring system* pada ORCAFLEX ini yaitu mengarah pada *heading* 270^0 dan arah pembebanan lingkungan untuk *collinear* adalah mengarah *heading* -270^0 dan untuk *non collinear* adalah mengarah *heading* -292.5^0 (untuk arus) dan *heading* -247.5^0 (untuk gelombang dan angin). Untuk lebih dijelasnya, *layout* posisi 2 ini ditunjukkan pada Gambar 4.42 dibawah ini.



Gambar 4.42 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (a) dan *Non Collinear* (b) Untuk Kondisi Posisi 2

Setelah dilakukan analisis dinamis pada model diatas, didapat hasil besar *tension* yang terjadi pada setiap *line* dimasing-masing kondisi *mooring system*. Hasil *tension* yang didapat ditunjukkan pada uraian dibawah ini.

a Kondisi Kapal *Full Load*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.44 dibawah ini.

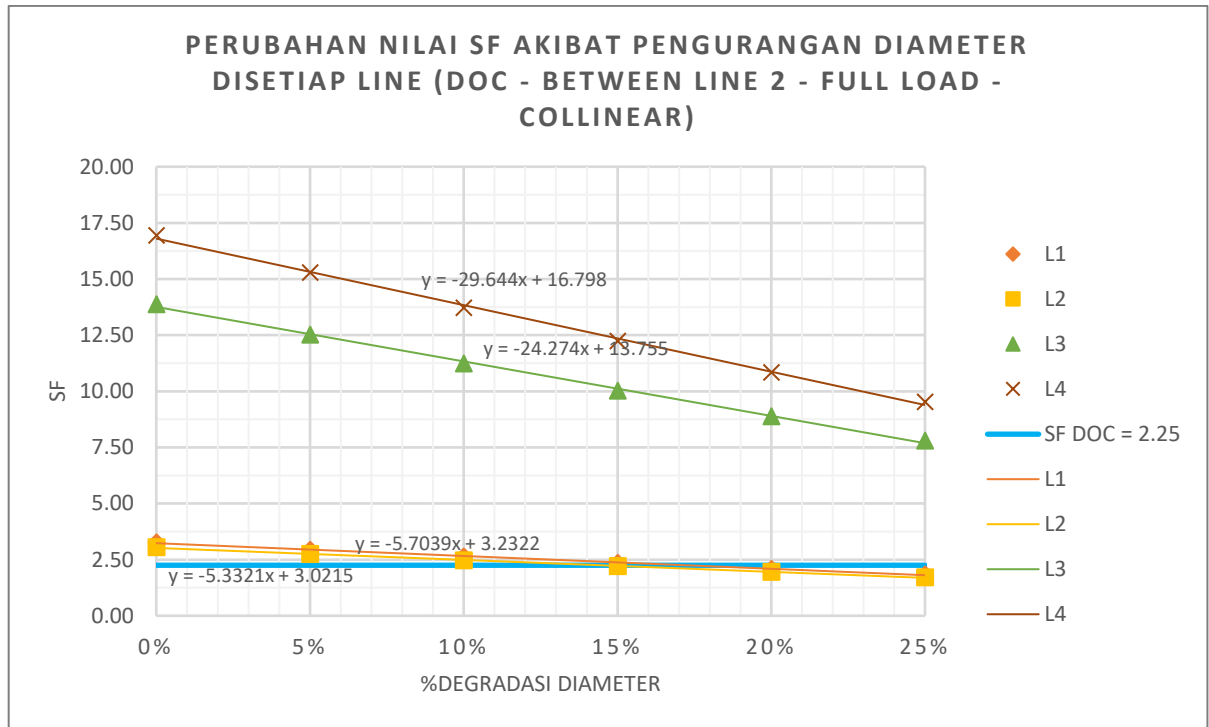
Tabel 4.44 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Between Line 2-Full Load)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	797.702	2600	3.26	OK	L1	797.702	1879	2.35	OK
L2	853.316	2600	3.05	OK	L2	853.316	1879	2.20	NO
L3	187.442	2600	13.87	OK	L3	187.442	1879	10.02	OK
L4	153.489	2600	16.94	OK	L4	153.489	1879	12.24	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	797.702	2347	2.94	OK	L1	797.702	1664	2.09	NO
L2	853.316	2347	2.75	OK	L2	853.316	1664	1.95	NO
L3	187.442	2347	12.52	OK	L3	187.442	1664	8.88	OK
L4	153.489	2347	15.29	OK	L4	153.489	1664	10.84	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	797.702	2106	2.64	OK	L1	797.702	1463	1.83	NO
L2	853.316	2106	2.47	OK	L2	853.316	1463	1.71	NO
L3	187.442	2106	11.24	OK	L3	187.442	1463	7.80	OK
L4	153.489	2106	13.72	OK	L4	153.489	1463	9.53	OK

Dari Table 4.44 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L2 sebesar 853.316 kN dan diikuti oleh L1 sebesar 797.702 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.45 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.43 dibawah ini.

Tabel 4.45 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Between Line 2-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	3.26	3.05	13.87	16.94
5%	2.94	2.75	12.52	15.29
10%	2.64	2.47	11.24	13.72
15%	2.35	2.20	10.02	12.24
20%	2.09	1.95	8.88	10.84
25%	1.83	1.71	7.80	9.53
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	



Gambar 4.43 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 2-Full Load-Collinear*)

Dari Tabel 4.45 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L3 dan L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L1 dikondisi degradasi diameter sebesar 20% hingga 25% dibawah 2.25 serta namun nilai SF pada L2 dikondisi degradasi diameter sebesar 15% hingga 25% dibawah 2.25 juga. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 2 ini masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter pada L1 tidak boleh mencapai 20% dan besar degradasi diameter pada L2 tidak boleh mencapai 15% dari diameter awal. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.43 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.46 dibawah ini.

Tabel 4.46 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear* (*Between Line 2-Full Load*)

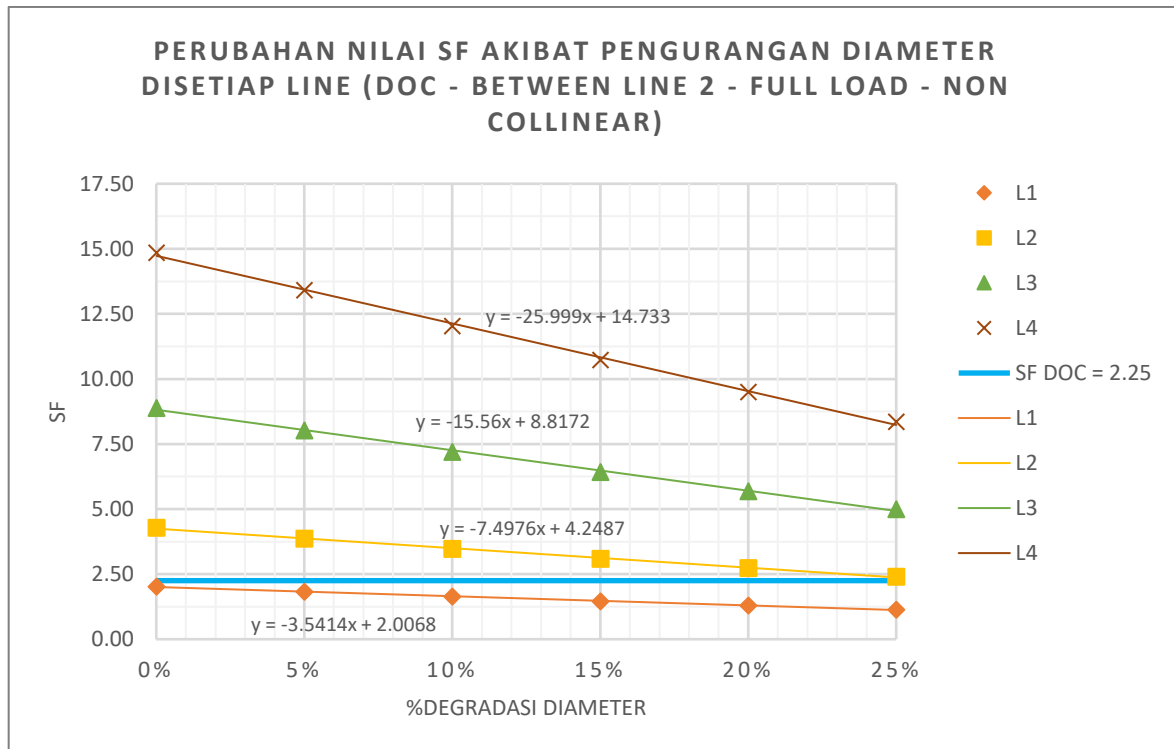
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1284.789	2600	2.02	NO	L1	1284.789	1879	1.46	NO
L2	606.858	2600	4.28	OK	L2	606.858	1879	3.10	OK
L3	292.420	2600	8.89	OK	L3	292.420	1879	6.42	OK
L4	175.006	2600	14.86	OK	L4	175.006	1879	10.73	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1284.789	2347	1.83	NO	L1	1284.789	1664	1.30	NO
L2	606.858	2347	3.87	OK	L2	606.858	1664	2.74	OK
L3	292.420	2347	8.02	OK	L3	292.420	1664	5.69	OK
L4	175.006	2347	13.41	OK	L4	175.006	1664	9.51	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1284.789	2106	1.64	NO	L1	1284.789	1463	1.14	NO
L2	606.858	2106	3.47	OK	L2	606.858	1463	2.41	OK
L3	292.420	2106	7.20	OK	L3	292.420	1463	5.00	OK
L4	175.006	2106	12.03	OK	L4	175.006	1463	8.36	OK

Dari Table 4.46 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L1 sebesar 1284.789 kN lalu diikuti L2 sebesar 606.858 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.47 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.44 dibawah ini.

Tabel 4.47 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear* (*Between Line 2-Full Load*)

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	2.02	4.28	8.89	14.86
5%	1.83	3.87	8.02	13.41
10%	1.64	3.47	7.20	12.03

15%	1.46	3.10	6.42	10.73
20%	1.30	2.74	5.69	9.51
25%	1.14	2.41	5.00	8.36
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	



Gambar 4.44 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 2-Full Load-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.47 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L2, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L1 disetiap kondisi degradasi diameter bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 2 ini tidak memenuhi kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.44 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika

besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

b Kondisi Kapal *Ballast*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.48 dibawah ini.

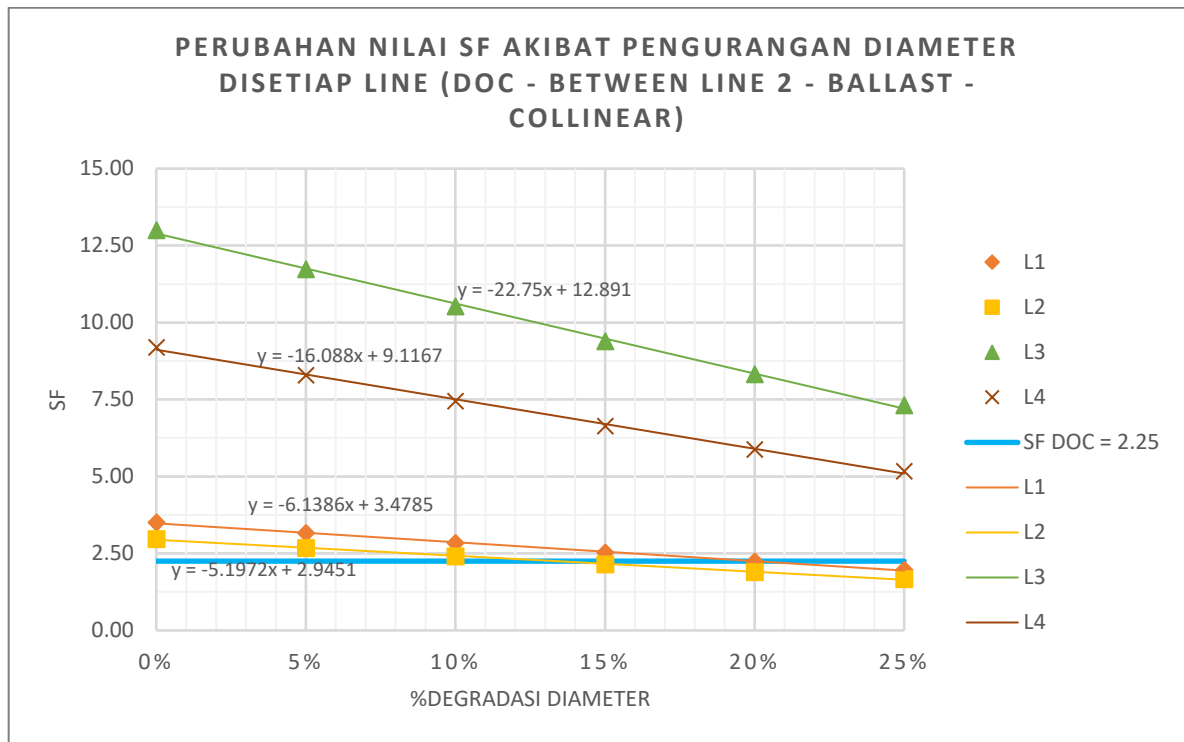
Tabel 4.48 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Between Line 2-Ballast)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	741.216	2600	3.51	OK	L1	741.216	1879	2.53	OK
L2	875.467	2600	2.97	OK	L2	875.467	1879	2.15	NO
L3	200.004	2600	13.00	OK	L3	200.004	1879	9.39	OK
L4	282.814	2600	9.19	OK	L4	282.814	1879	6.64	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	741.216	2347	3.17	OK	L1	741.216	1664	2.24	NO
L2	875.467	2347	2.68	OK	L2	875.467	1664	1.90	NO
L3	200.004	2347	11.73	OK	L3	200.004	1664	8.32	OK
L4	282.814	2347	8.30	OK	L4	282.814	1664	5.88	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	741.216	2106	2.84	OK	L1	741.216	1463	1.97	NO
L2	875.467	2106	2.41	OK	L2	875.467	1463	1.67	NO
L3	200.004	2106	10.53	OK	L3	200.004	1463	7.31	OK
L4	282.814	2106	7.45	OK	L4	282.814	1463	5.17	OK

Dari Table 4.48 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L2 sebesar 875.467 kN dan diikuti oleh L1 sebesar 741.216 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.49 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.45 dibawah ini.

Tabel 4.49 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Between Line 2-Ballast)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	3.51	2.97	13.00	9.19
5%	3.17	2.68	11.73	8.30
10%	2.84	2.41	10.53	7.45
15%	2.53	2.15	9.39	6.64
20%	2.24	1.90	8.32	5.88
25%	1.97	1.67	7.31	5.17
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.45 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 2-Ballast-Collinear*)

Dari Tabel 4.49 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L3 dan L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L1 dikondisi degradasi diameter sebesar 20% hingga 25% dibawah 2.25 serta namun nilai SF pada L2 dikondisi degradasi diameter sebesar 15% hingga 25% dibawah 2.25 juga. Sehingga dapat

dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 2 ini masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter pada L1 tidak boleh mencapai 20% dan besar degradasi diameter pada L2 tidak boleh mencapai 15% dari diameter awal. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.45 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.50 dibawah ini.

Tabel 4.50 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Between Line 2-Ballast)*

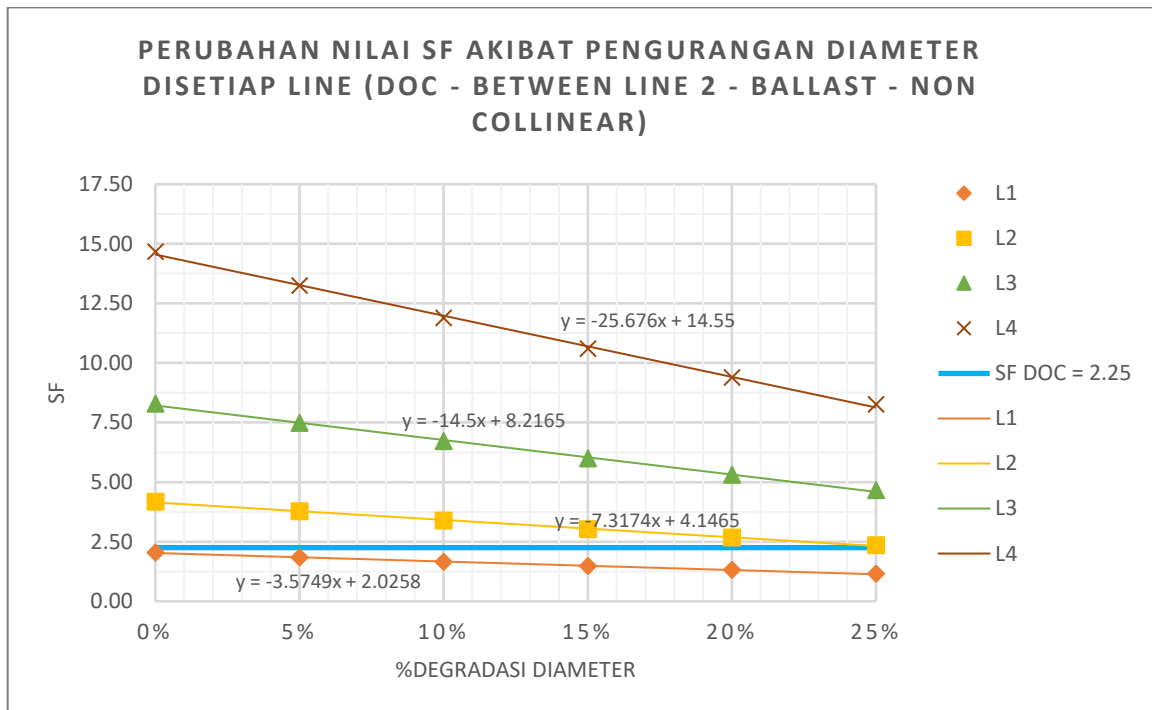
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1272.750	2600	2.04	NO	L1	1272.750	1879	1.48	NO
L2	621.809	2600	4.18	OK	L2	621.809	1879	3.02	OK
L3	313.799	2600	8.29	OK	L3	313.799	1879	5.99	OK
L4	177.207	2600	14.67	OK	L4	177.207	1879	10.60	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1272.750	2347	1.84	NO	L1	1272.750	1664	1.31	NO
L2	621.809	2347	3.77	OK	L2	621.809	1664	2.68	OK
L3	313.799	2347	7.48	OK	L3	313.799	1664	5.30	OK
L4	177.207	2347	13.24	OK	L4	177.207	1664	9.39	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1272.750	2106	1.65	NO	L1	1272.750	1463	1.15	NO
L2	621.809	2106	3.39	OK	L2	621.809	1463	2.35	OK
L3	313.799	2106	6.71	OK	L3	313.799	1463	4.66	OK
L4	177.207	2106	11.88	OK	L4	177.207	1463	8.25	OK

Dari Table 4.50 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L1 sebesar 1272.750 kN lalu diikuti L2 sebesar 621.809

kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.51 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.46 dibawah ini.

Tabel 4.51 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Between Line 2-Ballast)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	2.04	4.18	8.29	14.67
5%	1.84	3.77	7.48	13.24
10%	1.65	3.39	6.71	11.88
15%	1.48	3.02	5.99	10.60
20%	1.31	2.68	5.30	9.39
25%	1.15	2.35	4.66	8.25
Keterangan :				
				OK
				NOT OK

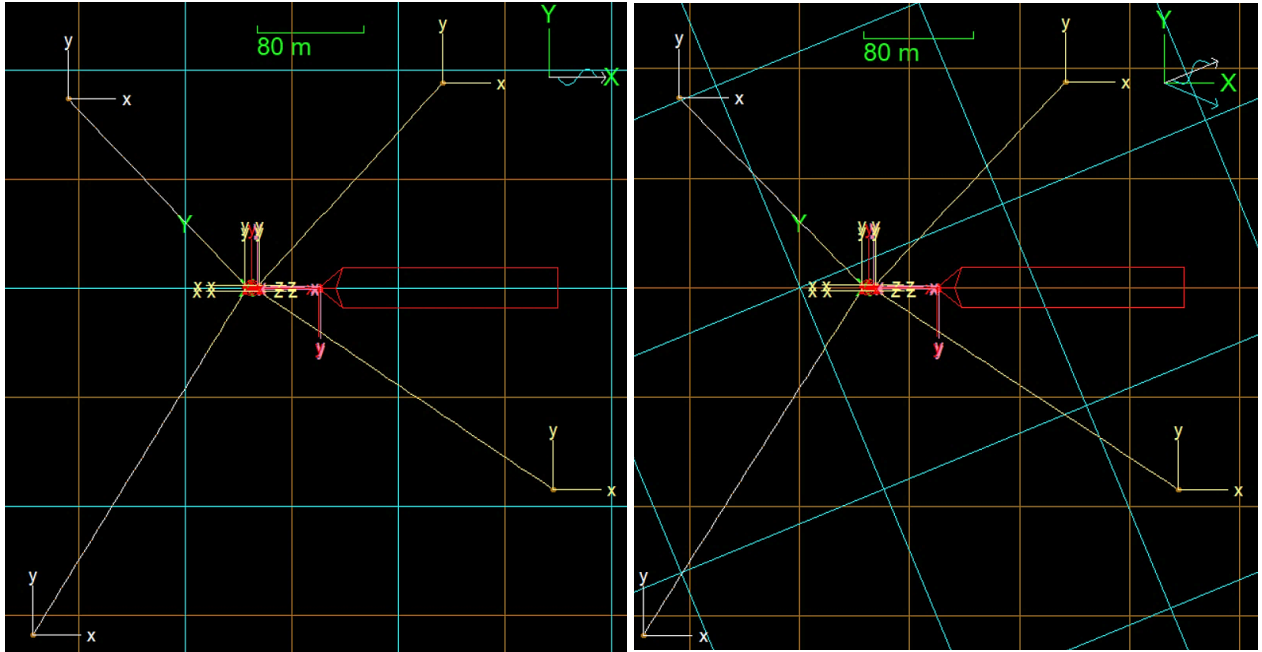


Gambar 4.46 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 2-Ballast-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.51 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L2, L3, L4 disetiap kondisi diatas 2.25, namun nilai SF pada L1 disetiap kondisi bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 2 ini tidak memenuhi kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.46 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

3) Posisi 3

Posisi kapal (untuk kondisi kapal *full load* dan *ballast*) dalam pemodelan *mooring system* pada ORCAFLEX ini yaitu mengarah pada *heading* 180^0 dan arah pembebanan lingkungan untuk *collinear* adalah mengarah *heading* 0^0 dan untuk *non collinear* adalah mengarah *heading* -22.5^0 (untuk arus) dan *heading* 22.5^0 (untuk gelombang dan angin). Untuk lebih dijelasnya, *layout* posisi 3 ini ditunjukkan pada Gambar 4.47 dibawah ini.



(a) (b)
Gambar 4.47 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (a) dan *Non Collinear* (b) Untuk Kondisi Posisi 3

Setelah dilakukan analisis dinamis pada model diatas, didapat hasil besar *tension* yang terjadi pada setiap *line* dimasing-masing kondisi *mooring system*. Hasil *tension* yang didapat ditunjukkan pada uraian dibawah ini.

a Kondisi Kapal *Full Load*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.52 dibawah ini.

Tabel 4.52 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Between Line 3-Full Load)*

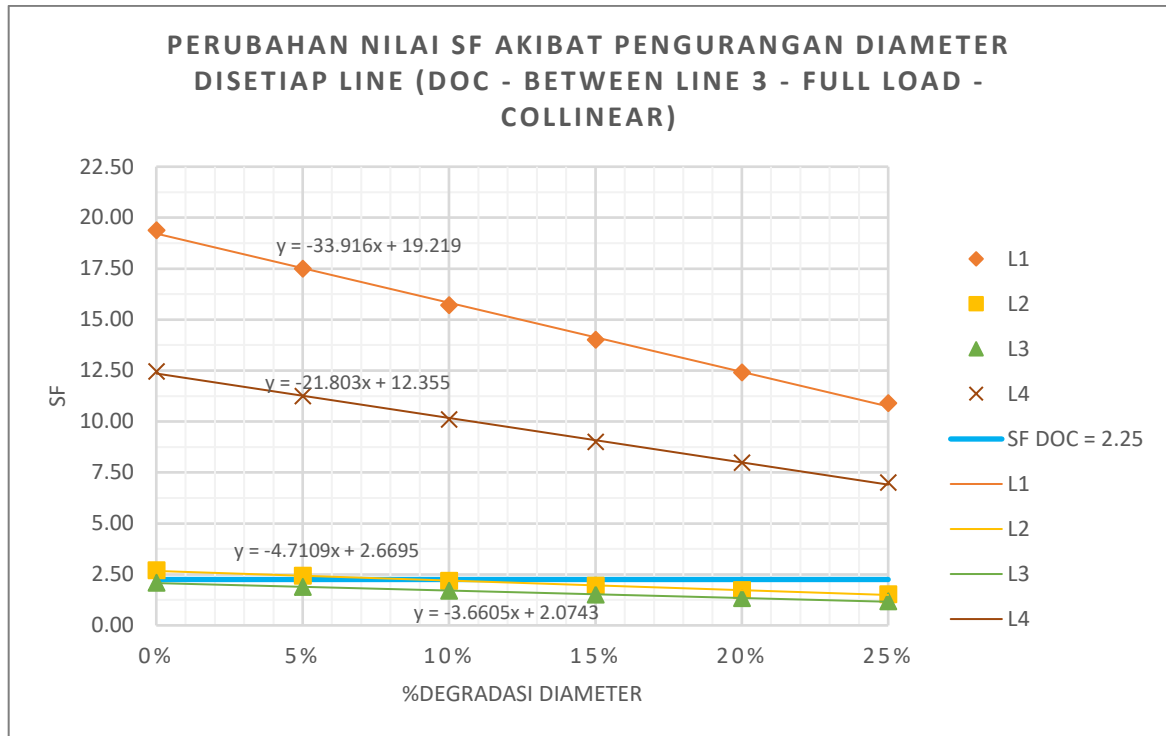
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	134.154	2600	19.38	OK	L1	134.154	1879	14.00	OK
L2	965.850	2600	2.69	OK	L2	965.850	1879	1.94	NO
L3	1242.995	2600	2.09	NO	L3	1242.995	1879	1.51	NO
L4	208.687	2600	12.46	OK	L4	208.687	1879	9.00	OK

Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	134.154	2347	17.49	OK	L1	134.154	1664	12.40	OK
L2	965.850	2347	2.43	OK	L2	965.850	1664	1.72	NO
L3	1242.995	2347	1.89	NO	L3	1242.995	1664	1.34	NO
L4	208.687	2347	11.24	OK	L4	208.687	1664	7.97	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	134.154	2106	15.70	OK	L1	134.154	1463	10.90	OK
L2	965.850	2106	2.18	NO	L2	965.850	1463	1.51	NO
L3	1242.995	2106	1.69	NO	L3	1242.995	1463	1.18	NO
L4	208.687	2106	10.09	OK	L4	208.687	1463	7.01	OK

Dari Table 4.52 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L3 sebesar 1242.995 kN dan diikuti oleh L2 sebesar 965.850 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan linkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.53 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.48 dibawah ini.

Tabel 4.53 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Linkungan *Collinear* (*Between Line 3-Full Load*)

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	19.38	2.69	2.09	12.46
5%	17.49	2.43	1.89	11.24
10%	15.70	2.18	1.69	10.09
15%	14.00	1.94	1.51	9.00
20%	12.40	1.72	1.34	7.97
25%	10.90	1.51	1.18	7.01
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	



Gambar 4.48 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 3-Full Load-Collinear*)

Dari Tabel 4.53 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L1 dan L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L2 pada kondisi besar degradasi diameter 10% hingga 25% dibawah 2.25, serta nilai SF pada L3 disetiap kondisi bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 3 ini tidak memenuhi kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.48 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi

pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.54 dibawah ini.

Tabel 4.54 Hasil *Tension* dan Nilai *SF Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Between Line 3-Full Load)*

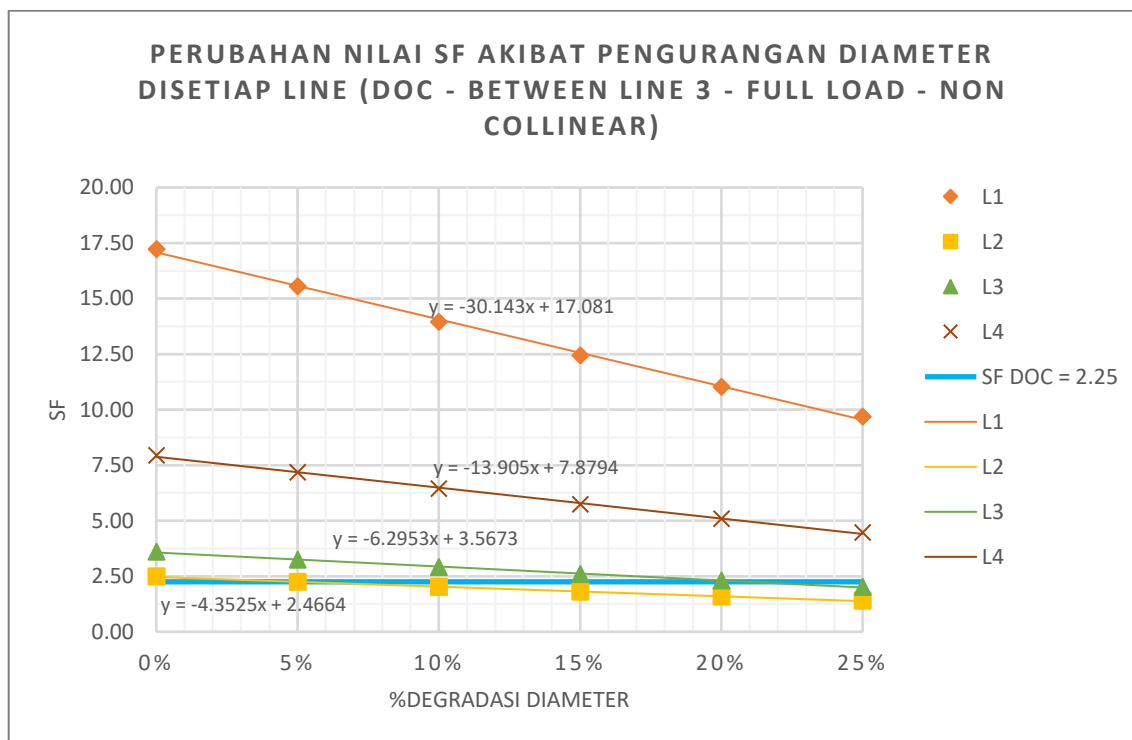
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	150.946	2600	17.22	OK	L1	150.946	1879	12.44	OK
L2	1045.380	2600	2.49	OK	L2	1045.380	1879	1.80	NO
L3	722.762	2600	3.60	OK	L3	722.762	1879	2.60	OK
L4	327.223	2600	7.95	OK	L4	327.223	1879	5.74	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	150.946	2347	15.55	OK	L1	150.946	1664	11.02	OK
L2	1045.380	2347	2.24	NO	L2	1045.380	1664	1.59	NO
L3	722.762	2347	3.25	OK	L3	722.762	1664	2.30	OK
L4	327.223	2347	7.17	OK	L4	327.223	1664	5.09	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	150.946	2106	13.95	OK	L1	150.946	1463	9.69	OK
L2	1045.380	2106	2.01	NO	L2	1045.380	1463	1.40	NO
L3	722.762	2106	2.91	OK	L3	722.762	1463	2.02	NO
L4	327.223	2106	6.44	OK	L4	327.223	1463	4.47	OK

Dari Table 4.54 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L2 sebesar 1045.380 kN lalu diikuti L3 sebesar 722.762 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.55 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.49 dibawah ini.

Tabel 4.55 Perubahan Nilai *SF Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Between Line 3-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	17.22	2.49	3.60	7.95
5%	15.55	2.24	3.25	7.17
10%	13.95	2.01	2.91	6.44
15%	12.44	1.80	2.60	5.74
20%	11.02	1.59	2.30	5.09
25%	9.69	1.40	2.02	4.47

Keterangan :	
	OK
	NOT OK



Gambar 4.49 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 3-Full Load-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.55 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L1 dan L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L2 pada kondisi besar degradasi diameter 5% hingga 25% dibawah 2.25, serta nilai SF pada L3 pada kondisi besar degradasi diameter 25% bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 3 secara keseluruhan memenuhi kriteria ABS, namun dengan catatan besar degradasi diameter pada L2 tidak boleh mencapai 5% dan besar degradasi diameter pada L3 tidak boleh mencapai 25%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar

4.49 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

b Kondisi Kapal *Ballast*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.56 dibawah ini.

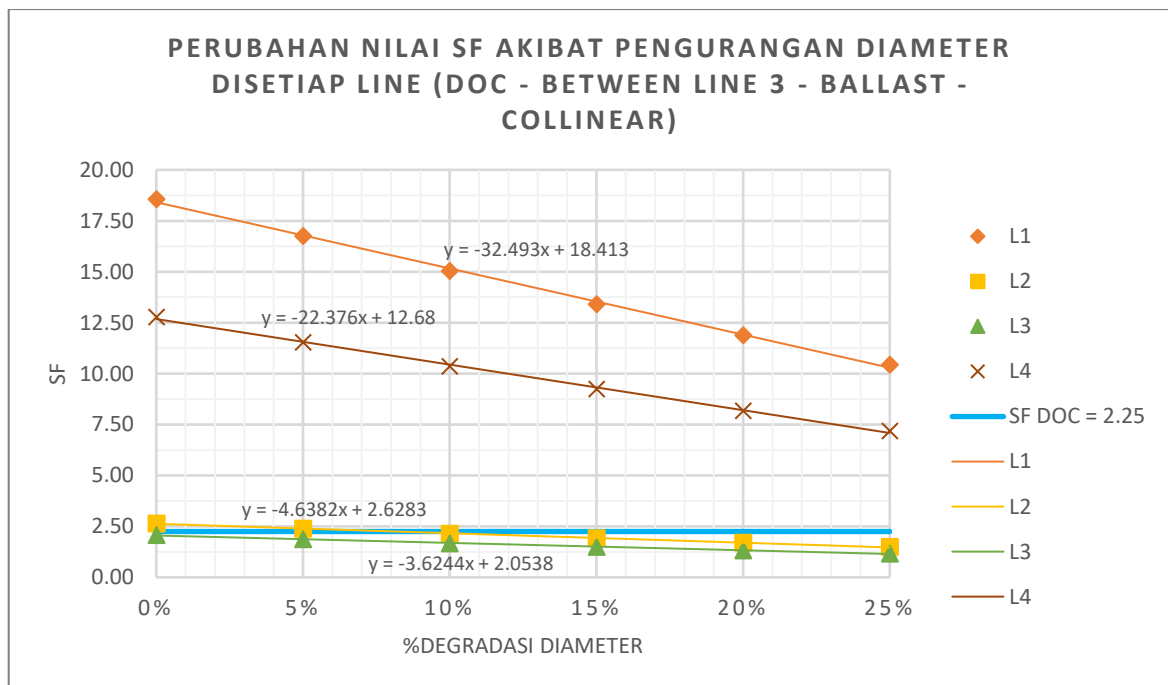
Tabel 4.56 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (*Between Line 3-Ballast*)

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	140.031	2600	18.57	OK	L1	140.031	1879	13.41	OK
L2	980.991	2600	2.65	OK	L2	980.991	1879	1.91	NO
L3	1255.368	2600	2.07	NO	L3	1255.368	1879	1.50	NO
L4	203.340	2600	12.79	OK	L4	203.340	1879	9.24	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	140.031	2347	16.76	OK	L1	140.031	1664	11.88	OK
L2	980.991	2347	2.39	OK	L2	980.991	1664	1.70	NO
L3	1255.368	2347	1.87	NO	L3	1255.368	1664	1.33	NO
L4	203.340	2347	11.54	OK	L4	203.340	1664	8.18	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	140.031	2106	15.04	OK	L1	140.031	1463	10.44	OK
L2	980.991	2106	2.15	NO	L2	980.991	1463	1.49	NO
L3	1255.368	2106	1.68	NO	L3	1255.368	1463	1.16	NO
L4	203.340	2106	10.36	OK	L4	203.340	1463	7.19	OK

Dari Table 4.56 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L3 sebesar 1255.368 kN dan diikuti oleh L2 sebesar 980.991 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.57 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.50 dibawah ini.

Tabel 4.57 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (*Between Line 3-Ballast*)

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	18.57	2.65	2.07	12.79
5%	16.76	2.39	1.87	11.54
10%	15.04	2.15	1.68	10.36
15%	13.41	1.91	1.50	9.24
20%	11.88	1.70	1.33	8.18
25%	10.44	1.49	1.16	7.19
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.50 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Collinear*)

Dari Tabel 4.57 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L1 dan L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L2 pada kondisi besar degradasi diameter 10% hingga 25% dibawah 2.25, serta nilai SF pada L3 disetiap kondisi bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear*

dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 3 ini tidak memenuhi kriteria ABS.. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.50 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.58 dibawah ini.

Tabel 4.58 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Between Line 3-Ballast)*

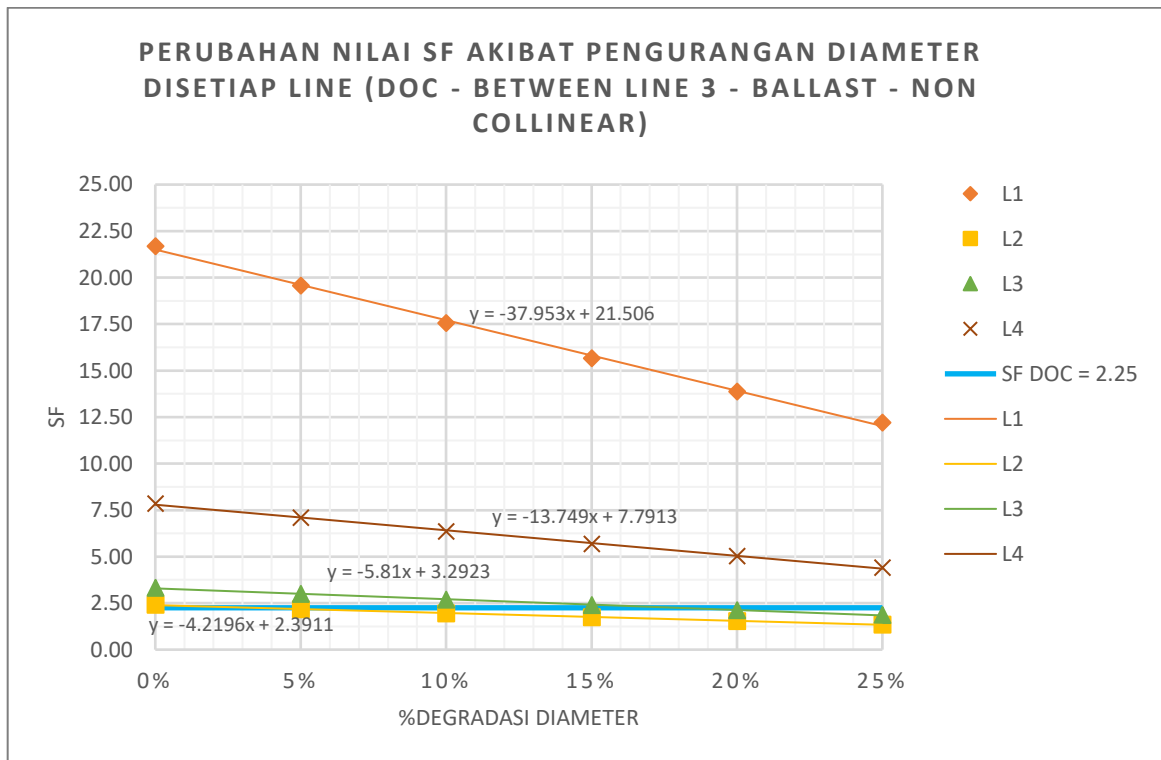
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	119.887	2600	21.69	OK	L1	119.887	1879	15.67	OK
L2	1078.298	2600	2.41	OK	L2	1078.298	1879	1.74	NO
L3	783.129	2600	3.32	OK	L3	783.129	1879	2.40	OK
L4	330.924	2600	7.86	OK	L4	330.924	1879	5.68	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	119.887	2347	19.57	OK	L1	119.887	1664	13.88	OK
L2	1078.298	2347	2.18	NO	L2	1078.298	1664	1.54	NO
L3	783.129	2347	3.00	OK	L3	783.129	1664	2.12	NO
L4	330.924	2347	7.09	OK	L4	330.924	1664	5.03	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	119.887	2106	17.57	OK	L1	119.887	1463	12.20	OK
L2	1078.298	2106	1.95	NO	L2	1078.298	1463	1.36	NO
L3	783.129	2106	2.69	OK	L3	783.129	1463	1.87	NO
L4	330.924	2106	6.36	OK	L4	330.924	1463	4.42	OK

Dari Table 4.58 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L2 sebesar 1078.298 kN lalu diikuti L3 sebesar 783.129 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan

pada Table 4.59 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.51 dibawah ini.

Tabel 4.59 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear* (iBetween Line 3-Ballast)

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	21.69	2.41	3.32	7.86
5%	19.57	2.18	3.00	7.09
10%	17.57	1.95	2.69	6.36
15%	15.67	1.74	2.40	5.68
20%	13.88	1.54	2.12	5.03
25%	12.20	1.36	1.87	4.42
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	



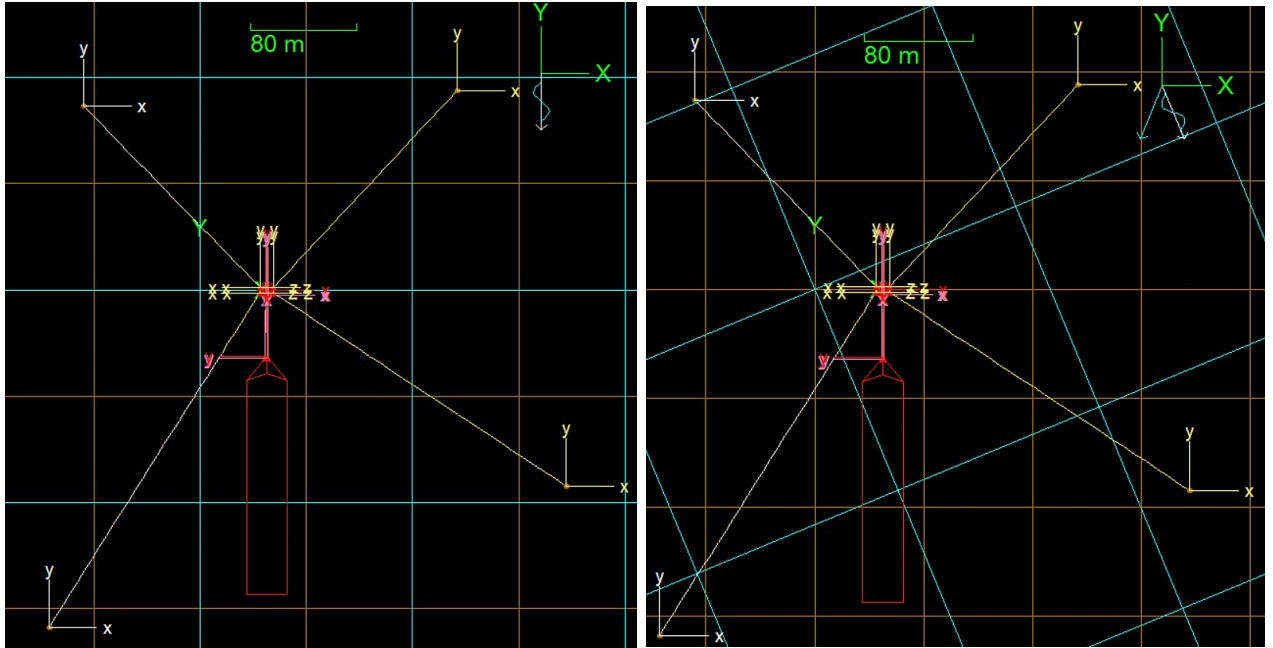
Gambar 4.51 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Non Collinear*)

Dari Tabel 4.59 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L1 dan L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L2 pada kondisi besar

degradasi diameter 5% hingga 25% dibawah 2.25, serta nilai SF pada L3 pada kondisi besar degradasi diameter 20% hingga 25% bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 3 secara keseluruhan memenuhi kriteria ABS, namun dengan catatan besar degradasi diameter pada L2 tidak boleh mencapai 5% dan besar degradasi diameter pada L3 tidak boleh mencapai 20%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.51 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

4) Posisi 4

Posisi kapal (untuk kondisi kapal *full load* dan *ballast*) dalam pemodelan *mooring system* pada ORCAFLEX ini yaitu mengarah pada *heading* 90^0 dan arah pembebanan lingkungan untuk *collinear* adalah mengarah *heading* 270^0 dan untuk *non collinear* adalah mengarah *heading* 247.5^0 (untuk arus) dan *heading* 292.5^0 (untuk gelombang dan angin). Untuk lebih dijelasnya, *layout* posisi 4 ini ditunjukkan pada Gambar 4.52 dibawah ini.



(a) (b)
Gambar 4.52 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (a) dan *Non Collinear* (b) Untuk Kondisi Posisi 4

Setelah dilakukan analisis dinamis pada model diatas, didapat hasil besar *tension* yang terjadi pada setiap *line* dimasing-masing kondisi *mooring system*. Hasil *tension* yang didapat ditunjukkan pada uraian dibawah ini.

a Kondisi Kapal *Full Load*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.52 dibawah ini.

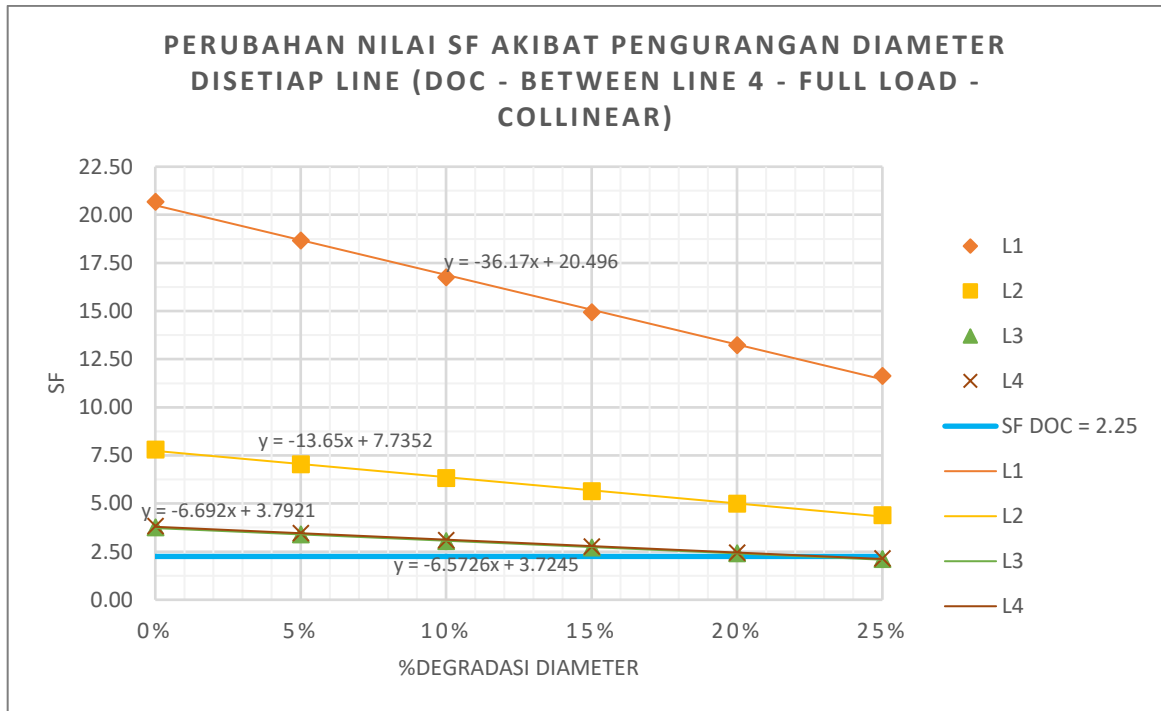
Tabel 4.60 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (between Line 4-Full Load)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	125.795	2600	20.67	OK	L1	125.795	1879	14.93	OK
L2	333.324	2600	7.80	OK	L2	333.324	1879	5.64	OK
L3	692.266	2600	3.76	OK	L3	692.266	1879	2.71	OK
L4	679.920	2600	3.82	OK	L4	679.920	1879	2.76	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	125.795	2346.50	18.65	OK	L1	125.795	1664	13.23	OK
L2	333.324	2346.50	7.04	OK	L2	333.324	1664	4.99	OK
L3	692.266	2346.50	3.39	OK	L3	692.266	1664	2.40	OK
L4	679.920	2346.50	3.45	OK	L4	679.920	1664	2.45	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	125.795	2106	16.74	OK	L1	125.795	1463	11.63	OK
L2	333.324	2106	6.32	OK	L2	333.324	1463	4.39	OK
L3	692.266	2106	3.04	OK	L3	692.266	1463	2.11	NO
L4	679.920	2106	3.10	OK	L4	679.920	1463	2.15	NO

Dari Table 4.60 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L3 sebesar 692.266 kN dan diikuti oleh L4 sebesar 679.920 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.61 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.53 dibawah ini.

Tabel 4.61 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Between Line 4-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	20.67	7.80	3.76	3.82
5%	18.65	7.04	3.39	3.45
10%	16.74	6.32	3.04	3.10
15%	14.93	5.64	2.71	2.76
20%	13.23	4.99	2.40	2.45
25%	11.63	4.39	2.11	2.15
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	



Gambar 4.53 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 4-Full Load-Collinear*)

Dari Tabel 4.61 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L1 dan L2 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L3 dan L4 pada kondisi degradasi diameter sebesar 25% dibawah 2.25. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 4 ini memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter pada L3 dan L4 tidak boleh mencapai 25%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.53 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi

pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.62 dibawah ini.

Tabel 4.62 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Full Load-4)*

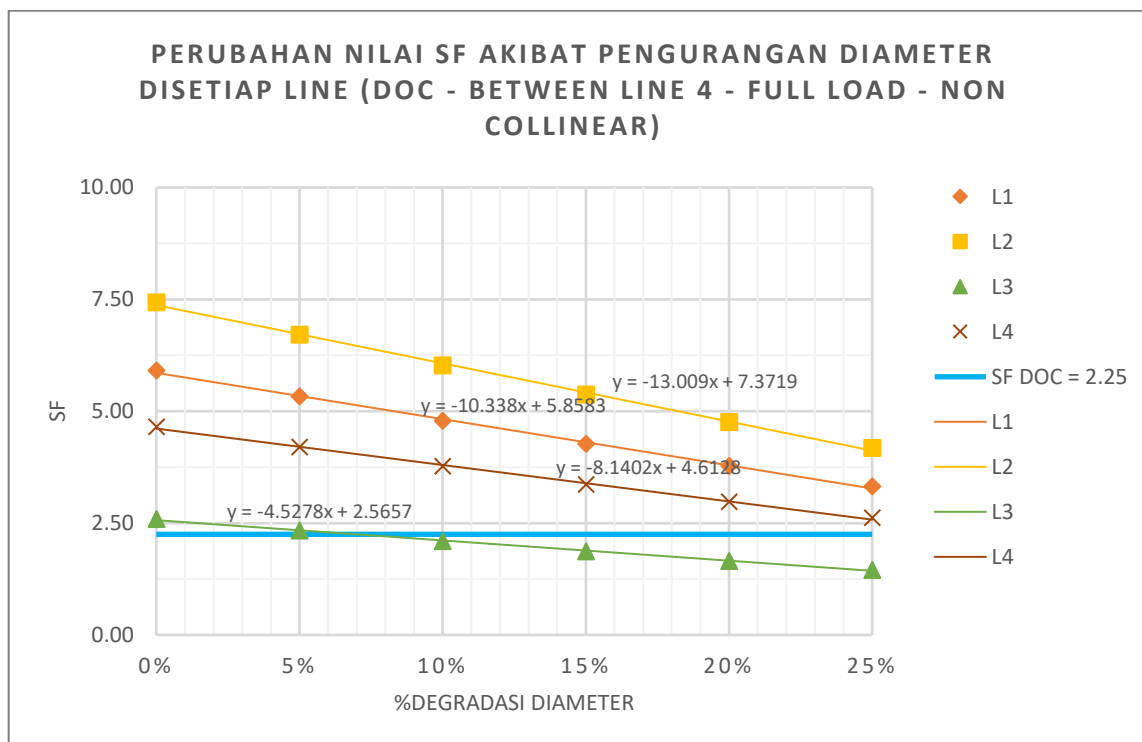
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	440.116	2600	5.91	OK	L1	440.116	1879	4.27	OK
L2	349.753	2600	7.43	OK	L2	349.753	1879	5.37	OK
L3	1004.906	2600	2.59	OK	L3	1004.906	1879	1.87	NO
L4	558.955	2600	4.65	OK	L4	558.955	1879	3.36	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	440.116	2347	5.33	OK	L1	440.116	1664	3.78	OK
L2	349.753	2347	6.71	OK	L2	349.753	1664	4.76	OK
L3	1004.906	2347	2.34	OK	L3	1004.906	1664	1.66	NO
L4	558.955	2347	4.20	OK	L4	558.955	1664	2.98	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	440.116	2106	4.79	OK	L1	440.116	1463	3.32	OK
L2	349.753	2106	6.02	OK	L2	349.753	1463	4.18	OK
L3	1004.906	2106	2.10	NO	L3	1004.906	1463	1.46	NO
L4	558.955	2106	3.77	OK	L4	558.955	1463	2.62	OK

Dari Table 4.62 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L3 sebesar 1004.906 kN lalu diikuti L4 sebesar 558.955 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.63 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.54 dibawah ini.

Tabel 4.63 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Between Line 4-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	5.91	7.43	2.59	4.65
5%	5.33	6.71	2.34	4.20
10%	4.79	6.02	2.10	3.77
15%	4.27	5.37	1.87	3.36
20%	3.78	4.76	1.66	2.98
25%	3.32	4.18	1.46	2.62

Keterangan :		
		OK
		NOT OK



Gambar 4.54 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 4-Full Load-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.63 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L1, L2, L4 disetiap kondisi diatas 2.25, namun nilai SF pada L3 pada kondisi degradasi diameter rantai sebesar 10% hingga 25% bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 4 ini memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degadasi diameter yang terjadi pada L3 tidak boleh mencapai 10%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.54 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

b Kondisi Kapal *Ballast*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.56 dibawah ini.

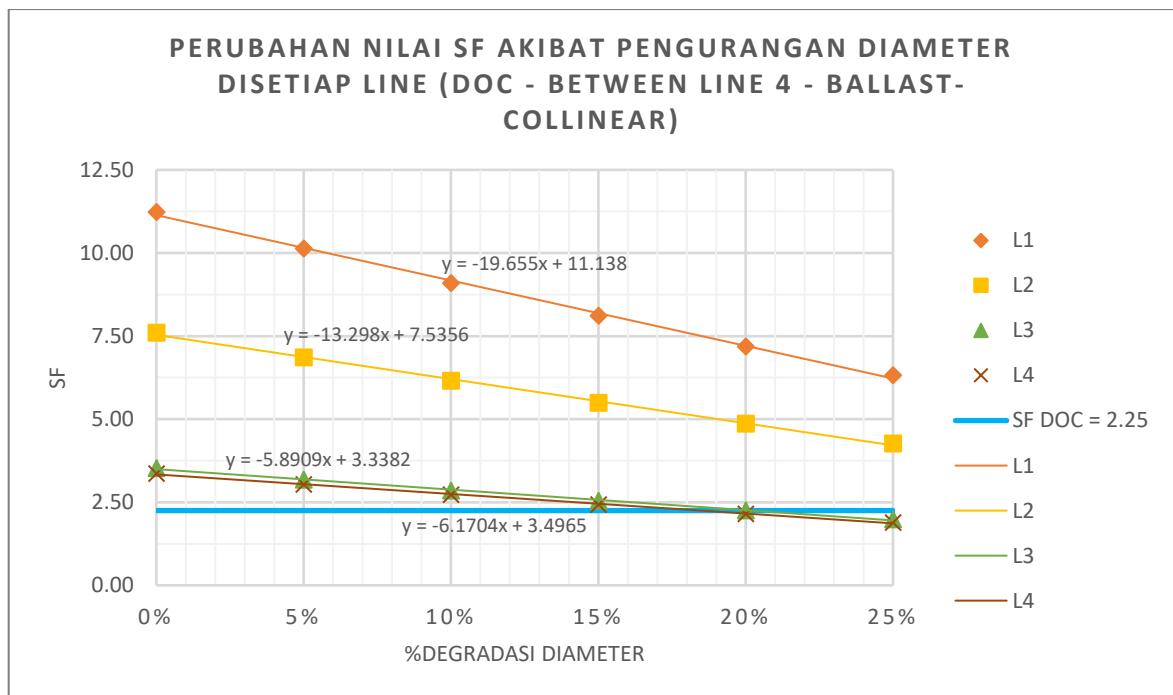
Tabel 4.64 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (*Between Line-Ballast*)

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	231.488	2600	11.23	OK	L1	231.488	1879	8.11	OK
L2	342.155	2600	7.60	OK	L2	342.155	1879	5.49	OK
L3	737.395	2600	3.53	OK	L3	737.395	1879	2.55	OK
L4	772.373	2600	3.37	OK	L4	772.373	1879	2.43	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	231.488	2346.50	10.14	OK	L1	231.488	1664	7.19	OK
L2	342.155	2346.50	6.86	OK	L2	342.155	1664	4.86	OK
L3	737.395	2346.50	3.18	OK	L3	737.395	1664	2.26	OK
L4	772.373	2346.50	3.04	OK	L4	772.373	1664	2.15	NO
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	231.488	2106	9.10	OK	L1	231.488	1463	6.32	OK
L2	342.155	2106	6.16	OK	L2	342.155	1463	4.27	OK
L3	737.395	2106	2.86	OK	L3	737.395	1463	1.98	NO
L4	772.373	2106	2.73	OK	L4	772.373	1463	1.89	NO

Dari Table 4.64 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L4 sebesar 772.373 kN dan diikuti oleh L3 sebesar 737.395 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.65 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.55 dibawah ini.

Tabel 4.65 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (Ballast-4)

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	11.23	7.60	3.53	3.37
5%	10.14	6.86	3.18	3.04
10%	9.10	6.16	2.86	2.73
15%	8.11	5.49	2.55	2.43
20%	7.19	4.86	2.26	2.15
25%	6.32	4.27	1.98	1.89
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.55 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 4-Ballast-Collinear*)

Dari Tabel 4.65 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L1 dan L2 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L3 pada kondisi degradasi diameter sebesar 25% dibawah 2.25 serta nilai SF pada L4 pada kondisi degradasi diameter sebesar 20% hingga 25% dibawah 2.25. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan

DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 4 ini memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter pada L3 tidak boleh mencapai 25% dan besar degradasi diameter pada L4 tidak boleh mencapai 20%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.55 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.66 dibawah ini.

Tabel 4.66 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Between line 4-Ballast)*

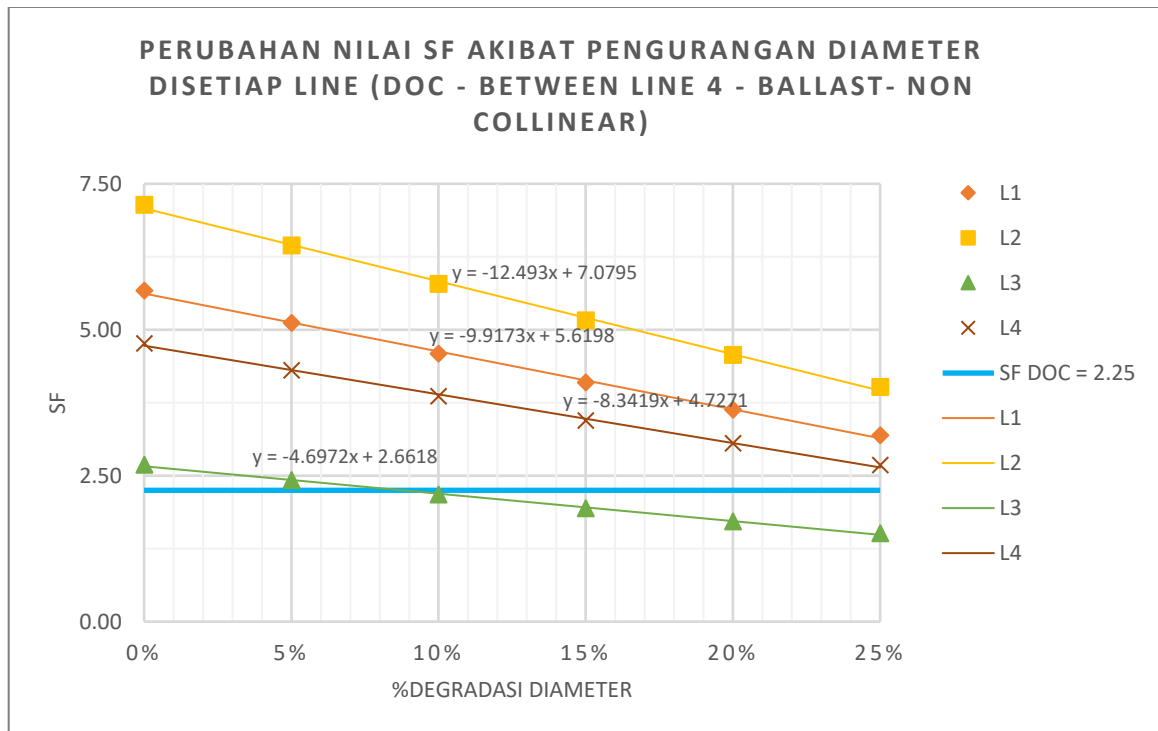
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	458.793	2600	5.67	OK	L1	458.793	1879	4.09	OK
L2	364.195	2600	7.14	OK	L2	364.195	1879	5.16	OK
L3	968.655	2600	2.68	OK	L3	968.655	1879	1.94	NO
L4	545.441	2600	4.77	OK	L4	545.441	1879	3.44	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	458.793	2347	5.11	OK	L1	458.793	1664	3.63	OK
L2	364.195	2347	6.44	OK	L2	364.195	1664	4.57	OK
L3	968.655	2347	2.42	OK	L3	968.655	1664	1.72	NO
L4	545.441	2347	4.30	OK	L4	545.441	1664	3.05	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	458.793	2106	4.59	OK	L1	458.793	1463	3.19	OK
L2	364.195	2106	5.78	OK	L2	364.195	1463	4.02	OK
L3	968.655	2106	2.17	NO	L3	968.655	1463	1.51	NO
L4	545.441	2106	3.86	OK	L4	545.441	1463	2.68	OK

Dari Table 4.58 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L3 sebesar 968.655 kN lalu diikuti L4 sebesar 545.441 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah

pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.67 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.56 dibawah ini.

Tabel 4.67 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Between Line 4-Ballast)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	5.67	7.14	2.68	4.77
5%	5.11	6.44	2.42	4.30
10%	4.59	5.78	2.17	3.86
15%	4.09	5.16	1.94	3.44
20%	3.63	4.57	1.72	3.05
25%	3.19	4.02	1.51	2.68
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.56 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Between Line 4-Ballast-Non Collinear*)

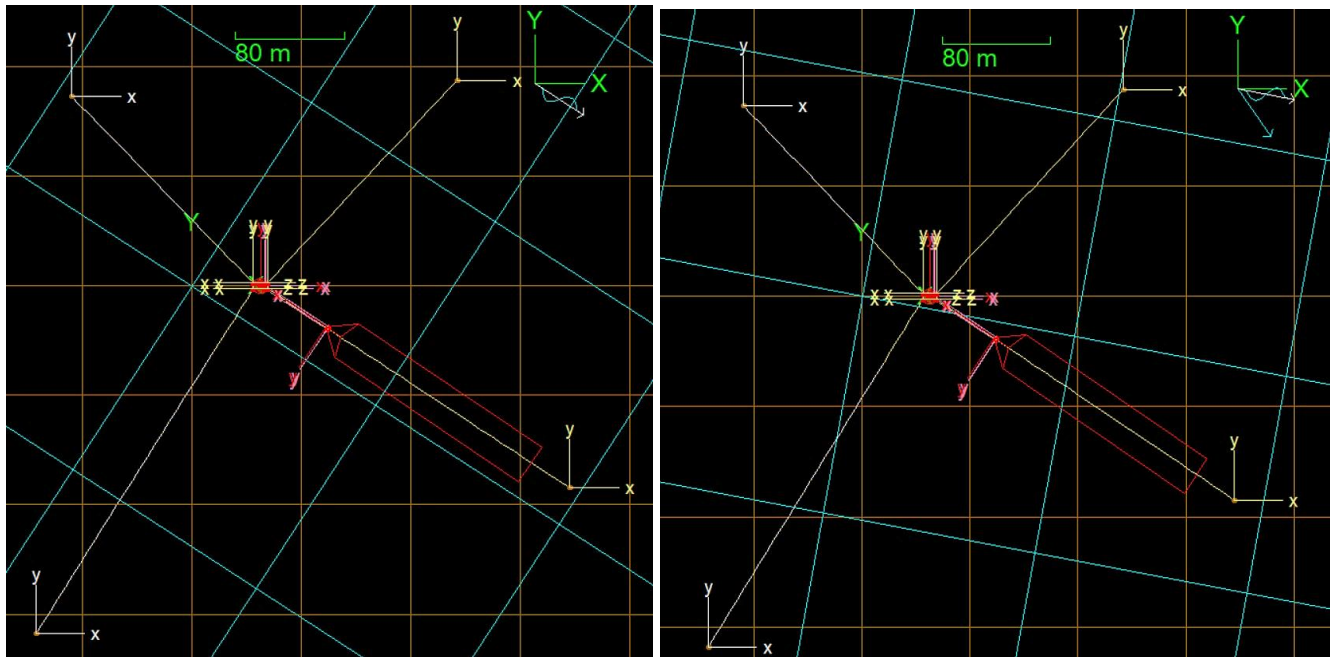
Dari Tabel 4.59 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L1, L2, L4 disetiap kondisi diatas 2.25, namun nilai SF pada L3 pada kondisi degradasi diameter rantai sebesar

10% hingga 25% bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 4 ini memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter yang terjadi pada L3 tidak boleh mencapai 10%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.51 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

4.5.1.2. Mooring System Dengan Posisi Kapal Inline

1) Posisi 1

Posisi kapal (untuk kondisi kapal *full load* dan *ballast*) dalam pemodelan *mooring system* pada ORCAFLEX ini yaitu mengarah pada *heading* 146° dan arah pembebanan lingkungan untuk *collinear* adalah mengarah *heading* -33° dan untuk *non collinear* adalah mengarah *heading* -55.5° (untuk arus) dan *heading* -10.5° (untuk gelombang dan angin). Untuk lebih dijelasnya, *layout* posisi 1 ini ditunjukkan pada Gambar 4.57 dibawah ini.



(a) (b)
Gambar 4.57 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (a) dan *Non Collinear* (b) Untuk Kondisi Posisi 1

Setelah dilakukan analisis dinamis pada model diatas, didapat hasil besar *tension* yang terjadi pada setiap *line* dimasing-masing kondisi *mooring system*. Hasil *tension* yang didapat ditunjukkan pada uraian dibawah ini.

a Kondisi Kapal *Full Load*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.68 dibawah ini.

Tabel 4.68 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 1-Full Load)*

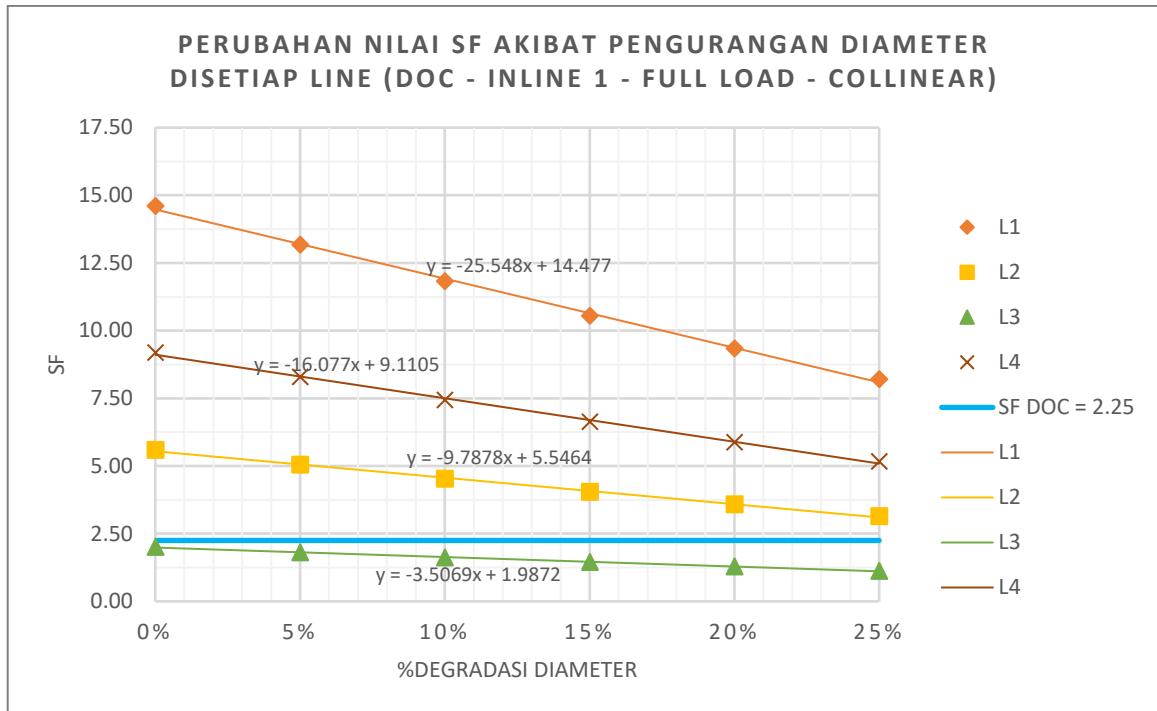
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	178.100	2600	14.60	OK	L1	178.100	1879	10.55	OK
L2	464.867	2600	5.59	OK	L2	464.867	1879	4.04	OK
L3	1297.455	2600	2.00	NO	L3	1297.455	1879	1.45	NO
L4	283.006	2600	9.19	OK	L4	283.006	1879	6.64	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status

L1	178.100	2347	13.18	OK	L1	178.100	1664	9.34	OK
L2	464.867	2347	5.05	OK	L2	464.867	1664	3.58	OK
L3	1297.455	2347	1.81	NO	L3	1297.455	1664	1.28	NO
L4	283.006	2347	8.29	OK	L4	283.006	1664	5.88	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	178.100	2106	11.82	OK	L1	178.100	1463	8.21	OK
L2	464.867	2106	4.53	OK	L2	464.867	1463	3.15	OK
L3	1297.455	2106	1.62	NO	L3	1297.455	1463	1.13	NO
L4	283.006	2106	7.44	OK	L4	283.006	1463	5.17	OK

Dari Table 4.68 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L3 sebesar 1297.455 kN dan diikuti oleh L2 sebesar 464.867 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.69 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.58 dibawah ini.

Tabel 4.69 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 1-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	14.60	5.59	2.00	9.19
5%	13.18	5.05	1.81	8.29
10%	11.82	4.53	1.62	7.44
15%	10.55	4.04	1.45	6.64
20%	9.34	3.58	1.28	5.88
25%	8.21	3.15	1.13	5.17
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.58 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 1-Full Load-Collinear*)

Dari Tabel 4.69 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L1, L2, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, sedangkan nilai SF pada *mooring line* L3 disetiap kondisi degradasi diameter dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 1 ini tidak memenuhi kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.58 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.70 dibawah ini.

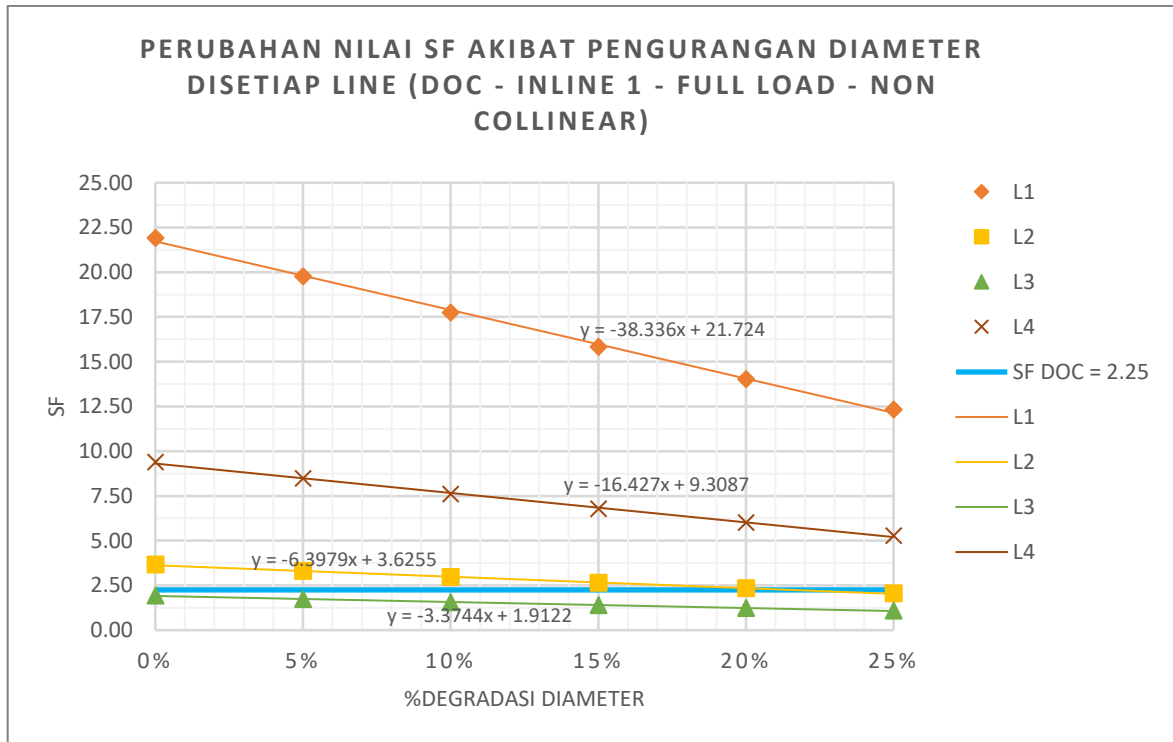
Tabel 4.70 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 1-Full Load)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	118.689	2600	21.91	OK	L1	118.689	1879	15.83	OK
L2	711.172	2600	3.66	OK	L2	711.172	1879	2.64	OK
L3	1348.387	2600	1.93	NO	L3	1348.387	1879	1.39	NO
L4	276.981	2600	9.39	OK	L4	276.981	1879	6.78	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	118.689	2347	19.77	OK	L1	118.689	1664	14.02	OK
L2	711.172	2347	3.30	OK	L2	711.172	1664	2.34	OK
L3	1348.387	2347	1.74	NO	L3	1348.387	1664	1.23	NO
L4	276.981	2347	8.47	OK	L4	276.981	1664	6.01	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	118.689	2106	17.74	OK	L1	118.689	1463	12.32	OK
L2	711.172	2106	2.96	OK	L2	711.172	1463	2.06	NO
L3	1348.387	2106	1.56	NO	L3	1348.387	1463	1.08	NO
L4	276.981	2106	7.60	OK	L4	276.981	1463	5.28	OK

Dari Table 4.70 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L3 sebesar 1348.387 kN lalu diikuti L2 sebesar 711.172 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.71 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.59 dibawah ini.

Tabel 4.71 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 1-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	21.91	3.66	1.93	9.39
5%	19.77	3.30	1.74	8.47
10%	17.74	2.96	1.56	7.60
15%	15.83	2.64	1.39	6.78
20%	14.02	2.34	1.23	6.01
25%	12.32	2.06	1.08	5.28
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	



Gambar 4.59 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 1-Full Load-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.71 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L1 dan L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, sedangkan nilai SF pada *mooring line* L2 pada kondisi degradasi diameter sebesar 25% dibawah 2.25, serta L3 disetiap kondisi dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 1 ini tidak memenuhi kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.59 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

b Kondisi Kapal *Ballast*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada

mooring lines disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.72 dibawah ini.

Tabel 4.72 Hasil *Tension* dan Nilai *SF Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 1-Ballast)*

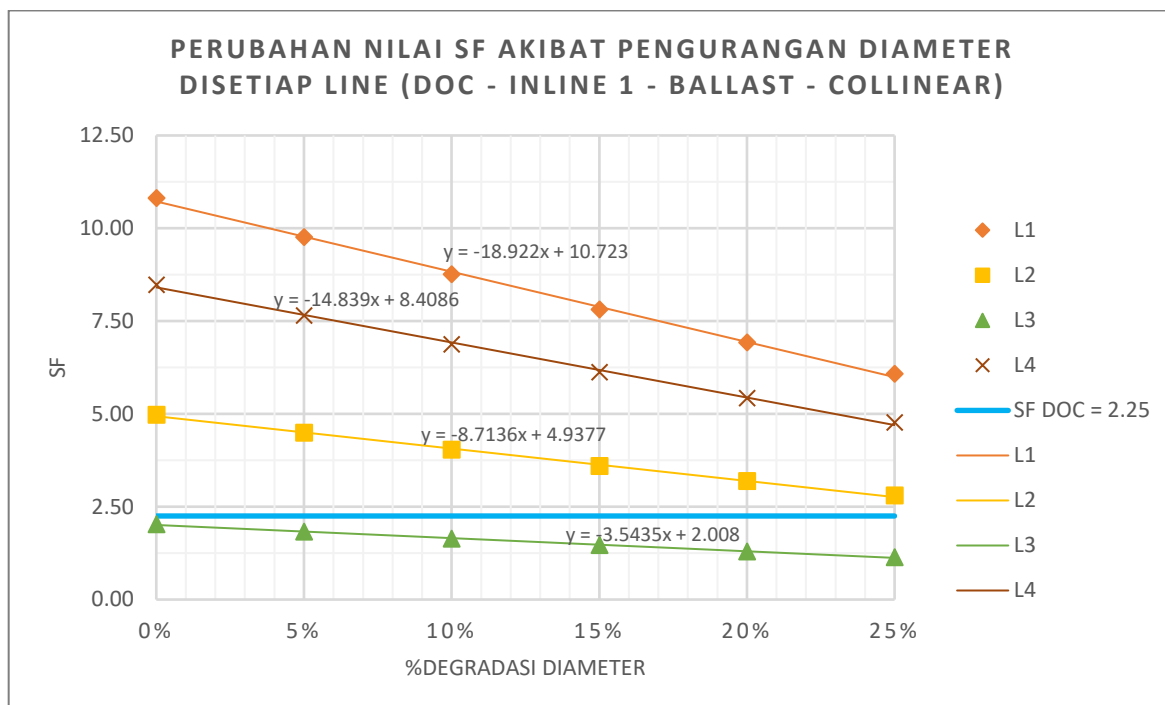
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	240.460	2600	10.81	OK	L1	240.460	1879	7.81	OK
L2	522.174	2600	4.98	OK	L2	522.174	1879	3.60	OK
L3	1284.031	2600	2.02	NO	L3	1284.031	1879	1.46	NO
L4	306.632	2600	8.48	OK	L4	306.632	1879	6.13	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	240.460	2347	9.76	OK	L1	240.460	1664	6.92	OK
L2	522.174	2347	4.49	OK	L2	522.174	1664	3.19	OK
L3	1284.031	2347	1.83	NO	L3	1284.031	1664	1.30	NO
L4	306.632	2347	7.65	OK	L4	306.632	1664	5.43	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	240.460	2106	8.76	OK	L1	240.460	1463	6.08	OK
L2	522.174	2106	4.03	OK	L2	522.174	1463	2.80	OK
L3	1284.031	2106	1.64	NO	L3	1284.031	1463	1.14	NO
L4	306.632	2106	6.87	OK	L4	306.632	1463	4.77	OK

Dari Table 4.72 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L3 sebesar 1284.031 kN dan diikuti oleh L2 sebesar 522.174 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.73 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.60 dibawah ini.

Tabel 4.73 Perubahan Nilai *SF Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 1-Ballast)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	10.81	4.98	2.02	8.48
5%	9.76	4.49	1.83	7.65
10%	8.76	4.03	1.64	6.87
15%	7.81	3.60	1.46	6.13
20%	6.92	3.19	1.30	5.43
25%	6.08	2.80	1.14	4.77

Keterangan :	
	OK
	NOT OK



Gambar 4.60 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 1-Ballast-Collinear*)

Dari Tabel 4.73 diatas, dapat dilihat nilai SF pada *mooring line* L1, L2, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, sedangkan nilai SF pada *mooring line* L3 disetiap kondisi degradasi diameter dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 1 ini tidak memenuhi kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.60 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear*

dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.74 dibawah ini.

Tabel 4.74 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 1-Ballast)*

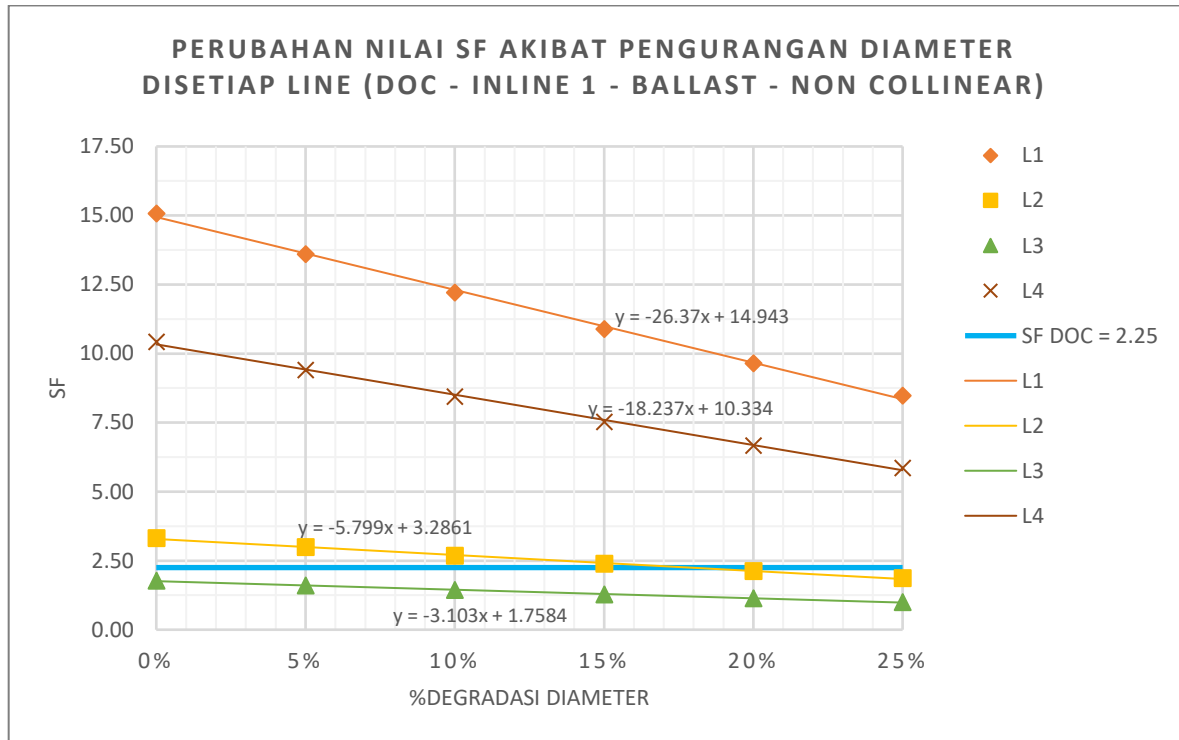
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	172.542	2600	15.07	OK	L1	172.542	1879	10.89	OK
L2	784.615	2600	3.31	OK	L2	784.615	1879	2.39	OK
L3	1466.313	2600	1.77	NO	L3	1466.313	1879	1.28	NO
L4	249.491	2600	10.42	OK	L4	249.491	1879	7.53	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	172.542	2347	13.60	OK	L1	172.542	1664	9.64	OK
L2	784.615	2347	2.99	OK	L2	784.615	1664	2.12	NO
L3	1466.313	2347	1.60	NO	L3	1466.313	1664	1.13	NO
L4	249.491	2347	9.41	OK	L4	249.491	1664	6.67	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	172.542	2106	12.21	OK	L1	172.542	1463	8.48	OK
L2	784.615	2106	2.68	OK	L2	784.615	1463	1.86	NO
L3	1466.313	2106	1.44	NO	L3	1466.313	1463	1.00	NO
L4	249.491	2106	8.44	OK	L4	249.491	1463	5.86	OK

Dari Table 4.74 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L3 sebesar 1466.313 kN lalu diikuti L2 sebesar 784.615 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.75 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.61 dibawah ini.

Tabel 4.75 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 1-Ballast)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	15.07	3.31	1.77	10.42
5%	13.60	2.99	1.60	9.41
10%	12.21	2.68	1.44	8.44
15%	10.89	2.39	1.28	7.53
20%	9.64	2.12	1.13	6.67

25%	8.48	1.86	1.00	5.86
Keterangan :				
				OK
				NOT OK

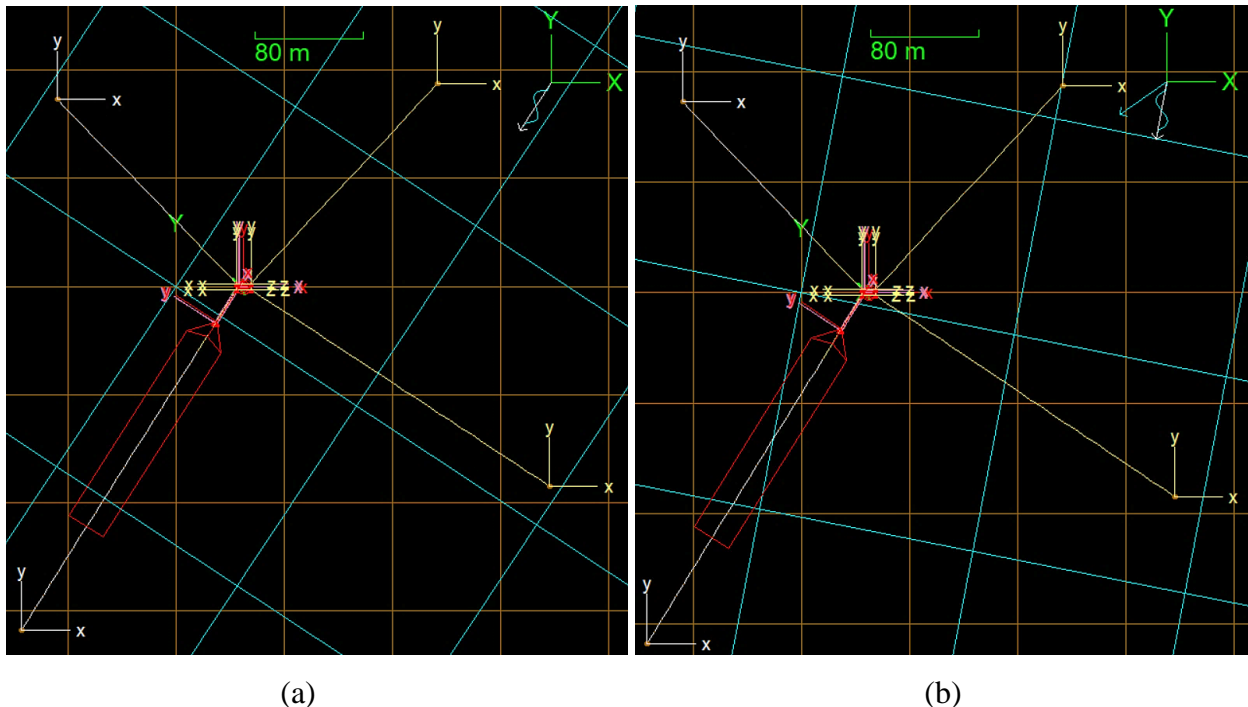


Gambar 4.61 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 1-Ballast-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.75 diatas dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L1 dan L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, sedangkan nilai SF pada *mooring line* L2 pada kondisi degradasi diameter sebesar 25% dibawah 2.25, serta L3 disetiap kondisi dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 1 ini tidak memenuhi kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.61 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

2) Posisi 2

Posisi kapal (untuk kondisi kapal *full load* dan *ballast*) dalam pemodelan *mooring system* pada ORCAFLEX ini yaitu mengarah pada *heading* 57.5° dan arah pembebanan lingkungan untuk *collinear* adalah mengarah *heading* 236.5° dan untuk *non collinear* adalah mengarah *heading* 214° (untuk arus) dan *heading* 259° (untuk gelombang dan angin). Untuk lebih dijelasnya, *layout* posisi 2 ini ditunjukkan pada Gambar 4.62 dibawah ini.



Gambar 4.62 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (a) dan *Non Collinear* (b) Untuk Kondisi Posisi 2

Setelah dilakukan analisis dinamis pada model diatas, didapat hasil besar *tension* yang terjadi pada setiap *line* dimasing-masing kondisi *mooring system*. Hasil *tension* yang didapat ditunjukkan pada uraian dibawah ini.

a Kondisi Kapal *Full Load*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF

pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.76 dibawah ini.

Tabel 4.76 Hasil *Tension* dan Nilai *SF Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 2-Full Load)*

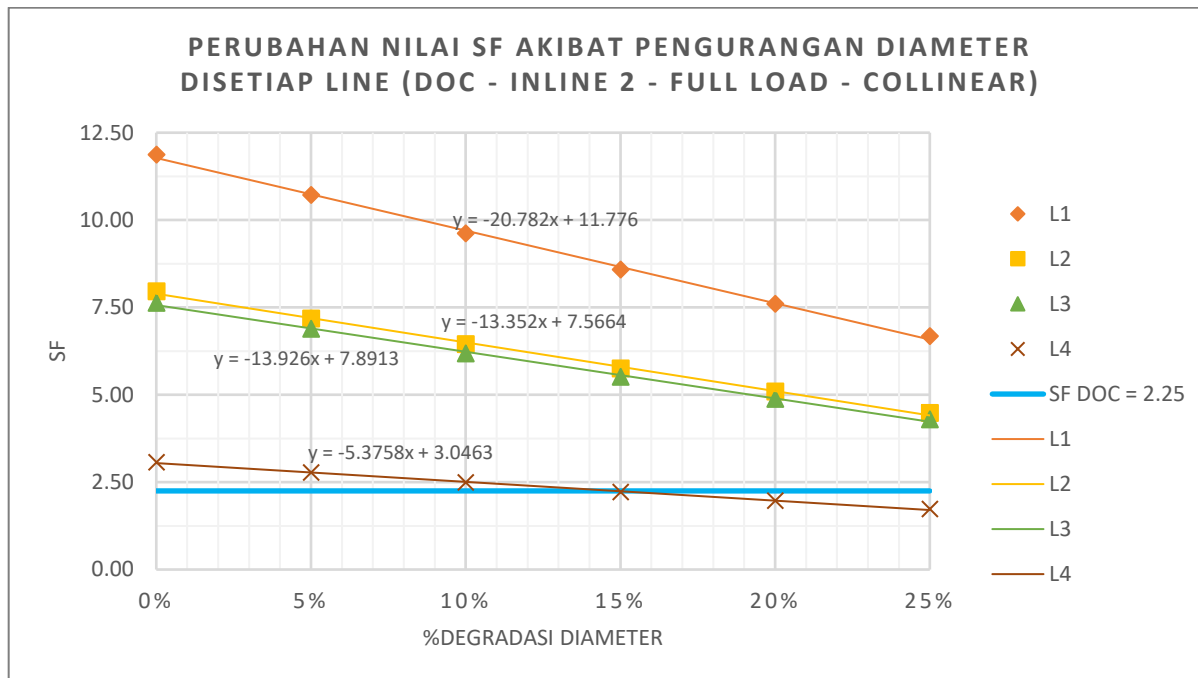
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	218.940	2600	11.88	OK	L1	218.940	1879	8.58	OK
L2	326.731	2600	7.96	OK	L2	326.731	1879	5.75	OK
L3	340.761	2600	7.63	OK	L3	340.761	1879	5.51	OK
L4	846.378	2600	3.07	OK	L4	846.378	1879	2.22	NO
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	218.940	2347	10.72	OK	L1	218.940	1664	7.60	OK
L2	326.731	2347	7.18	OK	L2	326.731	1664	5.09	OK
L3	340.761	2347	6.89	OK	L3	340.761	1664	4.88	OK
L4	846.378	2347	2.77	OK	L4	846.378	1664	1.97	NO
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	218.940	2106	9.62	OK	L1	218.940	1463	6.68	OK
L2	326.731	2106	6.45	OK	L2	326.731	1463	4.48	OK
L3	340.761	2106	6.18	OK	L3	340.761	1463	4.29	OK
L4	846.378	2106	2.49	OK	L4	846.378	1463	1.73	NO

Dari Table 4.76 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L4 sebesar 846.378 kN dan diikuti oleh L3 sebesar 340.761 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.77 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.63 dibawah ini.

Tabel 4.77 Perubahan Nilai *SF Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 2-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	11.88	7.96	7.63	3.07
5%	10.72	7.18	6.89	2.77
10%	9.62	6.45	6.18	2.49
15%	8.58	5.75	5.51	2.22
20%	7.60	5.09	4.88	1.97
25%	6.68	4.48	4.29	1.73

Keterangan :	
	OK
	NOT OK



Gambar 4.63 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 2-Full Load-Collinear*)

Dari Tabel 4.77 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L1, L2, L3 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L4 pada kondisi degradasi diameter sebesar 15% hingga 25% dibawah 2.25. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 2 ini masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter yang terjadi pada L4 tidak boleh mencapai 15%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.63 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.78 dibawah ini.

Tabel 4.78 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 2-Full Load)*

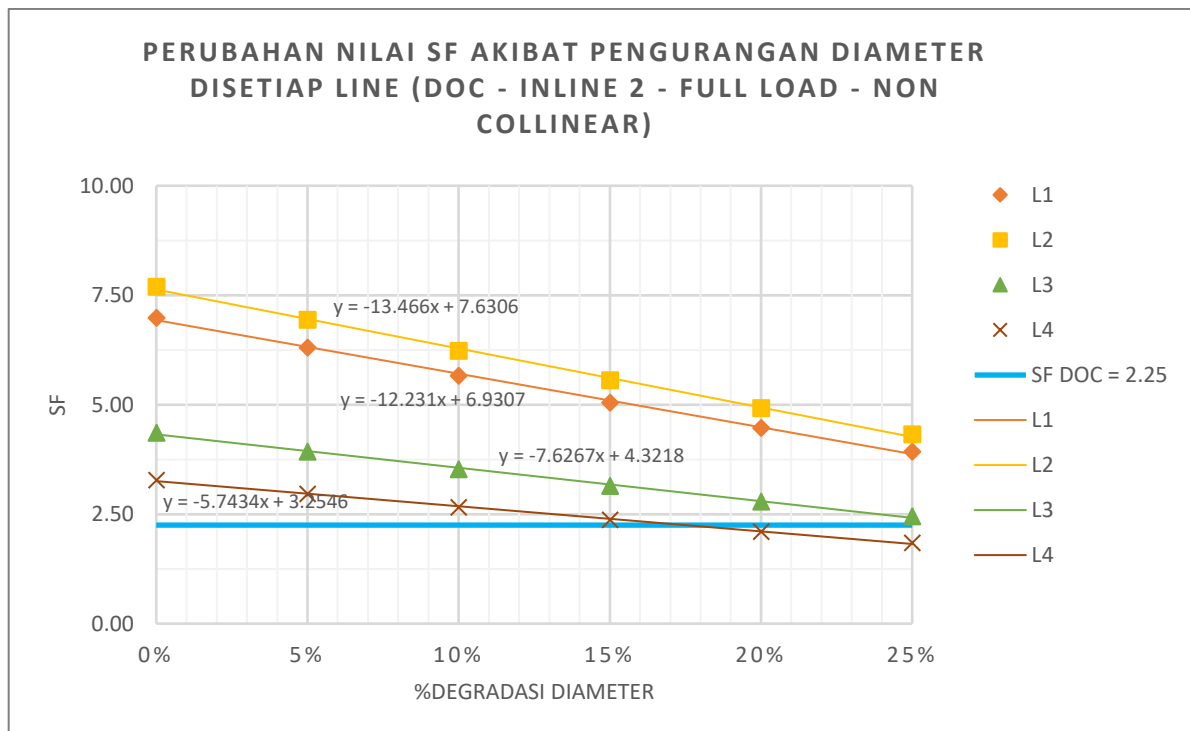
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	372.017	2600	6.99	OK	L1	372.017	1879	5.05	OK
L2	337.893	2600	7.69	OK	L2	337.893	1879	5.56	OK
L3	596.587	2600	4.36	OK	L3	596.587	1879	3.15	OK
L4	792.220	2600	3.28	OK	L4	792.220	1879	2.37	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	372.017	2347	6.31	OK	L1	372.017	1664	4.47	OK
L2	337.893	2347	6.94	OK	L2	337.893	1664	4.92	OK
L3	596.587	2347	3.93	OK	L3	596.587	1664	2.79	OK
L4	792.220	2347	2.96	OK	L4	792.220	1664	2.10	NO
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	372.017	2106	5.66	OK	L1	372.017	1463	3.93	OK
L2	337.893	2106	6.23	OK	L2	337.893	1463	4.33	OK
L3	596.587	2106	3.53	OK	L3	596.587	1463	2.45	OK
L4	792.220	2106	2.66	OK	L4	792.220	1463	1.85	NO

Dari Table 4.78 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L4 sebesar 792.220 kN lalu diikuti L3 sebesar 596.587 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.79 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.64 dibawah ini.

Tabel 4.79 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 2-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	6.99	7.69	4.36	3.28
5%	6.31	6.94	3.93	2.96
10%	5.66	6.23	3.53	2.66

15%	5.05	5.56	3.15	2.37
20%	4.47	4.92	2.79	2.10
25%	3.93	4.33	2.45	1.85
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.64 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 2-Full Load-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.79 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L1, L2, L3 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L4 pada kondisi degradasi diameter sebesar 20% hingga 25% dibawah 2.25. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 2 ini masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter yang terjadi pada L4 tidak boleh mencapai 20%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.64 dapat dinyatakan jika nilai SF akan

menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

b Kondisi Kapal *Ballast*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.80 dibawah ini.

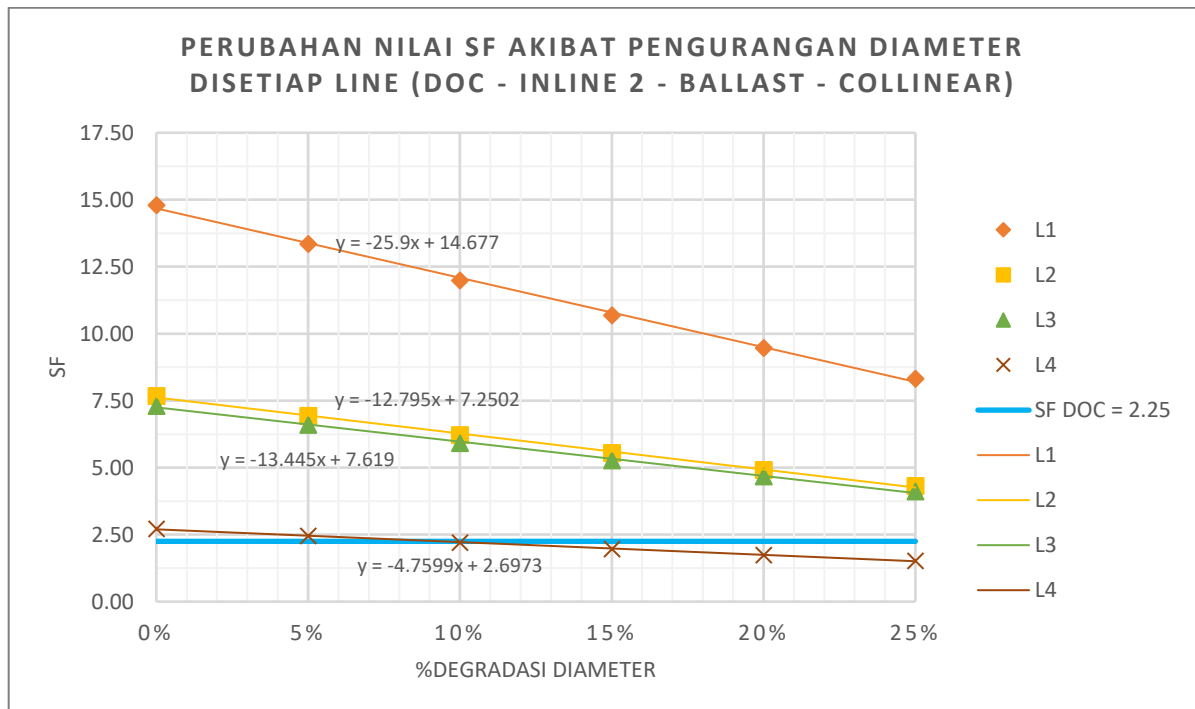
Tabel 4.80 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 2-Ballast)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	175.673	2600	14.80	OK	L1	175.673	1879	10.69	OK
L2	338.409	2600	7.68	OK	L2	338.409	1879	5.55	OK
L3	355.621	2600	7.31	OK	L3	355.621	1879	5.28	OK
L4	955.905	2600	2.72	OK	L4	955.905	1879	1.97	NO
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	175.673	2347	13.36	OK	L1	175.673	1664	9.47	OK
L2	338.409	2347	6.93	OK	L2	338.409	1664	4.92	OK
L3	355.621	2347	6.60	OK	L3	355.621	1664	4.68	OK
L4	955.905	2347	2.45	OK	L4	955.905	1664	1.74	NO
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	175.673	2106	11.99	OK	L1	175.673	1463	8.33	OK
L2	338.409	2106	6.22	OK	L2	338.409	1463	4.32	OK
L3	355.621	2106	5.92	OK	L3	355.621	1463	4.11	OK
L4	955.905	2106	2.20	NO	L4	955.905	1463	1.53	NO

Dari Table 4.80 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L4 sebesar 955.905 kN dan diikuti oleh L3 sebesar 355.621 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.81 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.65 dibawah ini.

Tabel 4.81 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 2-Ballast)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	14.80	7.68	7.31	2.72
5%	13.36	6.93	6.60	2.45
10%	11.99	6.22	5.92	2.20
15%	10.69	5.55	5.28	1.97
20%	9.47	4.92	4.68	1.74
25%	8.33	4.32	4.11	1.53
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.65 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 2-Full Load-Collinear*)

Dari Tabel 4.81 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L1, L2, L3 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L4 pada kondisi degradasi diameter sebesar 10% hingga 25% dibawah 2.25. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal

ballast pada posisi 2 ini masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter yang terjadi pada L4 tidak boleh mencapai 10%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.65 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.82 dibawah ini.

Tabel 4.82 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 2-Ballast)*

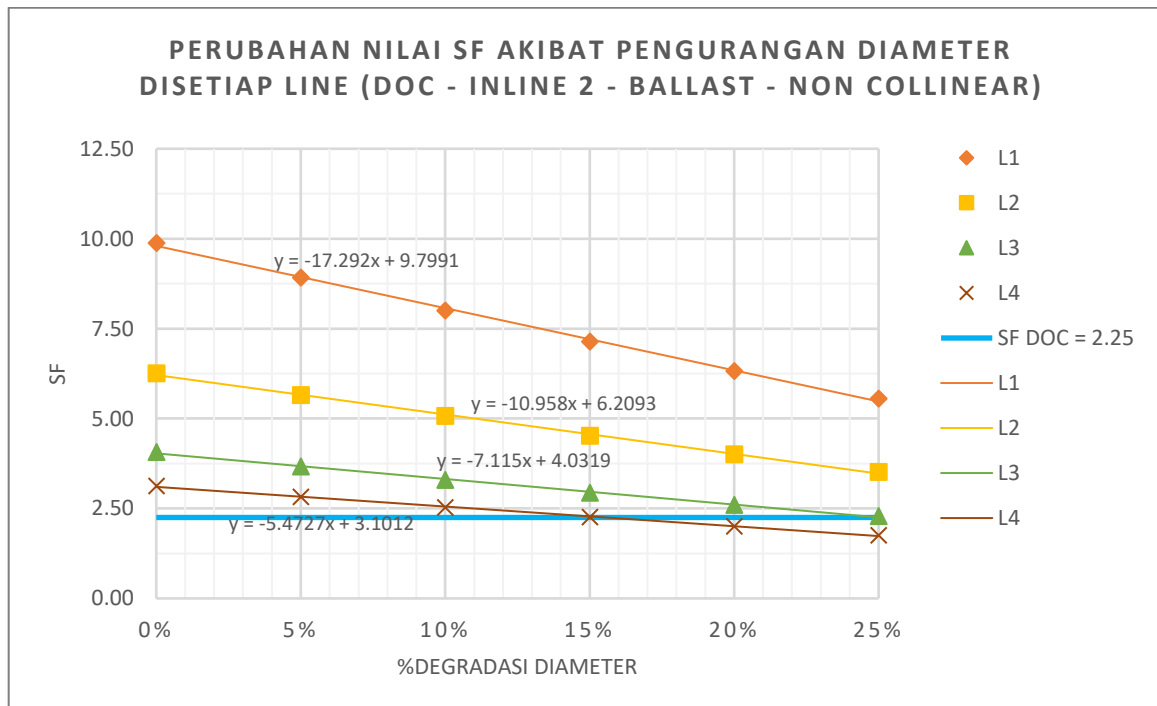
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	263.120	2600	9.88	OK	L1	263.120	1879	7.14	OK
L2	415.236	2600	6.26	OK	L2	415.236	1879	4.52	OK
L3	639.491	2600	4.07	OK	L3	639.491	1879	2.94	OK
L4	831.394	2600	3.13	OK	L4	831.394	1879	2.26	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	263.120	2347	8.92	OK	L1	263.120	1664	6.32	OK
L2	415.236	2347	5.65	OK	L2	415.236	1664	4.01	OK
L3	639.491	2347	3.67	OK	L3	639.491	1664	2.60	OK
L4	831.394	2347	2.82	OK	L4	831.394	1664	2.00	NO
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	263.120	2106	8.00	OK	L1	263.120	1463	5.56	OK
L2	415.236	2106	5.07	OK	L2	415.236	1463	3.52	OK
L3	639.491	2106	3.29	OK	L3	639.491	1463	2.29	OK
L4	831.394	2106	2.53	OK	L4	831.394	1463	1.76	NO

Dari Table 4.82 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L4 sebesar 831.394 kN lalu diikuti L3 sebesar 639.491 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan

pada Table 4.83 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.66 dibawah ini.

Tabel 4.83 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 2-Ballast)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	9.88	6.26	4.07	3.13
5%	8.92	5.65	3.67	2.82
10%	8.00	5.07	3.29	2.53
15%	7.14	4.52	2.94	2.26
20%	6.32	4.01	2.60	2.00
25%	5.56	3.52	2.29	1.76
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



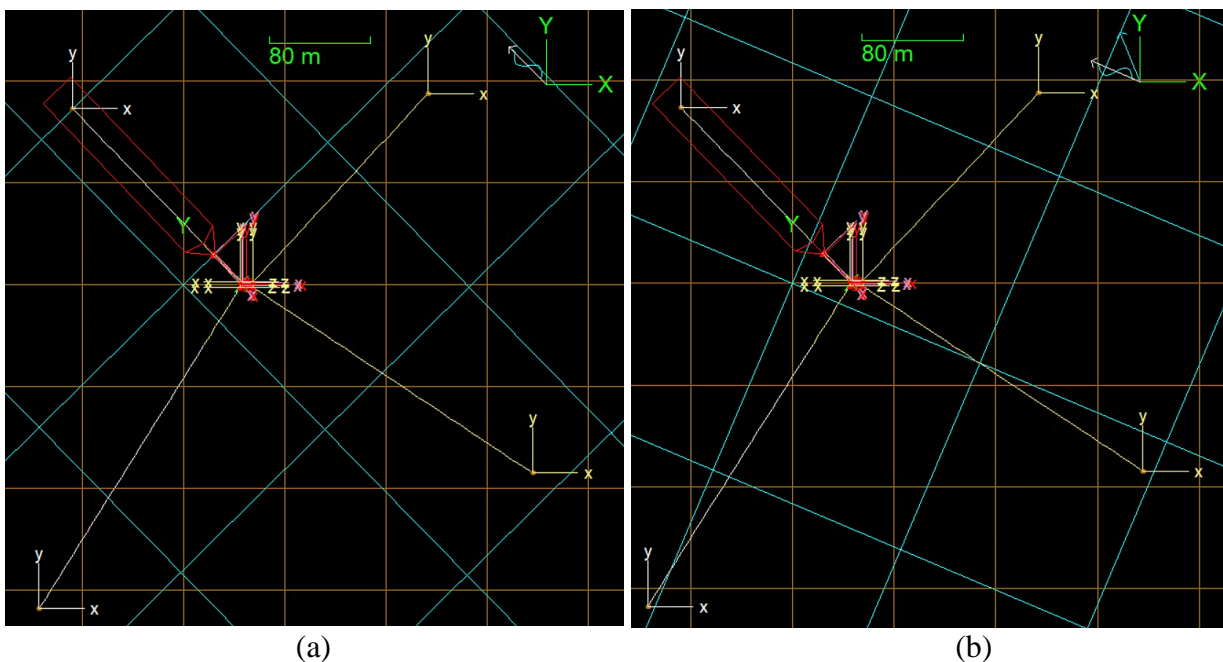
Gambar 4.66 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Non Collinear*)

Dari Tabel 4.83 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L1, L2, L3 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L4 pada kondisi degradasi diameter sebesar 20% hingga 25% dibawah 2.25. Sehingga

dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 2 ini masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter yang terjadi pada L4 tidak boleh mencapai 20%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.66 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

3) Posisi 3

Posisi kapal (untuk kondisi kapal *full load* dan *ballast*) dalam pemodelan *mooring system* pada ORCAFLEX ini yaitu mengarah pada *heading* 314° dan arah pembebanan lingkungan untuk *collinear* adalah mengarah *heading* 134.5° dan untuk *non collinear* adalah mengarah *heading* 112° (untuk arus) dan *heading* 157° (untuk gelombang dan angin). Untuk lebih dijelasnya, *layout* posisi 3 ini ditunjukkan pada Gambar 4.47 dibawah ini.



Gambar 4.67 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (a) dan *Non Collinear* (b) Untuk Kondisi Posisi 3

Setelah dilakukan analisis dinamis pada model diatas, didapat hasil besar *tension* yang terjadi pada setiap *line* dimasing-masing kondisi *mooring system*. Hasil *tension* yang didapat ditunjukkan pada uraian dibawah ini.

a Kondisi Kapal *Full Load*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.84 dibawah ini.

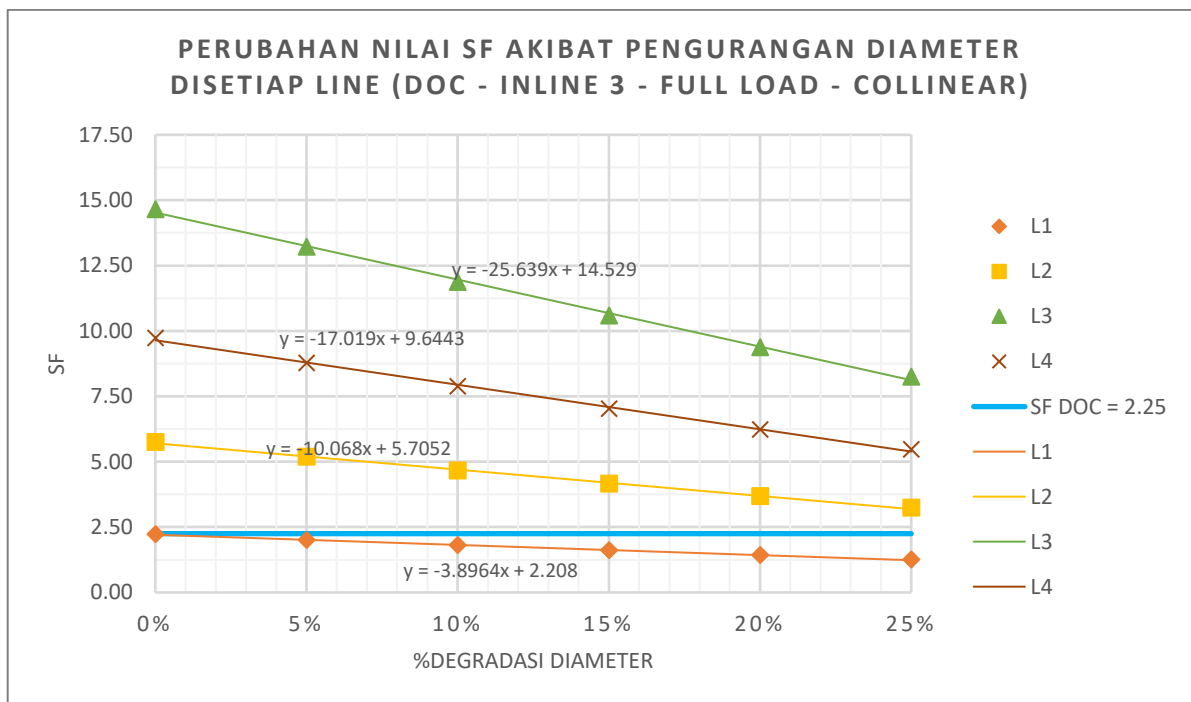
Tabel 4.84 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 3-Full Load)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1167.746	2600	2.23	NO	L1	1167.746	1879	1.61	NO
L2	451.926	2600	5.75	OK	L2	451.926	1879	4.16	OK
L3	177.465	2600	14.65	OK	L3	177.465	1879	10.59	OK
L4	267.343	2600	9.73	OK	L4	267.343	1879	7.03	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1167.746	2347	2.01	NO	L1	1167.746	1664	1.42	NO
L2	451.926	2347	5.19	OK	L2	451.926	1664	3.68	OK
L3	177.465	2347	13.22	OK	L3	177.465	1664	9.38	OK
L4	267.343	2347	8.78	OK	L4	267.343	1664	6.22	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1167.746	2106	1.80	NO	L1	1167.746	1463	1.25	NO
L2	451.926	2106	4.66	OK	L2	451.926	1463	3.24	OK
L3	177.465	2106	11.87	OK	L3	177.465	1463	8.24	OK
L4	267.343	2106	7.88	OK	L4	267.343	1463	5.47	OK

Dari Table 4.84 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L1 sebesar 1167.746 kN dan diikuti oleh L2 sebesar 451.926 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.85 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.68 dibawah ini

Tabel 4.85 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 3-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	2.23	5.75	14.65	9.73
5%	2.01	5.19	13.22	8.78
10%	1.80	4.66	11.87	7.88
15%	1.61	4.16	10.59	7.03
20%	1.42	3.68	9.38	6.22
25%	1.25	3.24	8.24	5.47
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.68 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 3-Full Load-Collinear*)

Dari Tabel 4.85 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L2, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L1 disetiap kondisi bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 3 ini tidak memenuhi

kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.68 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.86 dibawah ini.

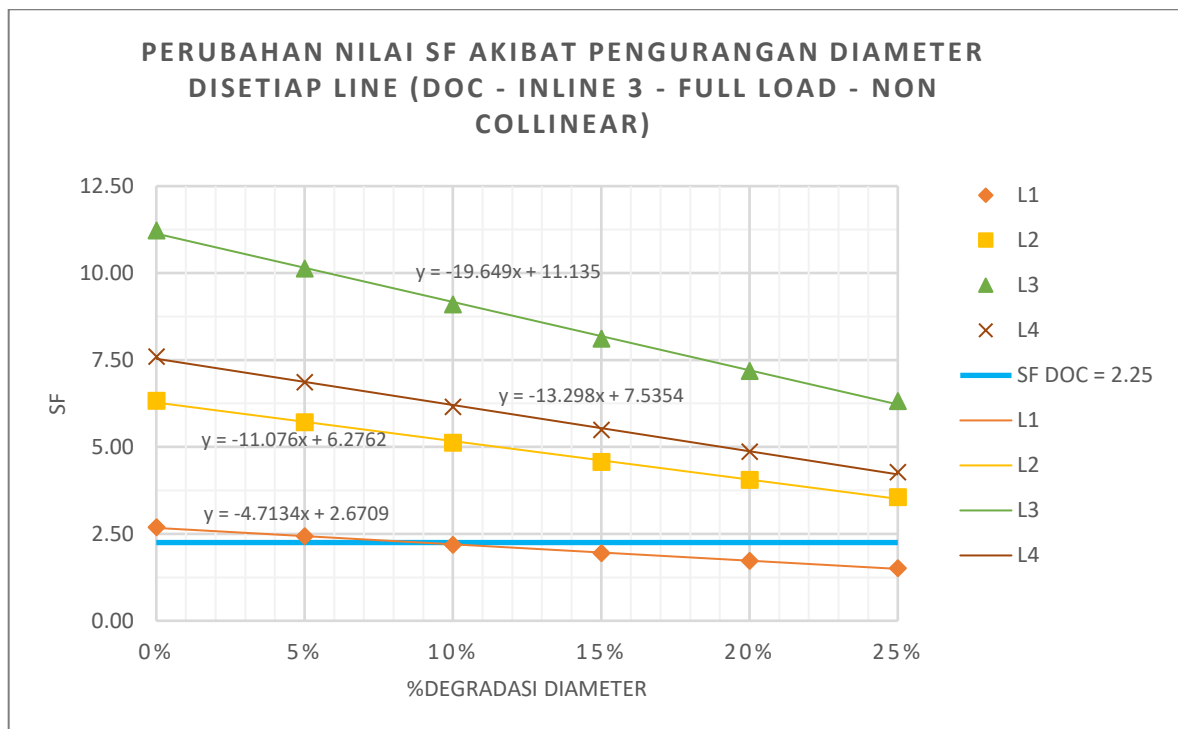
Tabel 4.86 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 3-Full Load)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	965.328	2600	2.69	OK	L1	965.328	1879	1.95	NO
L2	410.811	2600	6.33	OK	L2	410.811	1879	4.57	OK
L3	231.562	2600	11.23	OK	L3	231.562	1879	8.11	OK
L4	342.163	2600	7.60	OK	L4	342.163	1879	5.49	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	965.328	2347	2.43	OK	L1	965.328	1664	1.72	NO
L2	410.811	2347	5.71	OK	L2	410.811	1664	4.05	OK
L3	231.562	2347	10.13	OK	L3	231.562	1664	7.19	OK
L4	342.163	2347	6.86	OK	L4	342.163	1664	4.86	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	965.328	2106	2.18	NO	L1	965.328	1463	1.52	NO
L2	410.811	2106	5.13	OK	L2	410.811	1463	3.56	OK
L3	231.562	2106	9.09	OK	L3	231.562	1463	6.32	OK
L4	342.163	2106	6.15	OK	L4	342.163	1463	4.27	OK

Dari Table 4.86 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L1 sebesar 965.328 kN lalu diikuti L2 sebesar 410.811 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.87 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.69 dibawah ini.

Tabel 4.87 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 3-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	2.69	6.33	11.23	7.60
5%	2.43	5.71	10.13	6.86
10%	2.18	5.13	9.09	6.15
15%	1.95	4.57	8.11	5.49
20%	1.72	4.05	7.19	4.86
25%	1.52	3.56	6.32	4.27
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	



Gambar 4.69 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 3-Full Load-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.87 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L2, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L1 pada kondisi degradasi diameter sebesar 10% hingga 25% dibawah 2.25. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear*

dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 3 ini memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter yang terjadi pada L1 tidak boleh mencapai 10%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.69 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

b Kondisi Kapal *Ballast*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.88 dibawah ini.

Tabel 4.88 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 3-Ballast)*

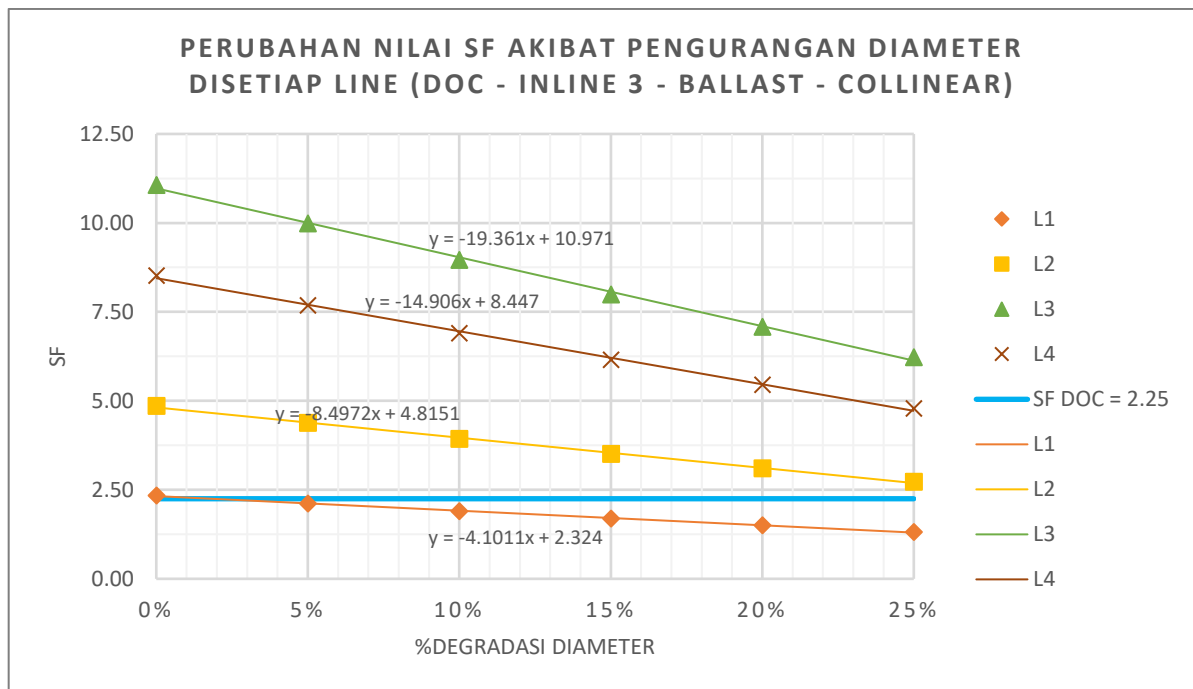
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1109.455	2600	2.34	OK	L1	1109.455	1879	1.69	NO
L2	535.469	2600	4.86	OK	L2	535.469	1879	3.51	OK
L3	235.009	2600	11.06	OK	L3	235.009	1879	7.99	OK
L4	305.237	2600	8.52	OK	L4	305.237	1879	6.15	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1109.455	2347	2.12	NO	L1	1109.455	1664	1.50	NO
L2	535.469	2347	4.38	OK	L2	535.469	1664	3.11	OK
L3	235.009	2347	9.98	OK	L3	235.009	1664	7.08	OK
L4	305.237	2347	7.69	OK	L4	305.237	1664	5.45	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1109.455	2106	1.90	NO	L1	1109.455	1463	1.32	NO
L2	535.469	2106	3.93	OK	L2	535.469	1463	2.73	OK
L3	235.009	2106	8.96	OK	L3	235.009	1463	6.22	OK
L4	305.237	2106	6.90	OK	L4	305.237	1463	4.79	OK

Dari Table 4.88 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L1 sebesar 1109.455 kN dan diikuti oleh L2 sebesar 535.469 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter

pada arah pembebanan linkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.89 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.70 dibawah ini.

Tabel 4.89 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 3-Ballast)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	2.34	4.86	11.06	8.52
5%	2.12	4.38	9.98	7.69
10%	1.90	3.93	8.96	6.90
15%	1.69	3.51	7.99	6.15
20%	1.50	3.11	7.08	5.45
25%	1.32	2.73	6.22	4.79
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.70 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 3-Ballast-Collinear*)

Dari Tabel 4.89 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L2, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L1 pada kondisi degradasi

diameter sebesar 5% hingga 25% bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 3 secara keseluruhan memenuhi kriteria ABS, namun dengan catatan besar degradasi diameter pada L1 tidak boleh mencapai 5%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.70 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.90 dibawah ini.

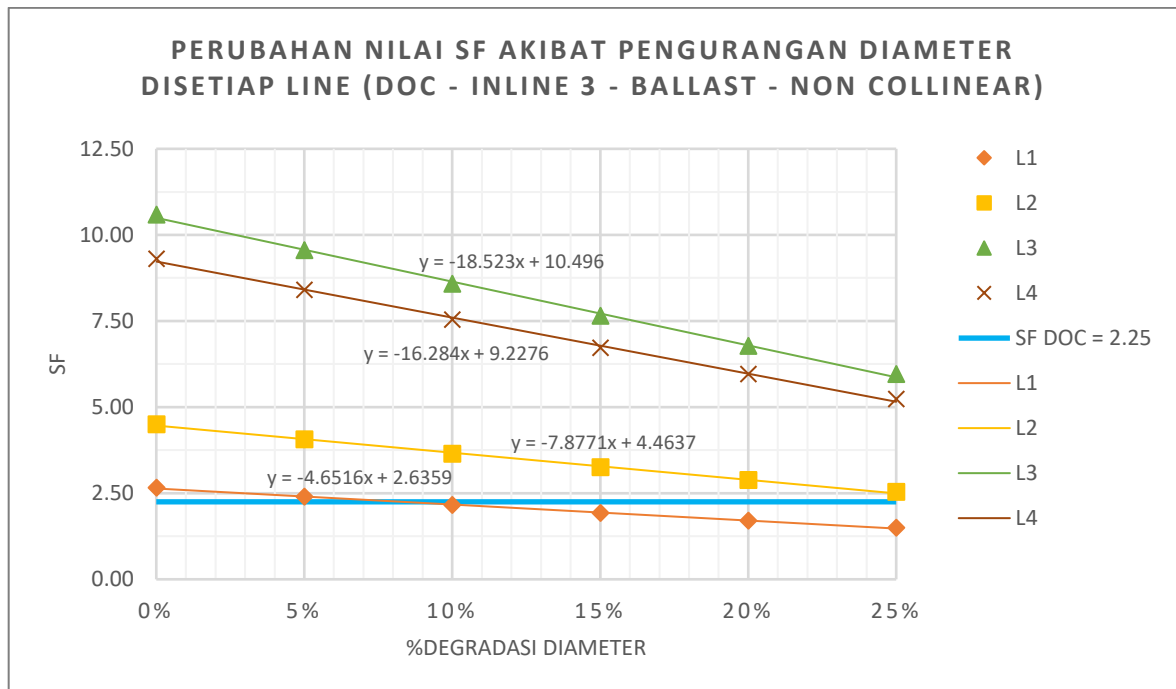
Tabel 4.90 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 3-Ballast)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	978.163	2600	2.66	OK	L1	978.163	1879	1.92	NO
L2	577.625	2600	4.50	OK	L2	577.625	1879	3.25	OK
L3	245.643	2600	10.58	OK	L3	245.643	1879	7.65	OK
L4	279.416	2600	9.31	OK	L4	279.416	1879	6.72	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	978.163	2347	2.40	OK	L1	978.163	1664	1.70	NO
L2	577.625	2347	4.06	OK	L2	577.625	1664	2.88	OK
L3	245.643	2347	9.55	OK	L3	245.643	1664	6.77	OK
L4	279.416	2347	8.40	OK	L4	279.416	1664	5.96	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	978.163	2106	2.15	NO	L1	978.163	1463	1.50	NO
L2	577.625	2106	3.65	OK	L2	577.625	1463	2.53	OK
L3	245.643	2106	8.57	OK	L3	245.643	1463	5.95	OK
L4	279.416	2106	7.54	OK	L4	279.416	1463	5.23	OK

Dari Table 4.90 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L1 sebesar 978.163 kN lalu diikuti L2 sebesar 577.625 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.91 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.71 dibawah ini.

Tabel 4.91 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 3-Ballast)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	2.66	4.50	10.58	9.31
5%	2.40	4.06	9.55	8.40
10%	2.15	3.65	8.57	7.54
15%	1.92	3.25	7.65	6.72
20%	1.70	2.88	6.77	5.96
25%	1.50	2.53	5.95	5.23
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	

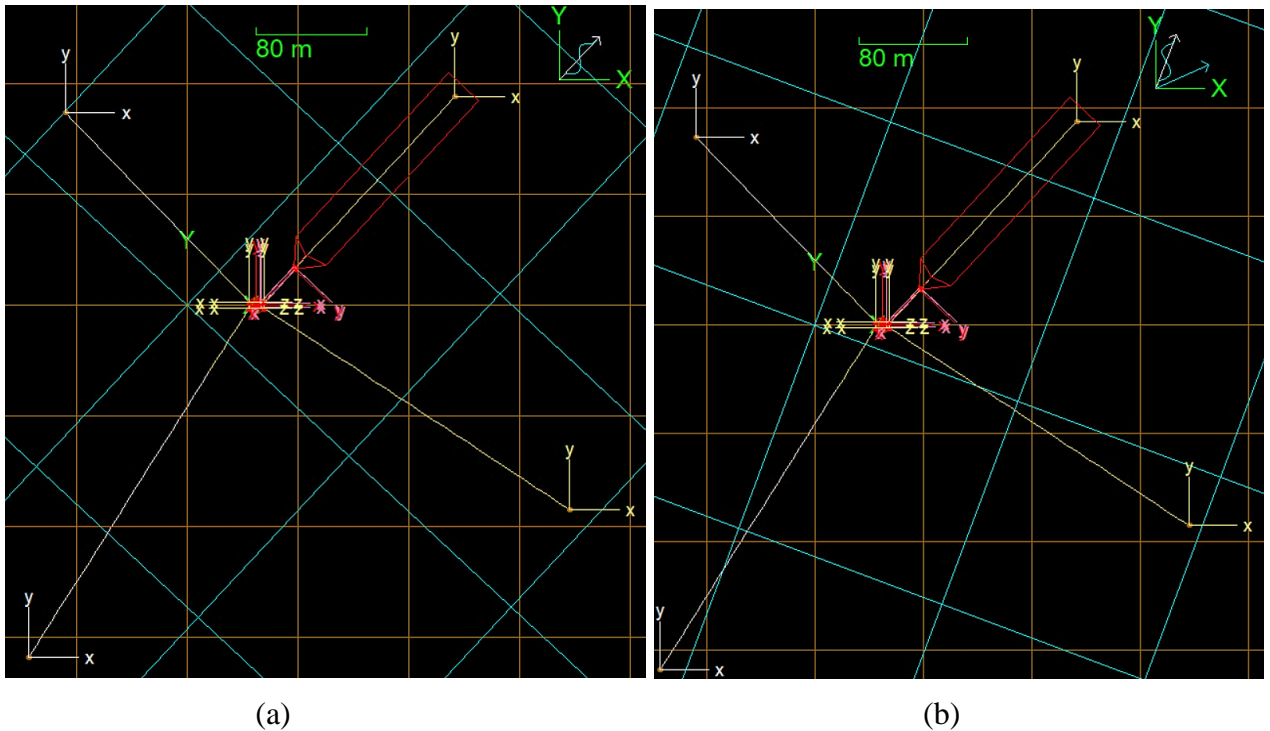


Gambar 4.71 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 3-Ballast-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.91 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L2, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L1 pada kondisi degradasi diameter sebesar 10% hingga 25% bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 3 secara keseluruhan memenuhi kriteria ABS, namun dengan catatan besar degradasi diameter pada L1 tidak boleh mencapai 10%.Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.71 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

4) Posisi 4

Posisi kapal (untuk kondisi kapal *full load* dan *ballast*) dalam pemodelan *mooring system* pada ORCAFLEX ini yaitu mengarah pada *heading* 227° dan arah pembebanan lingkungan untuk *collinear* adalah mengarah *heading* 47° dan untuk *non collinear* adalah mengarah *heading* 24.5° (untuk arus) dan *heading* 69.5° (untuk gelombang dan angin). Untuk lebih dijelasnya, *layout* posisi 4 ini ditunjukkan pada Gambar 4.72 dibawah ini.



Gambar 4.72 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (a) dan *Non Collinear* (b) Untuk Kondisi Posisi 4

Setelah dilakukan analisis dinamis pada model diatas, didapat hasil besar *tension* yang terjadi pada setiap *line* dimasing-masing kondisi *mooring system*. Hasil *tension* yang didapat ditunjukkan pada uraian dibawah ini.

a Kondisi Kapal *Full Load*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.92 dibawah ini.

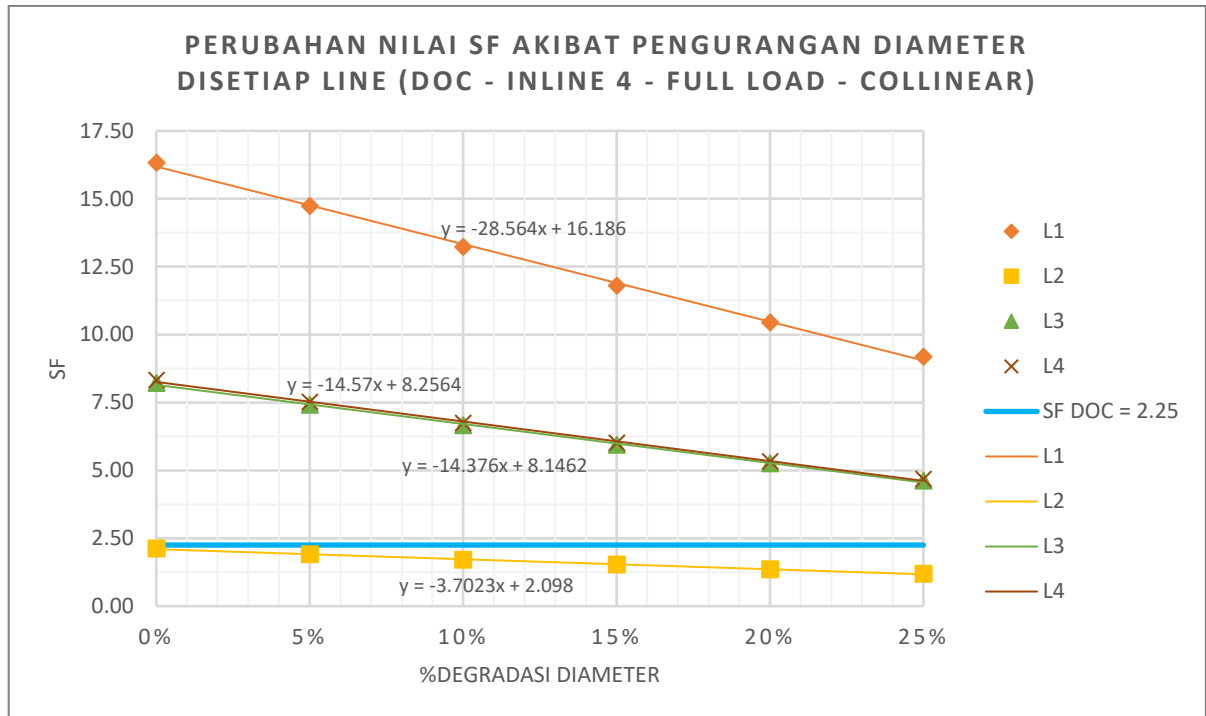
Tabel 4.92 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 4-Full Load)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	159.290	2600	16.32	OK	L1	159.290	1879	11.79	OK
L2	1228.950	2600	2.12	NO	L2	1228.950	1879	1.53	NO
L3	316.506	2600	8.21	OK	L3	316.506	1879	5.94	OK
L4	312.284	2600	8.33	OK	L4	312.284	1879	6.02	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	159.290	2347	14.73	OK	L1	159.290	1664	10.45	OK
L2	1228.950	2347	1.91	NO	L2	1228.950	1664	1.35	NO
L3	316.506	2347	7.41	OK	L3	316.506	1664	5.26	OK
L4	312.284	2347	7.51	OK	L4	312.284	1664	5.33	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	159.290	2106	13.22	OK	L1	159.290	1463	9.18	OK
L2	1228.950	2106	1.71	NO	L2	1228.950	1463	1.19	NO
L3	316.506	2106	6.65	OK	L3	316.506	1463	4.62	OK
L4	312.284	2106	6.74	OK	L4	312.284	1463	4.68	OK

Dari Table 4.92 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L2 sebesar 1228.950 kN dan diikuti oleh L3 sebesar 316.506 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.93 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.73 dibawah ini.

Tabel 4.93 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 4-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	16.32	2.12	8.21	8.33
5%	14.73	1.91	7.41	7.51
10%	13.22	1.71	6.65	6.74
15%	11.79	1.53	5.94	6.02
20%	10.45	1.35	5.26	5.33
25%	9.18	1.19	4.62	4.68
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.73 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 4-Full Load-Collinear*)

Dari Tabel 4.93 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L1, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L2 disetiap kondisi degradasi diameter bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 4 ini tidak memenuhi kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.73 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *full load* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.94 dibawah ini.

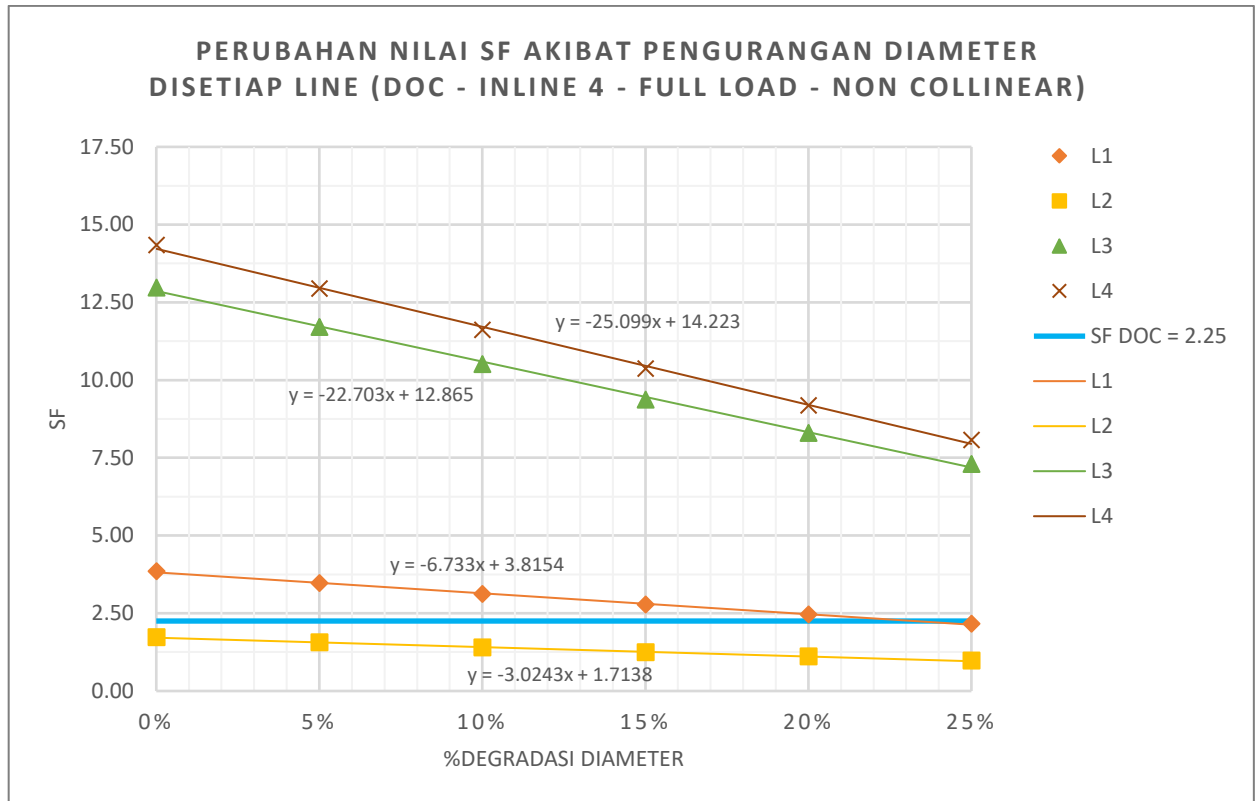
Tabel 4.94 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 4-Full Load)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	675.779	2600	3.85	OK	L1	675.779	1879	2.78	OK
L2	1504.484	2600	1.73	NO	L2	1504.484	1879	1.25	OK
L3	200.416	2600	12.97	OK	L3	200.416	1879	9.37	OK
L4	181.281	2600	14.34	OK	L4	181.281	1879	10.36	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	675.779	2347	3.47	OK	L1	675.779	1664	2.46	OK
L2	1504.484	2347	1.56	OK	L2	1504.484	1664	1.11	OK
L3	200.416	2347	11.71	OK	L3	200.416	1664	8.30	OK
L4	181.281	2347	12.94	OK	L4	181.281	1664	9.18	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	675.779	2106	3.12	OK	L1	675.779	1463	2.16	OK
L2	1504.484	2106	1.40	OK	L2	1504.484	1463	0.97	OK
L3	200.416	2106	10.51	OK	L3	200.416	1463	7.30	OK
L4	181.281	2106	11.62	OK	L4	181.281	1463	8.07	OK

Dari Table 4.94 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L2 sebesar 1504.484 kN lalu diikuti L1 sebesar 675.779 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.95 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.74 dibawah ini.

Tabel 4.95 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 4-Full Load)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	3.85	1.73	12.97	14.34
5%	3.47	1.56	11.71	12.94
10%	3.12	1.40	10.51	11.62
15%	2.78	1.25	9.37	10.36
20%	2.46	1.11	8.30	9.18
25%	2.16	0.97	7.30	8.07
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.74 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 4-Full Load-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.95 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF di L1 pada kondisi degradasi diameter sebesar 25% dibawah 2.25, serta nilai SF pada L2 disetiap kondisi bernilai dibawah 2.25. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *full load* pada posisi 4 ini tidak memenuhi kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.74 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

b Kondisi Kapal *Ballast*

Besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.96 dibawah ini.

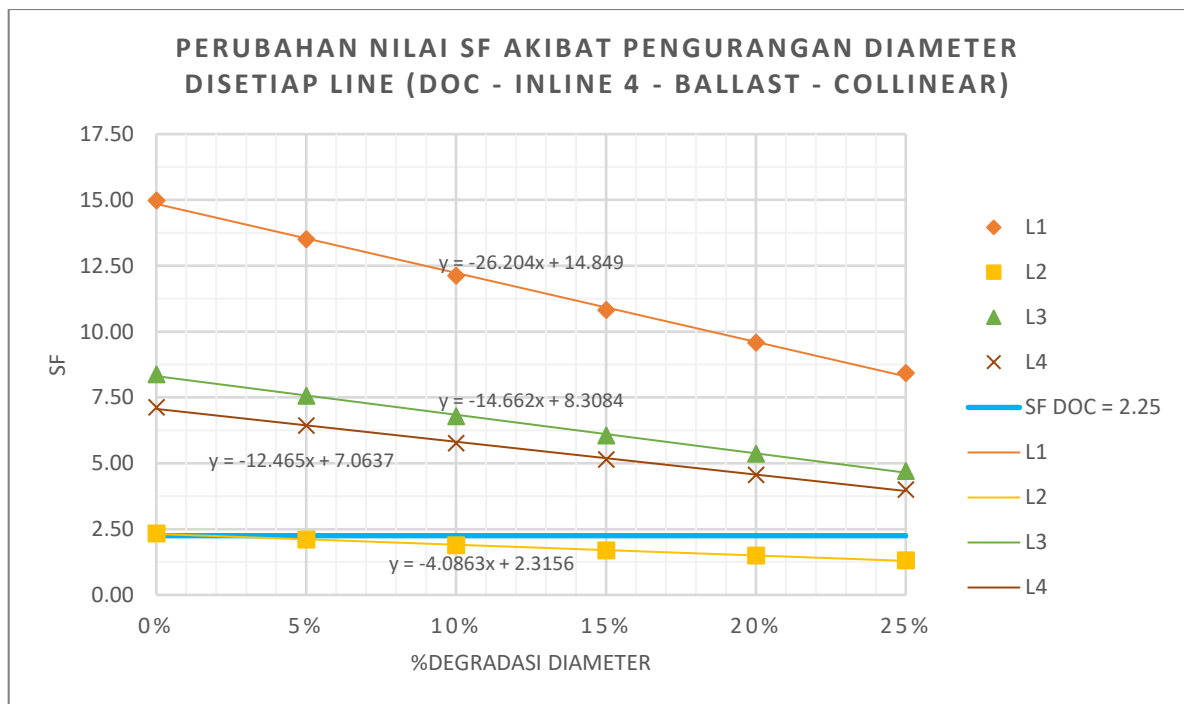
Tabel 4.96 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (*inline 4-Ballast*)

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	173.635	2600	14.97	OK	L1	173.635	1879	10.82	OK
L2	1113.468	2600	2.34	OK	L2	1113.468	1879	1.69	NO
L3	310.328	2600	8.38	OK	L3	310.328	1879	6.05	OK
L4	365.011	2600	7.12	OK	L4	365.011	1879	5.15	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	173.635	2347	13.51	OK	L1	173.635	1664	9.58	OK
L2	1113.468	2347	2.11	NO	L2	1113.468	1664	1.49	NO
L3	310.328	2347	7.56	OK	L3	310.328	1664	5.36	OK
L4	365.011	2347	6.43	OK	L4	365.011	1664	4.56	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	173.635	2106	12.13	OK	L1	173.635	1463	8.42	OK
L2	1113.468	2106	1.89	NO	L2	1113.468	1463	1.31	NO
L3	310.328	2106	6.79	OK	L3	310.328	1463	4.71	OK
L4	365.011	2106	5.77	OK	L4	365.011	1463	4.01	OK

Dari Table 4.96 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L2 sebesar 1113.468 kN dan diikuti oleh L4 sebesar 365.011 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.97 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.75 dibawah ini.

Tabel 4.97 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 4-Ballast)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	14.97	2.34	8.38	7.12
5%	13.51	2.11	7.56	6.43
10%	12.13	1.89	6.79	5.77
15%	10.82	1.69	6.05	5.15
20%	9.58	1.49	5.36	4.56
25%	8.42	1.31	4.71	4.01
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.75 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 4-Ballast-Collinear*)

Dari Tabel 4.97 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L1, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF pada L2 pada kondisi degradasi diameter sebesar 5% hingga 25% bernilai dibawah 2.25, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal

ballast pada posisi 4 ini masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter yang terjadi pada L2 tidak boleh mencapai 5%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.75 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi kapal *ballast* dengan arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.98 dibawah ini.

Tabel 4.98 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 4-Ballast)*

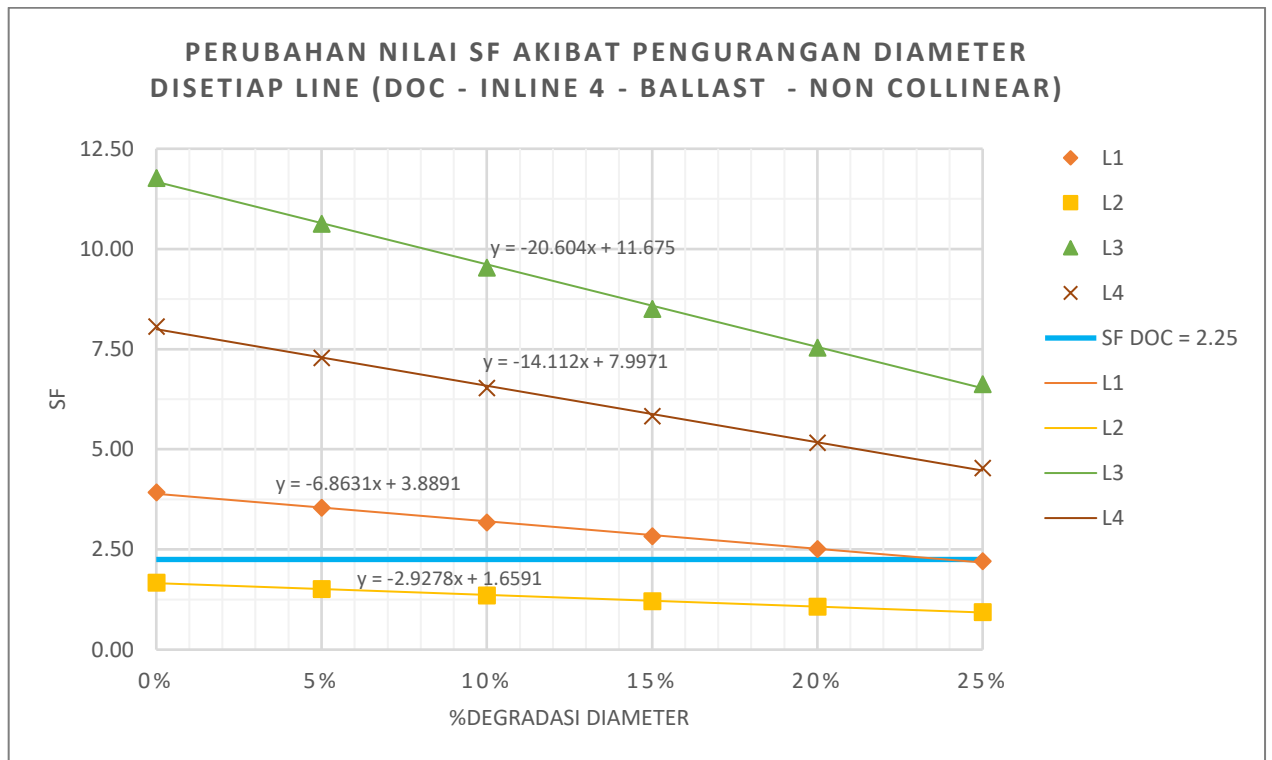
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	662.963	2600	3.92	OK	L1	662.963	1879	2.83	OK
L2	1554.055	2600	1.67	NO	L2	1554.055	1879	1.21	NO
L3	220.833	2600	11.77	OK	L3	220.833	1879	8.51	OK
L4	322.410	2600	8.06	OK	L4	322.410	1879	5.83	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	662.963	2347	3.54	OK	L1	662.963	1664	2.51	OK
L2	1554.055	2347	1.51	NO	L2	1554.055	1664	1.07	NO
L3	220.833	2347	10.63	OK	L3	220.833	1664	7.54	OK
L4	322.410	2347	7.28	OK	L4	322.410	1664	5.16	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	662.963	2106	3.18	OK	L1	662.963	1463	2.21	NO
L2	1554.055	2106	1.36	NO	L2	1554.055	1463	0.94	NO
L3	220.833	2106	9.54	OK	L3	220.833	1463	6.62	OK
L4	322.410	2106	6.53	OK	L4	322.410	1463	4.54	OK

Dari Table 4.98 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L3 sebesar 1554.055 kN lalu diikuti L1 sebesar 662.963 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan

pada Table 4.99 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.76 dibawah ini.

Tabel 4.99 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 4-Ballast)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	3.92	1.67	11.77	8.06
5%	3.54	1.51	10.63	7.28
10%	3.18	1.36	9.54	6.53
15%	2.83	1.21	8.51	5.83
20%	2.51	1.07	7.54	5.16
25%	2.21	0.94	6.62	4.54
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	



Gambar 4.76 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 4-Ballast-Non Collinear*)

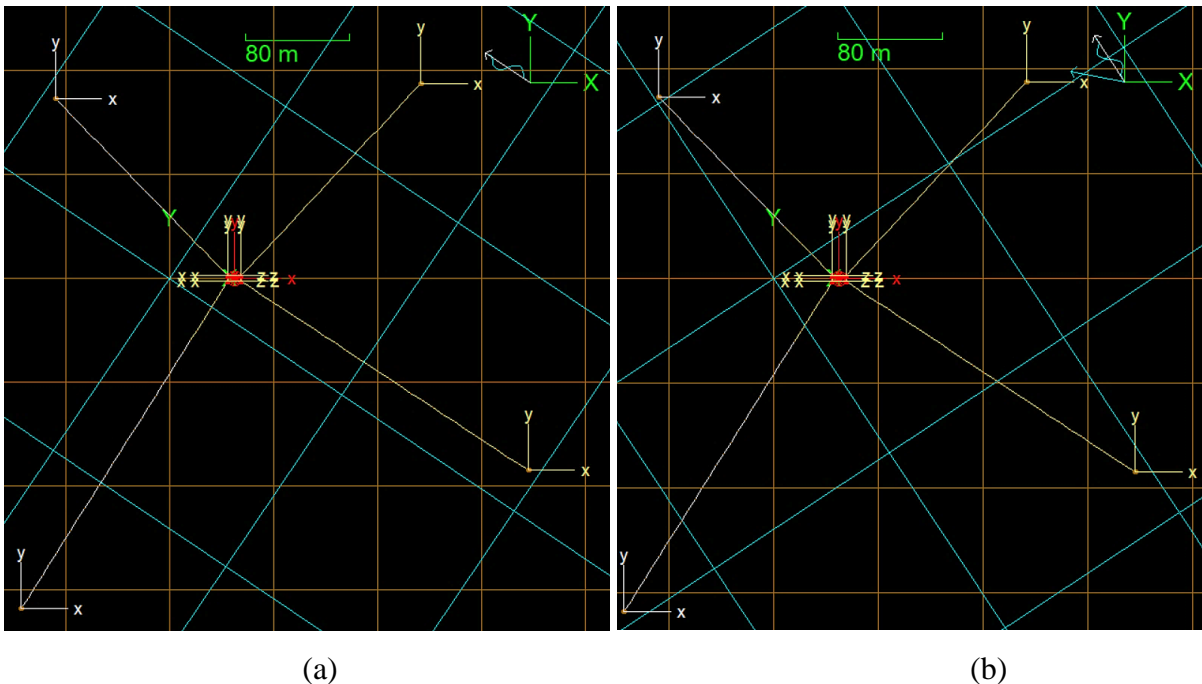
Dari Tabel 4.99 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF di L1 pada kondisi degradasi

diameter sebesar 25% dibawah 2.25, serta nilai SF pada L2 disetiap kondisi bernilai dibawah 2.25. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DOC *non collinear* dengan periode ulang 10 tahun dan dengan kondisi kapal *ballast* pada posisi 4 ini tidak memenuhi kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.51 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

4.5.2 Mooring System Dengan Kondisi Lingkungan DEC

1) Posisi 1

Pada posisi ini, *mooring system* dikenai arah pembebanan lingkungan untuk *collinear* adalah mengarah *heading* 146° dan untuk *non collinear* adalah mengarah *heading* 168.5° (untuk arus) dan *heading* 123.5° (untuk gelombang dan angin). Untuk lebih dijelasnya, *layout* posisi 1 ini ditunjukkan pada Gambar 4.77 dibawah ini.



Gambar 4.77 Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (a) dan *Non Collinear* (b) Untuk Kondisi Posisi 1

Setelah dilakukan analisis dinamis pada model diatas, didapat hasil besar *tension* yang terjadi pada setiap *line* dimasing-masing kondisi *mooring system*. Besar nilai *tension* pada kondisi arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.100 dibawah ini.

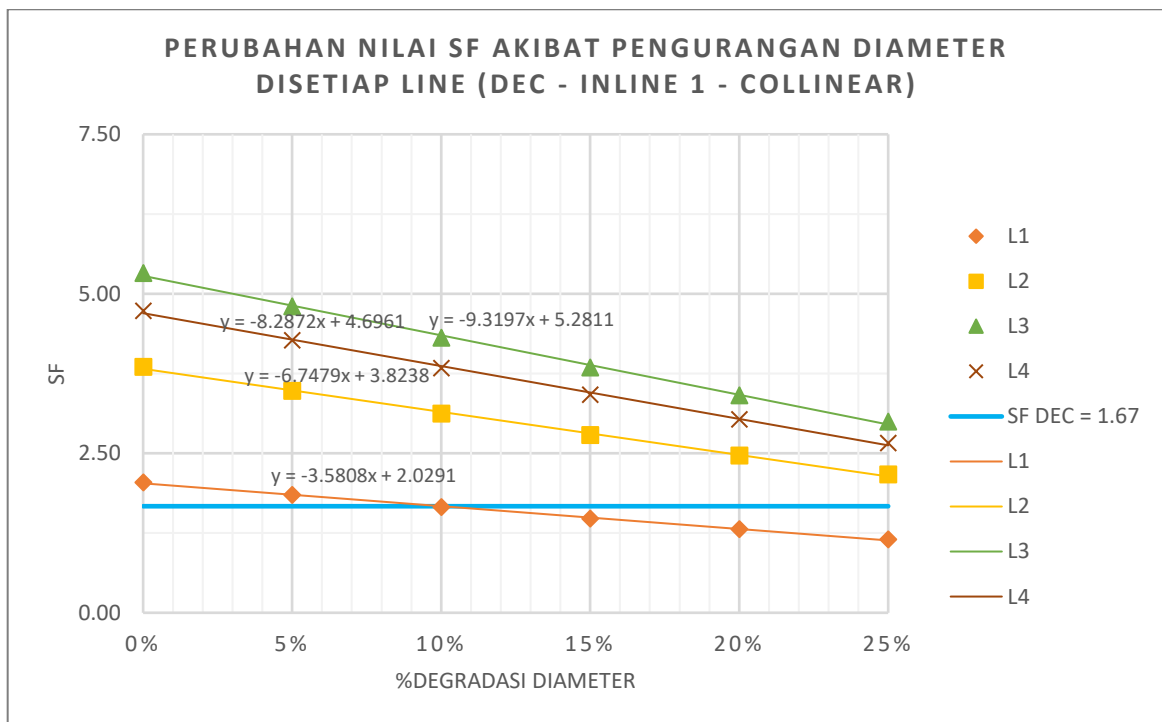
Tabel 4.100 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 1)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1270.648	2600	2.05	OK	L1	1270.648	1879	1.48	NO
L2	674.288	2600	3.86	OK	L2	674.288	1879	2.79	OK
L3	488.216	2600	5.33	OK	L3	488.216	1879	3.85	OK
L4	549.037	2600	4.74	OK	L4	549.037	1879	3.42	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1270.648	2347	1.85	OK	L1	1270.648	1664	1.31	NO
L2	674.288	2347	3.48	OK	L2	674.288	1664	2.47	OK
L3	488.216	2347	4.81	OK	L3	488.216	1664	3.41	OK
L4	549.037	2347	4.27	OK	L4	549.037	1664	3.03	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1270.648	2106	1.66	NO	L1	1270.648	1463	1.15	NO
L2	674.288	2106	3.12	OK	L2	674.288	1463	2.17	OK
L3	488.216	2106	4.31	OK	L3	488.216	1463	3.00	OK
L4	549.037	2106	3.84	OK	L4	549.037	1463	2.66	OK

Dari Table 4.100 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L1 sebesar 1270.648 kN dan diikuti oleh L2 sebesar 674.288 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.101 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.78 dibawah ini.

Tabel 4.101 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 1)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	2.05	3.86	5.33	4.74
5%	1.85	3.48	4.81	4.27
10%	1.66	3.12	4.31	3.84
15%	1.48	2.79	3.85	3.42
20%	1.31	2.47	3.41	3.03
25%	1.15	2.17	3.00	2.66
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.78 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 1-Collinear*)

Dari Tabel 4.101 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L2, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 1.67, sedangkan nilai SF pada *mooring line* L1 pada kondisi degradasi diameter sebesar 10% hingga 25% dibawah 1.67. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DEC *collinear* dengan periode ulang 100 tahun

masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter yang terjadi pada L1 tidak boleh mencapai 10%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.78 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.102 dibawah ini.

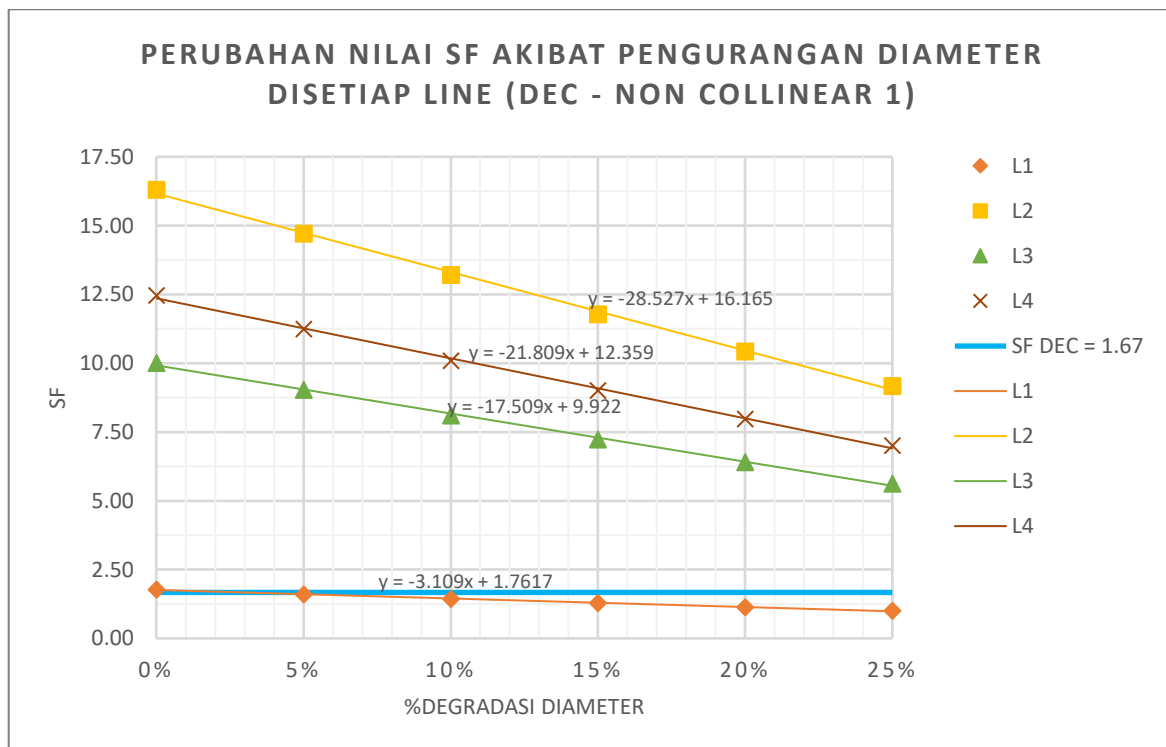
Tabel 4.102 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 1)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1463.513	2600	1.78	OK	L1	1463.513	1879	1.28	NO
L2	159.496	2600	16.30	OK	L2	159.496	1879	11.78	OK
L3	259.859	2600	10.01	OK	L3	259.859	1879	7.23	OK
L4	208.626	2600	12.46	OK	L4	208.626	1879	9.00	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1463.513	2347	1.60	NO	L1	1463.513	1664	1.14	NO
L2	159.496	2347	14.71	OK	L2	159.496	1664	10.43	OK
L3	259.859	2347	9.03	OK	L3	259.859	1664	6.40	OK
L4	208.626	2347	11.25	OK	L4	208.626	1664	7.98	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	1463.513	2106	1.44	NO	L1	1463.513	1463	1.00	NO
L2	159.496	2106	13.20	OK	L2	159.496	1463	9.17	OK
L3	259.859	2106	8.10	OK	L3	259.859	1463	5.63	OK
L4	208.626	2106	10.09	OK	L4	208.626	1463	7.01	OK

Dari Table 4.102 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L1 sebesar 1463.513 kN lalu diikuti L3 sebesar 259.859 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.103 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.79 dibawah ini.

Tabel 4.103 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 1)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	1.78	16.30	10.01	12.46
5%	1.60	14.71	9.03	11.25
10%	1.44	13.20	8.10	10.09
15%	1.28	11.78	7.23	9.00
20%	1.14	10.43	6.40	7.98
25%	1.00	9.17	5.63	7.01
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	



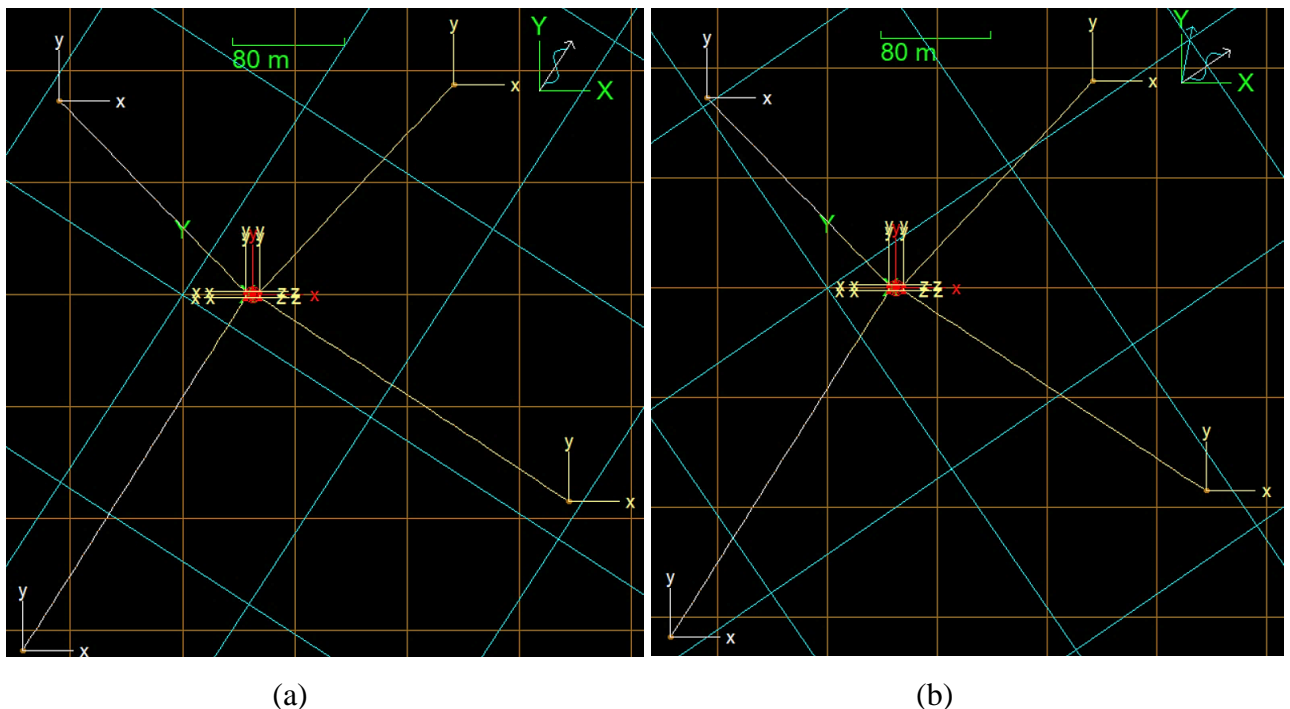
Gambar 4.79 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 1-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.103 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L2, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 1.67, sedangkan nilai SF pada *mooring line* L1 pada kondisi degradasi diameter sebesar 5% hingga 25% dibawah 1.67. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan

DEC *non collinear* dengan periode ulang 100 tahun masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter yang terjadi pada L1 tidak boleh mencapai 5%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.79 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

2) Posisi 2

Pada posisi ini, *mooring system* dikenai arah pembebanan lingkungan untuk *collinear* adalah mengarah *heading* 57° dan untuk *non collinear* adalah mengarah *heading* 79.5° (untuk arus) dan *heading* 34.5° (untuk gelombang dan angin). Untuk lebih dijelasnya, *layout* posisi 2 ini ditunjukkan pada Gambar 4.80 dibawah ini.



Gambar 4.80 Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (a) dan *Non Collinear* (b) Untuk Kondisi Posisi 2

Setelah dilakukan analisis dinamis pada model diatas, didapat hasil besar *tension* yang terjadi pada setiap *line* dimasing-masing kondisi *mooring system*. Hasil *tension*

yang didapat ditunjukkan pada uraian dibawah ini. Besar nilai *tension* pada kondisi arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.104 dibawah ini.

Tabel 4.104 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 2)*

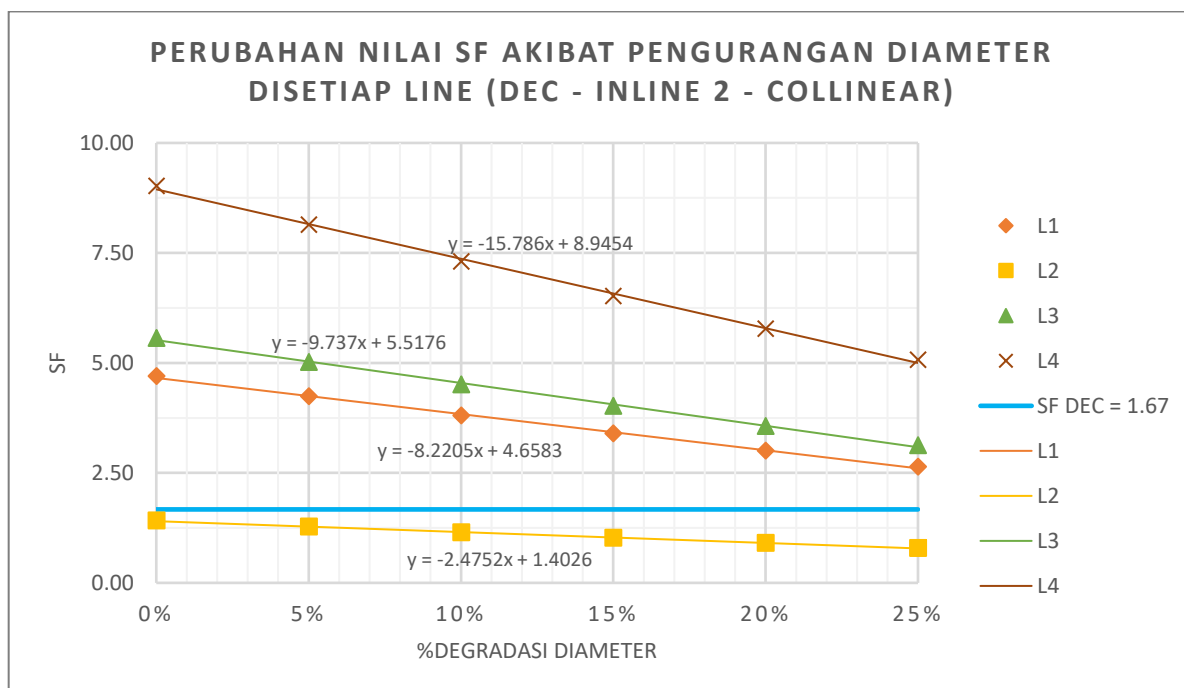
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	553.492	2600	4.70	OK	L1	553.492	1879	3.39	OK
L2	1838.252	2600	1.41	NO	L2	1838.252	1879	1.02	NO
L3	467.291	2600	5.56	OK	L3	467.291	1879	4.02	OK
L4	288.231	2600	9.02	OK	L4	288.231	1879	6.52	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	553.492	2347	4.24	OK	L1	553.492	1664	3.01	OK
L2	1838.252	2347	1.28	NO	L2	1838.252	1664	0.91	NO
L3	467.291	2347	5.02	OK	L3	467.291	1664	3.56	OK
L4	288.231	2347	8.14	OK	L4	288.231	1664	5.77	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	553.492	2106	3.80	OK	L1	553.492	1463	2.64	OK
L2	1838.252	2106	1.15	NO	L2	1838.252	1463	0.80	NO
L3	467.291	2106	4.51	OK	L3	467.291	1463	3.13	OK
L4	288.231	2106	7.31	OK	L4	288.231	1463	5.07	OK

Dari Table 4.104 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L2 sebesar 1838.252 kN dan diikuti oleh L1 sebesar 553.492 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.105 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.81 dibawah ini.

Tabel 4.105 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 2)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	4.70	1.41	5.56	9.02

5%	4.24	1.28	5.02	8.14
10%	3.80	1.15	4.51	7.31
15%	3.39	1.02	4.02	6.52
20%	3.01	0.91	3.56	5.77
25%	2.64	0.80	3.13	5.07
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	



Gambar 4.81 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 2-Collinear*)

Dari Tabel 4.105 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L1, L3, dan L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 1.67, sedangkan nilai SF pada L2 disetiap kondisi degradasi diameter dibawah 1.67, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DEC *collinear* dengan periode ulang 100 tahun pada posisi 2 ini tidak memenuhi kriteria ABS. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.81 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.106 dibawah ini.

Tabel 4.106 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 2)*

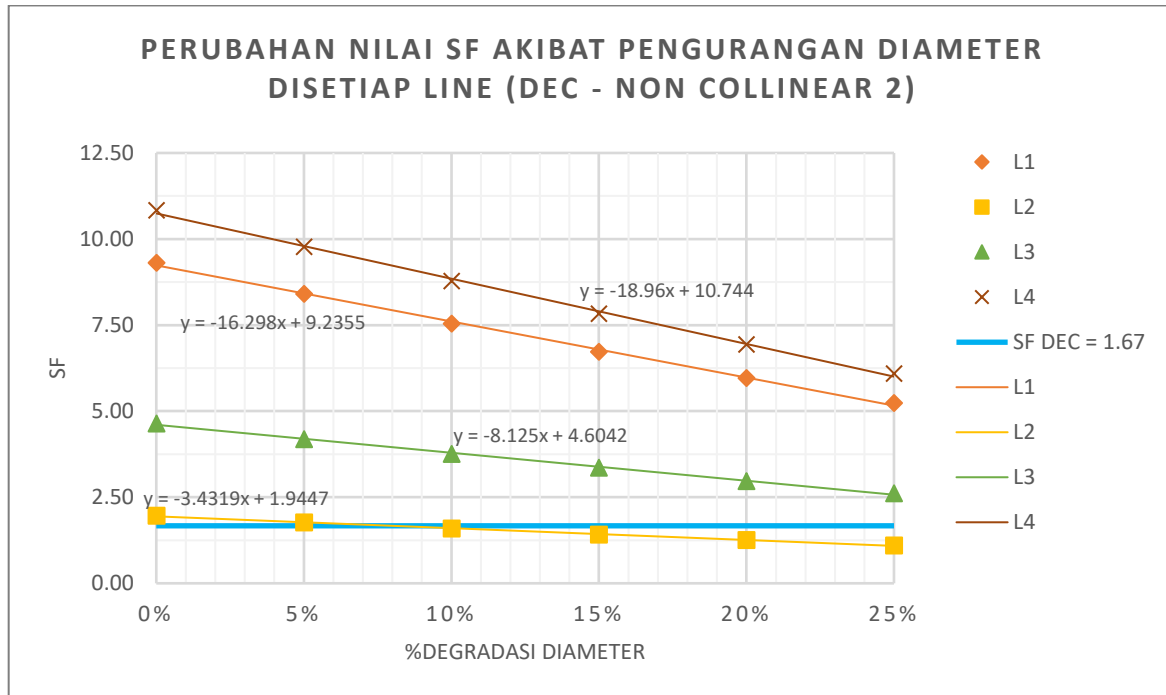
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	279.178	2600	9.31	OK	L1	279.178	1879	6.73	OK
L2	1325.807	2600	1.96	OK	L2	1325.807	1879	1.42	NO
L3	560.000	2600	4.64	OK	L3	560.000	1879	3.35	OK
L4	239.977	2600	10.83	OK	L4	239.977	1879	7.83	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	279.178	2347	8.41	OK	L1	279.178	1664	5.96	OK
L2	1325.807	2347	1.77	OK	L2	1325.807	1664	1.26	NO
L3	560.000	2347	4.19	OK	L3	560.000	1664	2.97	OK
L4	239.977	2347	9.78	OK	L4	239.977	1664	6.93	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	279.178	2106	7.54	OK	L1	279.178	1463	5.24	OK
L2	1325.807	2106	1.59	NO	L2	1325.807	1463	1.10	NO
L3	560.000	2106	3.76	OK	L3	560.000	1463	2.61	OK
L4	239.977	2106	8.78	OK	L4	239.977	1463	6.09	OK

Dari Table 4.106 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L2 sebesar 1325.807 kN lalu diikuti L3 sebesar 560 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.107 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.82 dibawah ini.

Tabel 4.107 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 2)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	9.31	1.96	4.64	10.83
5%	8.41	1.77	4.19	9.78
10%	7.54	1.59	3.76	8.78
15%	6.73	1.42	3.35	7.83
20%	5.96	1.26	2.97	6.93

25%	5.24	1.10	2.61	6.09
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	

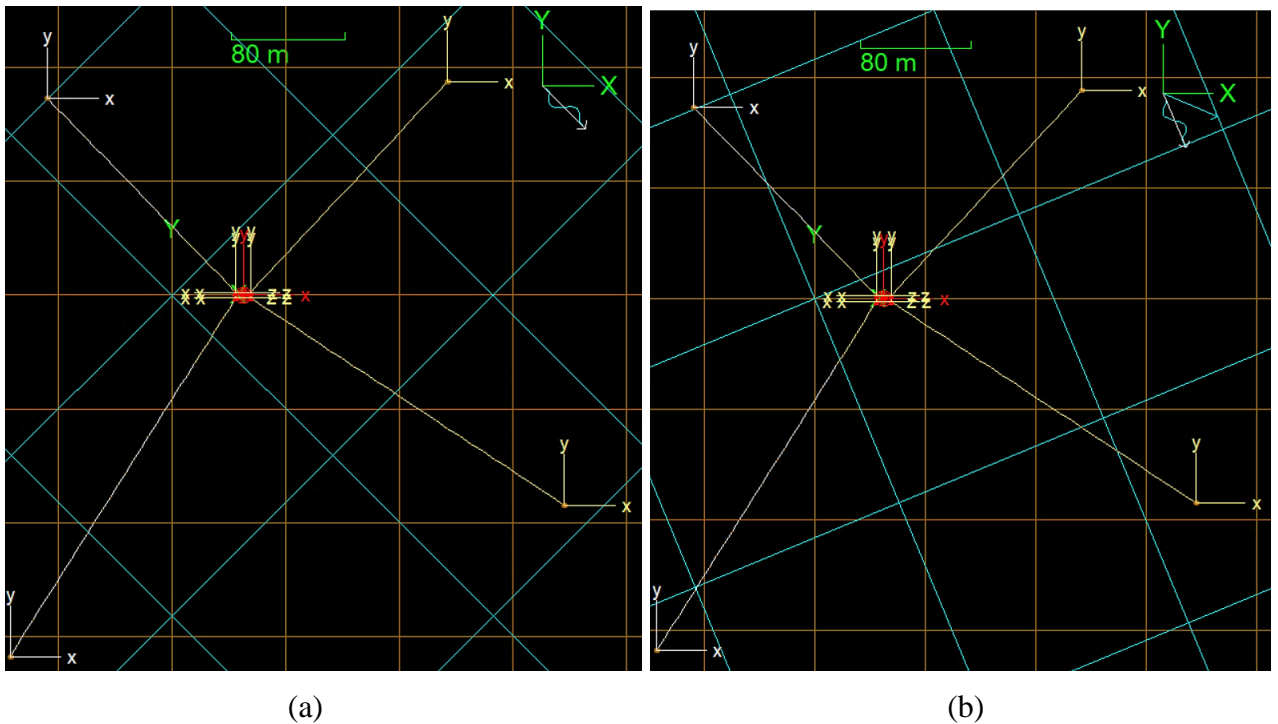


Gambar 4.82 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 2-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.107 diatas, dapat dilihat jika nilai SF pada *mooring line* L1, L3, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 1.67, namun nilai SF di L2 pada kondisi degradasi diameter sebesar 5% hingga 25% dibawah 1.67. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DEC *non collinear* dengan periode ulang 100 tahun pada posisi 2 ini masih memenuhi kriteria ABS, dengan catatan besar degradasi diameter yang terjadi pada L2 tidak boleh mencapai 5%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.82 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

3) Posisi 3

Pada posisi ini, *mooring system* dikenai arah pembebanan lingkungan untuk *collinear* adalah mengarah *heading* -45° dan untuk *non collinear* adalah mengarah *heading* -22.5° (untuk arus) dan *heading* -67.5° (untuk gelombang dan angin). Untuk lebih dijelasnya, *layout* posisi 3 ini ditunjukkan pada Gambar 4.83 dibawah ini.



Gambar 4.83 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (a) dan *Non Collinear* (b) Untuk Kondisi Posisi 3

Setelah dilakukan analisis dinamis pada model diatas, didapat hasil besar *tension* yang terjadi pada setiap *line* dimasing-masing kondisi *mooring system*. Hasil *tension* yang didapat ditunjukkan pada uraian dibawah ini. Besar nilai *tension* pada kondisi arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiapp kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.108 dibawah ini.

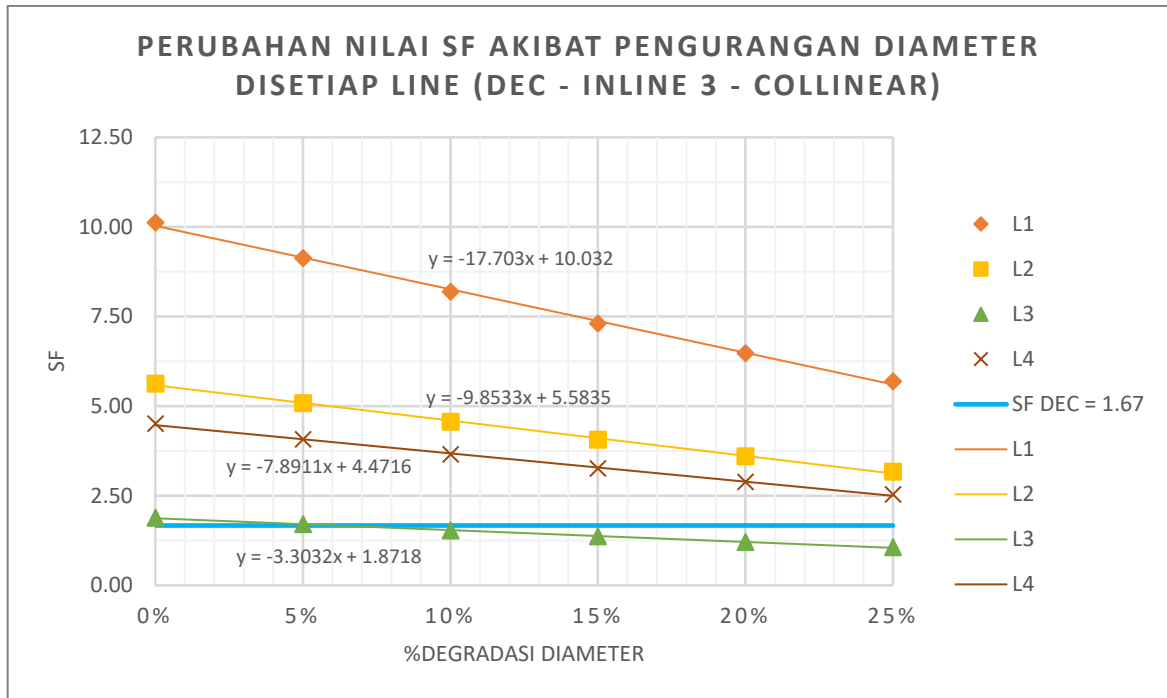
Tabel 4.108 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 3)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	257.012	2600	10.12	OK	L1	257.012	1879	7.31	OK
L2	461.776	2600	5.63	OK	L2	461.776	1879	4.07	OK
L3	1377.471	2600	1.89	OK	L3	1377.471	1879	1.36	NO
L4	576.597	2600	4.51	OK	L4	576.597	1879	3.26	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	257.012	2347	9.13	OK	L1	257.012	1664	6.47	OK
L2	461.776	2347	5.08	OK	L2	461.776	1664	3.60	OK
L3	1377.471	2347	1.70	OK	L3	1377.471	1664	1.21	NO
L4	576.597	2347	4.07	OK	L4	576.597	1664	2.89	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	257.012	2106	8.19	OK	L1	257.012	1463	5.69	OK
L2	461.776	2106	4.56	OK	L2	461.776	1463	3.17	OK
L3	1377.471	2106	1.53	NO	L3	1377.471	1463	1.06	NO
L4	576.597	2106	3.65	OK	L4	576.597	1463	2.54	OK

Dari Table 4.108 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L3 sebesar 1377.471 kN dan diikuti oleh L4 sebesar 576.597 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.109 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.84 dibawah ini.

Tabel 4.109 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 3)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	10.12	5.63	1.89	4.51
5%	9.13	5.08	1.70	4.07
10%	8.19	4.56	1.53	3.65
15%	7.31	4.07	1.36	3.26
20%	6.47	3.60	1.21	2.89
25%	5.69	3.17	1.06	2.54
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	



Gambar 4.84 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 3-Collinear*)

Dari Tabel 4.109 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L1, L2, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 1.67, namun nilai SF pada L3 dikondisi degradasi diameter sebesar 10% hingga 25% bernilai dibawah 1.67, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DEC *collinear* dengan periode ulang 100 tahun pada posisi 3 ini secara keseluruhan memenuhi kriteria ABS, namun dengan catatan besar degradasi diameter pada L3 tidak boleh mencapai 10%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.84 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.110 dibawah ini.

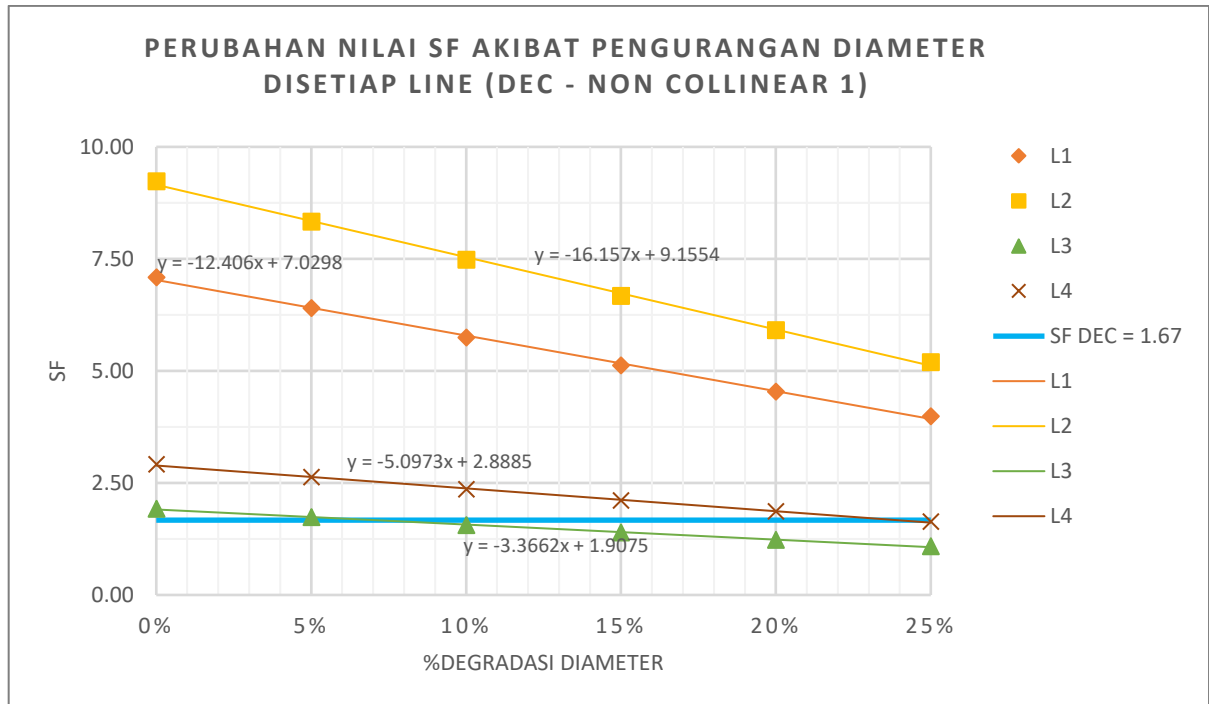
Tabel 4.110 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 3)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	366.771	2600	7.09	OK	L1	366.771	1879	5.12	OK
L2	281.619	2600	9.23	OK	L2	281.619	1879	6.67	OK
L3	1351.690	2600	1.92	OK	L3	1351.690	1879	1.39	NO
L4	892.635	2600	2.91	OK	L4	892.635	1879	2.10	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	366.771	2347	6.40	OK	L1	366.771	1664	4.54	OK
L2	281.619	2347	8.33	OK	L2	281.619	1664	5.91	OK
L3	1351.690	2347	1.74	OK	L3	1351.690	1664	1.23	NO
L4	892.635	2347	2.63	OK	L4	892.635	1664	1.86	OK
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	366.771	2106	5.74	OK	L1	366.771	1463	3.99	OK
L2	281.619	2106	7.48	OK	L2	281.619	1463	5.19	OK
L3	1351.690	2106	1.56	NO	L3	1351.690	1463	1.08	NO
L4	892.635	2106	2.36	OK	L4	892.635	1463	1.64	NO

Dari Table 4.110 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L3 sebesar 1351.690 kN lalu diikuti L4 sebesar 892.635 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.111 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.85 dibawah ini.

Tabel 4.111 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 3)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	7.09	9.23	1.92	2.91
5%	6.40	8.33	1.74	2.63
10%	5.74	7.48	1.56	2.36
15%	5.12	6.67	1.39	2.10
20%	4.54	5.91	1.23	1.86
25%	3.99	5.19	1.08	1.64
Keterangan :				
			OK	
			NOT OK	



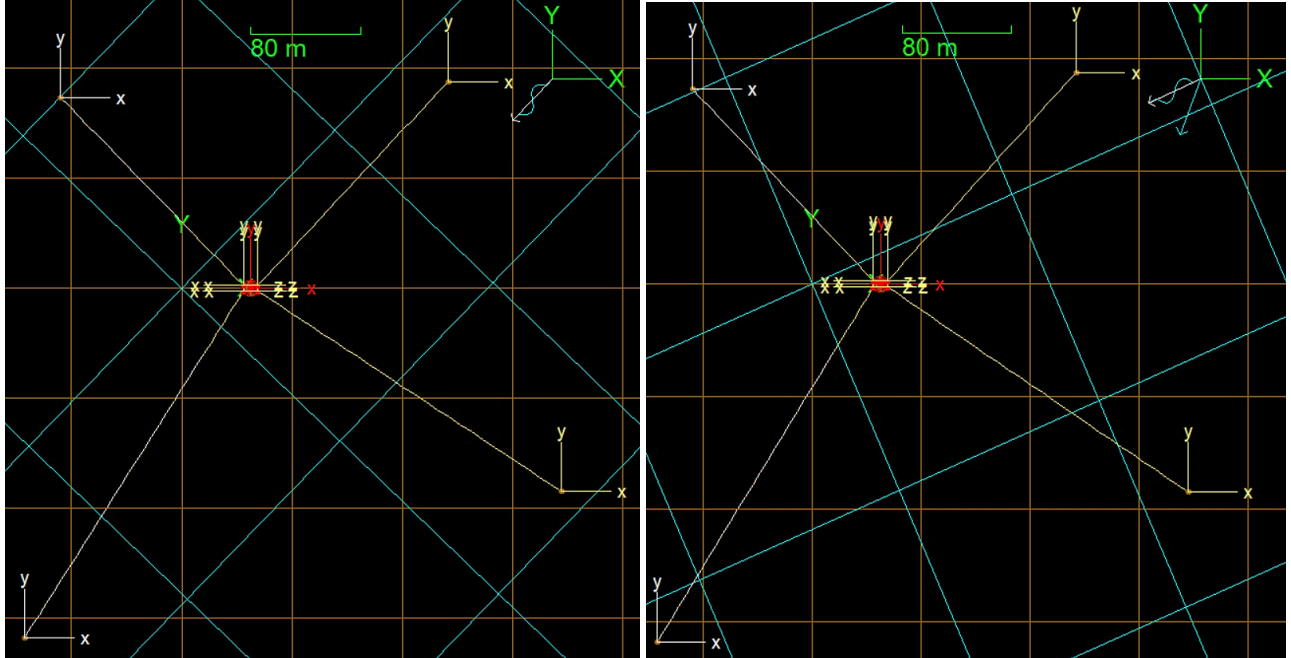
Gambar 4.85 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 3-Non Collinear*)

Dari Tabel 4.111 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L1, L2, L4 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 1.67, namun nilai SF pada L3 dikondisi degradasi diameter sebesar 10% hingga 25% bernilai dibawah 1.67, sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DEC *non collinear* dengan periode ulang 100 tahun pada posisi 3 ini secara keseluruhan memenuhi kriteria ABS, namun dengan catatan besar degradasi diameter pada L3 tidak boleh mencapai 10%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.85 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

4) Posisi 4

Pada posisi ini, *mooring system* dikenai arah pembebanan lingkungan untuk *collinear* adalah mengarah *heading* 226⁰ dan untuk *non collinear* adalah mengarah

heading 248.5° (untuk arus) dan heading 293.5° (untuk gelombang dan angin). Untuk lebih dijelasnya, *layout* posisi 4 ini ditunjukkan pada Gambar 4.86 dibawah ini.



(a) (b)
Gambar 4.86 Lokasi Kapal dan Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (a) dan *Non Collinear* (b) Untuk Kondisi Posisi 4

Setelah dilakukan analisis dinamis pada model diatas, didapat hasil besar *tension* yang terjadi pada setiap *line* dimasing-masing kondisi *mooring system*. Hasil *tension* yang didapat ditunjukkan pada uraian dibawah ini. Besar nilai *tension* pada kondisi arah pembebanan lingkungan *collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.112 dibawah ini.

Tabel 4.112 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear* (*Inline* 4)

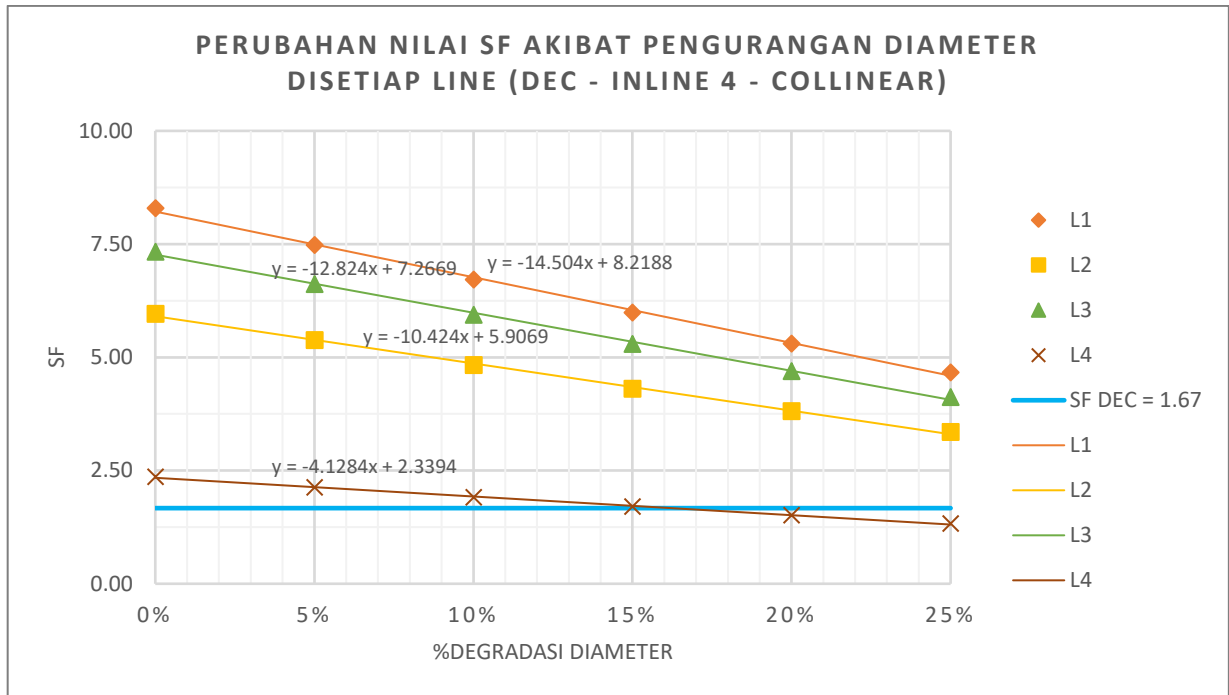
Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	313.712	2600	8.29	OK	L1	313.712	1879	5.99	OK
L2	436.495	2600	5.96	OK	L2	436.495	1879	4.30	OK
L3	354.807	2600	7.33	OK	L3	354.807	1879	5.29	OK
L4	1102.119	2600	2.36	OK	L4	1102.119	1879	1.70	OK

Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	313.712	2347	7.48	OK	L1	313.712	1664	5.30	OK
L2	436.495	2347	5.38	OK	L2	436.495	1664	3.81	OK
L3	354.807	2347	6.61	OK	L3	354.807	1664	4.69	OK
L4	1102.119	2347	2.13	OK	L4	1102.119	1664	1.51	NO
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	313.712	2106	6.71	OK	L1	313.712	1463	4.66	OK
L2	436.495	2106	4.82	OK	L2	436.495	1463	3.35	OK
L3	354.807	2106	5.94	OK	L3	354.807	1463	4.12	OK
L4	1102.119	2106	1.91	OK	L4	1102.119	1463	1.33	NO

Dari Table 4.112 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L4 sebesar 1102.119 kN dan diikuti oleh L2 sebesar 436.495 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.113 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.87 dibawah ini.

Tabel 4.113 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Collinear (Inline 4)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	8.29	5.96	7.33	2.36
5%	7.48	5.38	6.61	2.13
10%	6.71	4.82	5.94	1.91
15%	5.99	4.30	5.29	1.70
20%	5.30	3.81	4.69	1.51
25%	4.66	3.35	4.12	1.33
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.87 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 4-Collinear*)

Dari Tabel 4.113 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L1, L2, L3 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF di L2 pada kondisi degradasi diameter sebesar 20% hingga 25% bernilai dibawah 2.25. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DEC *collinear* dengan periode ulang 100 tahun pada posisi 4 ini masih memenuhi kriteria ABS, namun dengan catatan besar degradasi diameter pada L4 tidak boleh mencapai 20%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.87 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

Setelah itu, besar nilai *tension* pada kondisi arah pembebanan lingkungan *non collinear* dan nilai SF pada *mooring lines* disetiap setiap kondisi pengurangan diameter rantai ditunjukkan pada Table 4.114 dibawah ini.

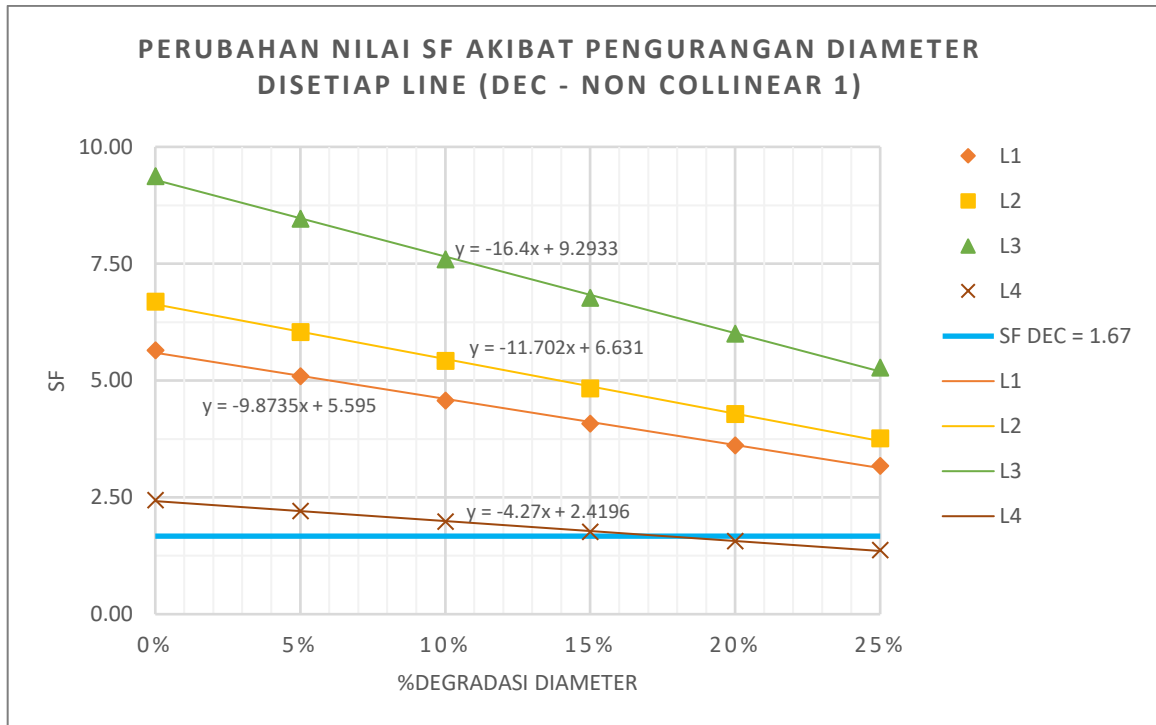
Tabel 4.114 Hasil *Tension* dan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 4)*

Kondisi 1					Kondisi 4				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	460.829	2600	5.64	OK	L1	460.829	1879	4.08	OK
L2	388.829	2600	6.69	OK	L2	388.829	1879	4.83	OK
L3	277.440	2600	9.37	OK	L3	277.440	1879	6.77	OK
L4	1065.585	2600	2.44	OK	L4	1065.585	1879	1.76	OK
Kondisi 2					Kondisi 5				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	460.829	2347	5.09	OK	L1	460.829	1664	3.61	OK
L2	388.829	2347	6.03	OK	L2	388.829	1664	4.28	OK
L3	277.440	2347	8.46	OK	L3	277.440	1664	6.00	OK
L4	1065.585	2347	2.20	OK	L4	1065.585	1664	1.56	NO
Kondisi 3					Kondisi 6				
Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status	Line	Tension (kN)	MBL	SF	Status
L1	460.829	2106	4.57	OK	L1	460.829	1463	3.17	OK
L2	388.829	2106	5.42	OK	L2	388.829	1463	3.76	OK
L3	277.440	2106	7.59	OK	L3	277.440	1463	5.27	OK
L4	1065.585	2106	1.98	OK	L4	1065.585	1463	1.37	NO

Dari Table 4.114 diatas, nilai *tension* terbesar terjadi pada L4 sebesar 1065.585 kN lalu diikuti L1 sebesar 460.829 kN. Setelah itu, perubahan nilai SF dari masing-masing *mooring lines* disetiap kondisi degradasi diameter pada arah pembebanan lingkungan *non collinear* dapat ditunjukkan pada Table 4.115 dibawah ini. Selain itu, grafik perubahan nilai SF nya dapat dilihat pada Gambar 4.88 dibawah ini.

Tabel 4.115 Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter Pada Arah Pembebanan Lingkungan *Non Collinear (Inline 4)*

%Degradasi	Safety Factor			
	L1	L2	L3	L4
0%	5.64	6.69	9.37	2.44
5%	5.09	6.03	8.46	2.20
10%	4.57	5.42	7.59	1.98
15%	4.08	4.83	6.77	1.76
20%	3.61	4.28	6.00	1.56
25%	3.17	3.76	5.27	1.37
Keterangan :				
				OK
				NOT OK



Gambar 4.88 Grafik Perubahan Nilai SF *Mooring Lines* Disetiap Kondisi Degradasi Diameter (*Inline 4-Non Collinear*)

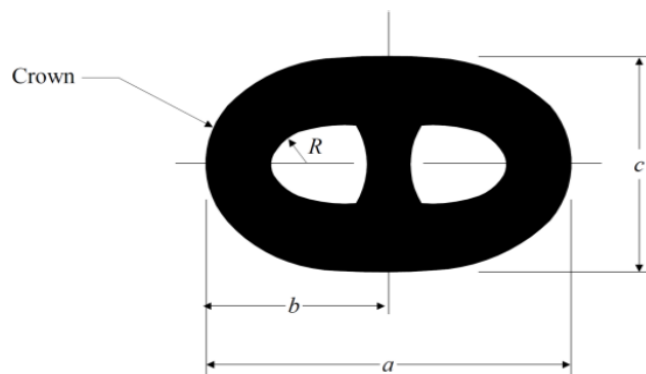
Dari Tabel 4.115 diatas, dapat dilihat jika nilai SF di *mooring line* L1, L2, L3 disetiap kondisi degradasi diameter diatas 2.25, namun nilai SF di L2 pada kondisi degradasi diameter sebesar 20% hingga 25% bernilai dibawah 2.25. Sehingga dapat dinyatakan jika besar *tension* yang terjadi pada *mooring lines* untuk kondisi lingkungan DEC *non collinear* dengan periode ulang 100 tahun pada posisi 4 ini masih memenuhi kriteria ABS, namun dengan catatan besar degradasi diameter pada L4 tidak boleh mencapai 20%. Selain itu, dari grafik perubahan nilai SF pada Gambar 4.88 dapat dinyatakan jika nilai SF akan menurun secara linear jika besar degradasi diameter yang terjadi pada setiap *mooring line* bertambah.

4.6 Pemodelan Degradasi Diameter Pada Sambungan Antar Rantai

Mooring

Pemodelan degradasi diameter pada sambungan antar rantai *mooring* perlu dilakukan agar kita dapat mengetahui nilai tegangan local (tegangan ekuivalen *von Mises*) yang terjadi pada sambungan antar rantai, sehingga kita dapat mengetahui pengaruh dari pengurangan diameter pada sambungan rantai terhadap kekuatan rantai. Besarnya tegangan *von Mises* yang terjadi akan divalidasi sesuai dengan aturan ABS, dimana tegangan *von Mises* suatu struktur memiliki batas dibawah 90% dari tegangan *yield* suatu material. Sehingga, perlu dilakukan analisis FEM pada sambungan antar rantai menggunakan *software* ANSYS.

Sebelum melakukan analisis FEM, penulis melakukan pemodelan rantai *mooring* grade U3 berdiameter 58 mm dengan jenis *studlink* (lihat Tabel 4.4) terlebih dahulu pada *software* AutoCAD. Dimensi dari rantai dapat dilihat pada aturan *BKI Rules of Materials* (2019) dengan ketentuan seperti Gambar 4.89 dibawah ini.

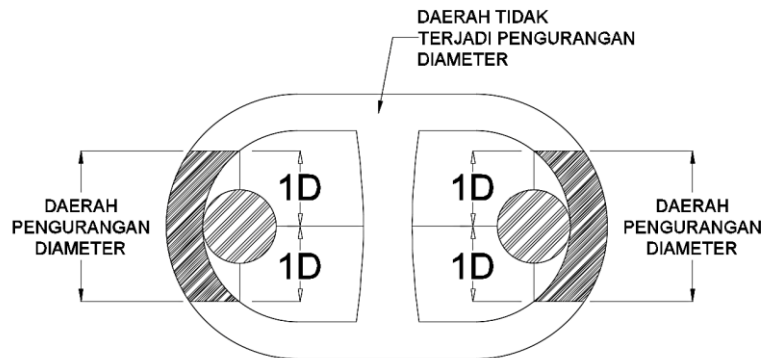


Designation ¹⁾	Description	Nominal Dimensional of the Link	Minus Tolerance	Plus Tolerance
a	Link Length	6d	0.15d	0.15d
b	Link Half Length	a*/2	0.1d	0.1d
c	Link Width	3.6d	0.09d	0.09d
e	Stud Angular Misalignment	0 degrees	4 degrees	4 degrees
R	Inner Radius	0.65d	0	-----

¹⁾ Dimensional designation is shown in above figure
d = nominal diameter of chain, a* = actual link length

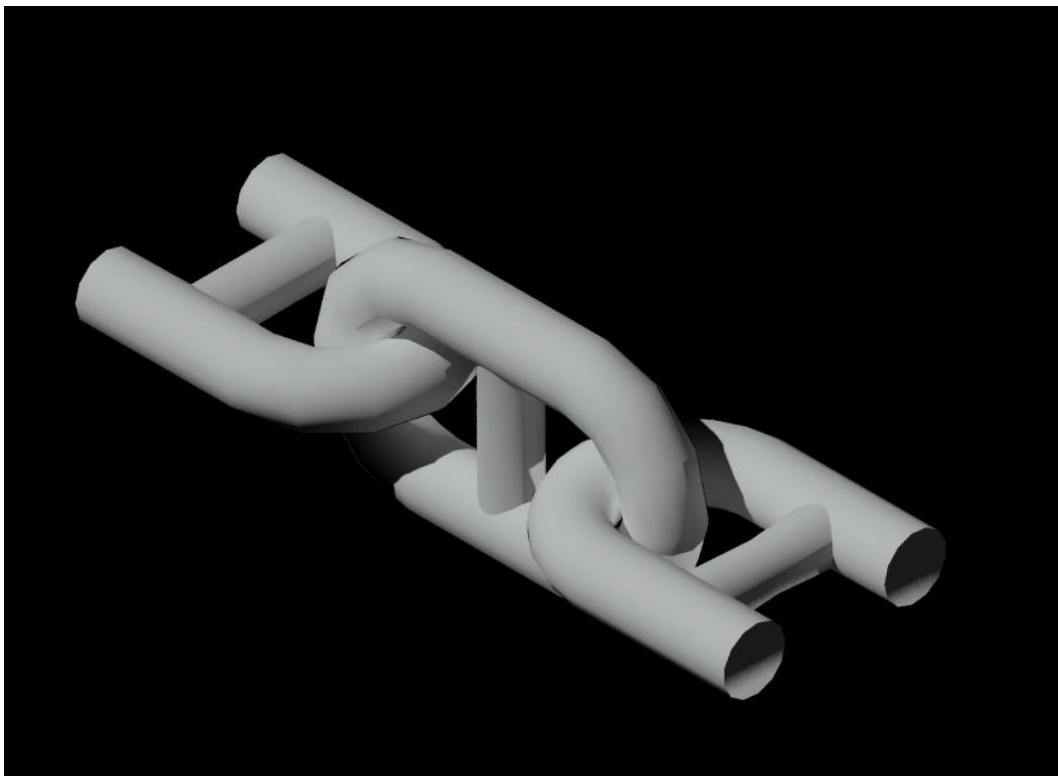
Gambar 4.89 Ketentuan Dimensi Rantai *Mooring* Jenis *Studlink* (Sumber: *BKI Rules of Materials*, 2019)

Selanjutnya, penulis menentukan beberapa kondisi dalam pengurangan diameter sambungan rantai yang dapat dilihat pada Tabel 4.33 sebelumnya. Pengurangan diameter tersebut akan diaplikasikan pada daerah sambungan antar rantai dengan ketentuan seperti Gambar 4.90 dibawah ini.

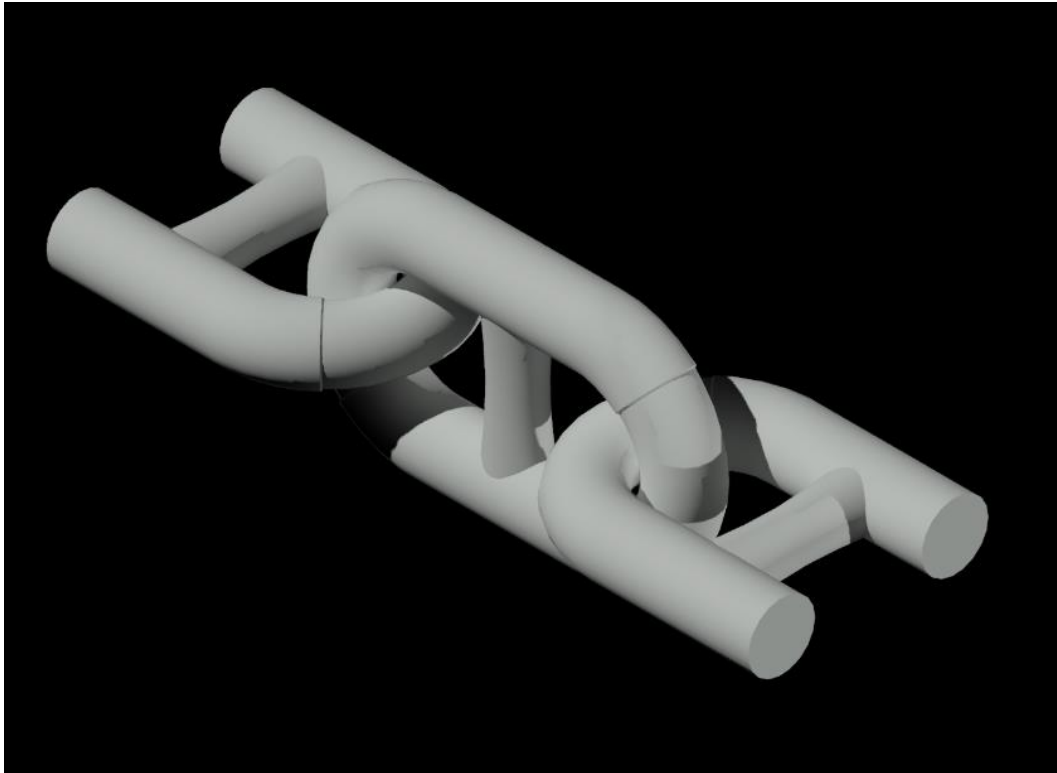


Gambar 4.90 Daerah Pengurangan Diameter Rantai (Arsir)

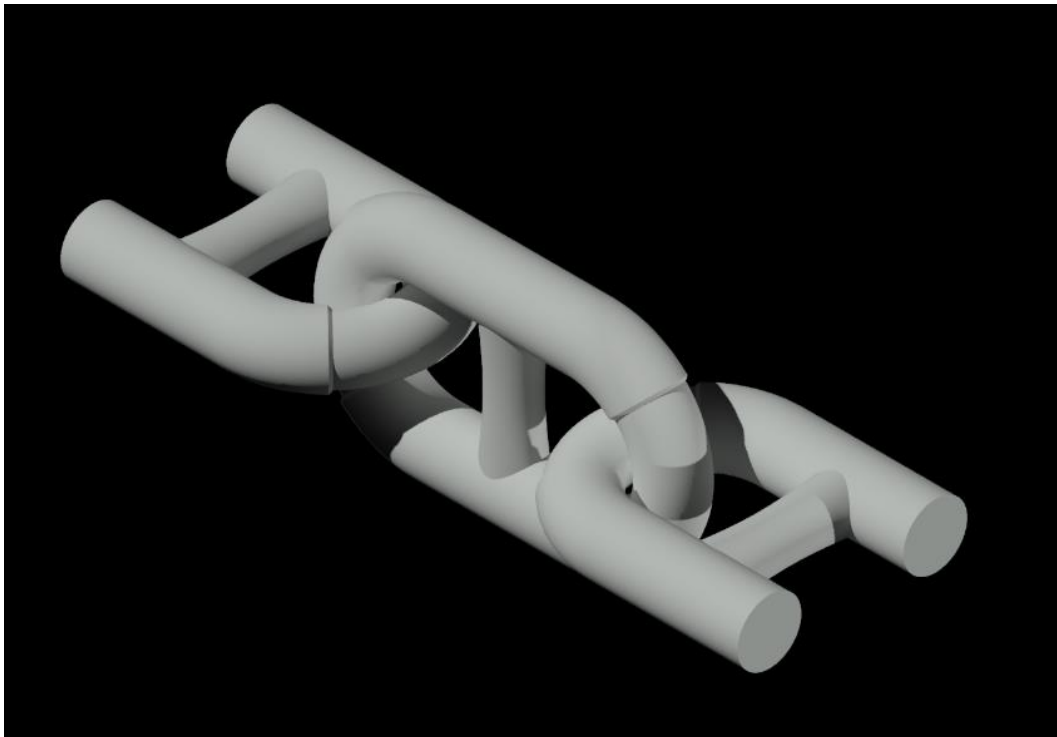
Sesuai dengan jumlah kondisi pada Tabel 4.33 dan ketentuan pada Gambar 4.90, maka penulis memodelkan rantai *mooring line* disetiap kondisi pengurangan diameter pada AutoCAD yang dapat dilihat seperti pada Gambar 4.91 s/d Gambar 4.96 dibawah ini.



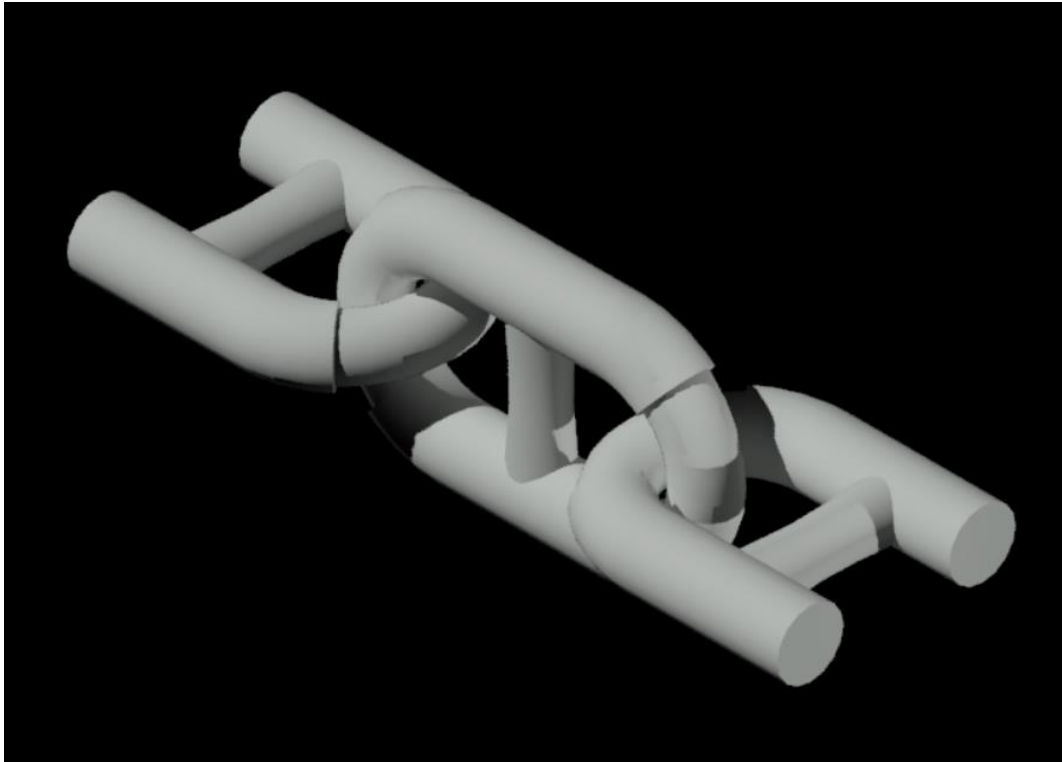
Gambar 4.91 Model Pengurangan Rantai Diameter Kondisi 1



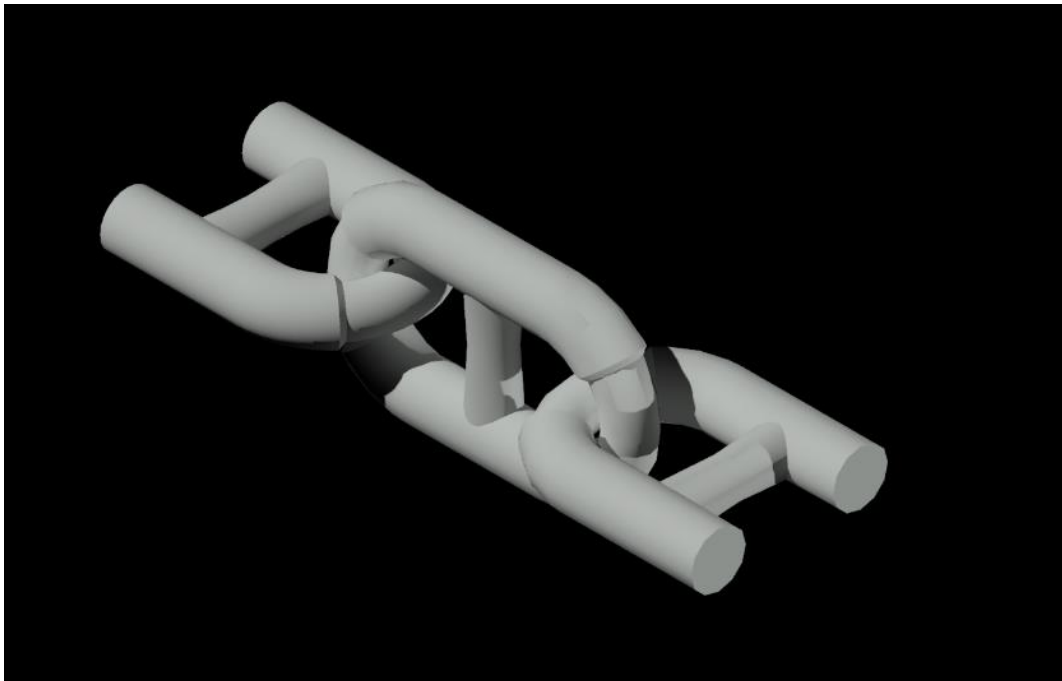
Gambar 4.92 Model Pengurangan Rantai Diameter Kondisi 2



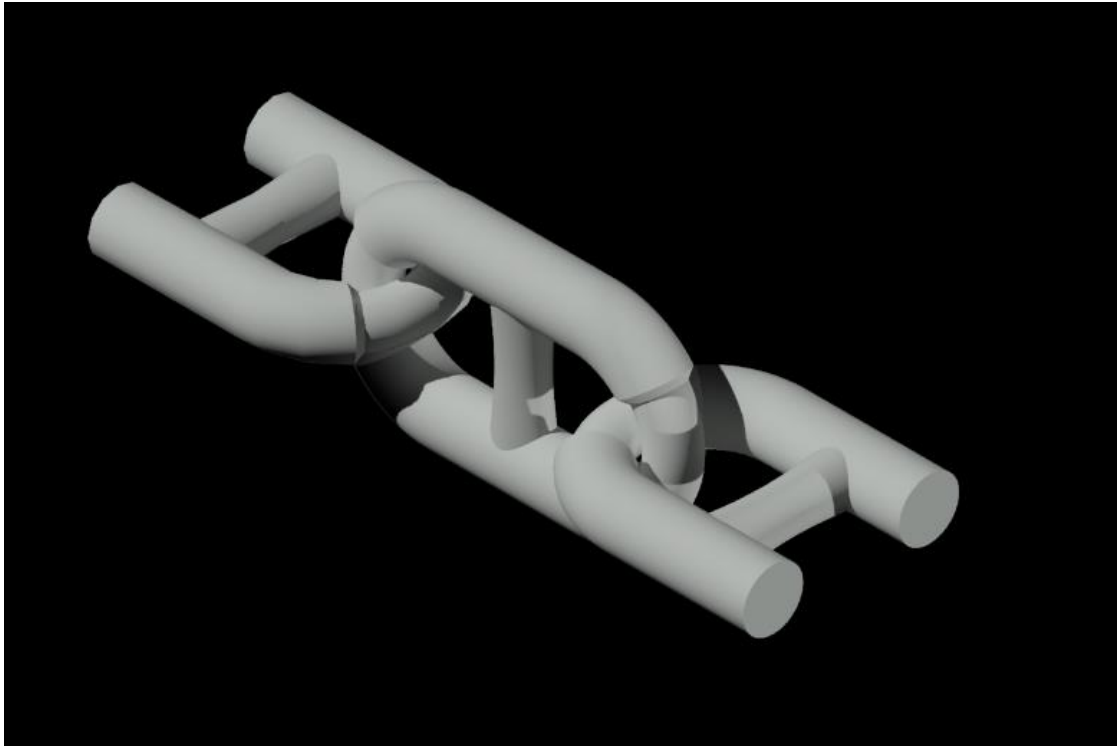
Gambar 4.93 Model Pengurangan Rantai Diameter Kondisi 3



Gambar 4.94 Model Pengurangan Rantai Diameter Kondisi 4

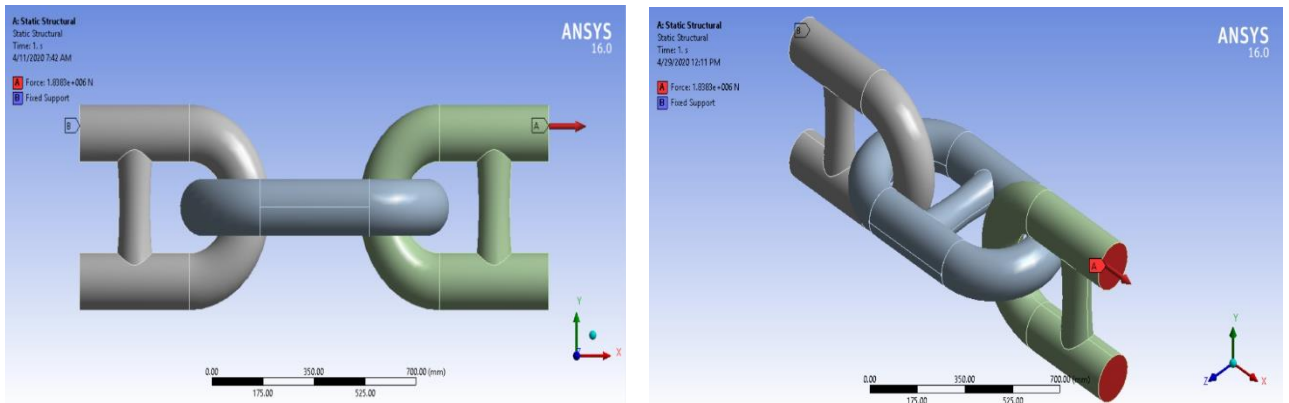


Gambar 4.95 Model Pengurangan Rantai Diameter Kondisi 5



Gambar 4.96 Model Pengurangan Rantai Diameter Kondisi 6

Model rantai yang telah dimodelkan diatas (Gambar 4.91 s/d Gambar 4.96) akan diinput ke ANSYS untuk melakukan analisis tegangan local dengan metode *Finite Element Method* (FEM). Sebelum melakukan analisis tegangan local, perlu dilakukan input *modelling*, *meshing* dan *boundary condition* nya pada ANSYS. Pemilihan jenis elemen untuk *meshing* dan *boundary condition* sudah dijelaskan pada bab 2 sub-bab 2.2.16. *Boundary condition* yang digunakan dalam analisis ini adalah daerah A didefinisikan sebagai daerah yang dikenai gaya/beban, dimana beban yang digunakan adalah *tension* terbesar yang terjadi pada *mooring lines* yaitu sebesar 1838.252 kN dan diaplikasikan pada kedua face lingkaran dengan masing-masing face menerima beban sebesar 919.126 kN. Sedangkan daerah B didefinisikan sebagai daerah tumpuan, dimana tumpuan yang digunakan adalah jenis *fixed support* yang bertujuan agar struktur tidak bertraslansi dan berotasi terhadap sumbu x,y,z. *Boundary condition* yang digunakan disetiap kondisi degradasi diameter ini lebih jelasnya ditunjukkan oleh Gambar 4.97 dibawah ini.

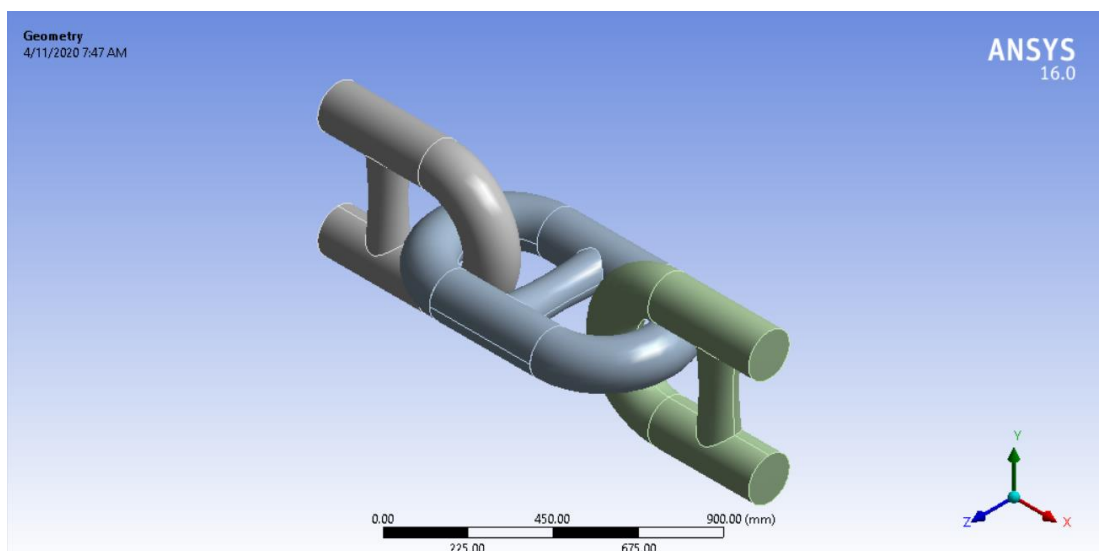


Gambar 4.97 *Boundary Condition* Yang Digunakan Pada Semua Kondisi Analisis

Dari Gambar 4.97 diatas, maka nantinya akan didapat hasil tegangan local atau tegangan *von Mises* nya. Setelah mendapat nilai tegangan local nya, perlu dilakukan *mesh sensitivity* untuk mengecek apakah hasil tegangan local yang didapat bernilai konstan disetiap perubahan jumlah elemen *mesh*. Jika sudah konstan, maka nilai tegangan local yang didapat sudah benar. Hasil perhitungan tegangan lokal pada model pengurangan diameter sambungan antar rantai disetiap kondisi ditunjukkan pada uraian dibawah ini.

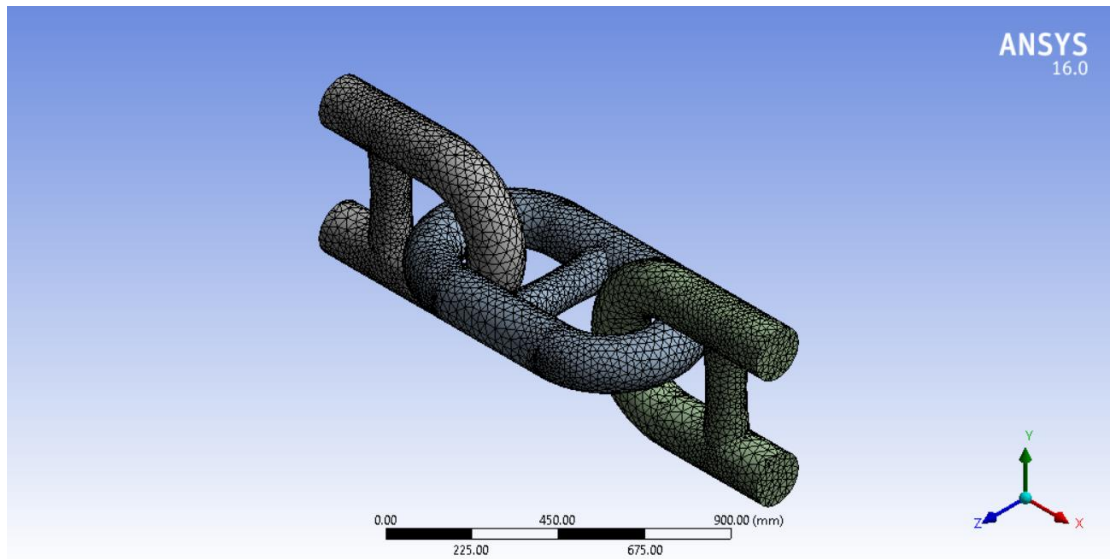
1) Perhitungan Tegangan Lokal Pada Kondisi 1

Pertama, penulis menginput hasil *modelling* sambungan rantai pada kondisi 1 ke ANSYS yang ditunjukkan pada Gambar 4.98 dibawah ini.



Gambar 4.98 Model Sambungan Rantai Kondisi 1 Pada ANSYS

Setelah itu penulis melakukan *meshing* pada model. Hasil *meshing* pada model ini ditunjukkan pada Gambar 4.99 berikut.

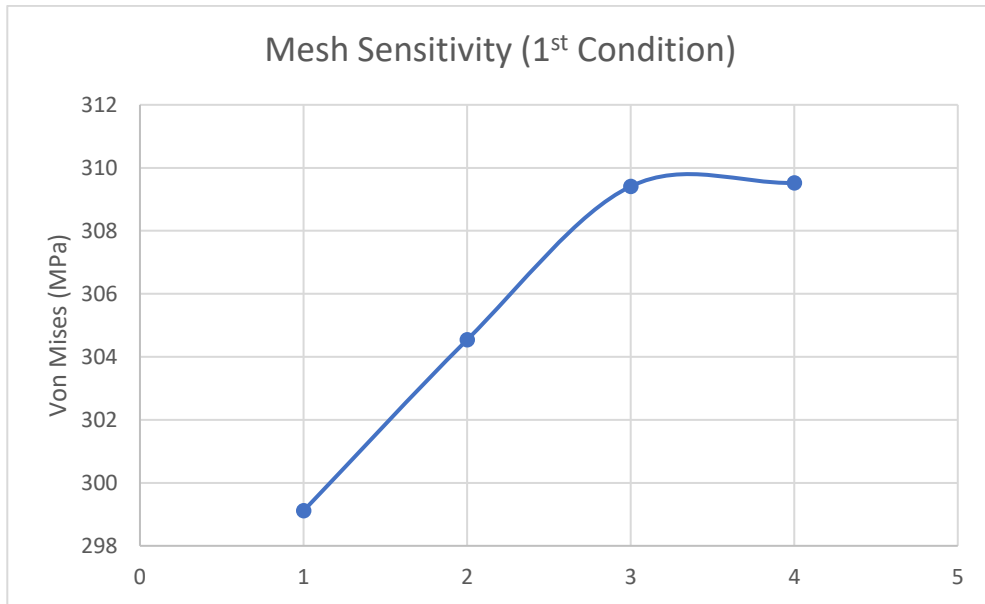


Gambar 4.99 Hasil *Meshing* Sambungan Rantai Kondisi 1

Setelah melakukan *meshing*, maka penulis menginput *boundary condition* (Gambar 4.97) dan melakukan analisis tegangan local. Sebelum itu, dilakukan analisa mesh sensitivity pada kondisi 1 y ditunjukkan pada Tabel 4.116 dan Gambar 4.100 dibawah ini.

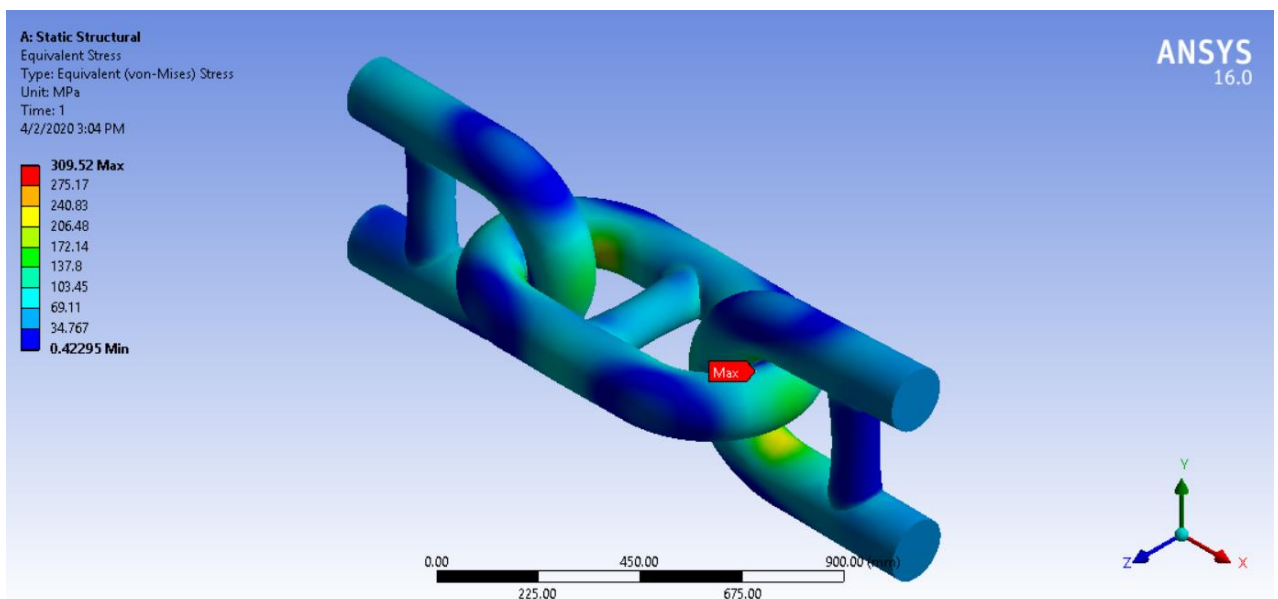
Tabel 4.116 *Mesh Sensitivity* Pada Kondisi 1

No.	Jmlh Elemen	Von Mises (MPa)
1	71149	299.11
2	74186	304.54
3	88378	309.41
4	93478	309.52



Gambar 4.100 Grafik *Mesh Sensitivity* Pada Kondisi 1

Setelah itu, hasil tegangan local terbesar pada kondisi 1 ditunjukkan pada Gambar 4.101 dibawah ini.



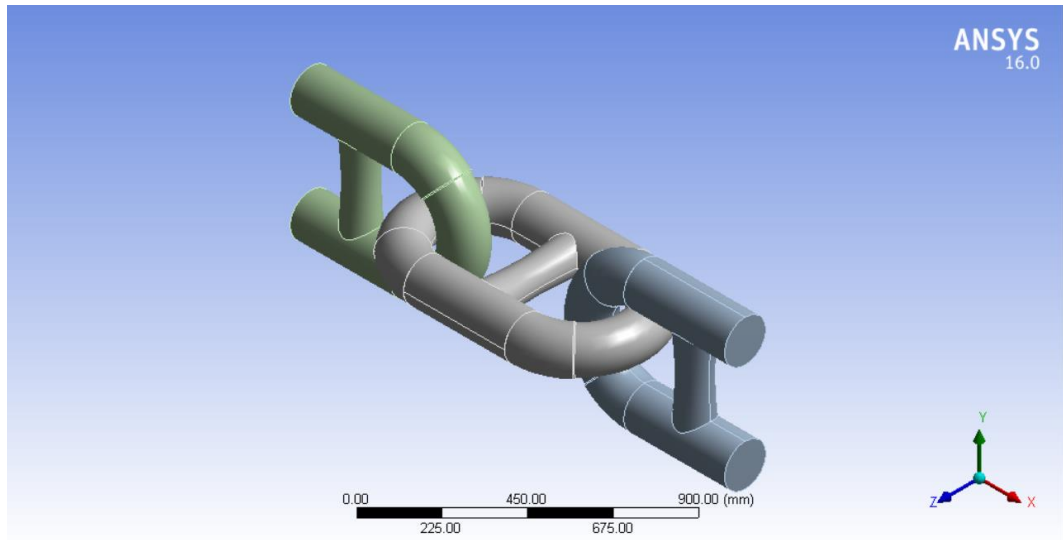
Gambar 4.101 Hasil Tegangan Lokal Pada Kondisi 1

Dari Tabel 4.116 dan Gambar 4.101 diatas, maka didapat jika nilai tegangan local atau *von Mises* pada kondisi 1 ini adalah 309.52 MPa. Sehingga, dapat disimpulkan jika nilai tegangan local pada kondisi 1 ini masih memenuhi kriteria ABS, dimana batas nilai

tegangan local yang diijinkan yaitu sebesar 369 MPa (90 % dari *yield strength* material yaitu sebesar 410 MPa).

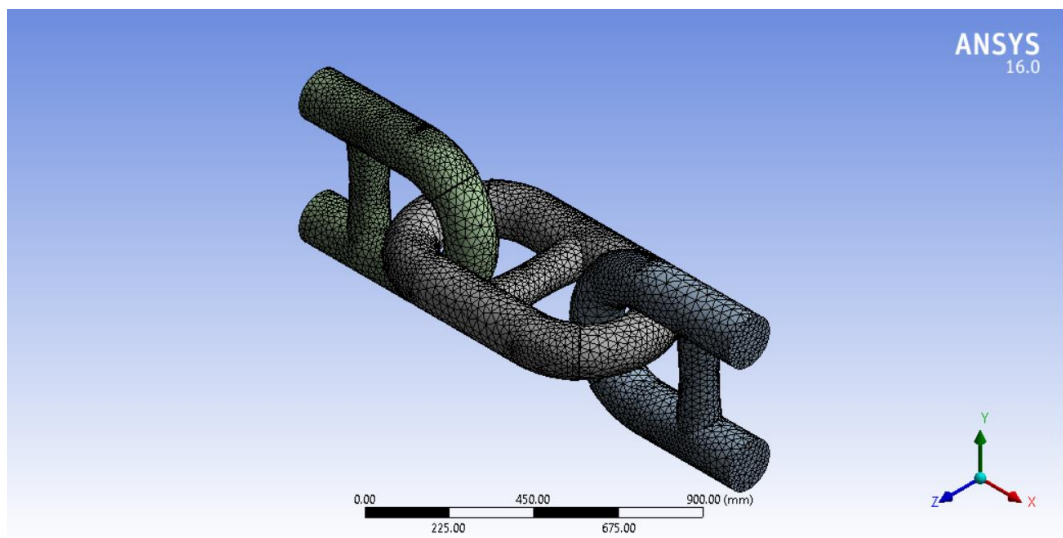
2) Perhitungan Tegangan Lokal Pada Kondisi 2

Pertama, penulis menginput hasil *modelling* sambungan rantai pada kondisi 2 ke ANSYS yang ditunjukkan pada Gambar 4.102 dibawah ini.



Gambar 4.102 Model Sambungan Rantai Kondisi 2 Pada ANSYS

Setelah itu penulis melakukan *meshing* pada model. Hasil *meshing* pada model ini ditunjukkan pada Gambar 4.103 berikut.



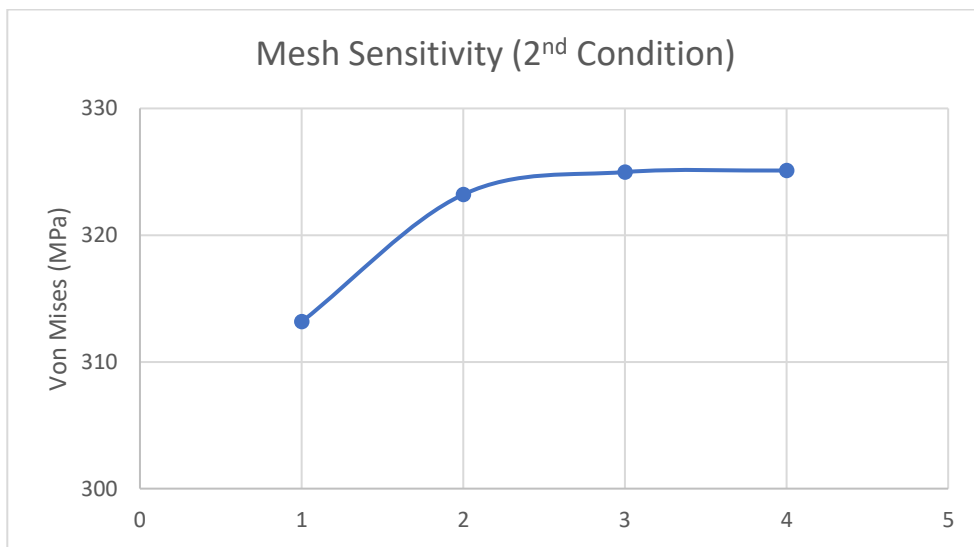
Gambar 4.103 Hasil *Meshing* Sambungan Rantai Kondisi 2

Setelah melakukan *meshing*, maka penulis menginput *boundary condition* (Gambar 4.97) dan melakukan analisis tegangan

local. Sebelum itu, dilakukan analisa mesh sensitivity pada kondisi 2 yang ditunjukkan pada Tabel 4.117 dan Gambar 4.104 dibawah ini.

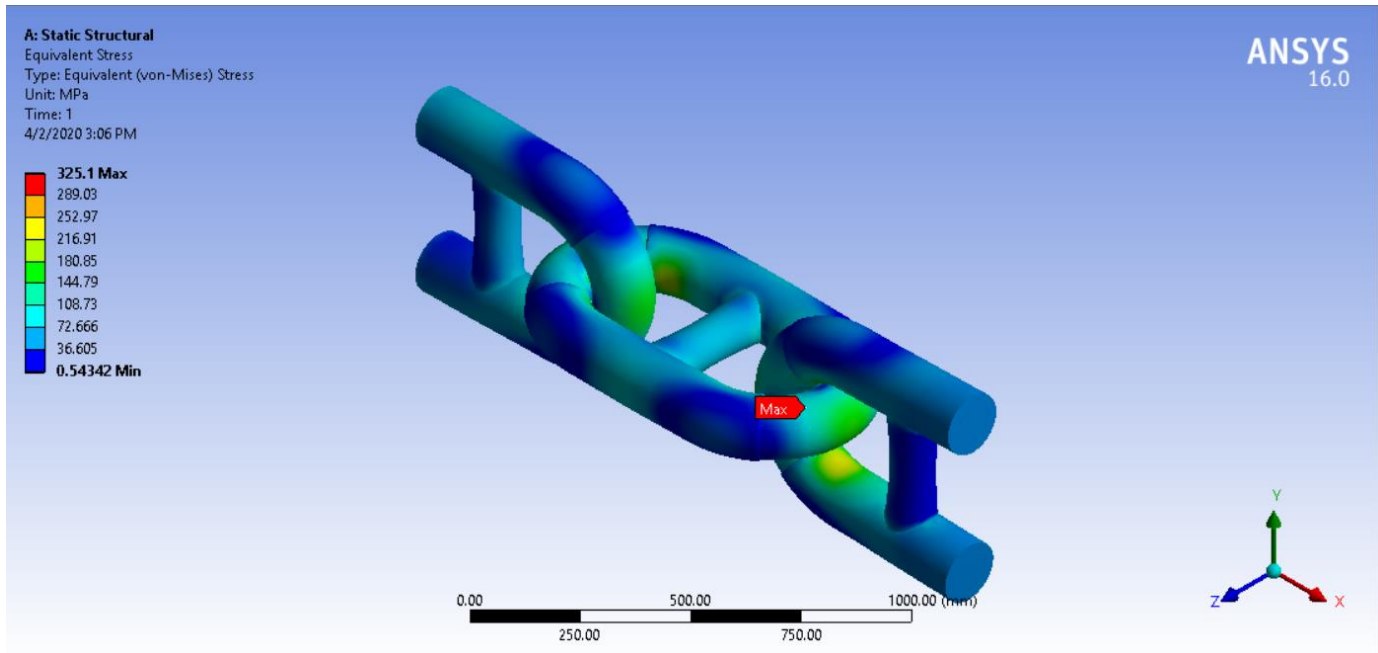
Tabel 4.117 *Mesh Sensitivity* Pada Kondisi 2

No.	Jmlh Elemen	Von Mises (MPa)
1	46124	313.16
2	62676	323.21
3	95019	324.98
4	98729	325.1



Gambar 4.104 Grafik *Mesh Sensitivity* Pada Kondisi 2

Setelah itu, hasil tegangan local terbesar yang didapat pada kondisi 2 ditunjukkan pada Gambar 4.105 dibawah ini.

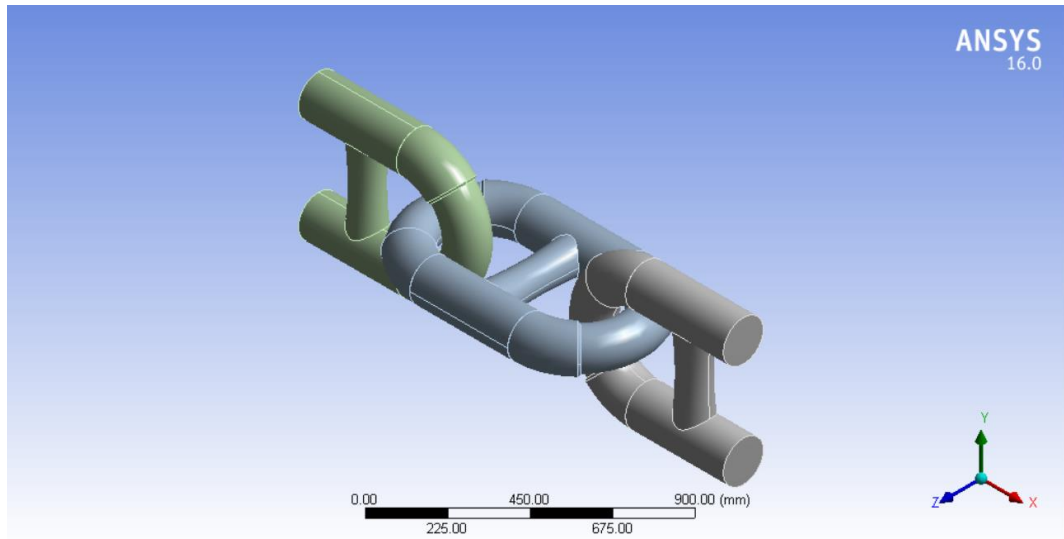


Gambar 4.105 Hasil Tegangan Lokal Pada Kondisi 2

Dari Tabel 4.117 dan Gambar 4.105 diatas, maka didapat jika nilai tegangan local atau *von Mises* pada kondisi 2 ini adalah 325.1 MPa. Sehingga, dapat disimpulkan jika nilai tegangan local pada kondisi 2 ini masih memenuhi kriteria ABS, dimana batas nilai tegangan local yang diijinkan yaitu sebesar 369 MPa (90 % dari *yield strength* material yaitu sebesar 410 MPa).

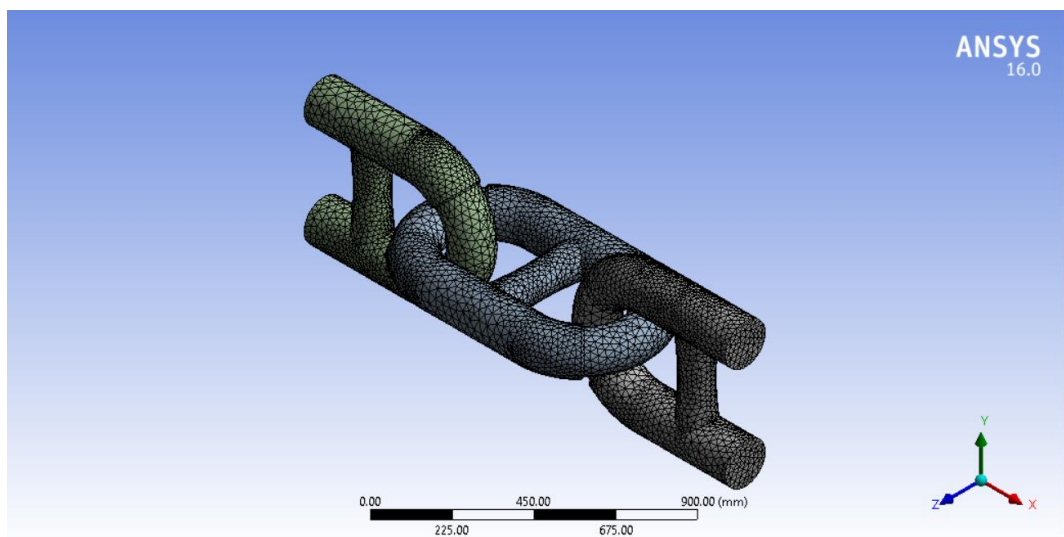
3) Perhitungan Tegangan Lokal Pada Kondisi 3

Pertama, penulis menginput hasil *modelling* sambungan rantai pada kondisi 3 ke ANSYS yang ditunjukkan pada Gambar 4.106 dibawah ini.



Gambar 4.106 Model Sambungan Rantai Kondisi 3 Pada ANSYS

Setelah itu penulis melakukan *meshing* pada model. Hasil *meshing* pada model ini ditunjukkan pada Gambar 4.107 berikut.



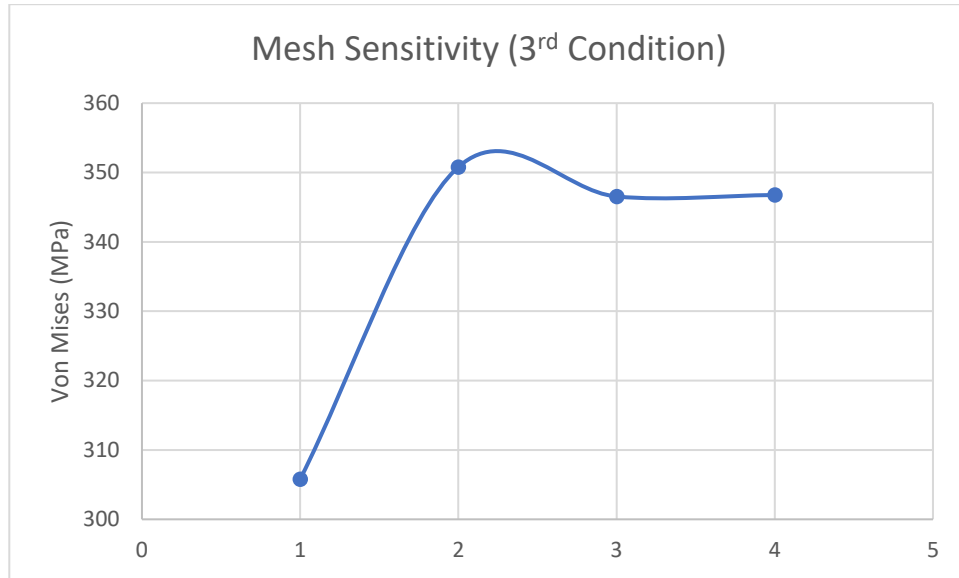
Gambar 4.107 Hasil *Meshing* Sambungan Rantai Kondisi 3

Setelah melakukan *meshing*, maka penulis menginput *boundary condition* (Gambar 4.97) dan melakukan analisis tegangan local. Sebelum itu, dilakukan analisa mesh sensitivity pada kondisi 3 yang ditunjukkan pada Tabel 4.118 dan Gambar 4.108 dibawah ini.

Tabel 4.118 *Mesh Sensitivity* Pada Kondisi 3

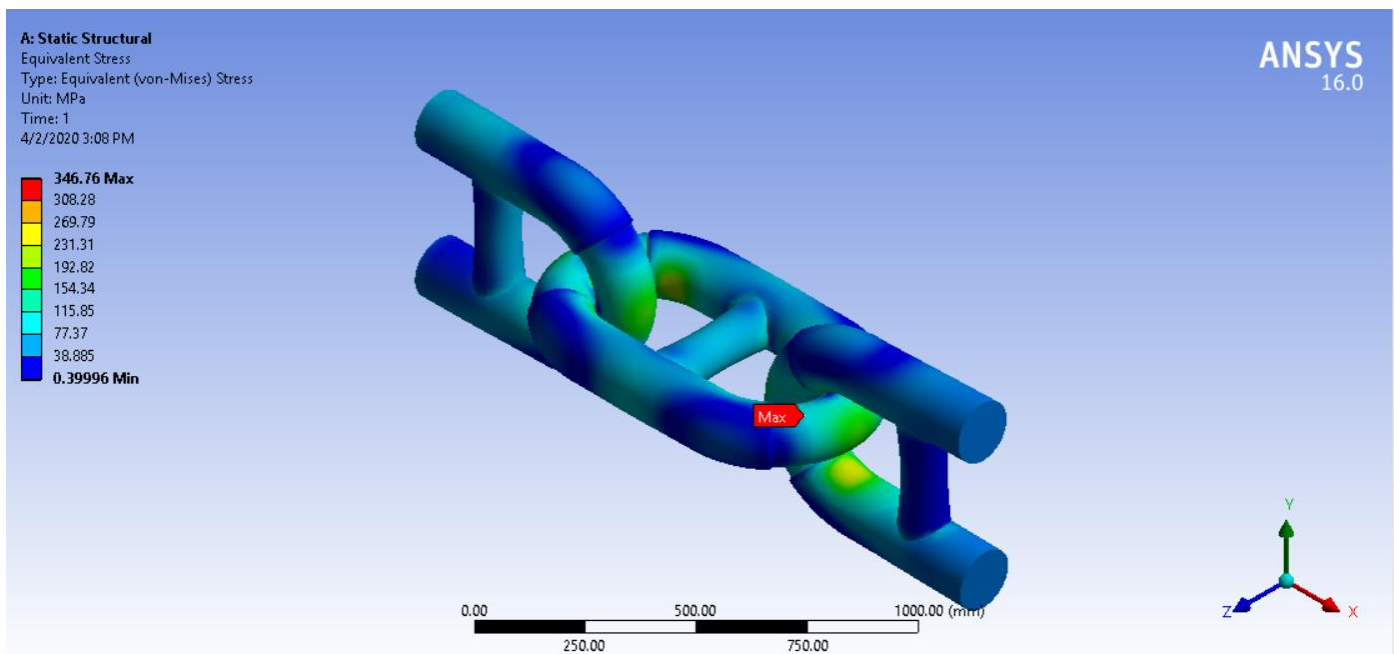
No.	Jmlh Elemen	Von Mises (MPa)
1	49595	305.79

2	50119	350.79
3	66790	346.54
4	93522	346.76



Gambar 4.108 Grafik *Mesh Sensitivity* Pada Kondisi 3

Setelah itu, hasil tegangan local terbesar yang didapat pada kondisi 3 ditunjukkan pada Gambar 4.109 dibawah ini.

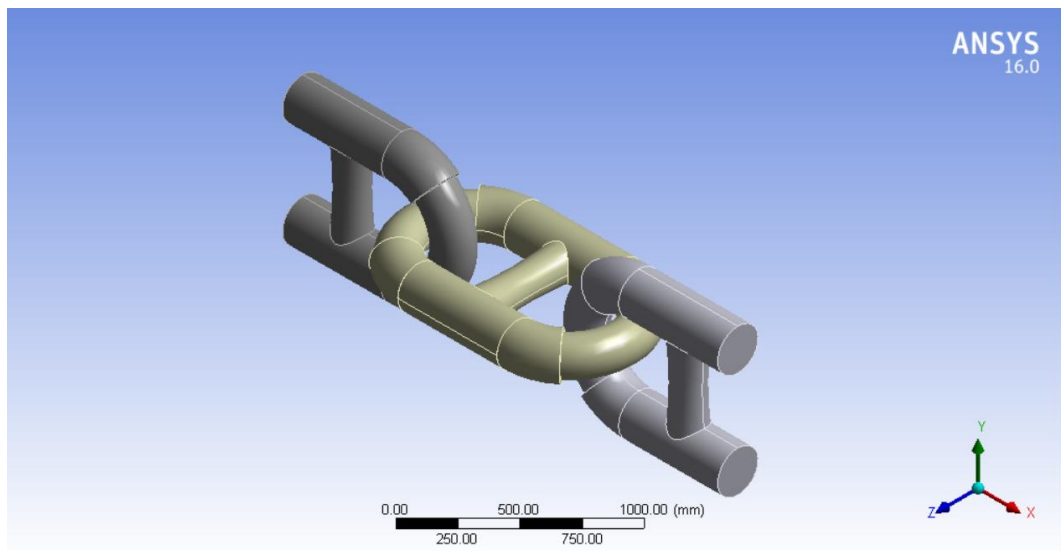


Gambar 4.109 Hasil Tegangan Lokal Pada Kondisi 3

Dari Tabel 4.118 dan Gambar 4.109 diatas, maka didapat jika nilai tegangan local atau *von Mises* pada kondisi 3 ini adalah 346.76 MPa. Sehingga, dapat disimpulkan jika nilai tegangan local pada kondisi 3 ini masih memenuhi kriteria ABS, dimana batas nilai tegangan local yang diijinkan yaitu sebesar 369 MPa (90 % dari *yield strength* material yaitu sebesar 410 MPa).

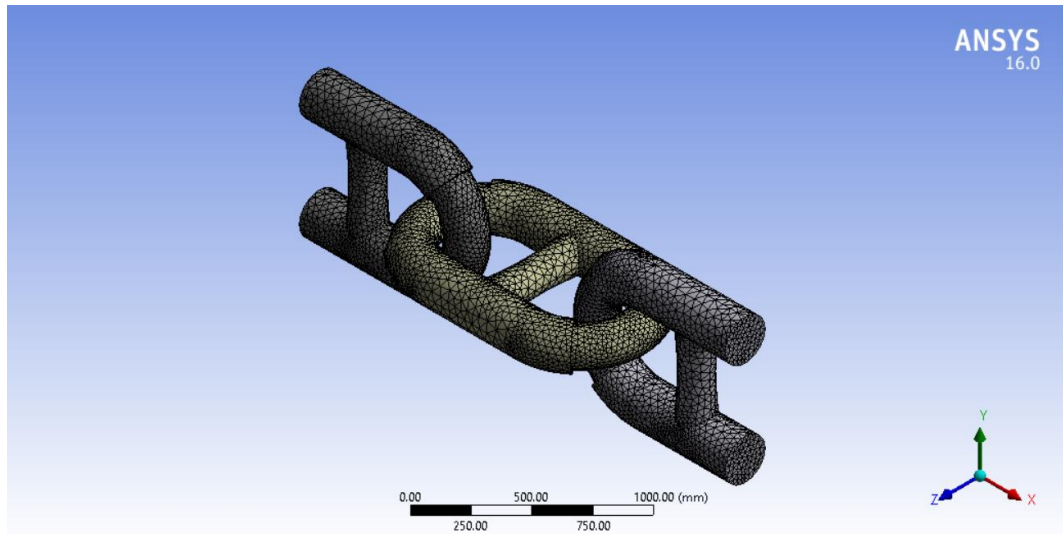
4) Perhitungan Tegangan Lokal Kondisi 4

Pertama, penulis menginput hasil *modelling* sambungan rantai pada kondisi 4 ke ANSYS yang ditunjukkan pada Gambar 4.110 dibawah ini.



Gambar 4.110 Model Sambungan Rantai Kondisi 4 Pada ANSYS

Setelah itu penulis melakukan *meshing* pada model. Hasil *meshing* pada model ini ditunjukkan pada Gambar 4.111 berikut.

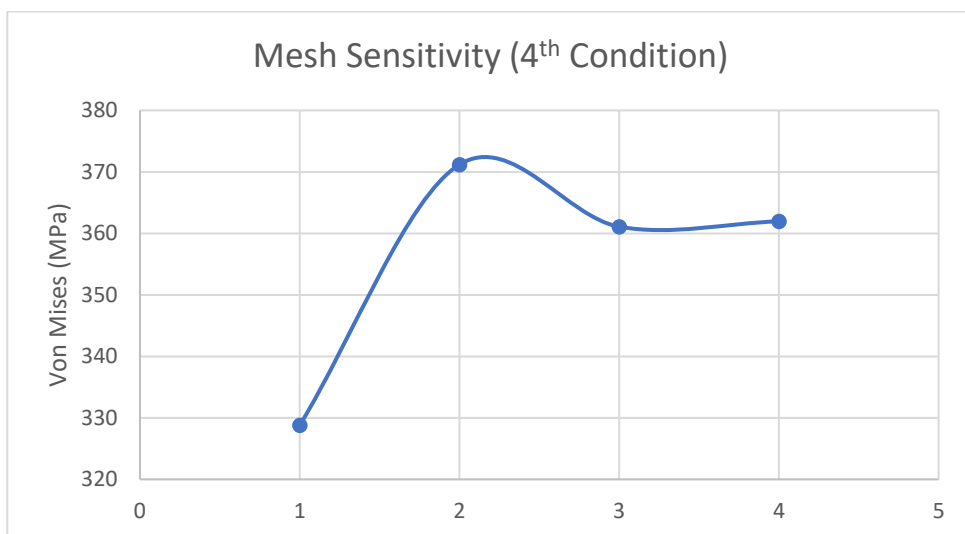


Gambar 4.111 Hasil *Meshing* Sambungan Rantai Kondisi 4

Setelah melakukan *meshing*, maka penulis menginput *boundary condition* (Gambar 4.97) dan melakukan analisis tegangan local. Sebelum itu, dilakukan analisa mesh sensitivity pada kondisi 4 yang ditunjukkan pada Tabel 4.119 dan Gambar 4.112 dibawah ini.

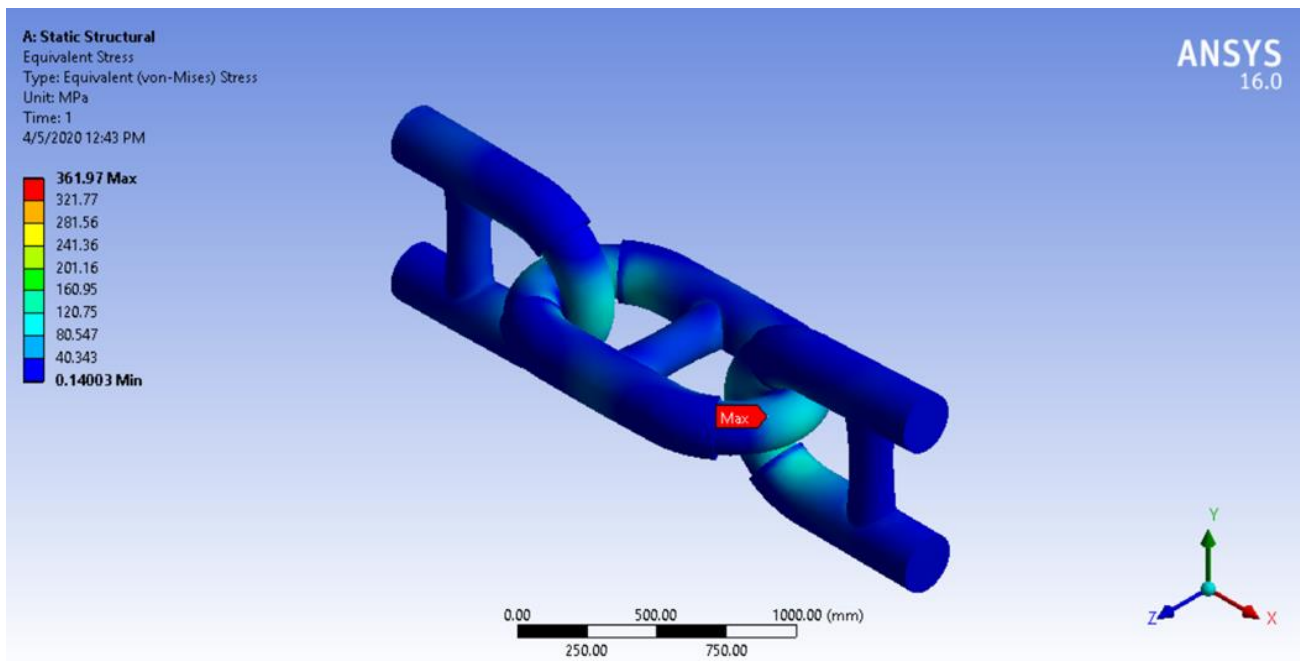
Tabel 4.119 *Mesh Sensitivity* Pada Kondisi 4

No.	Jmlh Elemen	Von Mises (MPa)
1	57001	328.8
2	63289	371.19
3	71655	361.09
4	101094	361.97



Gambar 4.112 Grafik *Mesh Sensitivity* Pada Kondisi 4

Setelah itu, hasil tegangan local terbesar yang didapat pada kondisi 4 ditunjukkan pada Gambar 4.113 dibawah ini.

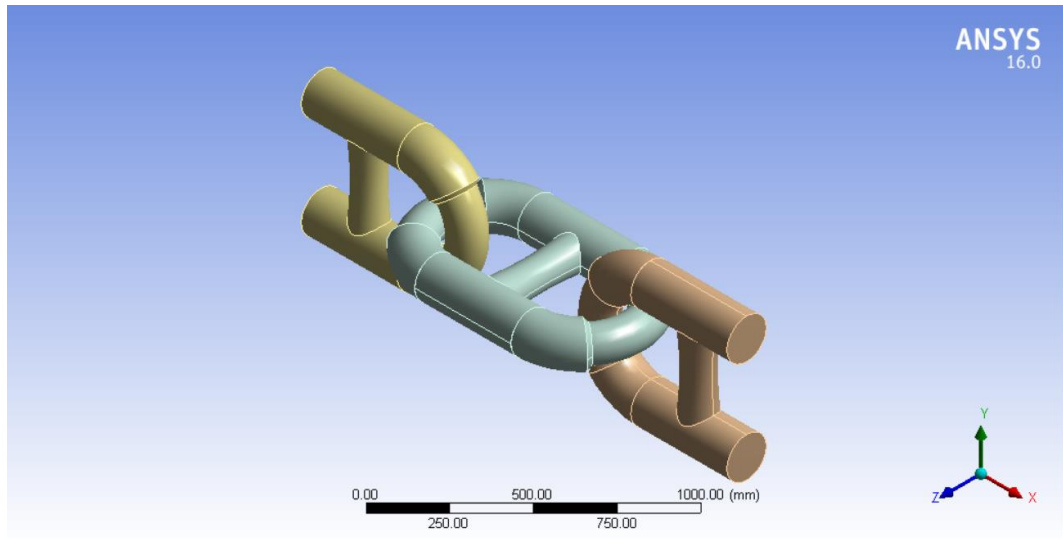


Gambar 4.113 Hasil Tegangan Lokal Pada Kondisi 4

Dari Tabel 4.119 dan Gambar 4.113 diatas, maka didapat jika nilai tegangan local atau *von Mises* pada kondisi 4 ini adalah 361.97 MPa. Sehingga, dapat disimpulkan jika nilai tegangan local pada kondisi 4 ini masih memenuhi kriteria ABS, dimana batas nilai tegangan local yang diijinkan yaitu sebesar 369 MPa (90 % dari *yield strength* material yaitu sebesar 410 MPa).

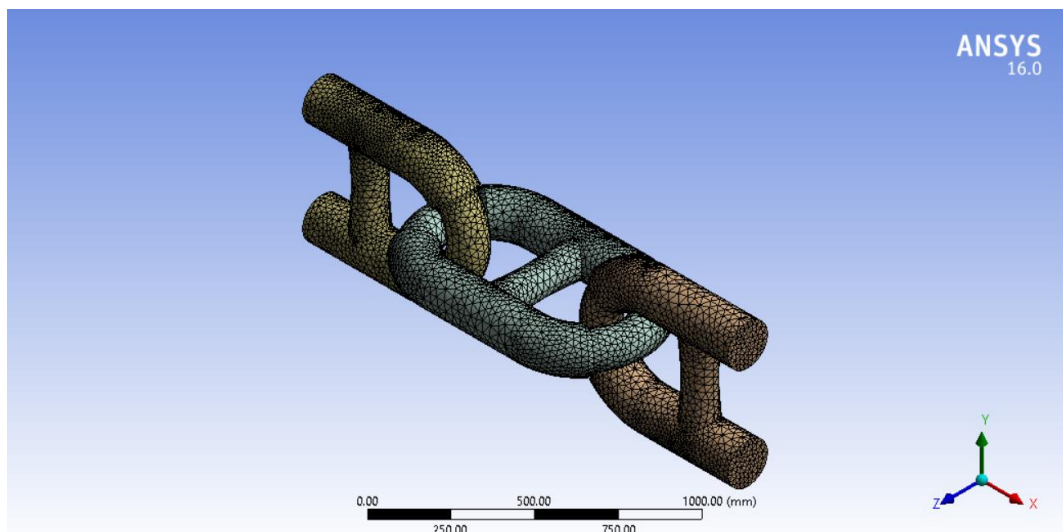
5) **Perhitungan Tegangan Lokal Pada Kondisi 5**

Pertama, penulis menginput hasil *modelling* sambungan rantai pada kondisi 5 ke ANSYS yang ditunjukkan pada Gambar 4.114 dibawah ini.



Gambar 4.114 Model Sambungan Rantai Kondisi 5 Pada ANSYS

Setelah itu penulis melakukan *meshing* pada model. Hasil *meshing* pada model ini ditunjukkan pada Gambar 4.115 berikut.



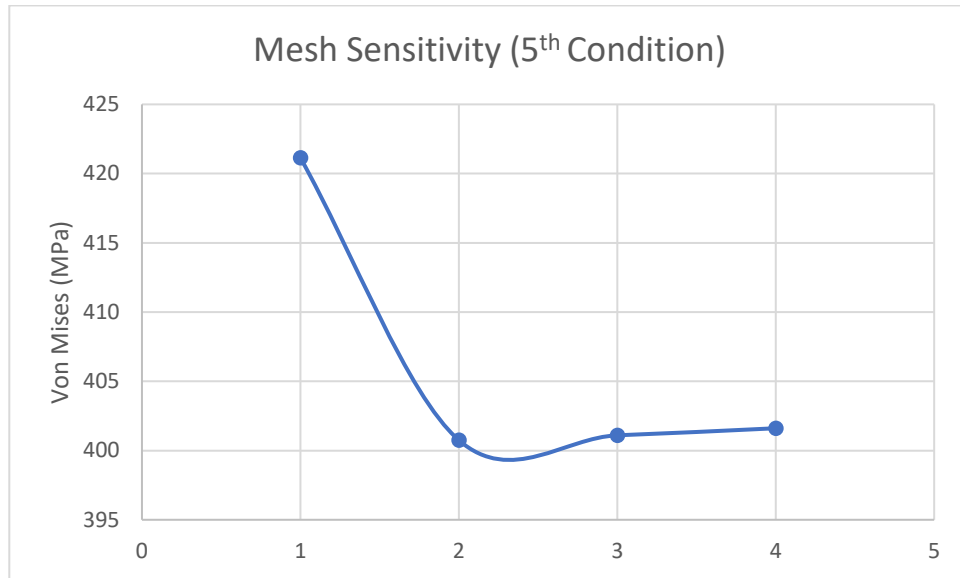
Gambar 4.115 Hasil *Meshing* Sambungan Rantai Kondisi 5

Setelah melakukan *meshing*, maka penulis menginput *boundary condition* (Gambar 4.97) dan melakukan analisis tegangan local. Sebelum itu, dilakukan analisa mesh sensitivity pada kondisi 5 yang ditunjukkan pada Tabel 4.120 dan Gambar 4.116 dibawah ini.

Tabel 4.120 *Mesh Sensitivity* Pada Kondisi 5

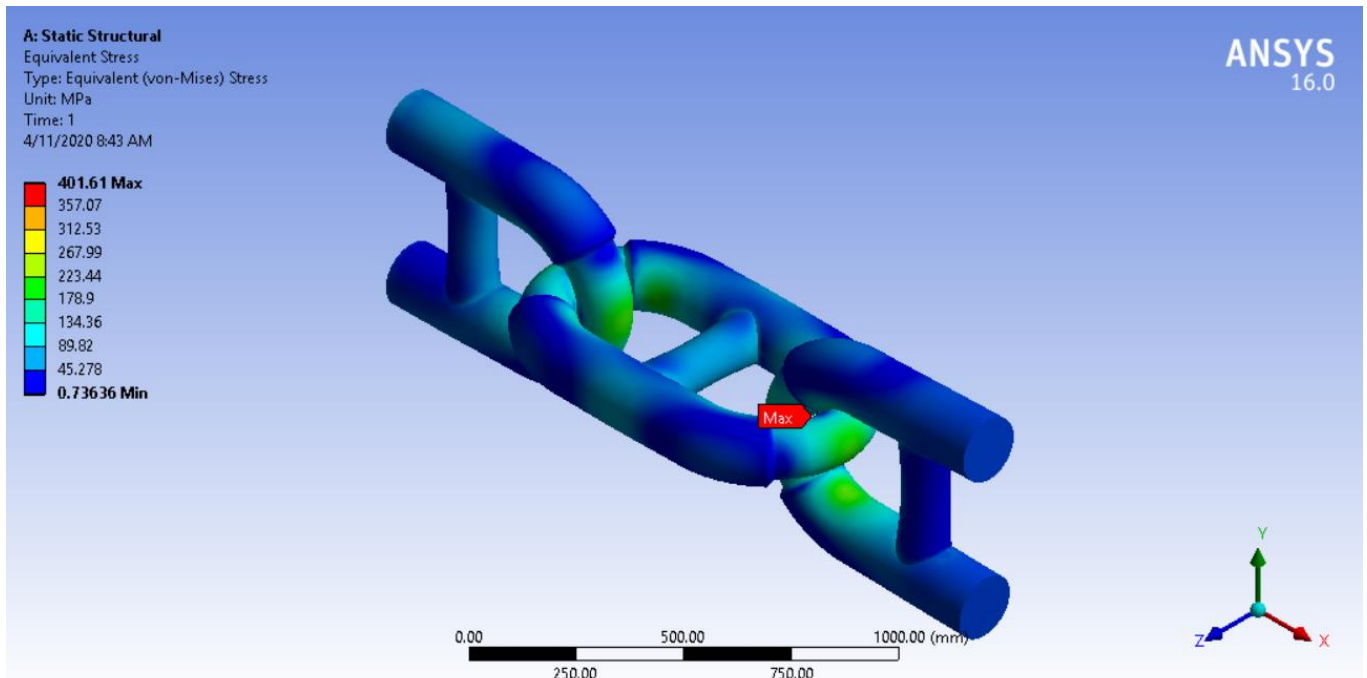
No.	Jmlh Elemen	Von Mises (MPa)
1	31880	421.14
2	81572	400.75

3	95653	401.1
4	99183	401.61



Gambar 4.116 Grafik *Mesh Sensitivity* Pada Kondisi 5

Setelah itu, hasil tegangan local terbesar yang didapat pada kondisi 5 ditunjukkan pada Gambar 4.117 dibawah ini.

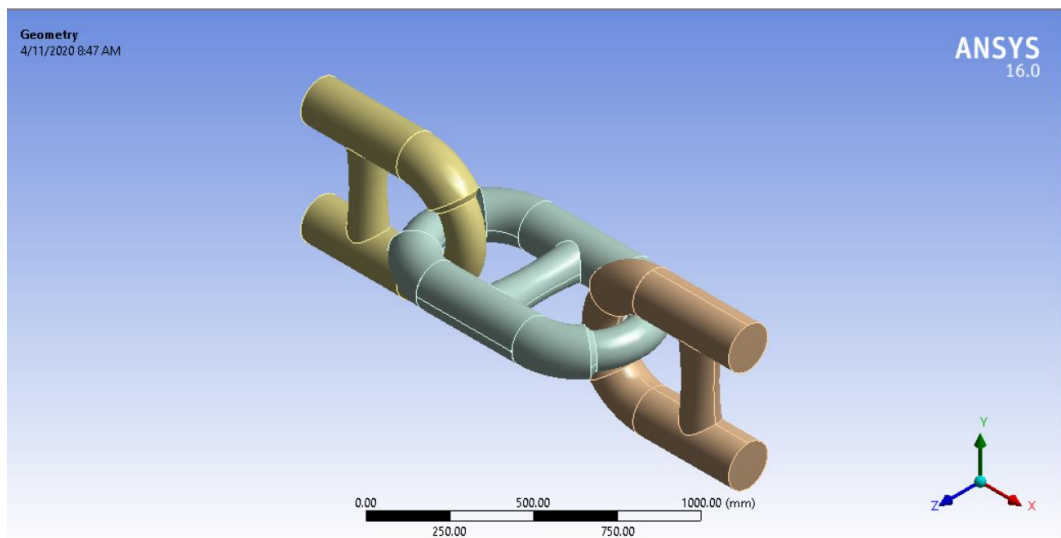


Gambar 4.117 Hasil Tegangan Lokal Pada Kondisi 5

Dari Tabel 4.120 dan Gambar 4.117 diatas, maka didapat jika nilai tegangan local atau *von Mises* pada kondisi 5 ini adalah 401.61 MPa. Sehingga, dapat disimpulkan jika nilai tegangan local pada kondisi 5 ini tidak memenuhi kriteria ABS, dimana batas nilai tegangan local yang diijinkan yaitu sebesar 369 MPa (90 % dari *yield strength* material yaitu sebesar 410 MPa).

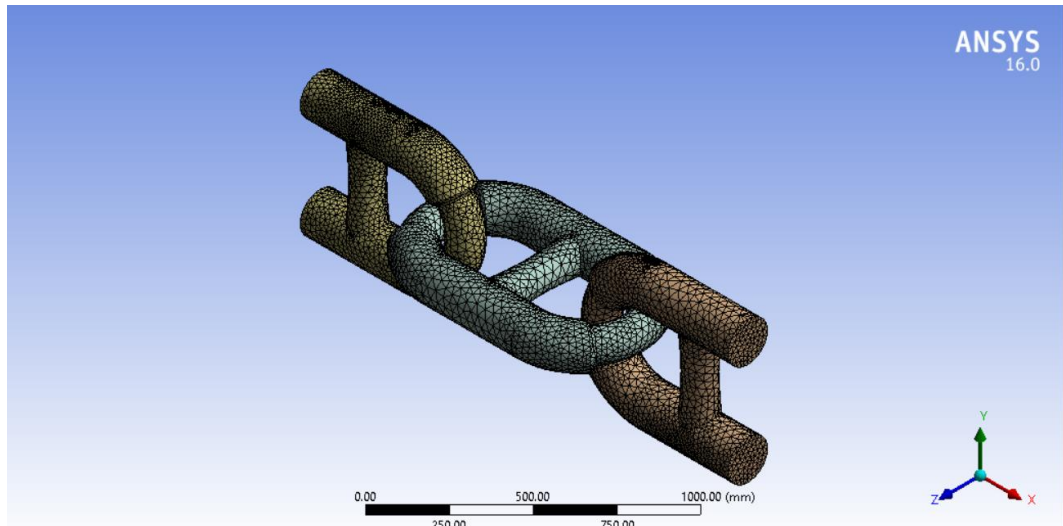
6) Perhitungan Tegangan Lokal Pada Kondisi 6

Pertama, penulis menginput hasil *modelling* sambungan rantai pada kondisi 6 ke ANSYS yang ditunjukkan pada Gambar 4.118 dibawah ini.



Gambar 4.118 Model Sambungan Rantai Kondisi 6 Pada ANSYS

Setelah itu penulis melakukan *meshing* pada model. Hasil *meshing* pada model ini ditunjukkan pada Gambar 4.119 berikut.

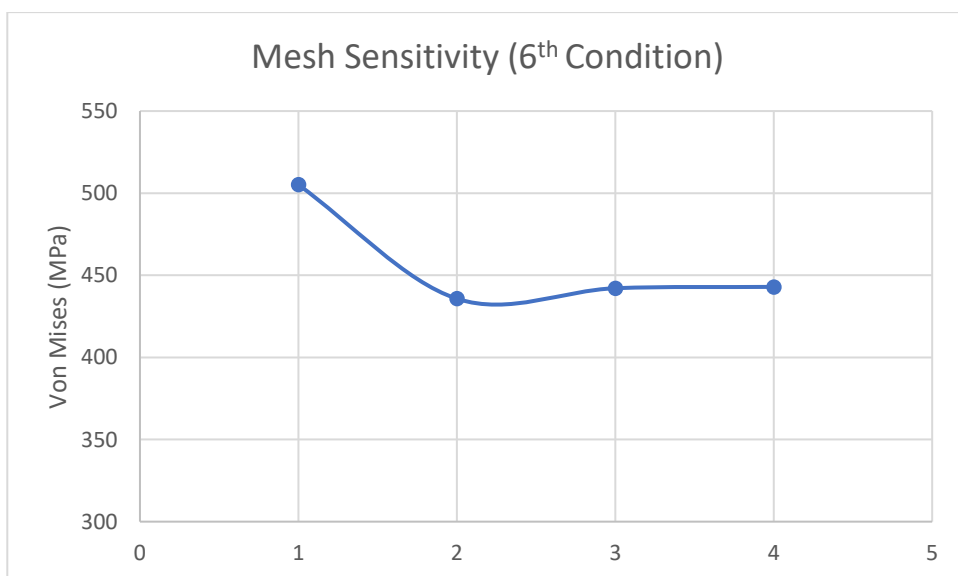


Gambar 4.119 Hasil *Meshing* Sambungan Rantai Kondisi 6

Setelah melakukan *meshing*, maka penulis menginput *boundary condition* (Gambar 4.97) dan melakukan analisis tegangan local. Sebelum itu, dilakukan analisa mesh sensitivity pada kondisi 5 yang ditunjukkan pada Tabel 4.121 dan Gambar 4.120 dibawah ini.

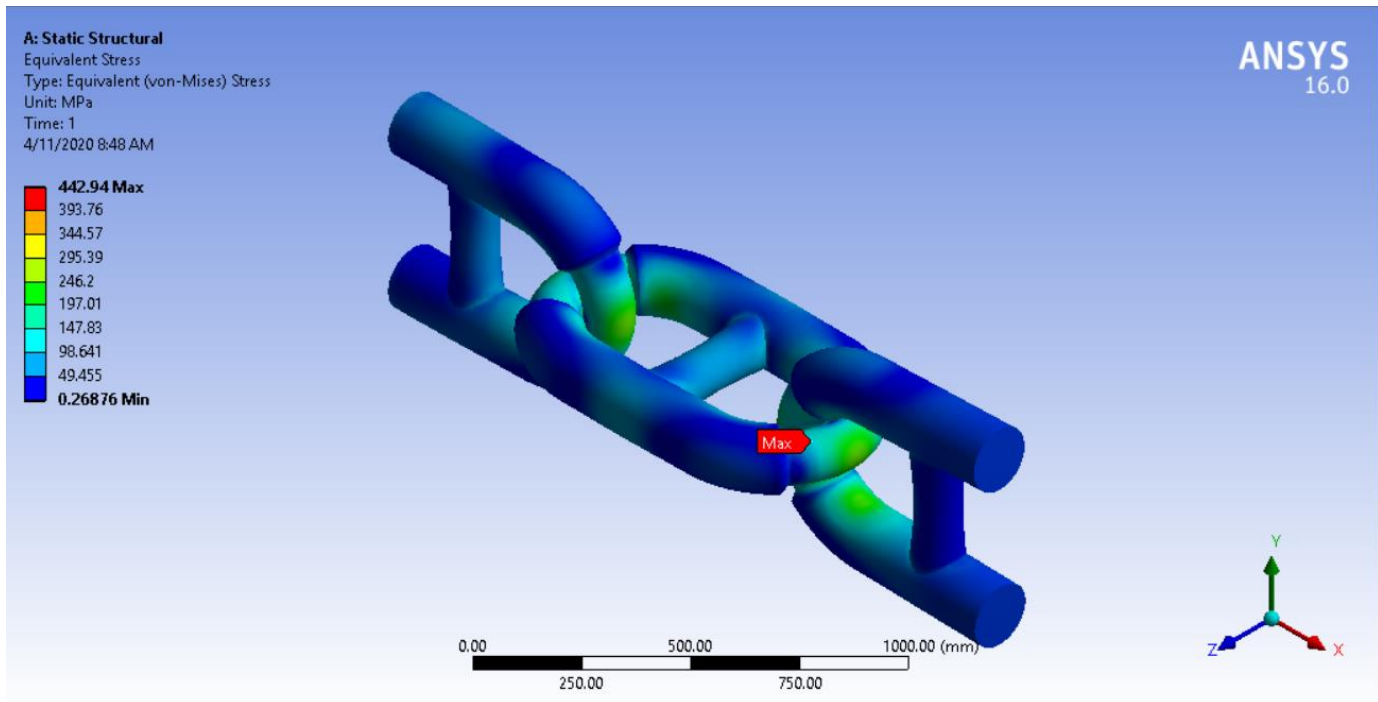
Tabel 4.121 *Mesh Sensitivity* Pada Kondisi 6

No.	Jmlh Elemen	Von Mises (MPa)
1	34267	505.13
2	69118	435.75
3	92612	442.13
4	97499	442.94



Gambar 4.120 Grafik *Mesh Sensitivity* Pada Kondisi 6

Setelah itu, hasil tegangan local terbesar yang didapat pada kondisi 6 ditunjukkan pada Gambar 4.121 dibawah ini.



Gambar 4.121 Hasil Tegangan Lokal Pada Kondisi 6

Dari Tabel 4.121 dan Gambar 4.121 diatas, maka didapat jika nilai tegangan local atau *von Mises* pada kondisi 6 ini adalah 442.94 MPa. Sehingga, dapat disimpulkan jika nilai tegangan local pada kondisi 6 ini tidak memenuhi kriteria ABS, dimana batas nilai tegangan local yang diijinkan yaitu sebesar 369 MPa (90 % dari *yield strength* material yaitu sebesar 410 MPa).

Dari uraian diatas, dengan memasukkan nilai beban sebesar 1838.252 kN pada rantai maka akan didapat nilai tegangan local atau *von Mises stress* disetiap kondisi degradasi diameter yang ditunjukkan pada Table 4.122 dibawah ini.

Tabel 4.122 Hasil Tegangan Lokal Disetiap Kondisi Degradasi Diameter

No.	Von Mises Disetiap Kondisi (MPa)						Status	
	1	2	3	4	5	6		
1	299.11	313.16	305.79	328.8	421.14	505.13		OK
2	304.54	323.21	350.79	371.19	400.75	435.75		OK
3	309.41	324.98	346.54	361.09	401.1	442.13		OK
4	309.52	325.1	346.76	361.97	401.61	442.94		NOT OK

Dari Tabel 4.122, dapat disimpulkan jika besar degradasi diameter yang terjadi pada sambungan antar rantai *mooring* tidak boleh melebihi dari 15% agar nilai tegangan local nya (*von Mises Stress*) tidak melebihi dari nilai yang diijinkan yaitu 369 MPa.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisa yang telah dilakukan penulis diatas, maka didapatkan beberapa kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah yang telah ada, yaitu :

1. Dalam Tugas Akhir ini, penulis menggunakan dua kriteria kondisi lingkungan untuk melakukan analisa tegangan pada mooring system, yaitu kondisi DOC (menggunakan beban lingkungan dengan periode ulang 10 tahun) dan kondisi DEC (menggunakan beban lingkungan dengan periode ulang 100 tahun). Nilai tegangan terbesar yang terjadi pada masing-masing line disetiap kondisi dijabarkan pada uraian dibawah ini.
 - a. Tegangan terbesar pada kondisi DOC yaitu sebesar 1554.055 kN yang terjadi pada line 2 (L2) saat kondisi kapal yaitu ballast dan posisi kapal yaitu inline pada line 4 dengan arah beban lingkungan non collinear. Sedangkan perubahan SF yang terjadi pada setiap kondisi degradasi diameter rantai adalah menurun secara linear pada setiap kondisi dengan nilai sebesar 1.67 (kondisi 1), 1.51 (kondisi 2), 1.36 (kondisi 3), 1.21 (kondisi 4), 1.07 (kondisi 5), dan 0.94 (kondisi 6). Sehingga dapat disimpulkan jika nilai SF yang terjadi pada kondisi DOC tidak memenuhi kriteria ABS Position Mooring Systems (2019), yang mana nilai SF pada kondisi DOC tidak boleh melebihi 2.25 .
 - b. Tegangan terbesar pada kondisi DEC yaitu sebesar 1838.252 kN yang terjadi pada line 2 (L2) saat arah datang pembebanan lingkungan searah dengan line 2 secara collinear. Sedangkan perubahan SF yang terjadi pada setiap kondisi degradasi diameter rantai adalah menurun secara linear pada setiap kondisi dengan nilai sebesar 1.41 (kondisi 1), 1.28 (kondisi 2), 1.15 (kondisi 3), 1.02 (kondisi 4), 0.91 (kondisi 5), dan 0.80 (kondisi 6). Sehingga dapat disimpulkan jika nilai SF yang terjadi pada kondisi DEC tidak

memenuhi kriteria ABS Position Mooring Systems (2019), yang mana nilai SF pada kondisi DEC tidak boleh melebihi 1.67 .

Dari uraian diatas, dapat dinyatakan jika rantai U3 sudah tidak dapat digunakan lagi pada mooring system pada kondisi-kondisi lingkungan tersebut. Hal ini tentu saja dapat diatasi dengan mengganti rantai U3 dengan jenis rantai yang memiliki nilai MBL yang lebih besar daripada rantai U3 tersebut.

2. Selanjutnya, penulis melakukan analisis tegangan local pada sambungan rantai yang mengalami degradasi diameter dengan metode FEM. Terdapat 6 kondisi degradasi diameter pada sambungan antar rantai yang dianalisis untuk mendapatkan nilai tegangan local (Von Mises Stress) pada setiap kondisi. Besar gaya yang dikenakan pada rantai adalah sebesar 1838.252 kN, sebagai nilai *tension* tertinggi yang terjadi pada rantai *mooring*. Batas nilai tegangan local yang diijinkan (sesuai dengan kriteria ABS) yaitu sebesar 369 MPa (90 % dari yield strength material yaitu sebesar 410 MPa). Besar tegangan local yang terjadi pada sambungan rantai disetiap kondisi degradasi diameter adalah.

- a. Nilai tegangan local pada kondisi 1 (-0%) adalah 309.52 MPa
- b. Nilai tegangan local pada kondisi 2 (-5%) adalah 325.1 MPa
- c. Nilai tegangan local pada kondisi 3 (-10%) adalah 346.76 MPa
- d. Nilai tegangan local pada kondisi 4 (-15%) adalah 361.97 MPa
- e. Nilai tegangan local pada kondisi 5 (-20%) adalah 401.61 MPa
- f. Nilai tegangan local pada kondisi 6 (-25%) adalah 442.94 MPa

Dari diuraian diatas, dapat disimpulkan bahwa besar degradasi diameter yang terjadi pada sambungan antar rantai tidak boleh melebihi dari 15%, hal ini agar nilai tegangan local nya (*von Mises stress*) tidak melebihi dari nilai yang diijinkan yaitu 369 MPa.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis yang bersifat membangun untuk penelitian lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a Dapat melakukan analisis tegangan local pada sambungan rantai *mooring* yang mengalami degradasi diameter dengan memperhatikan penurunan sifat material rantai.
- b Perlu dilakukan analisis umur kelelahan pada rantai yang mengalami degradasi diameter di sambungan antar rantai. Sehingga dapat diketahui pengaruh dari degradasi diameter terhadap nilai *fatigue* nya.
- c Dapat melakukan analisis tegangan lokal rantai yang mengalami degradasi diameter dengan melakukan variasi DWT dari kapal. Hal ini dilakukan untuk mengetahui batas DWT kapal maksimum agar besar degradasi rantai yang terjadi tidak menyebabkan nilai tegangan local melebihi kriteria yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS, 2017, *Guide for The Certification of Offshore Mooring Chain*, American Bureau of Shipping, USA.
- ABS, 2019, *Guide for Position Mooring Systems*, American Bureau of Shipping, USA.
- ABS, 2019, *Rules for Building and Classing Single Point Moorings*, American Bureau of Shipping, USA.
- Alfisyahr, 2019, *Analisa Kekuatan Anchor Chain Pada Single Buoy Mooring (SBM) Floating Storage And Offloading (FSO) Arco Ardjuna*. Tugas Akhir Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- ANSYS, 1999, *ANSYS Theory Reference*, ANSYS Inc., Canonsburg, PA USA.
- ANSYS, 2009, *Workbench – Mechanical Introduction 12.0 Chapter 4 Static Structural Analysis*, ANSYS Inc. Proprietary Inventory #002593, ANSYS Inc., Canonsburg, PA USA.
- ANSYS, 2013, *ANSYS Mechanical APDL Theory Reference*, ANSYS Inc., Canonsburg, PA USA.
- ANSYS, 2013, *ANSYS Meshing User's Guide*, ANSYS Inc., Canonsburg, PA USA.
- Arrendondo *et al*, 2016, *Corrosion Fatigue Behavior of Mooring Chain Steel in Seawater*, Proceedings of the ASME 2016 35th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2016-54426, Busan, South Korea.
- Ayu, A., 2016, *Analisis Tegangan Lokal Maksimum Yoke Arm Pada External Turret Mooring System FSO Ladinda*, Jurusan Teknik Kelautan, Surabaya.
- Baso *et al*, 2013, *New Strip Theory Approach to Ship Motions Prediction*, Seminar Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan (SENTA International Conference of Marine Technology), Surabaya.
- Bastid *et al*, 2013, *Numerical Analysis of Contact Stresses Between Mooring Chain Links and Potential Consequences for Fatigue Damage*, Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2013, France.
- BKI, 2019, *Rules for Classification and Construction Part 1 Seagoing Ships, Volume V Rules for Materials*, Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta.

- Bureau Veritas, 2015, *Classification of Mooring Systems for Permanent and Mobile Offshore Units*, Marine & Offshore Division, France.
- Chakrabarti, S., 1987, *Handbook of Offshore Engineering Vol.1*, Offshore Structure Analysis Inc., Illinois USA.
- Chaplin *et al*, 2008, *Degradation of Wire Rope Mooring Lines in SE Asian Waters*, Conference Paper of Offshore Asia, Kuala Lumpur.
- Djarmiko, E. B., 2012, *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*, ITS Press, Surabaya.
- Melchers *et al*, 2007, *Corrosion of Working Chains Continuously Immersed In Seawater*, Article of Marine Science and Technology. 12. 102-110. 10.1007/s00773-006-0227-4.
- Nurhuda *et al*, 2018, *Analisis Tegangan Chain Line Single Point Mooring Type Catenary Anchor Leg Mooring Pada AFRAMAX Tanker*, Proceeding 1st Conference on Marine Engineering and It's Application, PPNS Surabaya.
- Oikonomidis *et al*, 2019, *Effect of Seawater Environment on the Fracture Toughness of Mooring Chain Link Material Under Cathodic Protection*, 25th International Conference on Fracture and Structural Integrity, Procedia Structural Integrity Vol.18 (2019) 142-162.
- Popov, E.P., 1990, *Engineering Mechanics of Solids*, University of California, United States of America.
- Qiao *et al*, 2014, *Fatigue Analysis of Deepwater Hybrid Mooring Line Under Corrosion Effect*, Polish Maritime Research 3(83) 2014 Vo. 21; pp. 68-76, China.
- Ramadhan, Y., 2017, *The Design of Mooring Dolphin Layout and Mooring Line Tension Analysis*, International Journal of Offshore and Coastal Engineering Vol.1 | No. 1 | pp. 22–28 | August 2017 e-ISSN: 2580-0914, Surabaya.
- Resy, A., 2017, *Ultimate Strength of the Buoy Structure due to the Loads Arise from the Tanker and Mooring Lines*, International Journal of Offshore and Coastal Engineering Vol.1 | No. 1 | pp. 8–15 | August 2017 e-ISSN: 2580-0914, Surabaya.

SBM Offshore, 2012, *Catenary Anchor Leg Mooring Brochure*, SBM Offshore Catalog, Karel Doormanweg, Netherlands.

Shu *et al*, 2018, *API RP 2SK 4th Edition – An Update Stationkeeping Standard for The Global offshore Enviroment*, Offshore Technology Conference OTC-29024-MS 30 April-3 May 2018, USA.

Zhang *et al*, 2016, *Corrosion Behavior of Mooring Chain Steel in Seawater*, Article from The 67th annual meeting of the International Society of Electrochemistry, 21-26 August 2016, The Hague, The Netherlands, 1-15, Netherlands.

Lampiran I.
Output Tabel Nilai RAO
MOSES

1. **Tabel Nilai RAO Kapal Kondisi *Full Load***

Freq (rad/s)	Surge (m/m)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0.963	0.686	0.003	0.686	0.962
0.3	0.882	0.648	0.001	0.648	0.881
0.4	0.721	0.58	0.004	0.579	0.717
0.5	0.466	0.471	0.009	0.464	0.454
0.6	0.152	0.301	0.023	0.281	0.134
0.7	0.027	0.125	0.054	0.095	0.053
0.8	0.013	0.033	0.062	0.054	0.034
0.9	0.019	0.034	0.038	0.048	0.024
1	0.021	0.018	0.026	0.026	0.018
1.1	0.02	0.019	0.019	0.016	0.012
1.2	0.011	0.02	0.022	0.017	0.009
1.3001	0.013	0.04	0.021	0.029	0.004
1.4	0.021	0.151	0.066	0.159	0.024
1.4999	0.011	0.017	0.01	0.011	0.003
1.6	0.009	0.001	0.004	0.006	0.003
1.7	0.007	0.002	0.002	0.003	0.003
1.7998	0.007	0	0.01	0.001	0.002
1.9	0.006	0.002	0.002	0.001	0.002
1.9997	0.006	0.003	0.001	0	0.002
2.1	0.006	0.002	0.002	0.007	0.003
2.2	0.005	0.004	0.003	0.007	0.002
2.2998	0.002	0.004	0.005	0.002	0.002
2.5013	0.003	0	0	0.001	0.001
3.00	0.001	0.002	0	0.002	0.002

Freq (rad/s)	Sway (m/m)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0	0.683	0.973	0.683	0
0.3	0	0.638	0.938	0.638	0
0.4	0	0.56	0.886	0.551	0
0.5	0	0.412	0.791	0.42	0
0.6	0	0.254	0.71	0.265	0
0.7	0	0.08	0.618	0.097	0
0.8	0	0.04	0.522	0.067	0
0.9	0	0.048	0.432	0.08	0
1	0	0.001	0.35	0.031	0
1.1	0	0.019	0.279	0.017	0
1.2	0	0.004	0.219	0.023	0
1.3001	0	0.011	0.17	0.006	0
1.4	0.001	0.011	0.125	0.002	0.001
1.4999	0	0.004	0.097	0.004	0
1.6	0	0.005	0.08	0.008	0
1.7	0	0.005	0.057	0.013	0
1.7998	0	0.003	0.048	0.014	0
1.9	0	0	0.034	0.005	0
1.9997	0.001	0.002	0.016	0.008	0
2.1	0.001	0.001	0.011	0.001	0
2.2	0	0.001	0.015	0.003	0
2.2998	0	0	0.013	0.001	0
2.5013	0	0.001	0.003	0.001	0
3.00	0	0	0.005	0.001	0

Freq (rad/s)	Heave (m/m)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0.983	0.992	1.001	0.992	0.983
0.3	0.916	0.961	1.008	0.962	0.917
0.4	0.737	0.877	1.031	0.88	0.742
0.5	0.402	0.705	1.1	0.725	0.433
0.6	0.059	0.446	1.284	0.531	0.181
0.7	0.304	0.035	1.594	0.28	0.325
0.8	0.141	0.236	1.052	0.2	0.147
0.9	0.096	0.095	0.457	0.119	0.052
1	0.045	0.039	0.206	0.023	0.013
1.1	0.032	0.038	0.085	0.032	0.017
1.2	0.016	0.027	0.068	0.014	0.005
1.3001	0.01	0.067	0.037	0.059	0.008
1.4	0.021	0.231	0.137	0.262	0.031
1.4999	0.006	0.021	0.028	0.008	0.01
1.6	0.003	0.003	0.011	0.013	0.007
1.7	0.001	0.003	0.004	0.007	0.006
1.7998	0.003	0.003	0.032	0.005	0.006
1.9	0.005	0.003	0.01	0.003	0.006
1.9997	0.007	0.003	0.004	0.002	0.005
2.1	0.008	0.002	0.005	0.01	0.004
2.2	0.007	0.006	0.006	0.012	0.003
2.2998	0.006	0.007	0.009	0.005	0.001
2.5013	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002
3.00	0.001	0.001	0	0.001	0.001

Freq (rad/s)	Roll (deg/deg)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0	0.191	0.273	0.191	0
0.3	0	0.574	0.843	0.574	0
0.4	0.002	2.493	3.566	2.477	0.002
0.5	0.001	1.141	2.104	1.116	0.001
0.6	0	0.39	0.876	0.362	0
0.7	0	0.347	0.464	0.318	0.001
0.8	0	0.318	0.241	0.327	0.001
0.9	0	0.209	0.119	0.22	0
1	0	0.103	0.038	0.09	0
1.1	0	0.096	0.005	0.059	0
1.2	0	0.068	0.023	0.06	0
1.3001	0	0.037	0.035	0.016	0
1.4	0.001	0.042	0.055	0.028	0.002
1.4999	0	0.027	0.026	0.011	0
1.6	0	0.016	0.02	0.034	0
1.7	0	0.025	0.026	0.057	0
1.7998	0.001	0.019	0.011	0.05	0.001
1.9	0.001	0.003	0.02	0.021	0.001
1.9997	0.003	0.008	0.029	0.035	0.001
2.1	0.002	0.006	0.011	0.004	0.001
2.2	0.001	0.002	0.007	0.005	0
2.2998	0	0.002	0.008	0.002	0
2.5013	0	0.001	0.003	0.003	0
3.00	0	0	0.001	0.003	0

Freq (rad/s)	Pitch (deg/deg)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0.234	0.166	0.002	0.166	0.234
0.3	0.517	0.376	0.004	0.376	0.516
0.4	0.858	0.666	0.009	0.664	0.854
0.5	1.116	1.02	0.028	1.016	1.109
0.6	0.909	1.277	0.075	1.283	0.926
0.7	0.367	1.156	0.188	1.219	0.3
0.8	0.421	0.282	0.157	0.366	0.305
0.9	0.162	0.182	0.083	0.109	0.075
1	0.113	0.116	0.051	0.11	0.057
1.1	0.065	0.065	0.038	0.014	0.005
1.2	0.031	0.061	0.029	0.038	0.018
1.3001	0.026	0.128	0.054	0.096	0.007
1.4	0.04	0.396	0.192	0.442	0.061
1.4999	0.012	0.037	0.03	0.023	0.013
1.6	0.006	0.004	0.012	0.017	0.011
1.7	0.002	0.005	0.004	0.009	0.011
1.7998	0.005	0.005	0.039	0.004	0.011
1.9	0.011	0.006	0.014	0.006	0.012
1.9997	0.014	0.006	0.007	0.006	0.008
2.1	0.017	0.005	0.009	0.023	0.008
2.2	0.013	0.012	0.011	0.023	0.006
2.2998	0.012	0.015	0.015	0.009	0.001
2.5013	0.005	0.001	0.002	0.003	0.003
3.00	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002

Freq (rad/s)	Yaw (deg/deg)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0	0.093	0	0.093	0
0.3	0	0.199	0.004	0.2	0
0.4	0	0.313	0.033	0.343	0
0.5	0	0.402	0.042	0.402	0
0.6	0	0.428	0.037	0.428	0
0.7	0	0.331	0.039	0.353	0
0.8	0	0.133	0.045	0.166	0
0.9	0	0.039	0.053	0.021	0
1	0	0.058	0.053	0.085	0
1.1	0	0.007	0.054	0.051	0
1.2	0	0.024	0.051	0.016	0
1.3001	0	0.004	0.049	0.025	0
1.4	0.001	0.006	0.047	0.024	0.002
1.4999	0	0.003	0.024	0.012	0
1.6	0	0.01	0.027	0.015	0
1.7	0	0.006	0.03	0.018	0
1.7998	0	0.003	0.027	0.011	0
1.9	0	0.001	0.017	0.007	0
1.9997	0.001	0.003	0.018	0.013	0
2.1	0.001	0.002	0.013	0.003	0
2.2	0.001	0.001	0.011	0.002	0
2.2998	0	0	0.006	0.002	0
2.5013	0	0.001	0.003	0.001	0
3.00	0	0.001	0.003	0.002	0

2. Tabel Nilai RAO Kapal Kondisi *Ballast*

Freq (rad/s)	Surge (m/m)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0.978	0.696	0	0.696	0.978
0.3	0.916	0.67	0	0.67	0.915
0.4	0.775	0.613	0	0.612	0.774
0.5	0.532	0.51	0.001	0.51	0.535
0.6	0.22	0.35	0.002	0.357	0.233
0.7	0.026	0.172	0.004	0.19	0.013
0.8	0.056	0.039	0.005	0.065	0.044
0.9	0.027	0.043	0.006	0.052	0.007
1	0.04	0.029	0.007	0.041	0.032
1.1	0.028	0.028	0.008	0.017	0.019
1.2	0.029	0.033	0.007	0.025	0.021
1.3001	0.023	0.014	0.005	0.016	0.013
1.4	0.017	0.017	0.005	0.011	0.011
1.4999	0.014	0.009	0.005	0.011	0.008
1.6	0.012	0.01	0.003	0.007	0.005
1.7	0.002	0.006	0.013	0.024	0.006
1.7998	0.006	0.003	0	0.005	0.002
1.9	0.007	0.004	0.004	0.004	0.002
1.9997	0.003	0.002	0.008	0.002	0.003
2.1	0.003	0.002	0.004	0.003	0.001
2.2	0.002	0.003	0.004	0.008	0
2.2998	0.001	0.003	0.003	0.004	0
2.5013	0.004	0.002	0.002	0.002	0.001
3.00	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001

Freq (rad/s)	Sway (m/m)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0	0.695	0.99	0.695	0
0.3	0	0.667	0.976	0.667	0
0.4	0	0.606	0.954	0.606	0
0.5	0	0.499	0.922	0.498	0
0.6	0	0.345	0.88	0.343	0
0.7	0	0.162	0.823	0.165	0
0.8	0	0.036	0.74	0.04	0
0.9	0	0.116	0.568	0.055	0.001
1	0	0.068	0.275	0.035	0
1.1	0	0.02	0.17	0.023	0
1.2	0	0.007	0.214	0.033	0
1.3001	0	0.022	0.201	0.029	0
1.4	0	0.005	0.169	0.015	0
1.4999	0	0.019	0.137	0.022	0
1.6	0	0.01	0.113	0.012	0
1.7	0.001	0.009	0.097	0.016	0.001
1.7998	0	0.011	0.077	0.008	0
1.9	0	0.006	0.069	0.008	0
1.9997	0	0.006	0.057	0.006	0
2.1	0	0.008	0.067	0.003	0
2.2	0	0.005	0.024	0.002	0
2.2998	0	0.004	0.033	0.002	0
2.5013	0	0.004	0.012	0.002	0
3.00	0	0.002	0.01	0.003	0

Freq (rad/s)	Heave (m/m)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0.986	0.993	1	0.993	0.986
0.3	0.93	0.964	0.999	0.965	0.931
0.4	0.783	0.887	0.999	0.888	0.785
0.5	0.516	0.736	1.002	0.736	0.512
0.6	0.229	0.526	1.012	0.517	0.194
0.7	0.158	0.298	1.03	0.274	0.12
0.8	0.173	0.124	1.035	0.073	0.156
0.9	0.108	0.177	0.965	0.178	0.075
1	0.089	0.123	0.76	0.144	0.069
1.1	0.053	0.057	0.515	0.055	0.032
1.2	0.037	0.053	0.332	0.041	0.021
1.3001	0.026	0.025	0.214	0.026	0.009
1.4	0.016	0.02	0.14	0.008	0.008
1.4999	0.012	0.01	0.094	0.008	0.005
1.6	0.011	0.014	0.059	0.003	0.005
1.7	0.01	0.008	0.034	0.015	0.009
1.7998	0.002	0.002	0.031	0.002	0.002
1.9	0.004	0.004	0.008	0.005	0.004
1.9997	0.003	0.002	0.011	0.002	0.003
2.1	0.001	0.001	0.009	0.002	0.001
2.2	0.001	0.003	0.004	0.004	0
2.2998	0	0.001	0.002	0.001	0
2.5013	0.001	0.001	0.004	0.001	0
3.00	0	0.001	0	0	0

Freq (rad/s)	Roll (deg/deg)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0	0.165	0.234	0.165	0
0.3	0	0.366	0.531	0.366	0
0.4	0	0.623	0.956	0.622	0
0.5	0	0.877	1.525	0.876	0
0.6	0.001	1.019	2.279	1.019	0.001
0.7	0.001	0.849	3.297	0.881	0.002
0.8	0.001	0.149	4.732	0.268	0.003
0.9	0.004	1.322	6.384	0.993	0.009
1	0.008	1.769	6.825	1.718	0.002
1.1	0.005	0.365	5.109	0.489	0.005
1.2	0.003	0.454	3.051	0.173	0.003
1.3001	0.001	0.166	1.892	0.219	0.002
1.4	0	0.182	1.23	0.054	0
1.4999	0.001	0.084	0.818	0.062	0.001
1.6	0.001	0.09	0.548	0.038	0
1.7	0.004	0.06	0.347	0.032	0.005
1.7998	0	0.031	0.271	0.017	0
1.9	0	0.031	0.18	0.013	0.001
1.9997	0.001	0.022	0.121	0.012	0
2.1	0	0.031	0.056	0.017	0
2.2	0.001	0.01	0.066	0.005	0
2.2998	0	0.005	0.034	0.004	0
2.5013	0.001	0.006	0.019	0.007	0
3.00	0	0.002	0.009	0.009	0

Freq (rad/s)	Pitch (deg/deg)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0.233	0.165	0.002	0.165	0.233
0.3	0.512	0.37	0.002	0.37	0.511
0.4	0.842	0.64	0.004	0.639	0.84
0.5	1.088	0.931	0.007	0.928	1.087
0.6	0.996	1.121	0.011	1.126	1.01
0.7	0.54	1.069	0.014	1.106	0.549
0.8	0.346	0.765	0.022	0.84	0.271
0.9	0.337	0.283	0.051	0.332	0.314
1	0.19	0.276	0.078	0.214	0.133
1.1	0.133	0.189	0.075	0.197	0.091
1.2	0.083	0.086	0.063	0.082	0.038
1.3001	0.054	0.073	0.048	0.043	0.03
1.4	0.042	0.033	0.04	0.032	0.016
1.4999	0.027	0.033	0.031	0.012	0.014
1.6	0.019	0.016	0.023	0.01	0.012
1.7	0.019	0.015	0.049	0.035	0.017
1.7998	0.007	0.009	0.025	0.005	0.006
1.9	0.009	0.006	0.019	0.01	0.005
1.9997	0.003	0.005	0.014	0.006	0.001
2.1	0.002	0.003	0.012	0.002	0.002
2.2	0.002	0.005	0.008	0.003	0.001
2.2998	0.002	0.004	0.006	0.006	0.001
2.5013	0.003	0.004	0.006	0.002	0.001
3.00	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001

Freq (rad/s)	Yaw (deg/deg)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0	0.083	0.001	0.083	0
0.3	0	0.18	0.002	0.18	0
0.4	0	0.295	0.003	0.295	0
0.5	0	0.394	0.005	0.394	0
0.6	0	0.428	0.008	0.429	0
0.7	0	0.355	0.014	0.365	0
0.8	0	0.187	0.023	0.208	0.001
0.9	0	0.033	0.043	0.027	0.001
1	0	0.073	0.069	0.073	0
1.1	0	0.02	0.082	0.075	0
1.2	0	0.046	0.08	0.033	0
1.3001	0	0.01	0.076	0.044	0
1.4	0	0.037	0.068	0.044	0
1.4999	0	0.009	0.056	0.027	0
1.6	0	0.025	0.041	0.033	0
1.7	0.001	0.02	0.032	0.02	0.001
1.7998	0	0.006	0.018	0.02	0
1.9	0	0.015	0.018	0.013	0
1.9997	0	0.016	0.017	0.013	0
2.1	0	0.011	0.022	0.009	0
2.2	0	0.001	0.011	0.004	0
2.2998	0	0.002	0.019	0.002	0
2.5013	0	0.004	0.007	0.001	0
3.00	0	0.001	0.005	0.005	0

3. Tabel Nilai RAO Buoy

Freq (rad/s)	Surge (m/m)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	1.089	0.769	0.024	0.771	1.089
0.573	0.976	0.692	0.037	0.688	0.974
0.945	0.743	0.543	0.043	0.516	0.753
1.317	0.583	0.363	0.091	0.513	0.671
1.69	0.587	0.43	0.022	0.492	0.705
2.063	0.387	0.275	0.02	0.316	0.462
2.435	0.2	0.157	0.01	0.186	0.242
2.808	0.071	0.054	0.009	0.048	0.074
3.18	0.13	0.058	0.055	0.098	0.081
3.553	0.012	0.026	0.004	0.027	0.01
3.925	0.008	0.014	0.005	0.014	0.002
4.298	0.014	0.009	0.004	0.009	0.015
4.67	0.008	0.005	0.004	0.006	0.002
5.043	0.006	0.002	0.004	0.003	0.007
5.415	0.005	0.006	0.003	0.004	0.004
5.788	0.003	0.001	0.002	0.001	0.004
6.16	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002
6.532	0.003	0.001	0	0.001	0.003
6.905	0	0.001	0.001	0.001	0

Freq (rad/s)	Sway (m/m)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0.116	0.775	1.086	0.77	0.116
0.573	0.141	0.694	0.966	0.689	0.141
0.945	0.079	0.48	0.661	0.469	0.083
1.317	0.094	0.694	0.956	0.712	0.097
1.69	0.037	0.517	0.78	0.585	0.029
2.063	0.013	0.331	0.501	0.348	0.012
2.435	0.01	0.192	0.272	0.191	0.009
2.808	0.007	0.077	0.088	0.076	0.007
3.18	0.013	0.04	0.009	0.006	0.009
3.553	0.002	0.019	0.031	0.007	0.003
3.925	0.001	0.01	0.012	0.004	0.002
4.298	0.007	0.012	0.002	0.019	0.006
4.67	0.001	0.012	0.01	0.01	0.001
5.043	0.001	0.003	0.006	0.003	0.001
5.415	0	0.004	0.004	0.005	0
5.788	0	0.001	0.001	0	0
6.16	0	0.003	0.001	0.003	0
6.532	0	0.001	0.001	0.001	0
6.905	0	0.001	0	0.001	0

Freq (rad/s)	Heave (m/m)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003
0.573	1.131	1.131	1.131	1.131	1.129
0.945	0.443	0.469	0.482	0.472	0.449
1.317	0.469	0.539	0.557	0.535	0.468
1.69	0.343	0.358	0.373	0.375	0.366
2.063	0.194	0.2	0.251	0.227	0.174
2.435	0.055	0.049	0.066	0.069	0.029
2.808	0.067	0.069	0.072	0.057	0.072
3.18	0.025	0.034	0.038	0.066	0.045
3.553	0.015	0.024	0.037	0.03	0.008
3.925	0.02	0.023	0.015	0.006	0.016
4.298	0.005	0.007	0.005	0.007	0.009
4.67	0.002	0.007	0.007	0.004	0.006
5.043	0.002	0.004	0.005	0.001	0.001
5.415	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001
5.788	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
6.16	0	0	0.001	0.001	0
6.532	0	0	0	0.001	0
6.905	0	0	0	0	0

Freq (rad/s)	Roll (deg/deg)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0.131	1.212	1.679	1.172	0.129
0.573	0.151	1.084	1.481	1.034	0.138
0.945	0.071	0.885	1.198	0.812	0.062
1.317	0.052	0.591	0.78	0.497	0.094
1.69	0.027	0.268	0.359	0.229	0.022
2.063	0.007	0.201	0.286	0.187	0.013
2.435	0.006	0.125	0.18	0.118	0.009
2.808	0.002	0.053	0.066	0.048	0.005
3.18	0.005	0.023	0.018	0.007	0.001
3.553	0.002	0.008	0.007	0.008	0.001
3.925	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002
4.298	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001
4.67	0.001	0	0.001	0.001	0.001
5.043	0	0	0	0	0
5.415	0	0	0	0	0
5.788	0	0	0	0	0
6.16	0	0	0	0	0
6.532	0	0	0	0	0
6.905	0	0	0	0	0

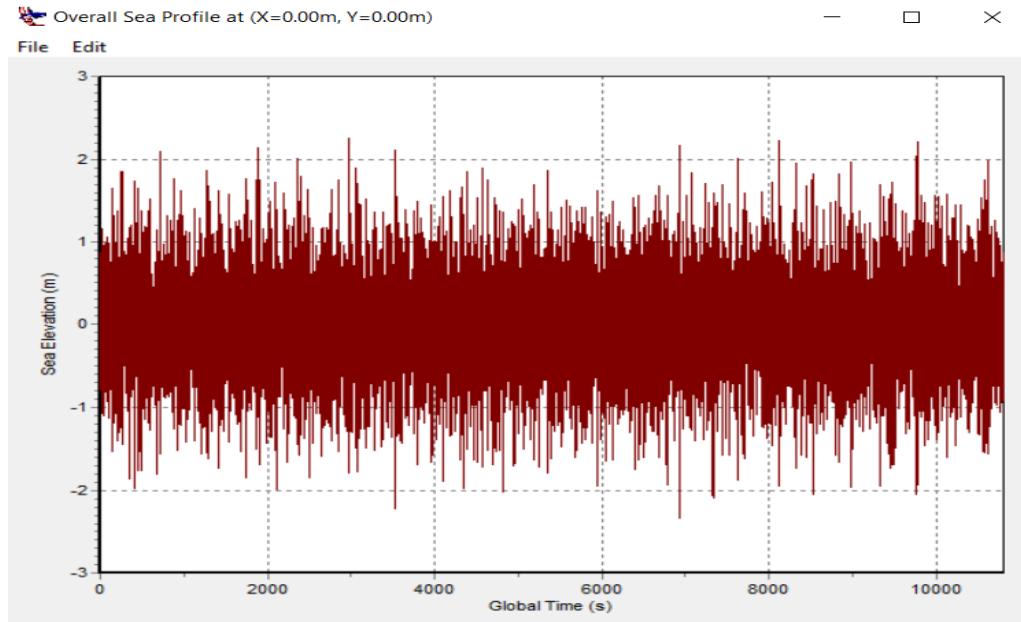
Freq (rad/s)	Pitch (deg/deg)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	1.544	1.034	0.123	1.159	1.552
0.573	1.314	0.862	0.125	1.023	1.349
0.945	1.098	0.707	0.135	0.852	1.102
1.317	0.796	0.529	0.123	0.574	0.757
1.69	0.342	0.279	0.027	0.281	0.365
2.063	0.249	0.18	0.012	0.202	0.282
2.435	0.14	0.115	0.013	0.143	0.16
2.808	0.052	0.04	0.007	0.048	0.05
3.18	0.055	0.028	0.02	0.04	0.04
3.553	0.008	0.006	0.004	0.006	0.01
3.925	0.002	0.003	0.001	0.004	0.001
4.298	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003
4.67	0	0.001	0	0	0
5.043	0	0	0	0	0
5.415	0	0	0	0	0
5.788	0	0	0	0	0
6.16	0	0	0	0	0
6.532	0	0	0	0	0
6.905	0	0	0	0	0

Freq (rad/s)	Yaw (deg/deg)				
	0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
0.2	0.18	1.024	1.579	1.214	0.176
0.573	0.022	0.161	0.242	0.183	0.02
0.945	0.011	0.11	0.155	0.113	0.012
1.317	0.011	0.119	0.146	0.084	0.004
1.69	0.003	0.048	0.029	0.011	0.003
2.063	0.002	0.007	0.004	0.003	0.001
2.435	0.001	0.002	0.004	0.005	0
2.808	0.001	0.002	0.003	0.004	0
3.18	0	0.002	0.001	0.002	0.001
3.553	0	0.001	0	0.002	0
3.925	0	0.001	0	0	0
4.298	0	0.001	0	0	0
4.67	0	0	0	0	0
5.043	0	0	0	0	0
5.415	0	0	0	0	0
5.788	0	0	0	0	0
6.16	0	0	0	0	0
6.532	0	0	0	0	0
6.905	0	0	0	0	0

Lampiran II.
Output Environmental Profile
ORCAFLEX

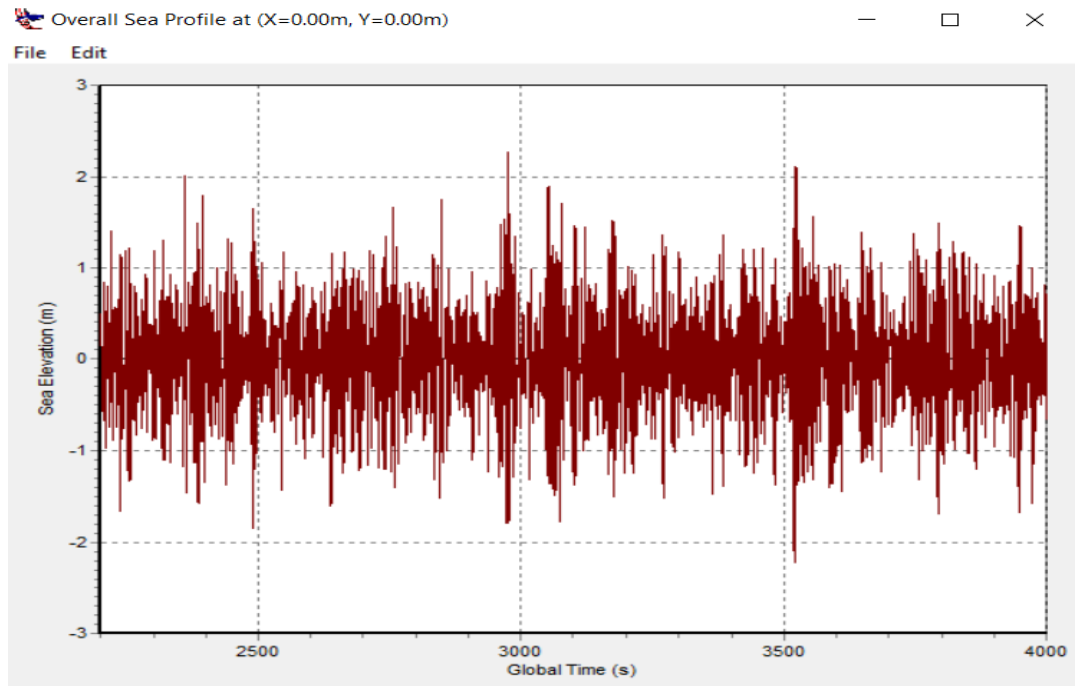
A. Design Operational Condition (DOC)

- **Wave Profile (10800 s)**

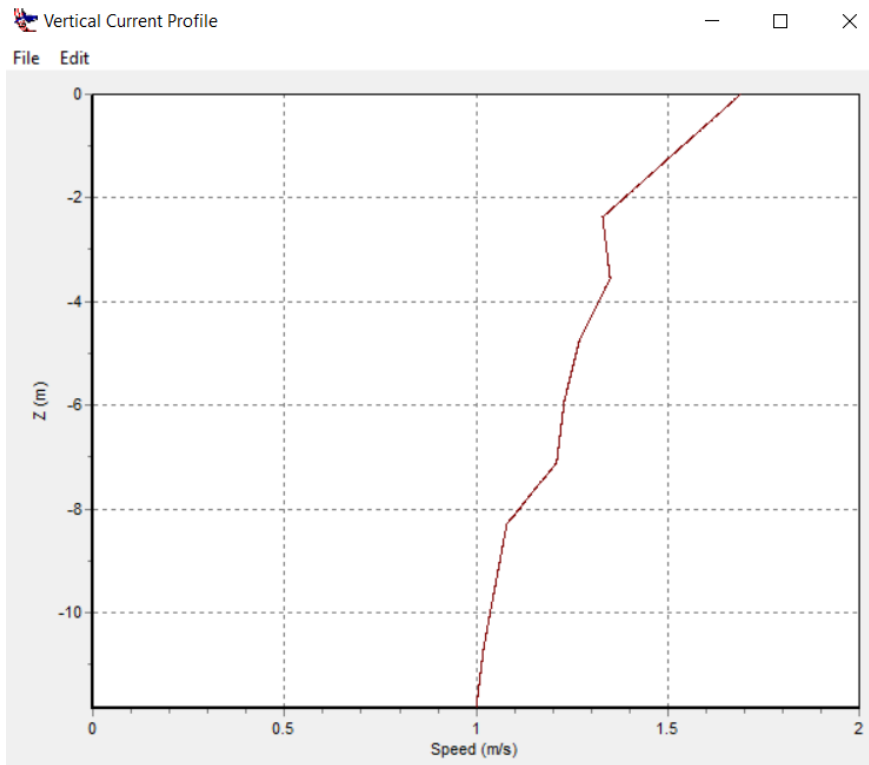


- **Wave Profile (1800 s)**

Event	Value (m)	Global Time (s)
Largest Rise	4.5282	6923.67
Largest Fall	4.1356	9768.04
Highest Crest	2.2615	2976.37
Lowest Trough	-2.3516	6923.67

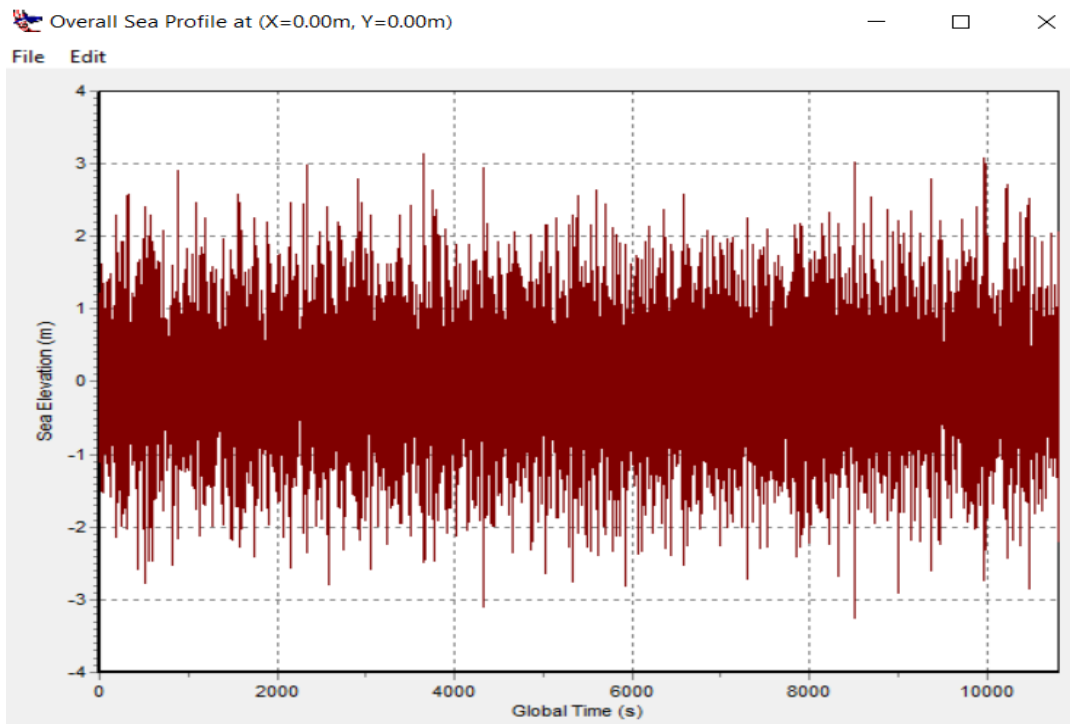


- **Current Profile**



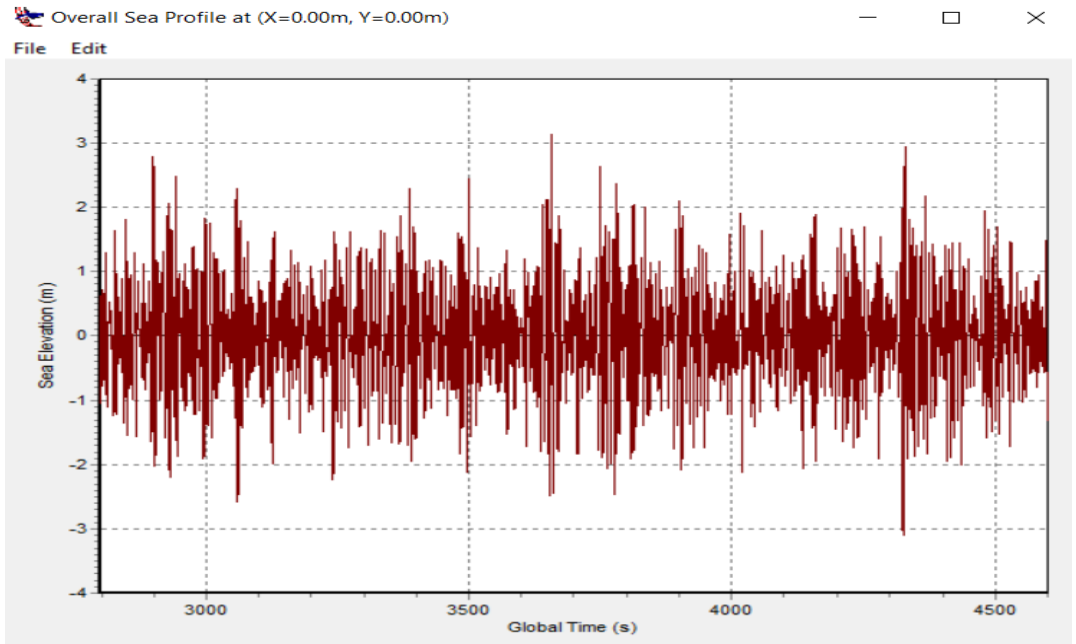
B. Design Enviromental Condition (DEC)

- **Wave Profile (10800 s)**

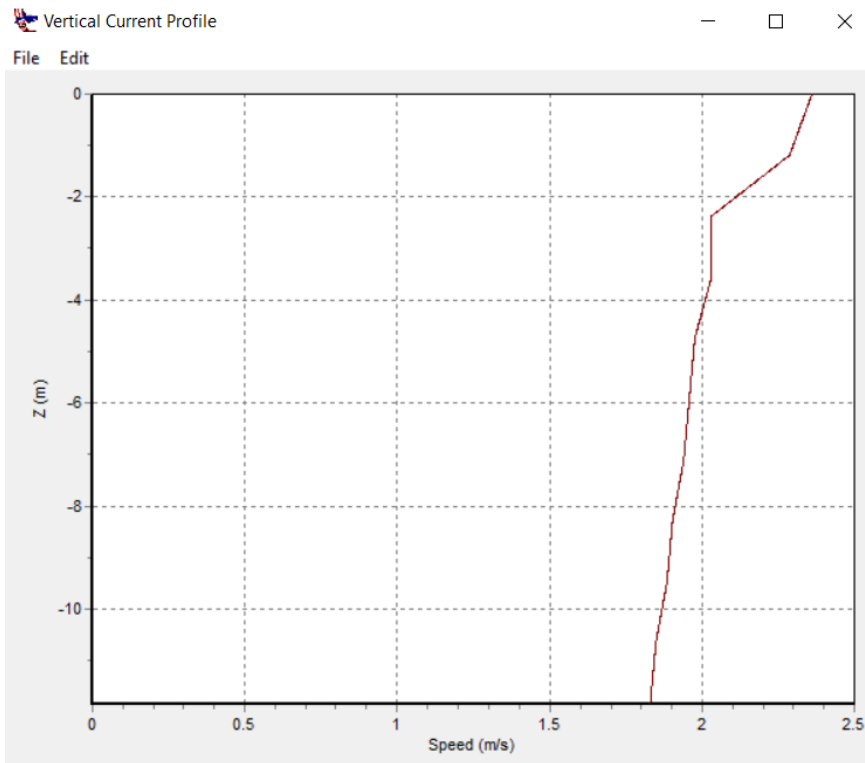


- **Wave Profile (1800 s)**

Event	Value (m)	Global Time (s)
Largest Rise	6.2975	8506.53
Largest Fall	5.5980	3656.82
Highest Crest	3.1452	3656.82
Lowest Trough	-3.2705	8506.53



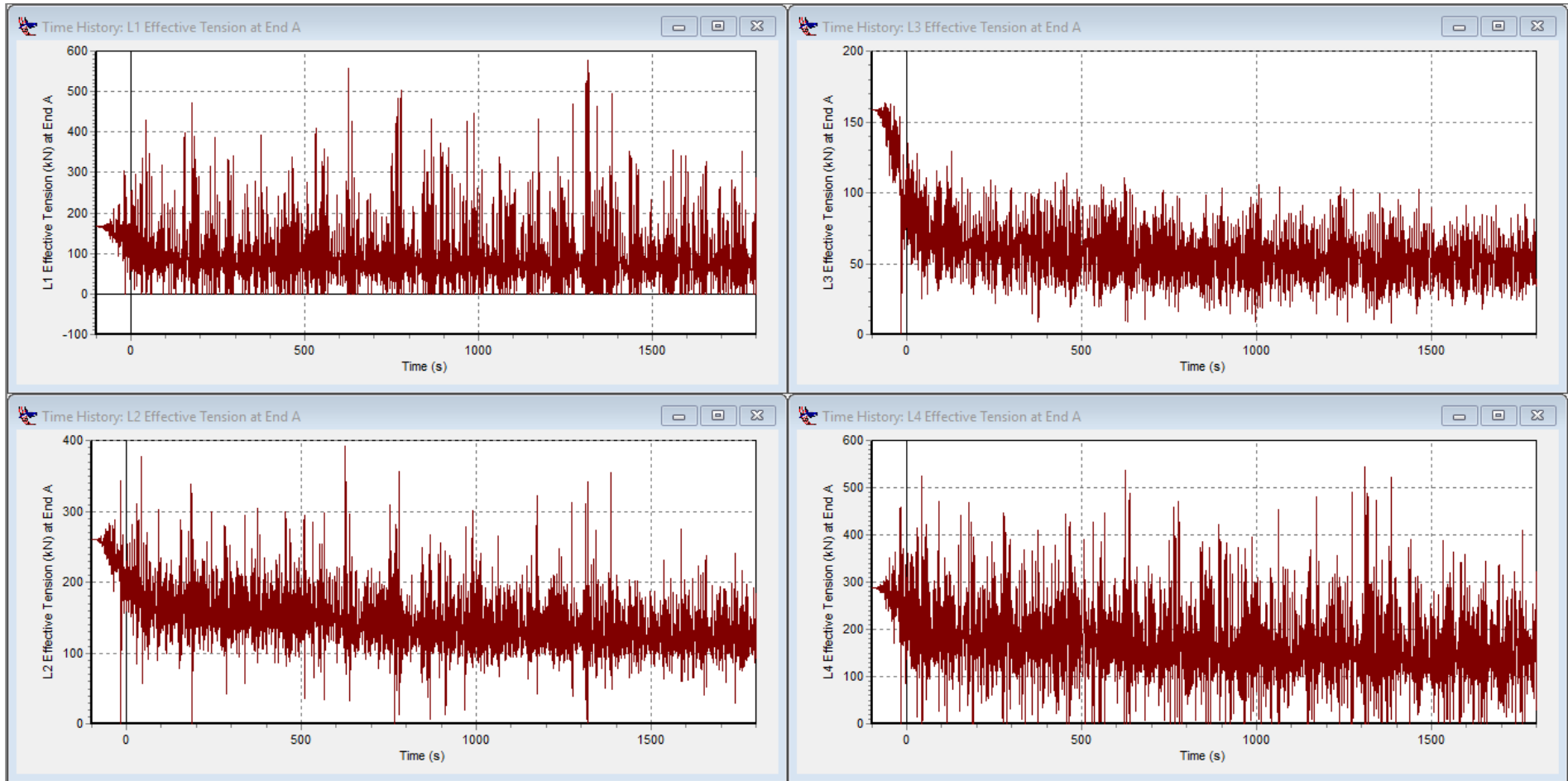
- **Current Profile**



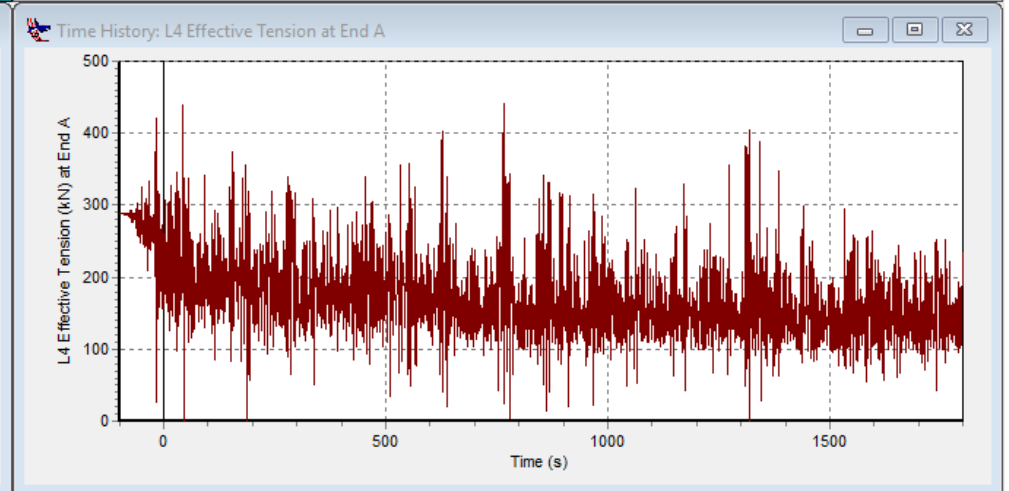
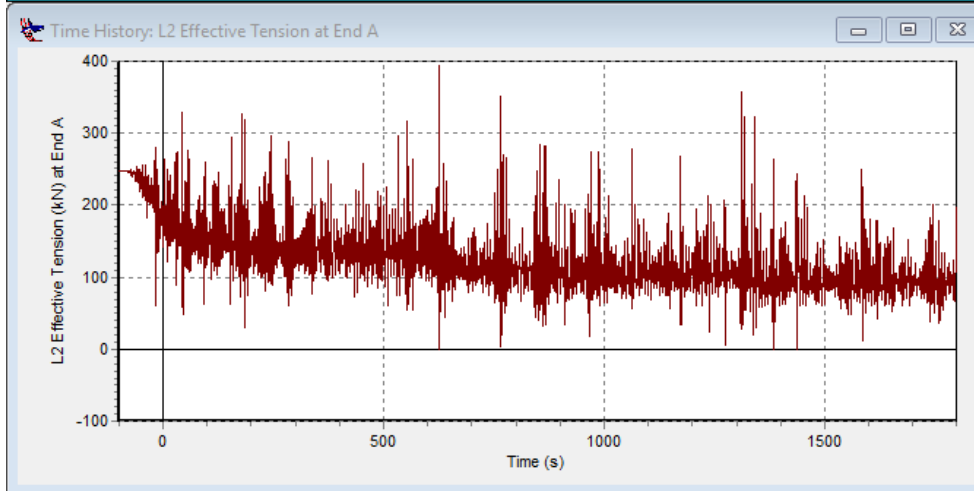
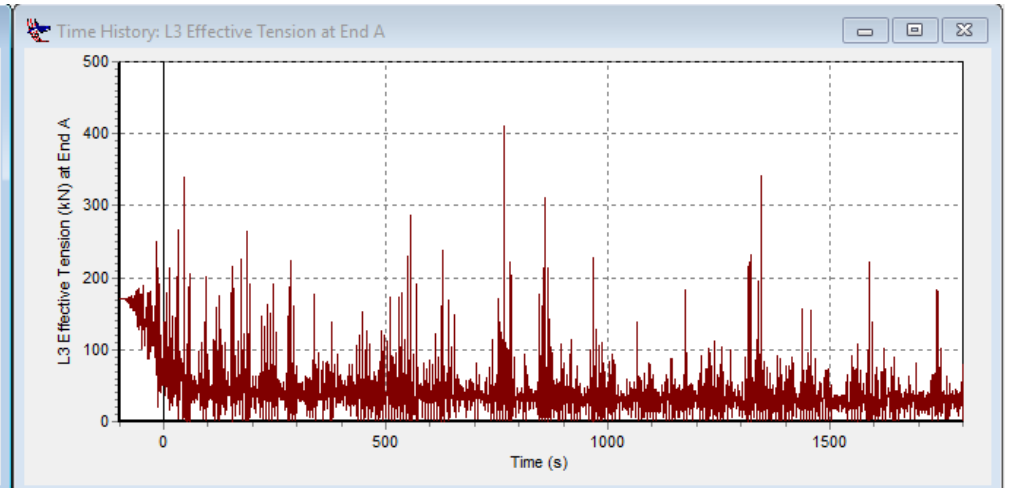
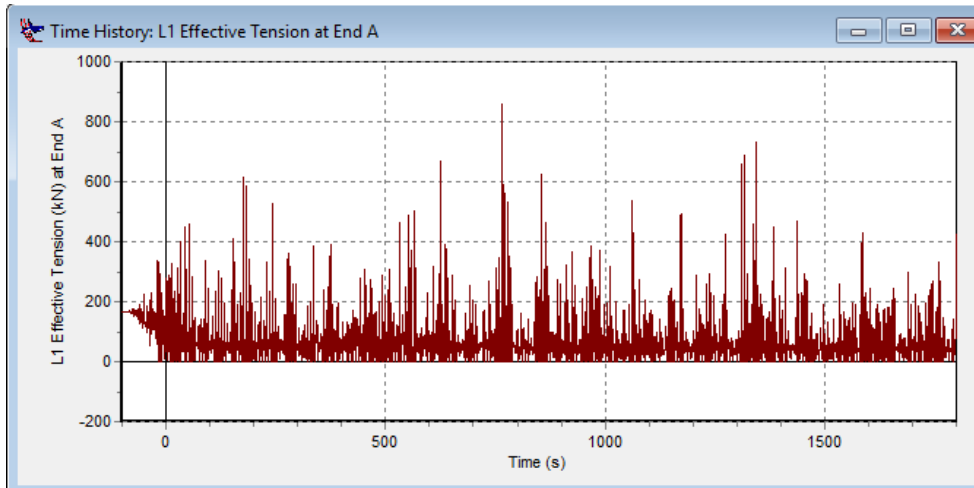
Lampiran III.
Output Grafik Effective Tension
Mooring Line ORCAFLEX

A. Design Operational Condition (DOC)

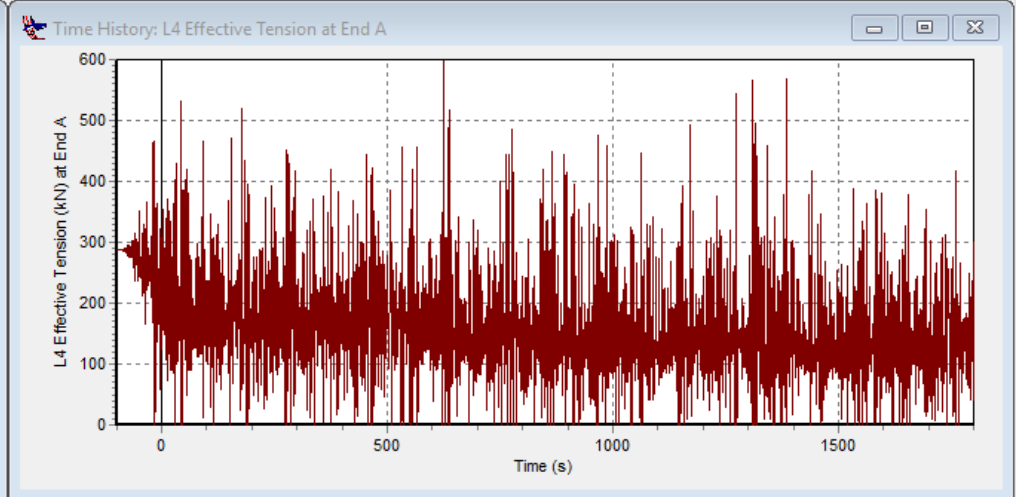
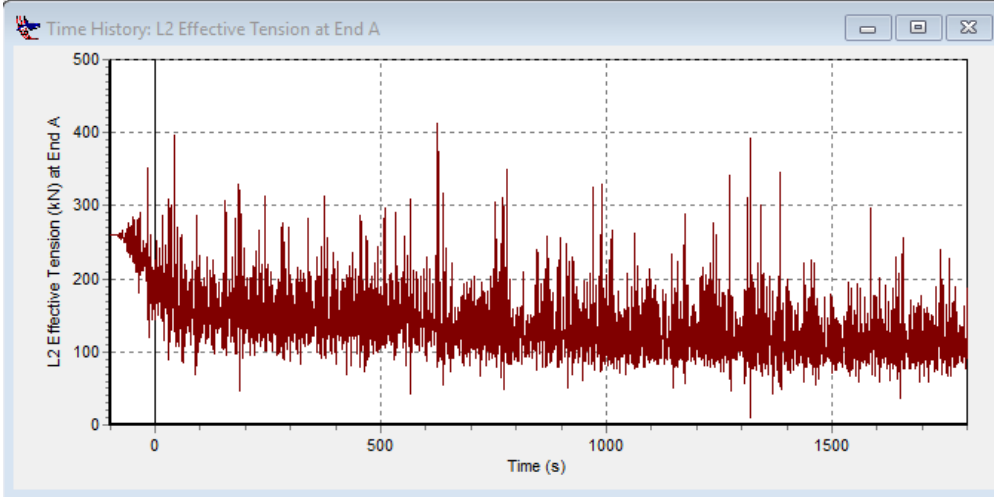
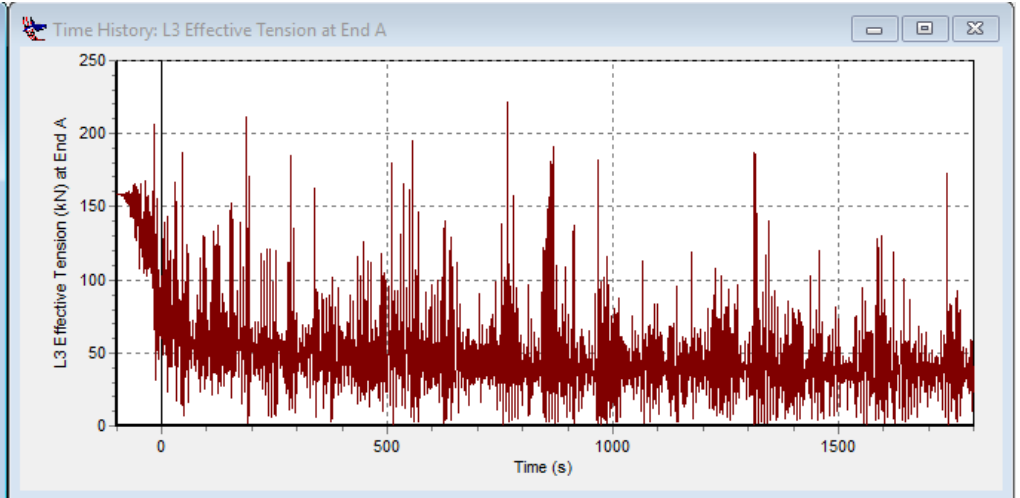
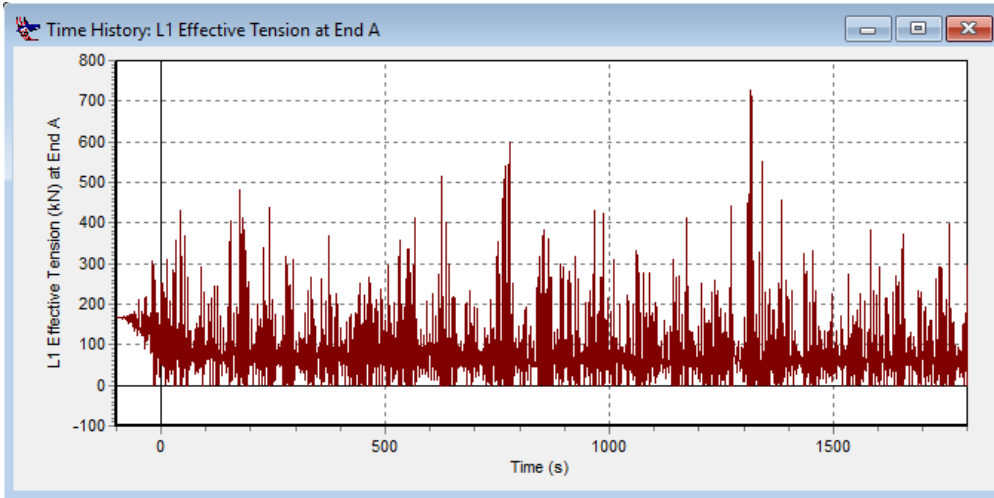
1. DOC – Between Line 1 – Full Load – Collinear



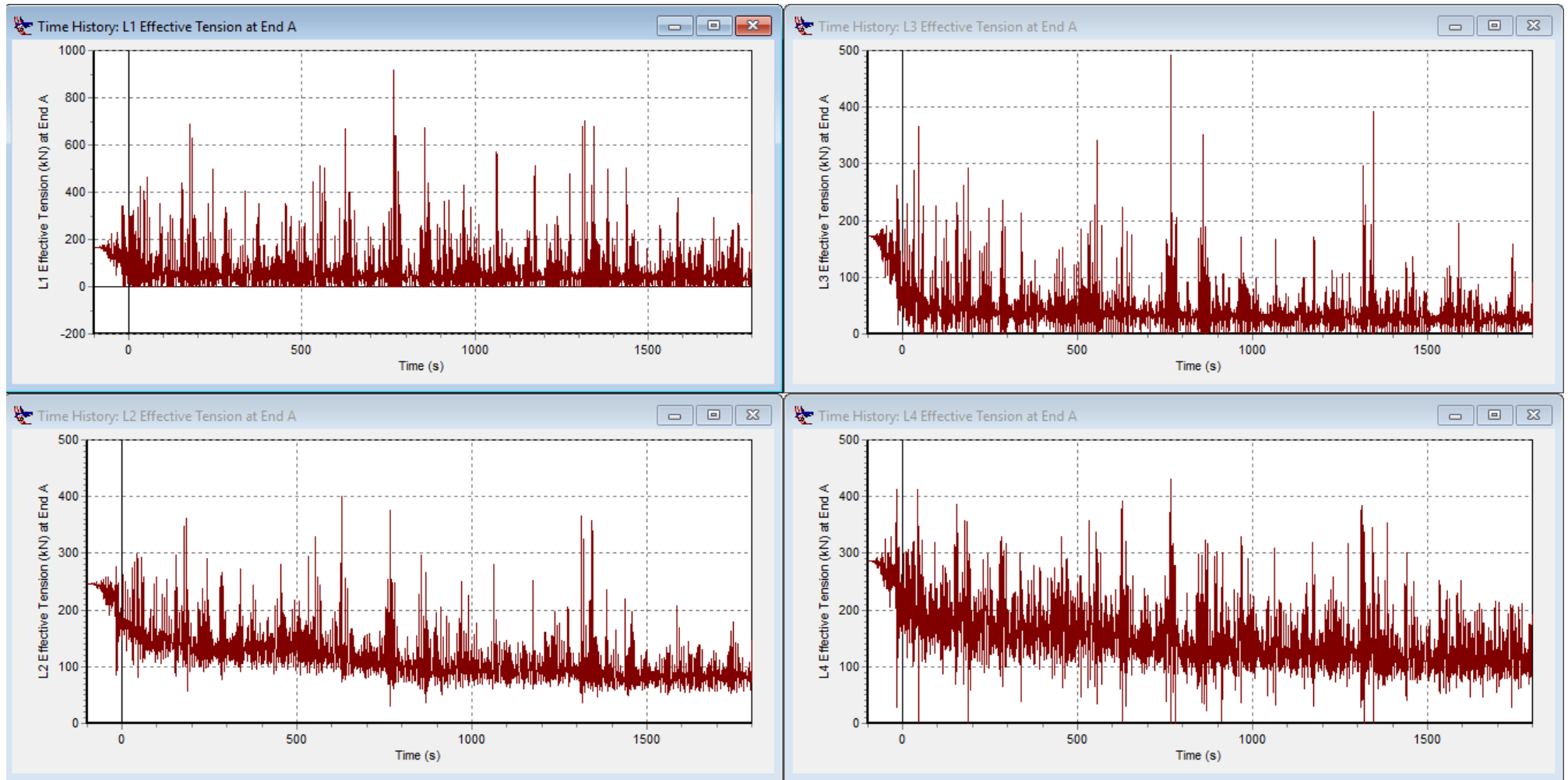
2. DOC – Between Line 1 – Full Load – Non Collinear



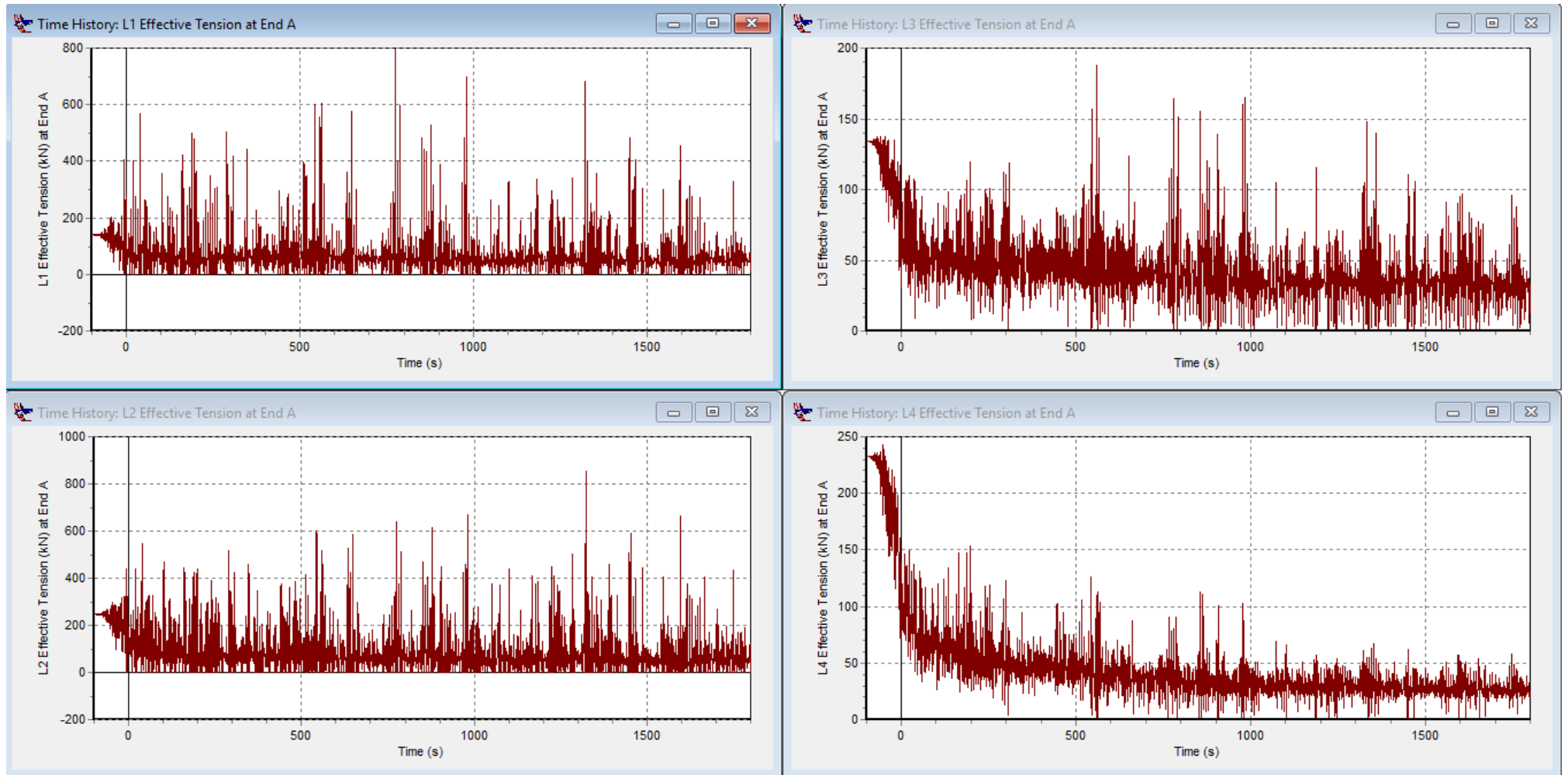
3. DOC – Between Line 1 – Ballast – Collinear



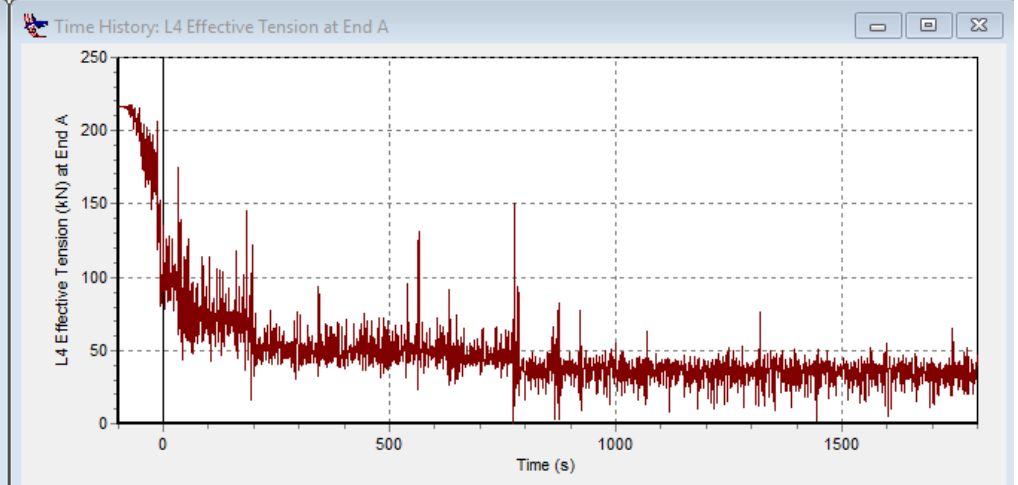
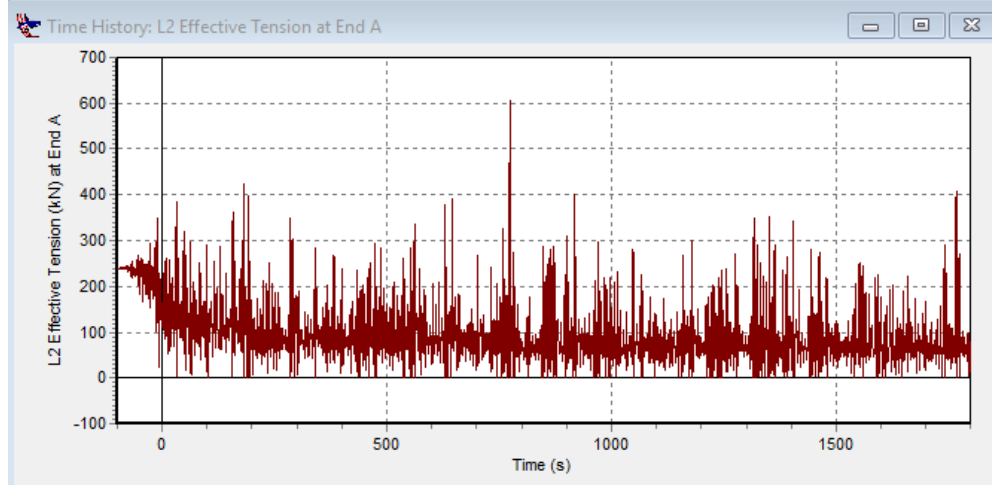
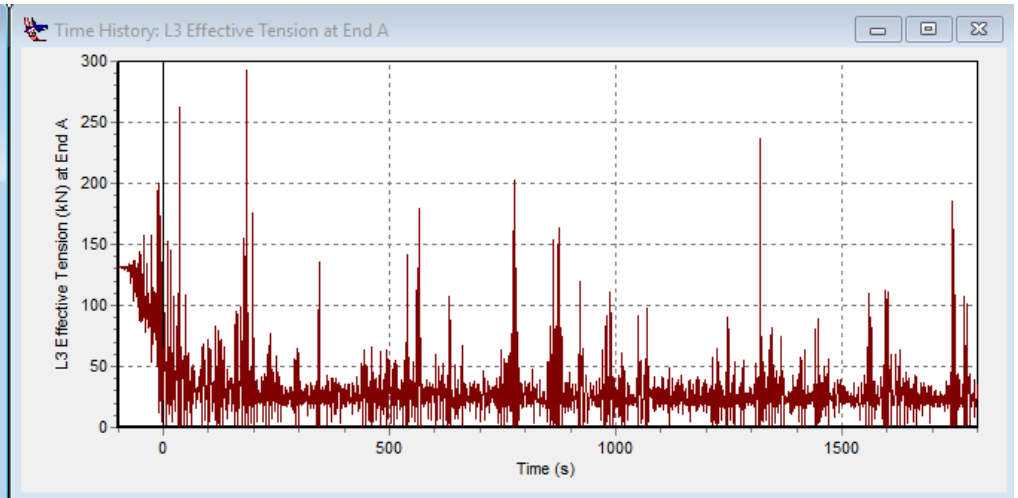
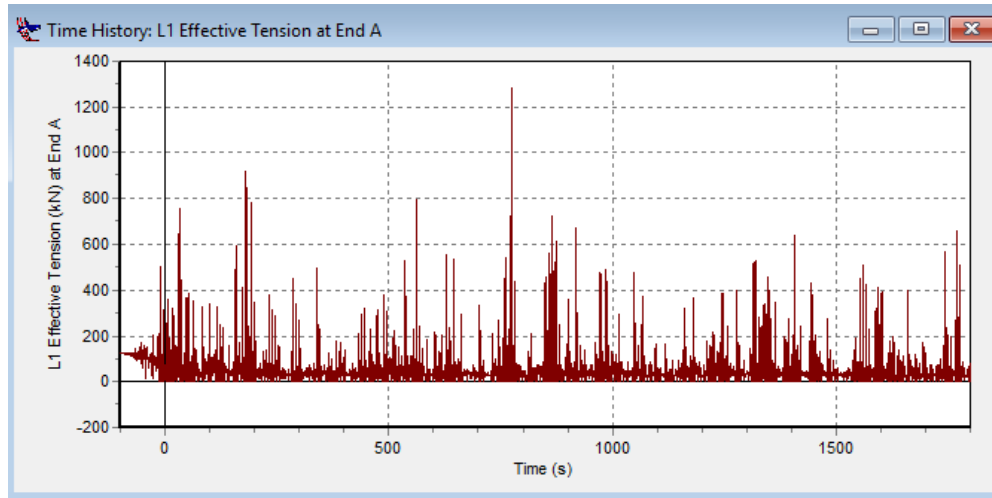
4. DOC – Between Line 1 – Ballast – Non Collinear



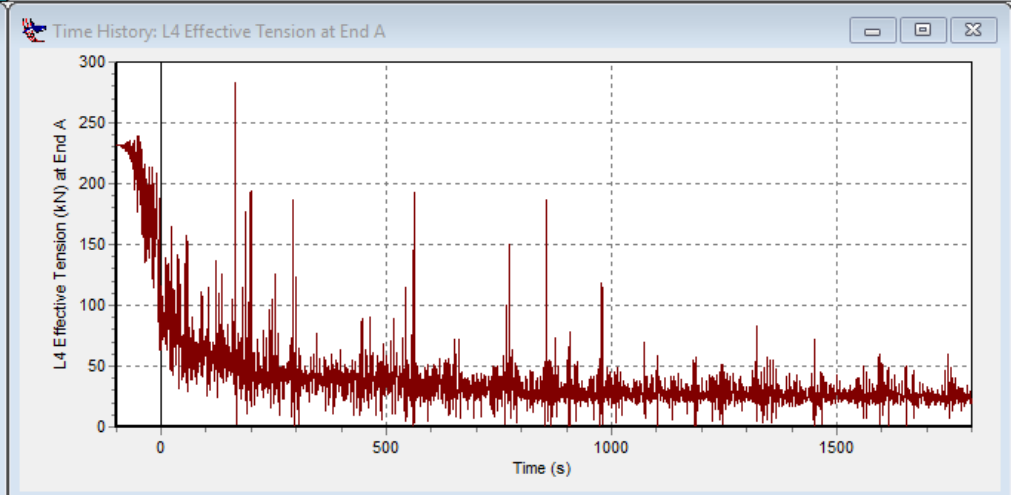
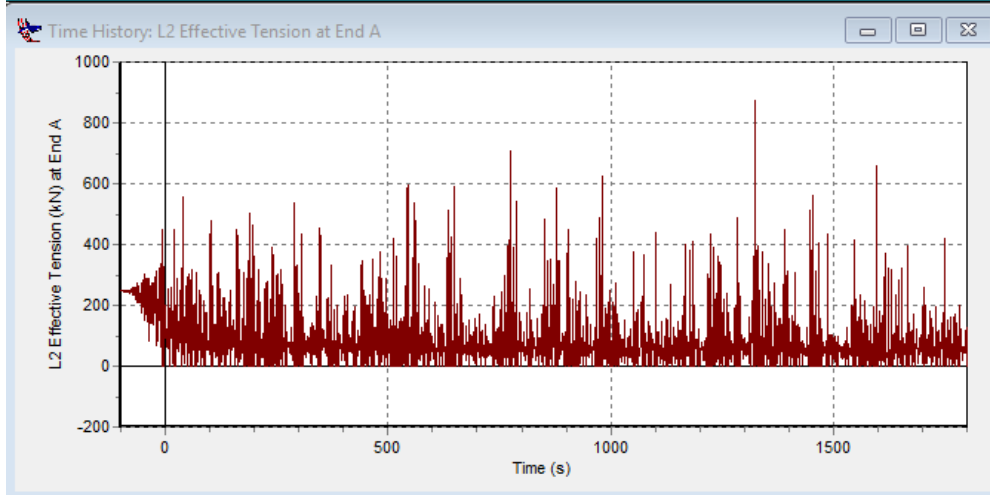
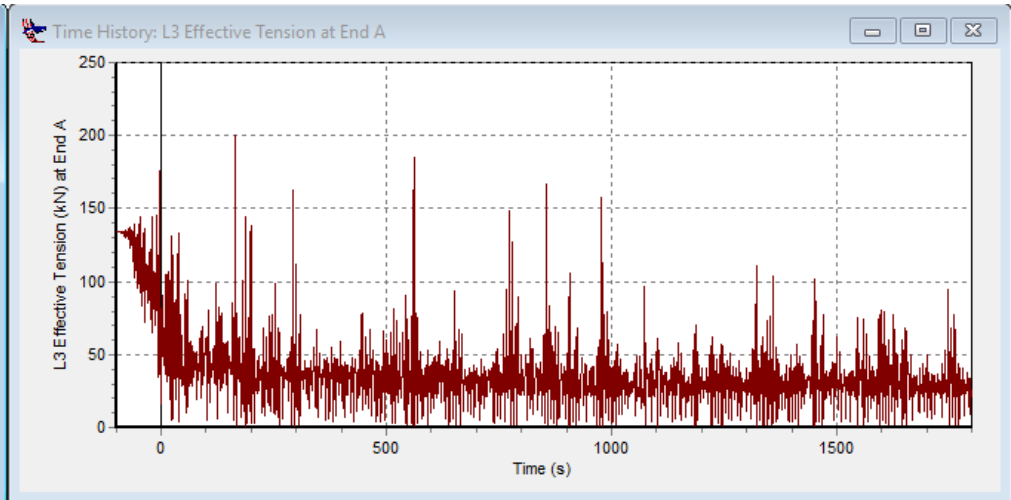
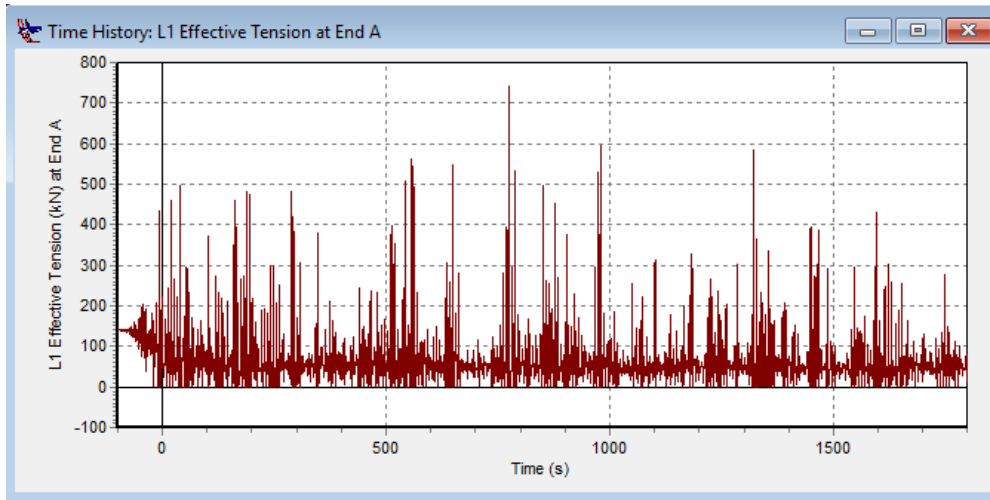
5. DOC – Between Line 2 –Full Load – Collinear



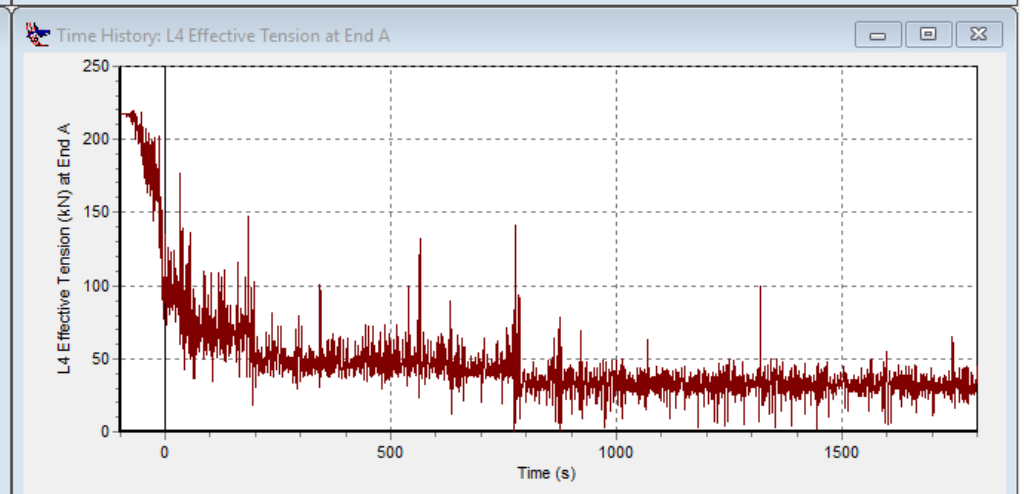
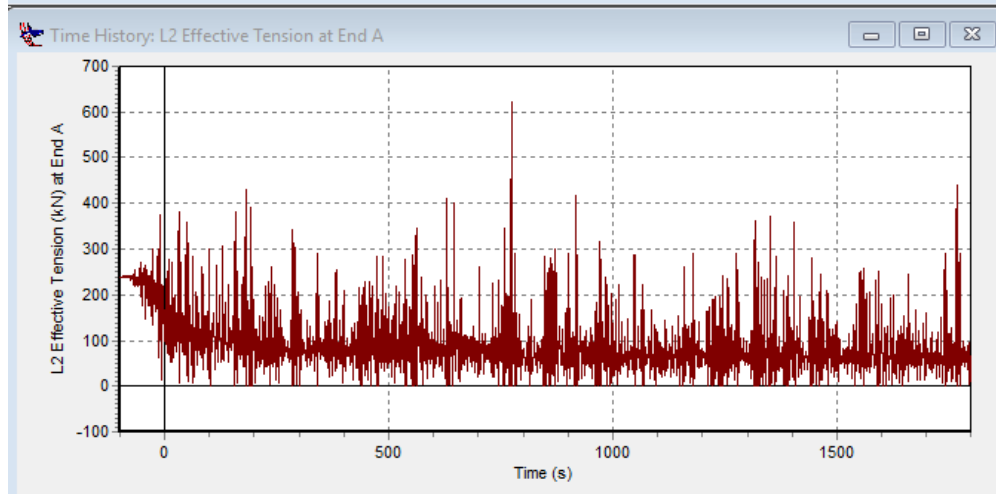
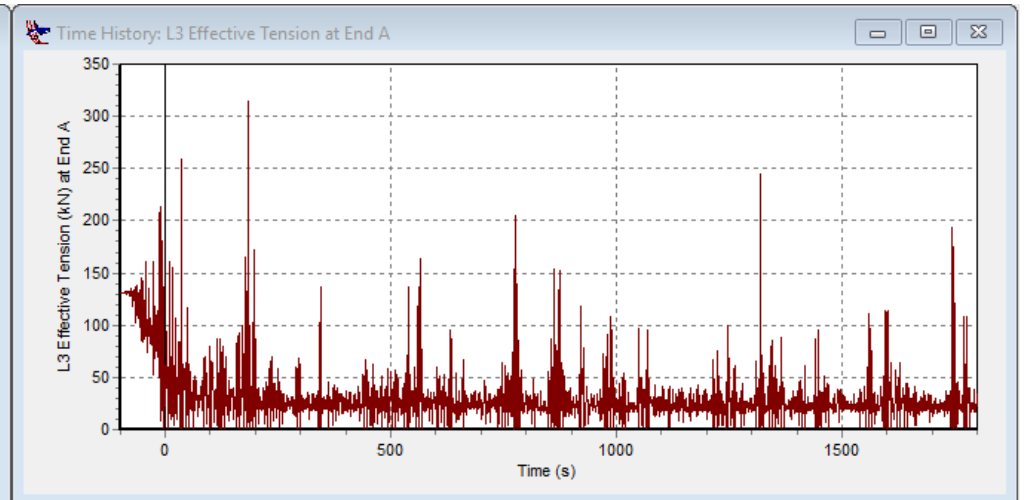
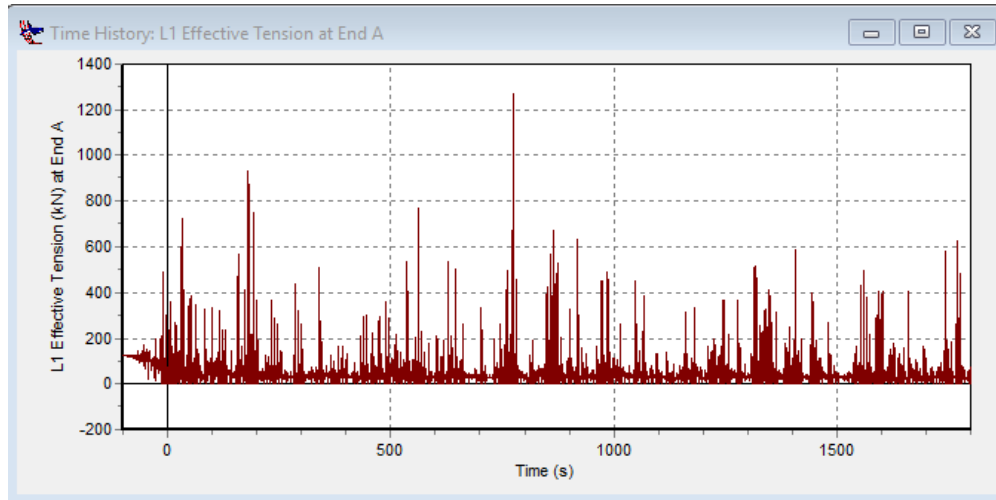
6. DOC – Between Line 2 – Full Load – Non Collinear



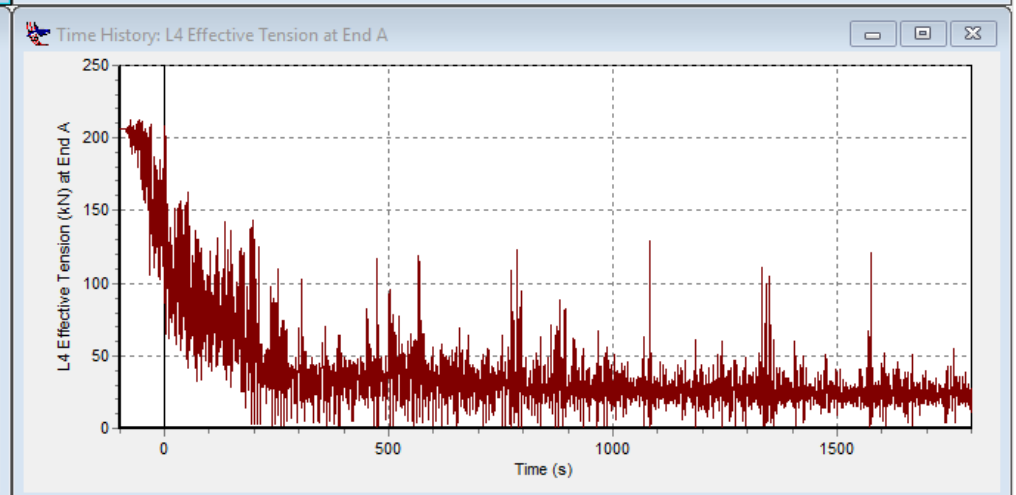
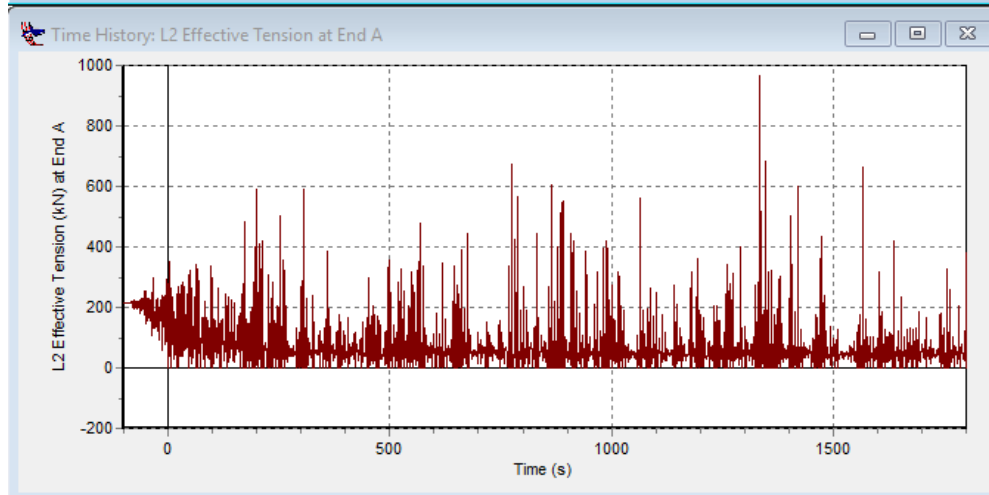
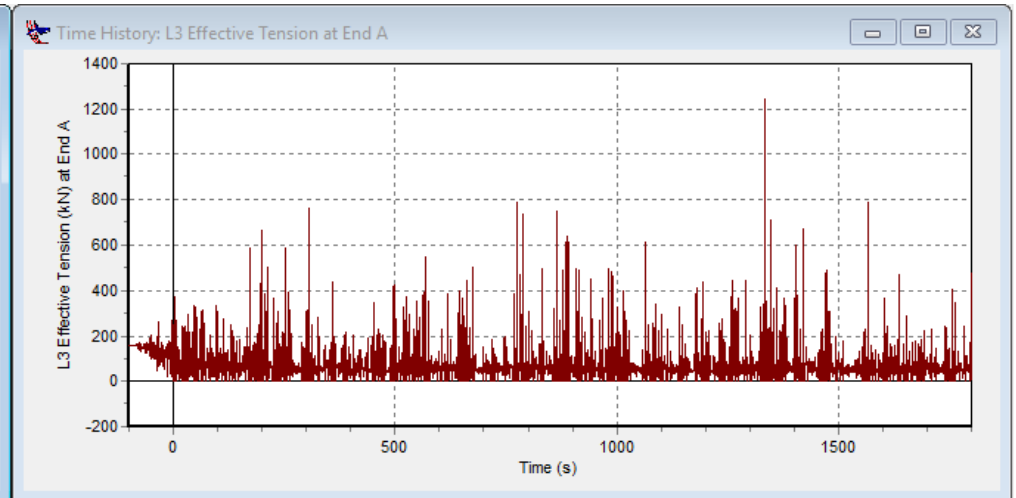
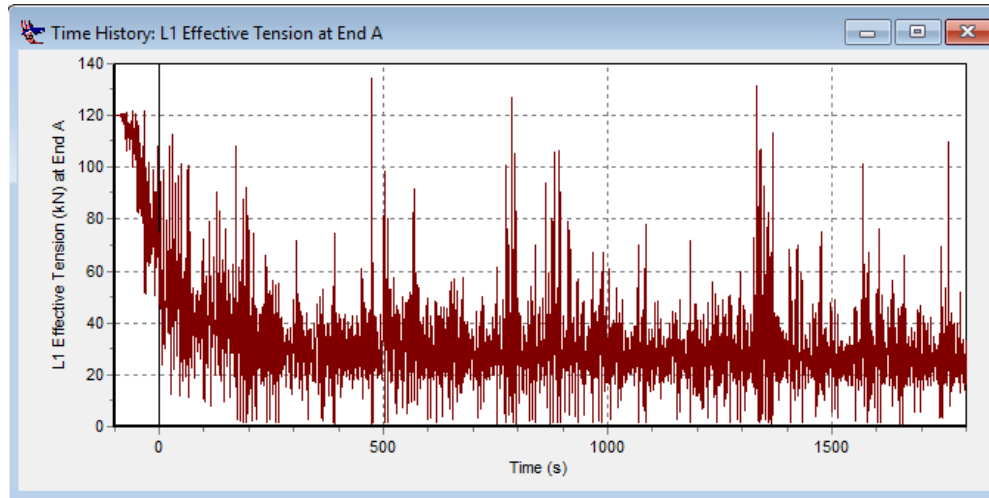
7. DOC – Between Line 2 –Ballast – Collinear



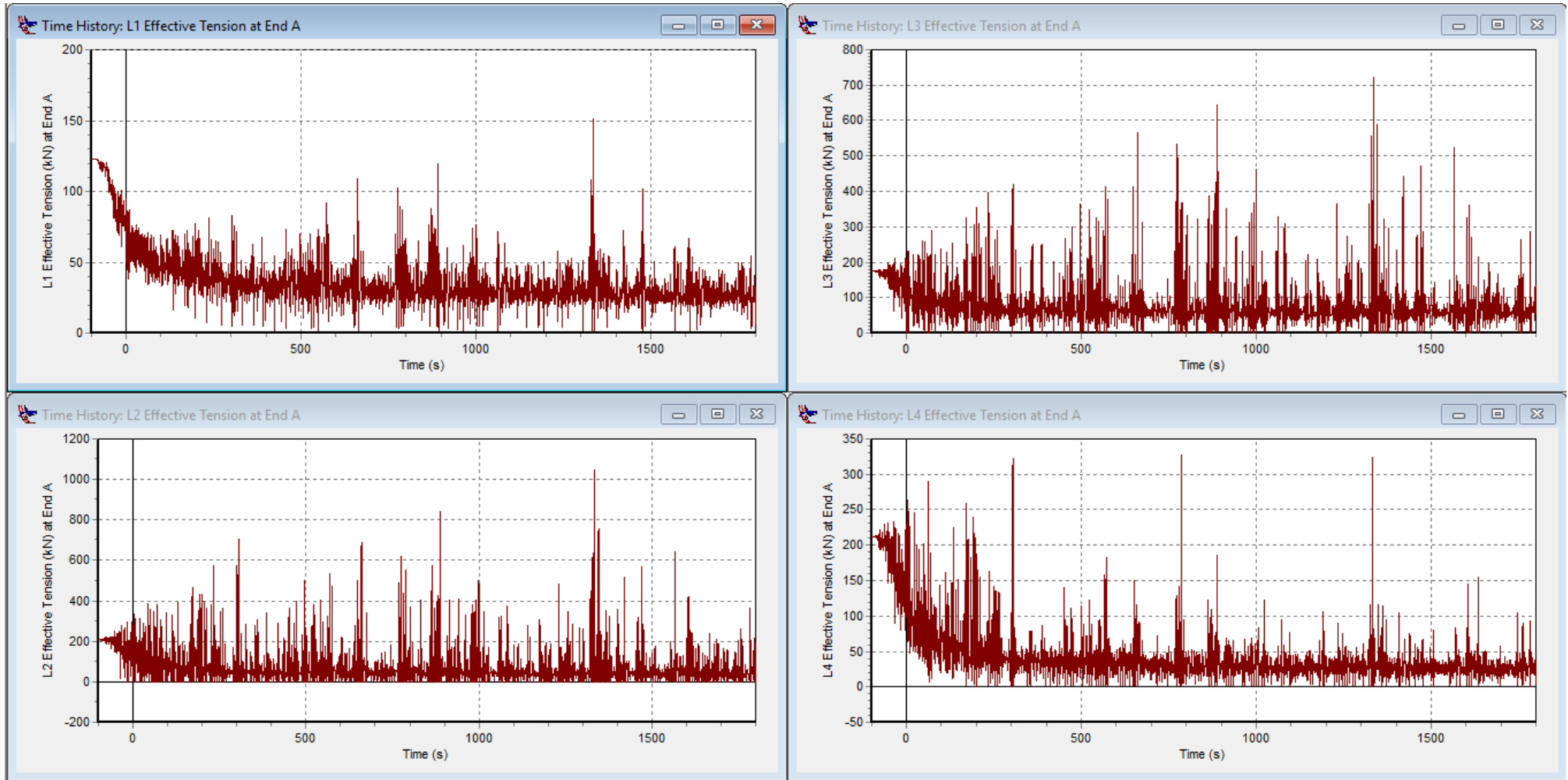
8. DOC – Between Line 2 – Ballast – Non Collinear



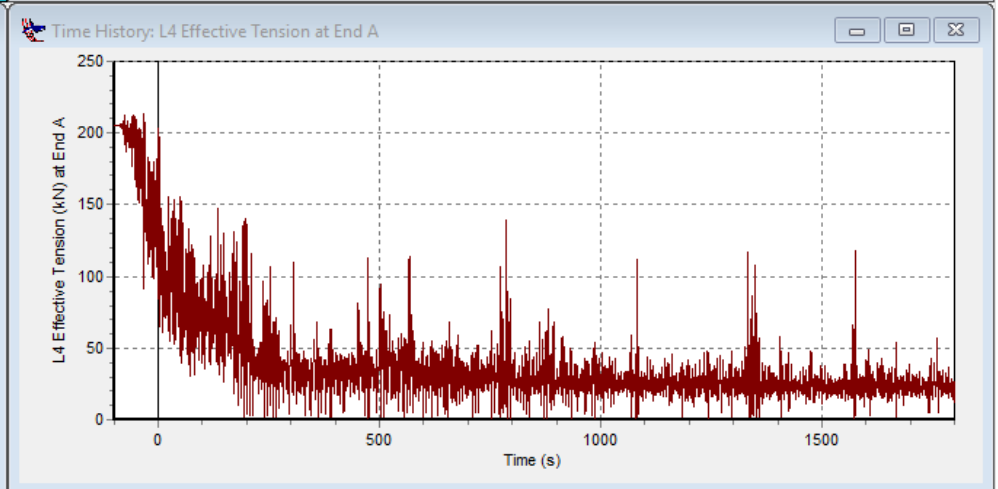
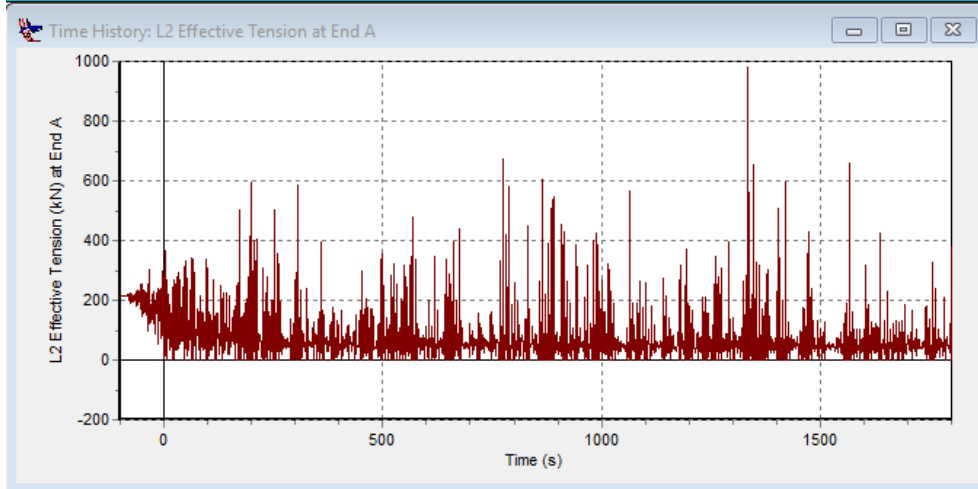
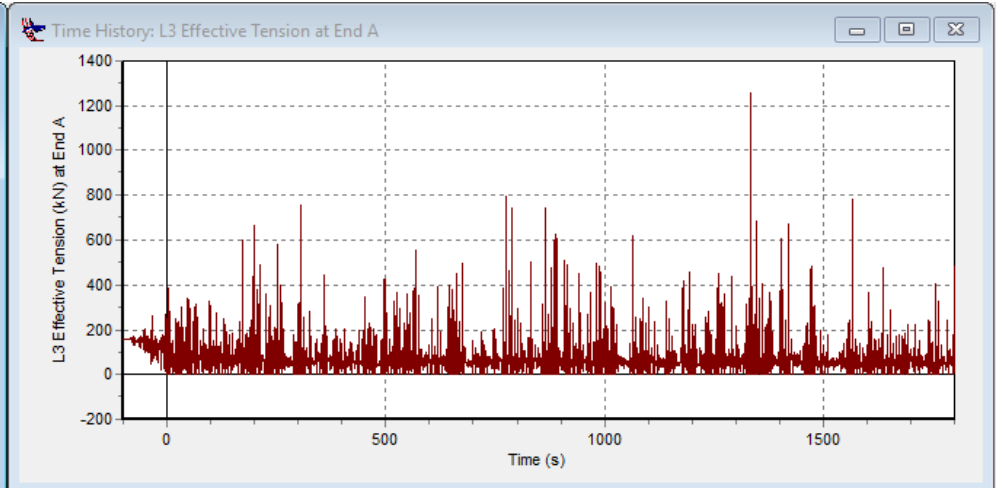
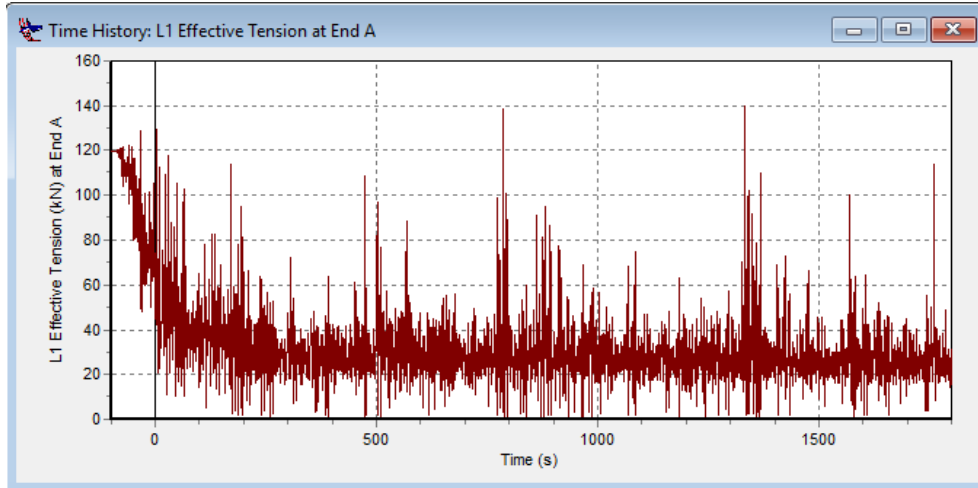
9. DOC – Between Line 3 – Full Load – Collinear



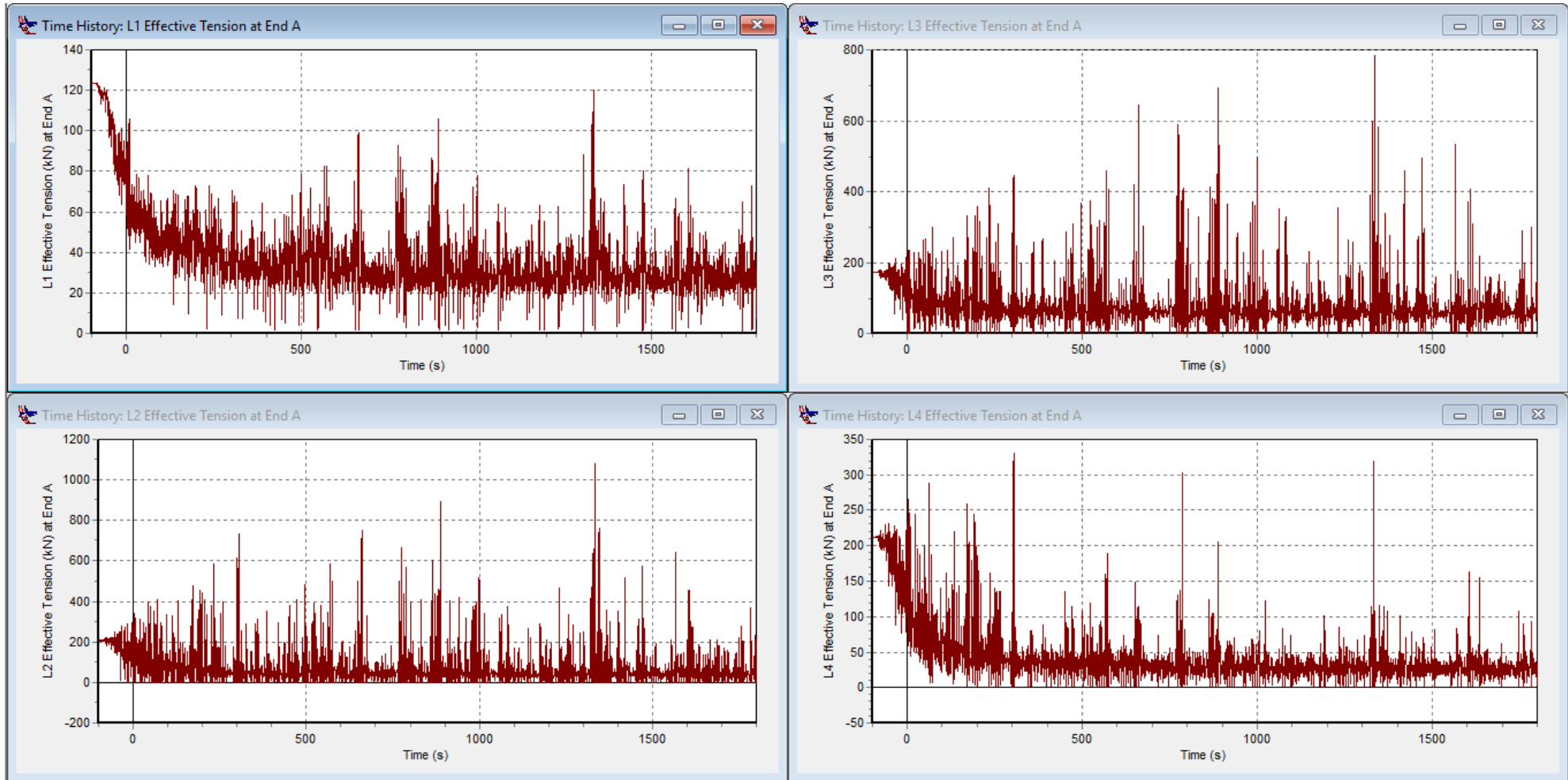
10. DOC – Between Line 3 – Full Load – Non Collinear



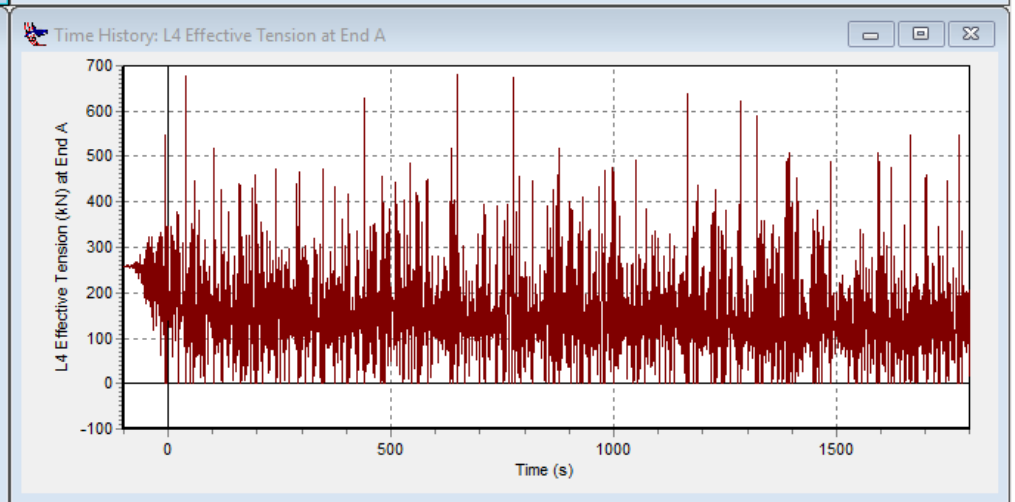
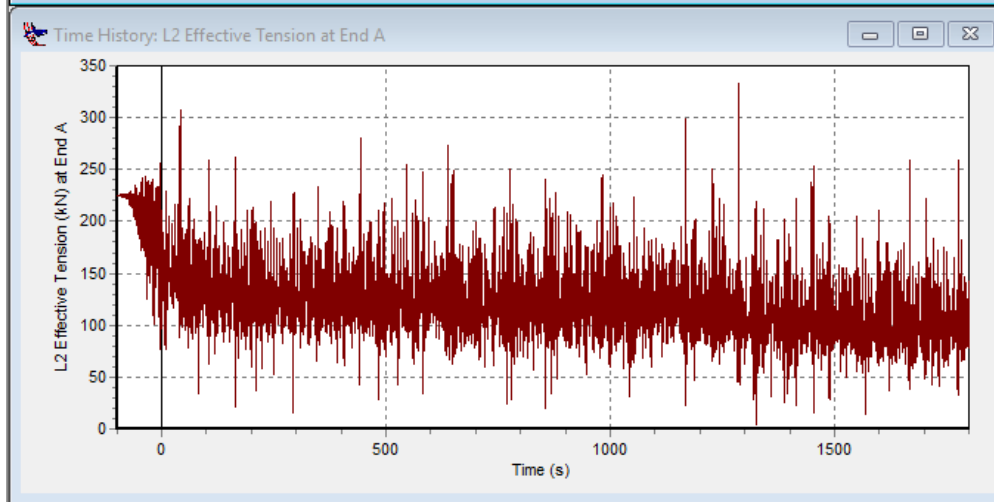
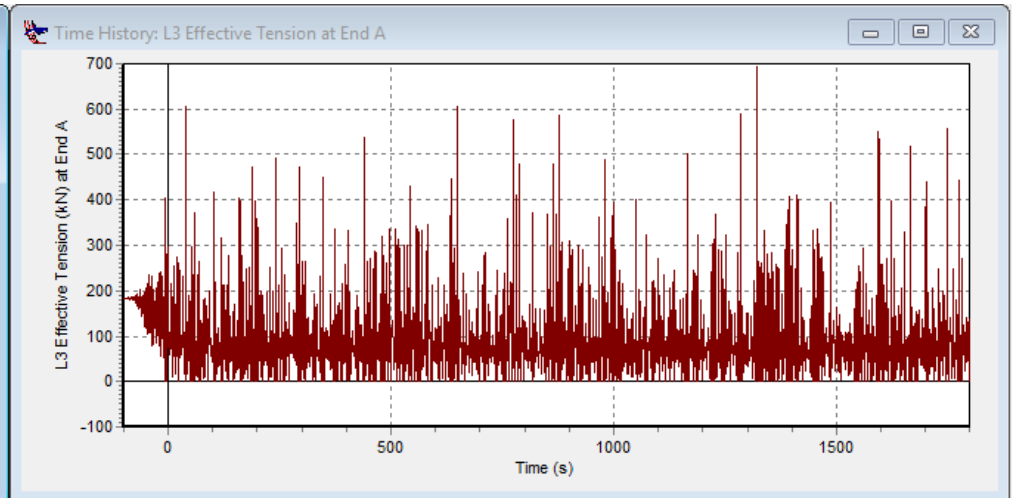
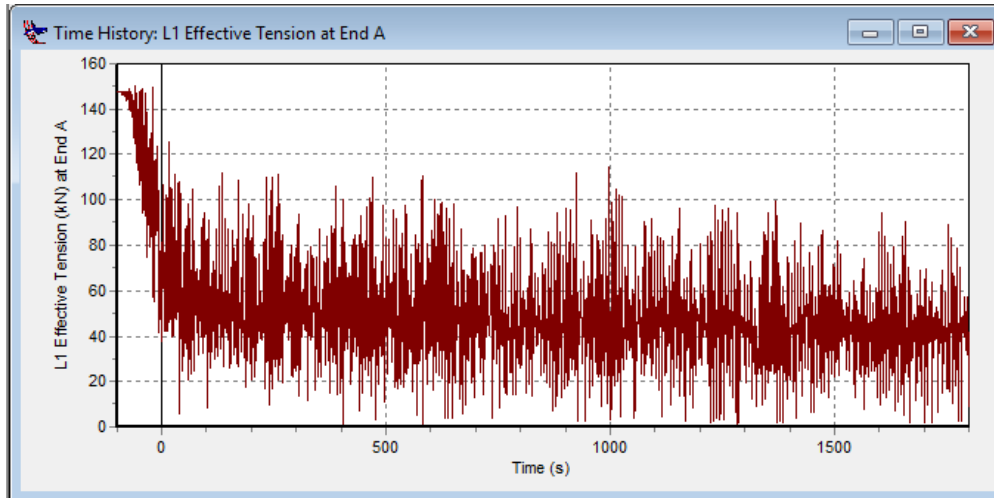
11. DOC – Between Line 3 –Ballast – Collinear



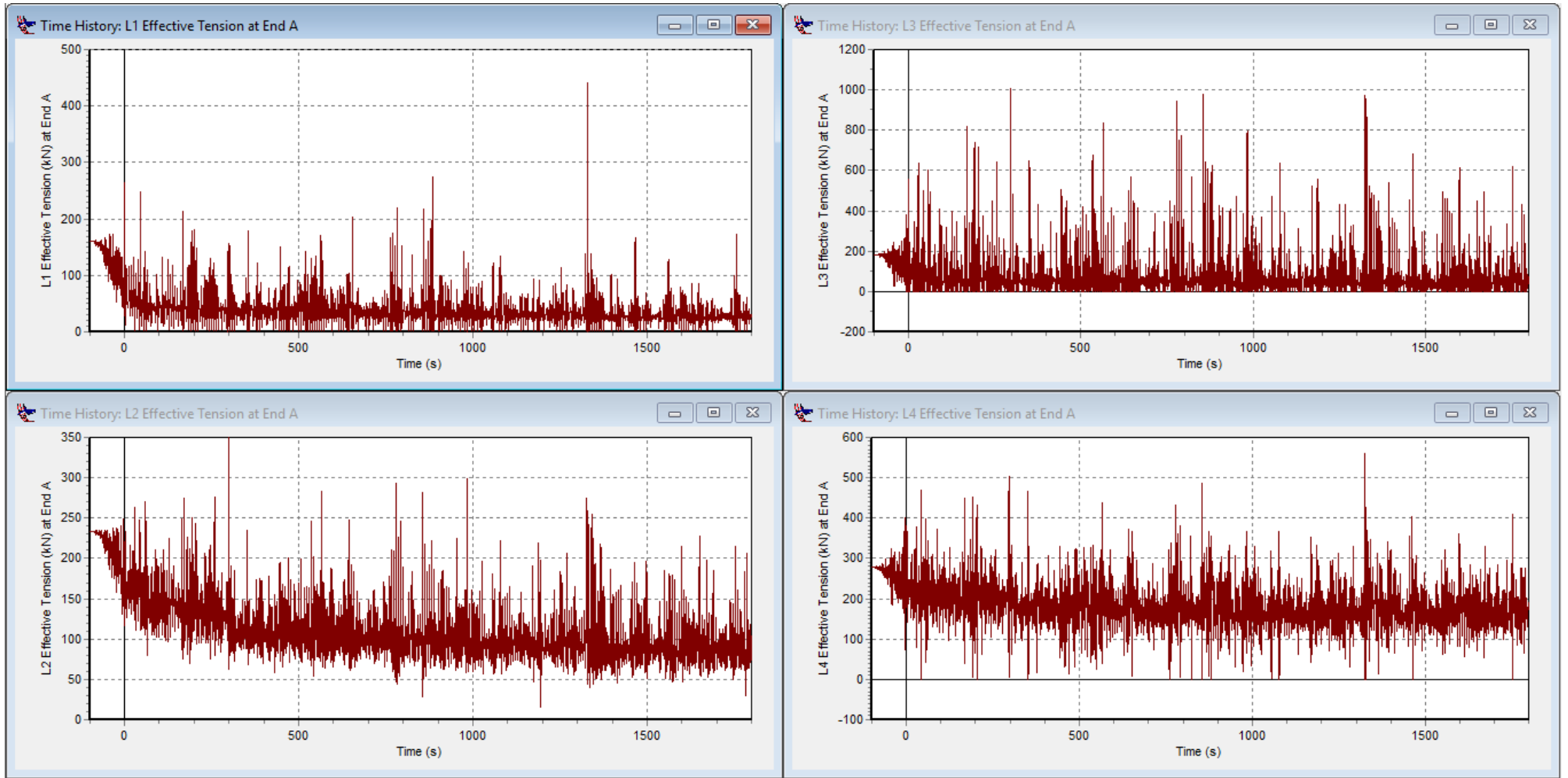
12. DOC – Between Line 3 – Ballast – Non Collinear



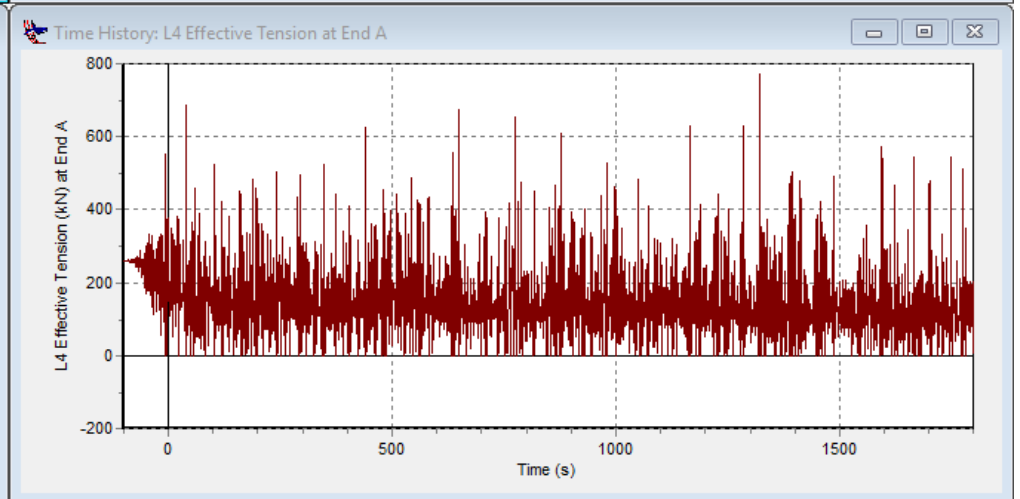
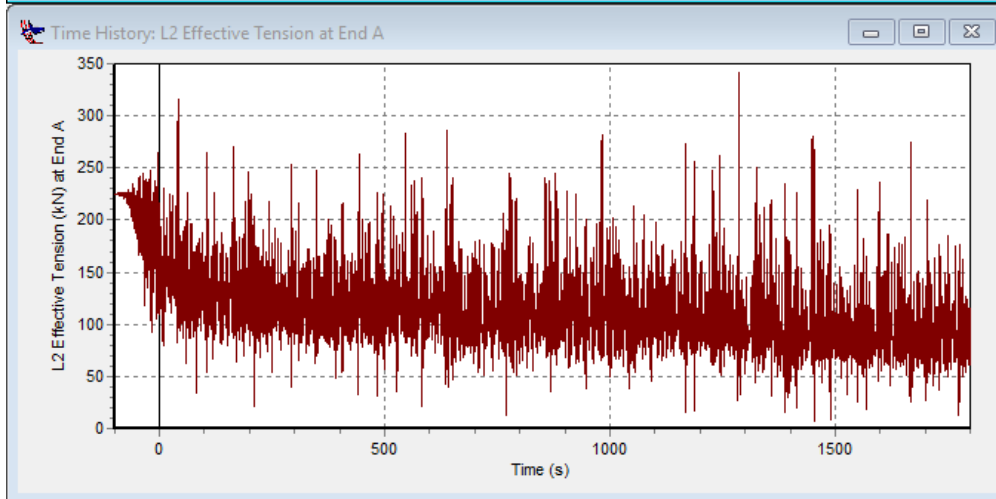
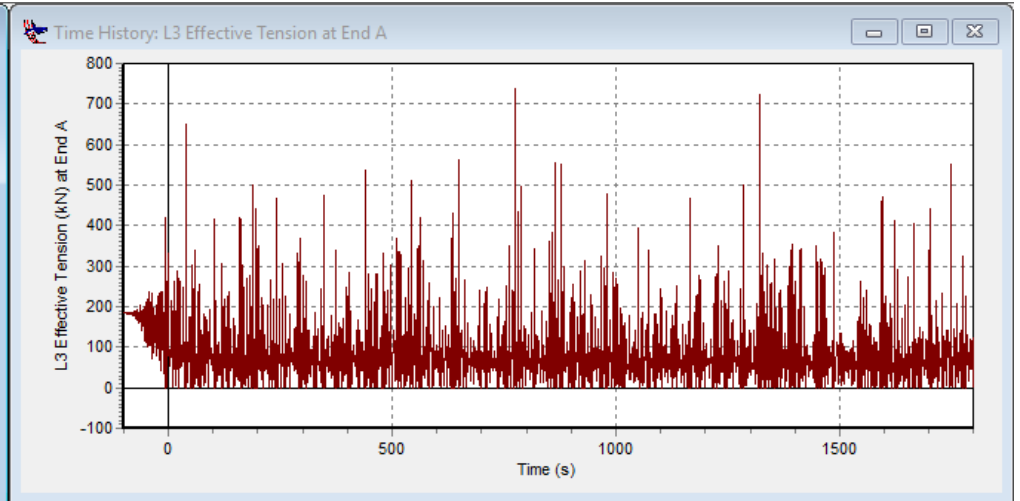
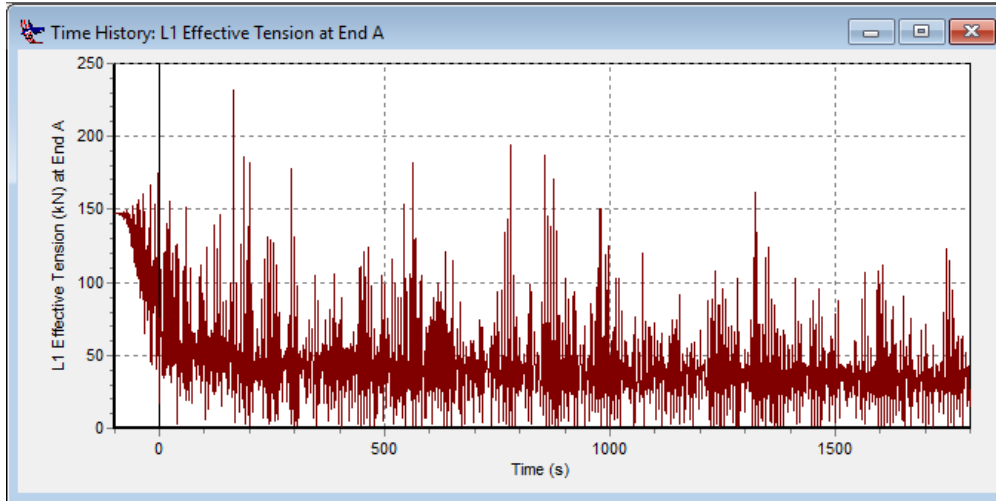
13. DOC – Between Line 4 – Full Load – Collinear



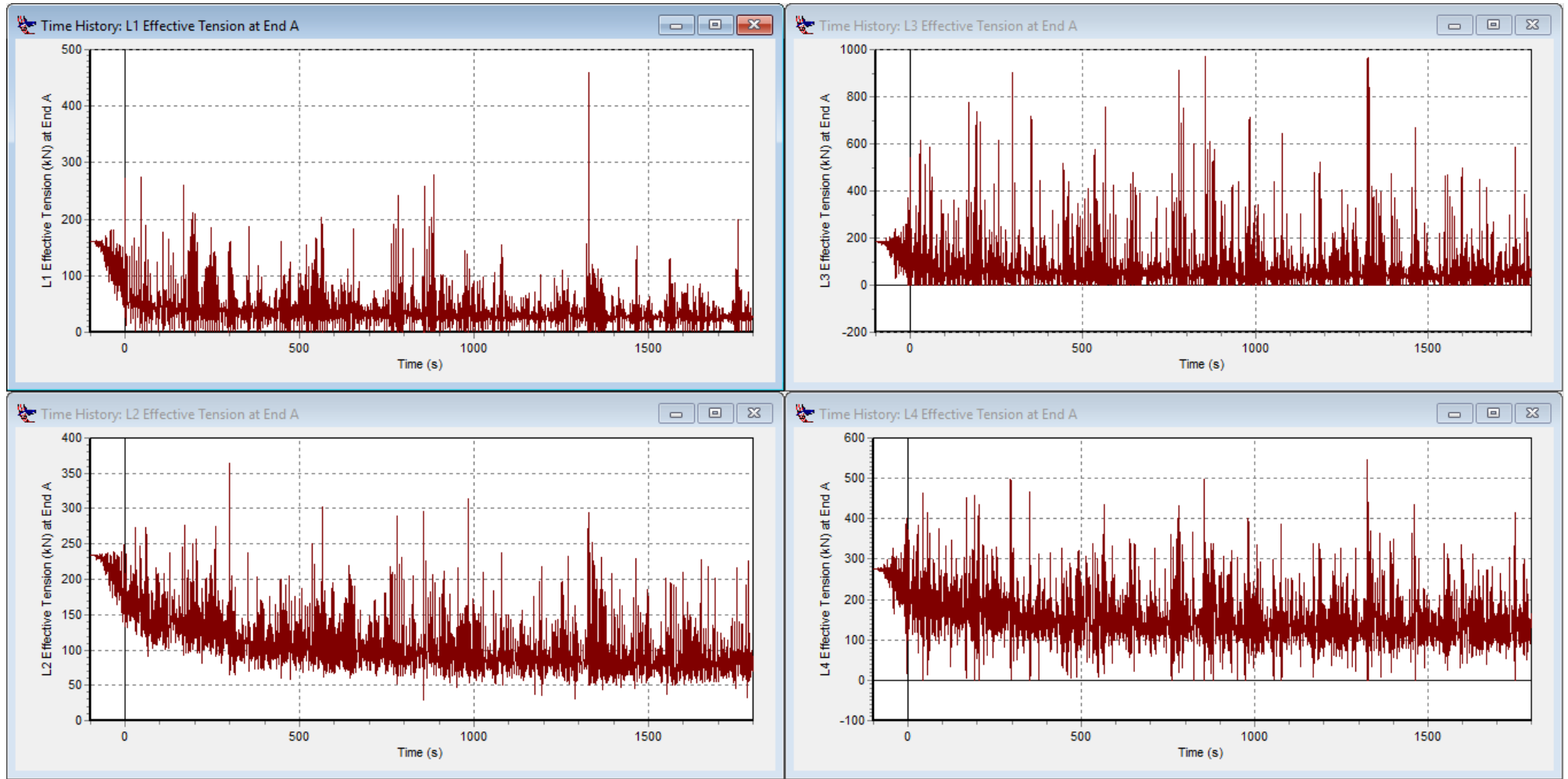
14. DOC – Between Line 4 – Full Load – Non Collinear



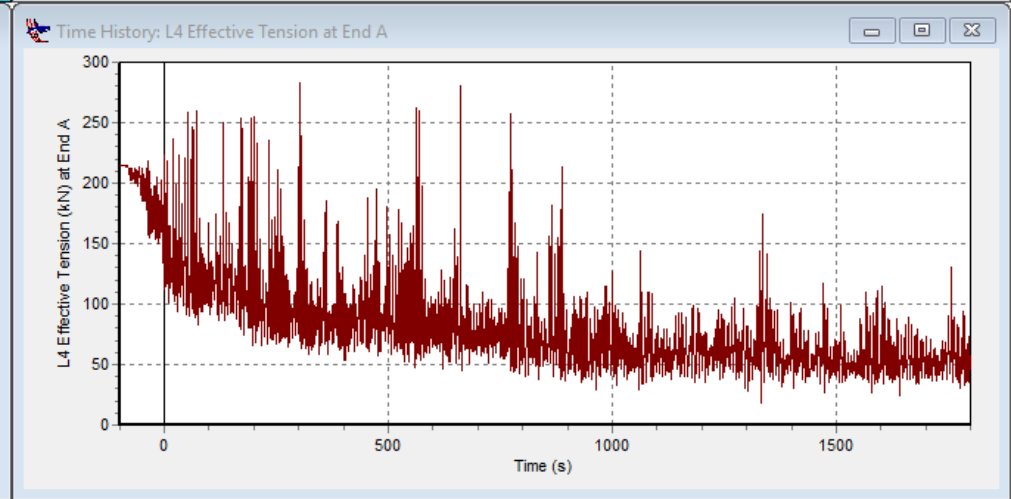
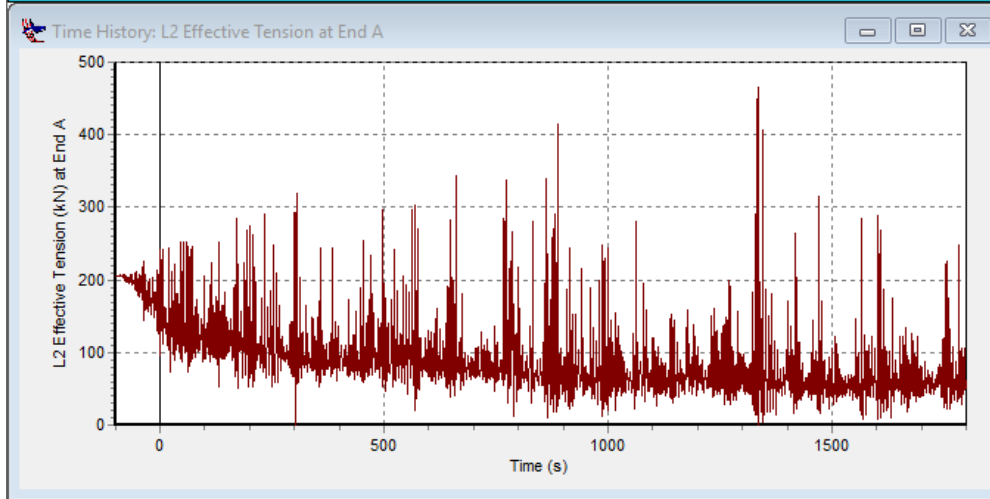
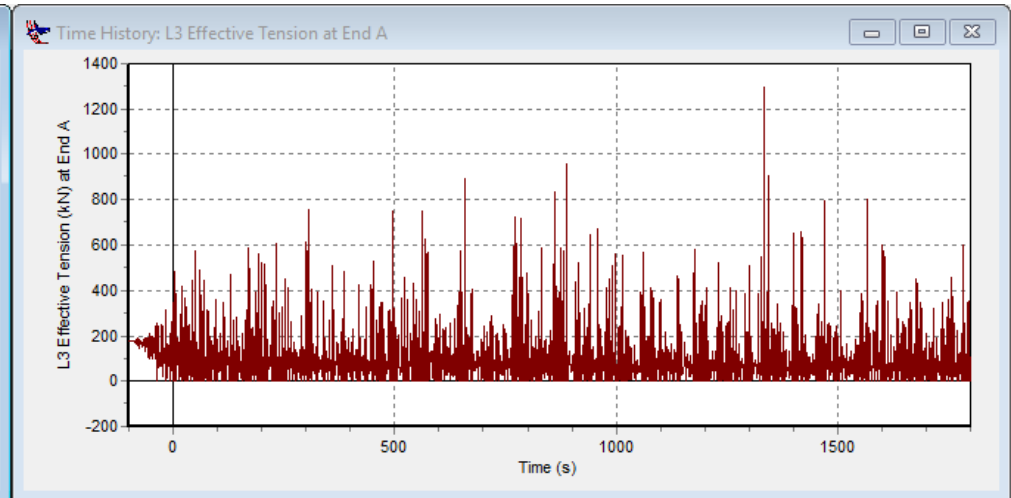
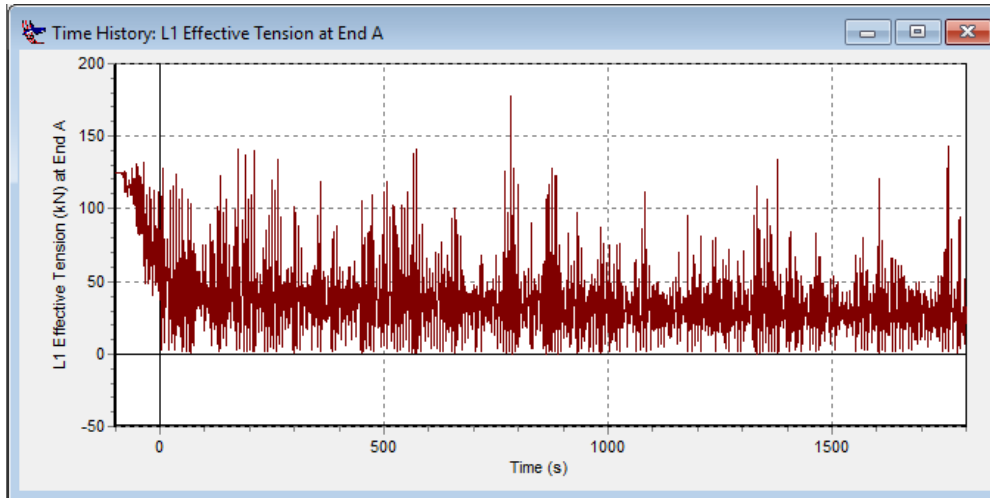
15. DOC – Between Line 4 –Ballast – Collinear



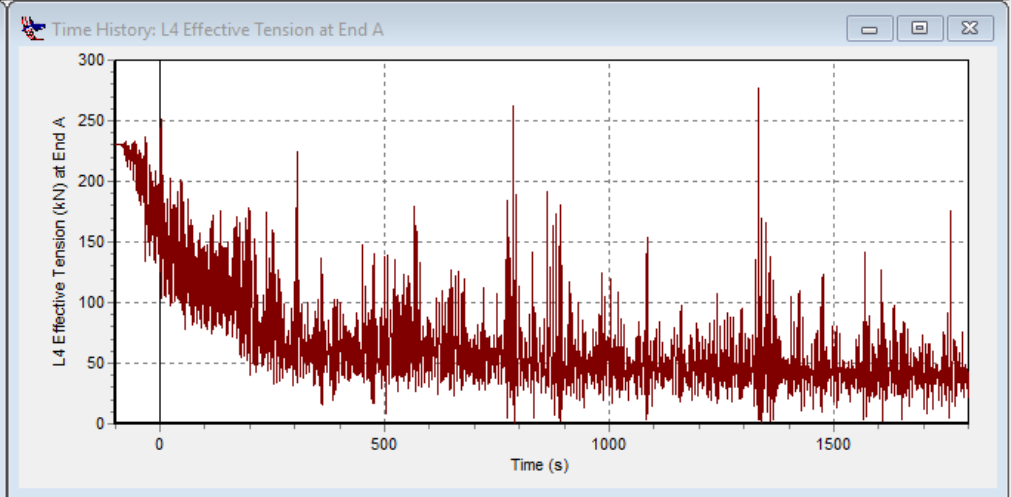
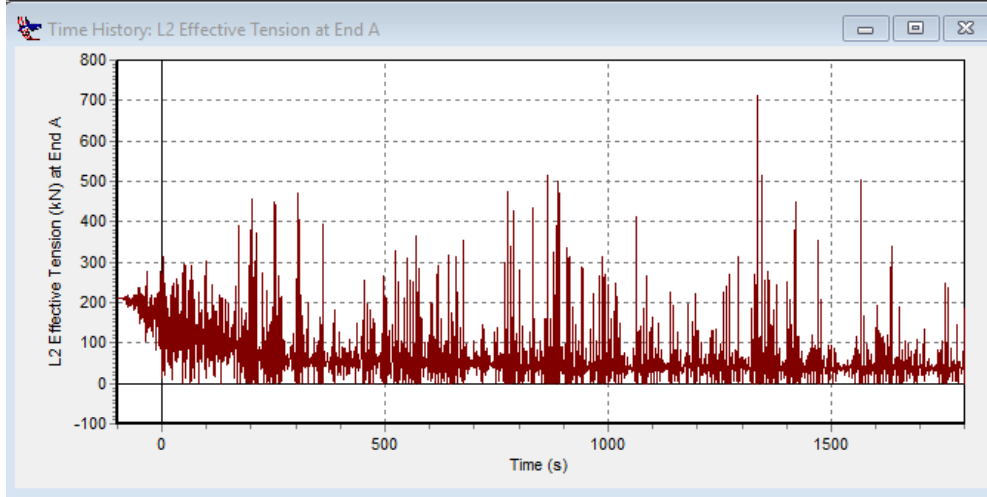
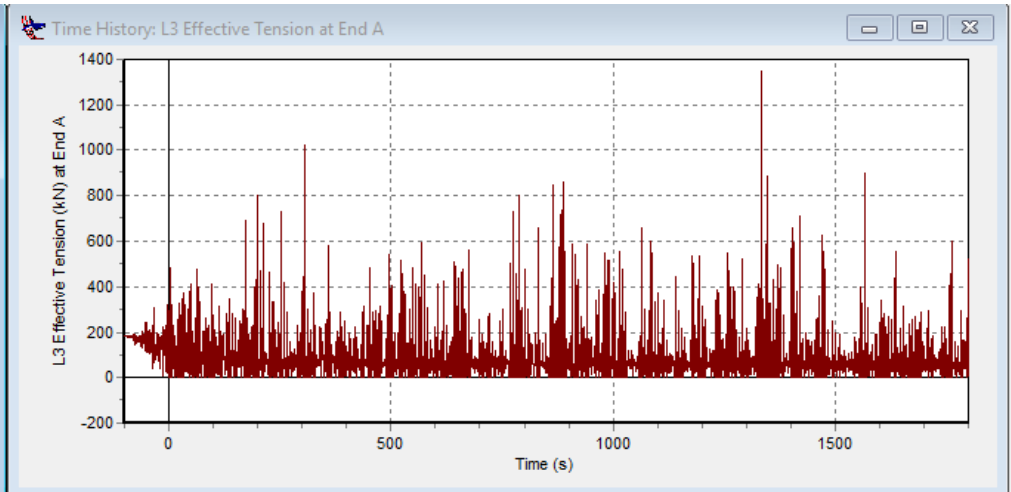
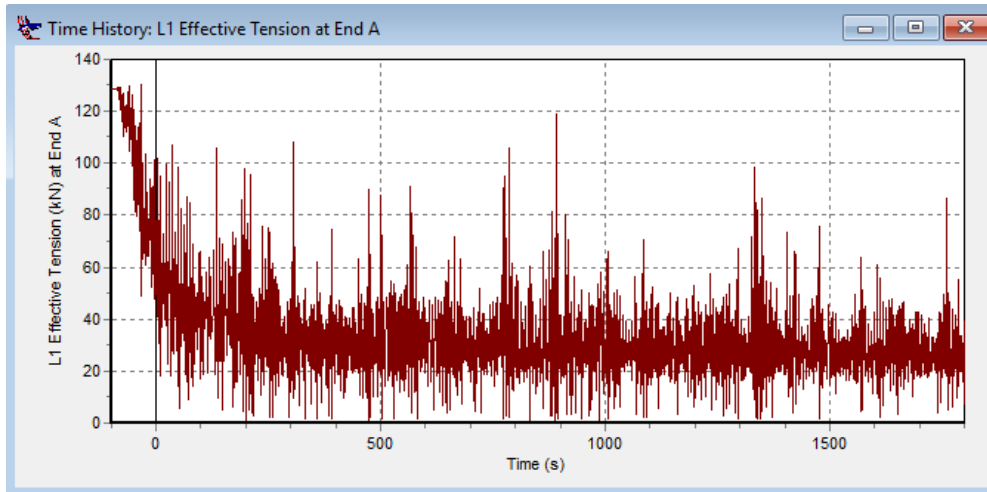
16. DOC – Between Line 4 – Ballast – Non Collinear



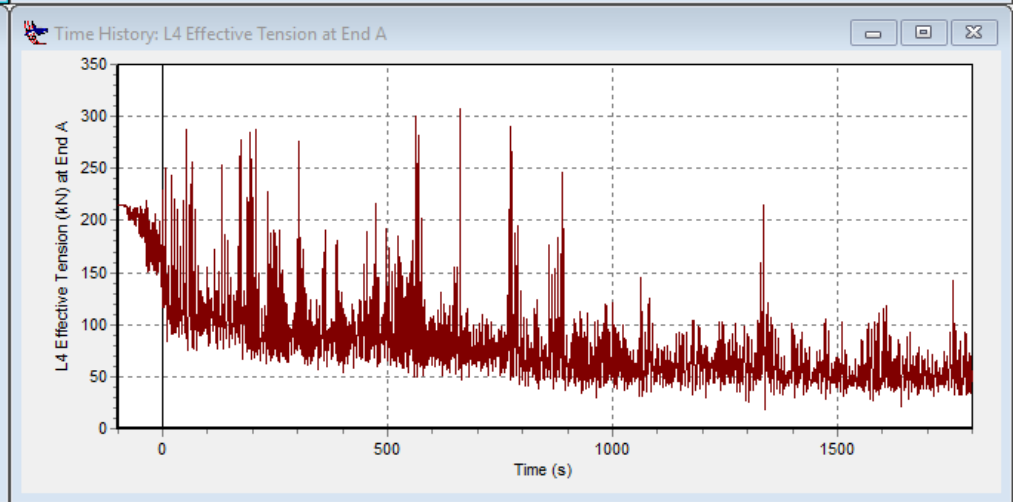
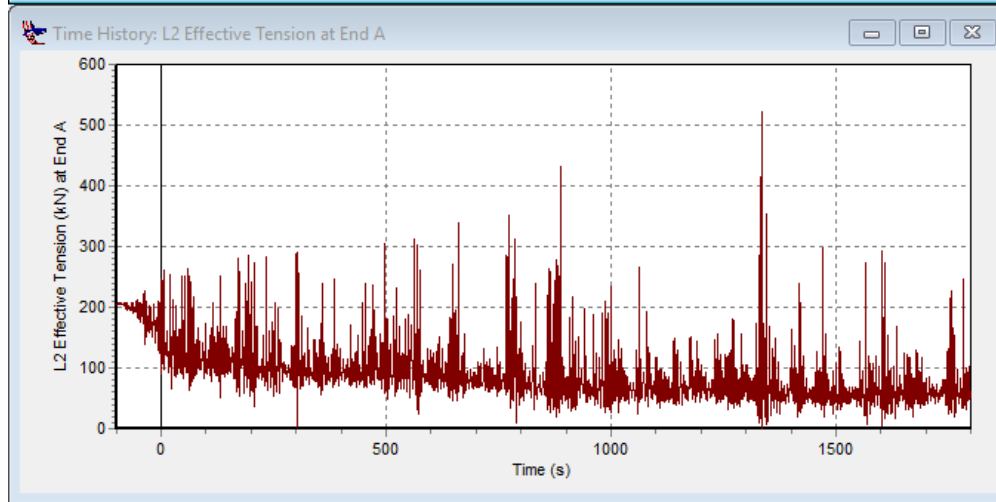
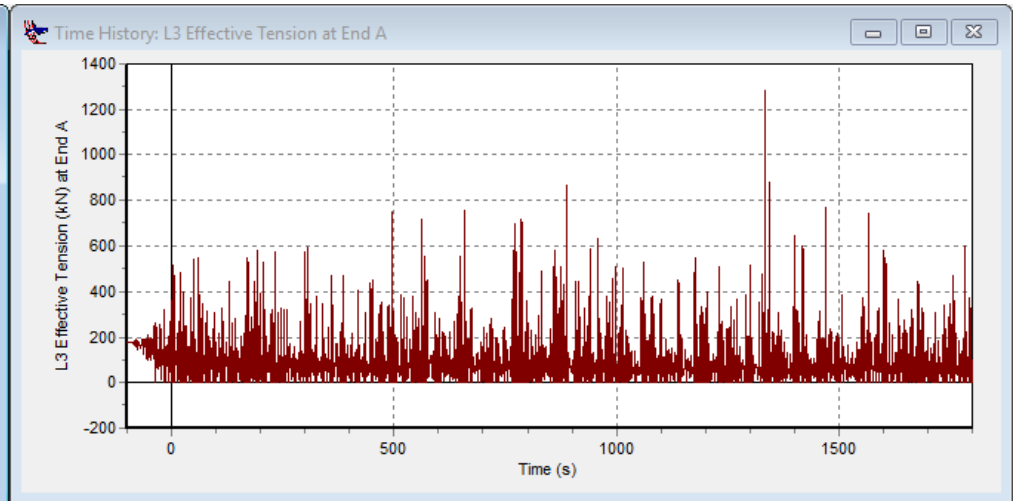
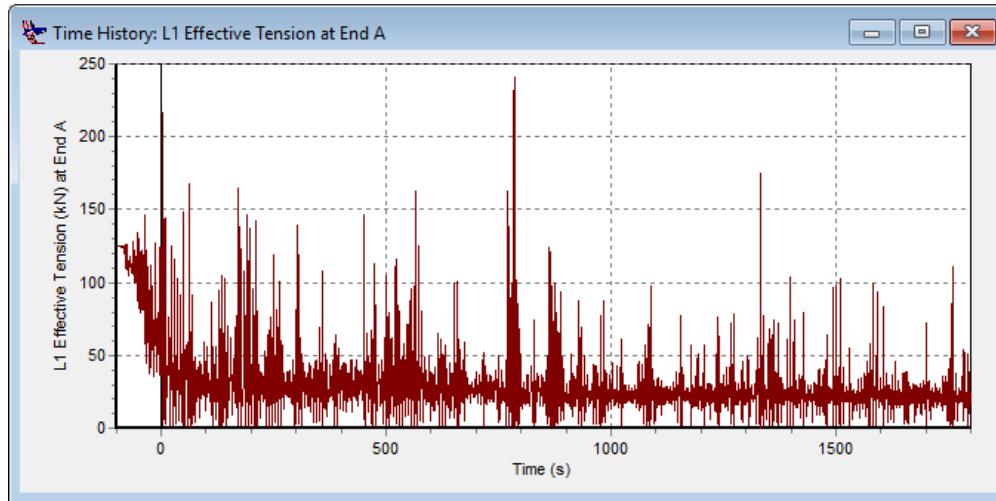
17. DOC – Inline 1 – Full Load – Collinear



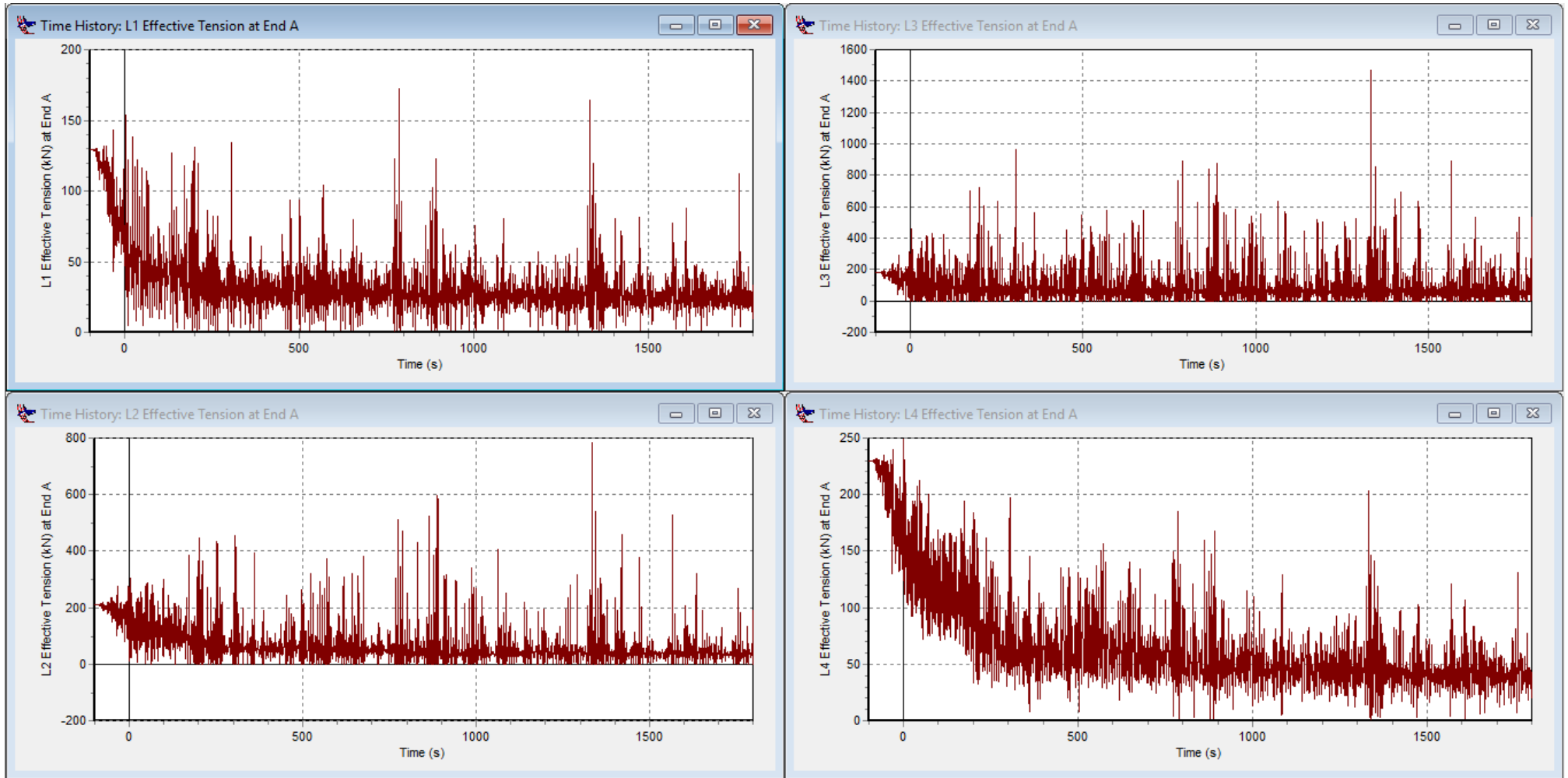
18. DOC – Inline 1 – Full Load – Non Collinear



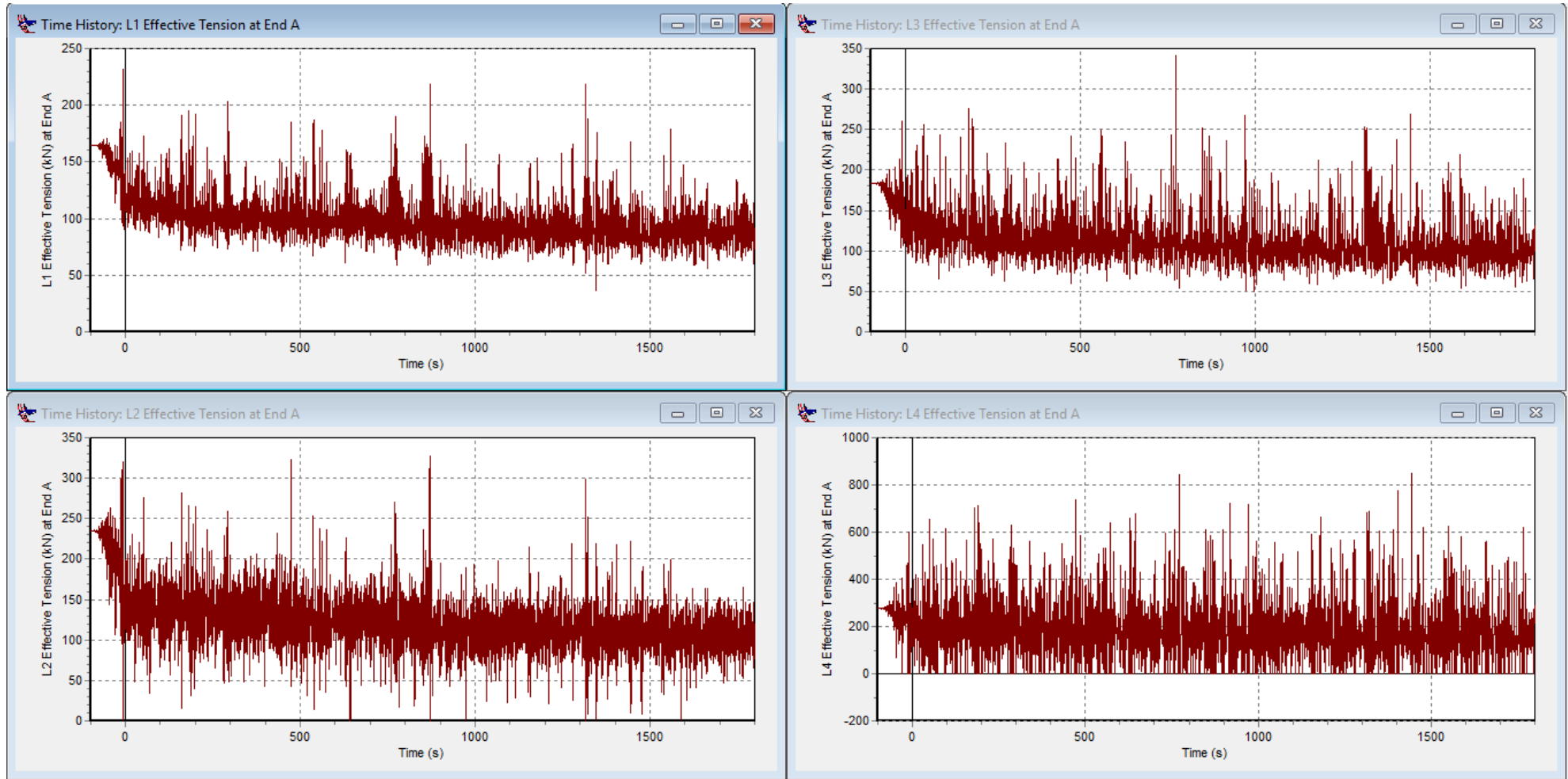
19. DOC – Inline 1 – Ballast – Collinear



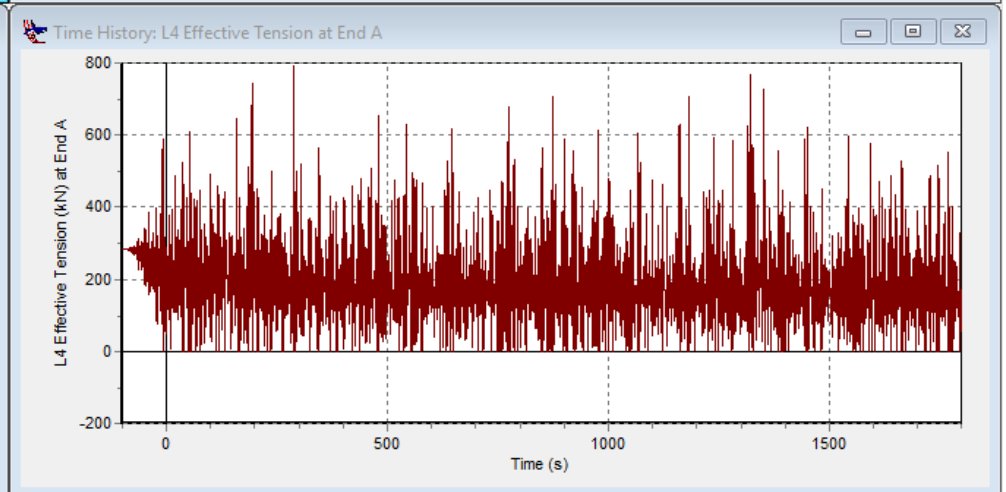
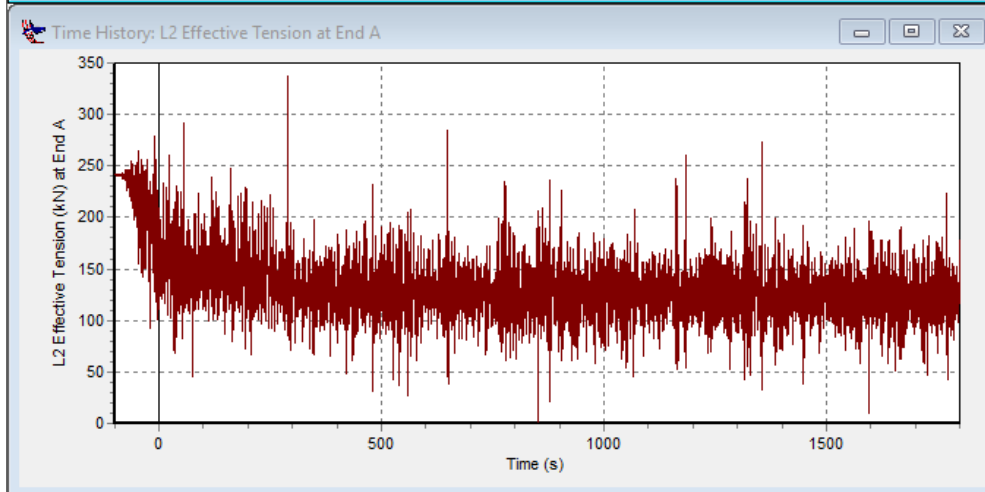
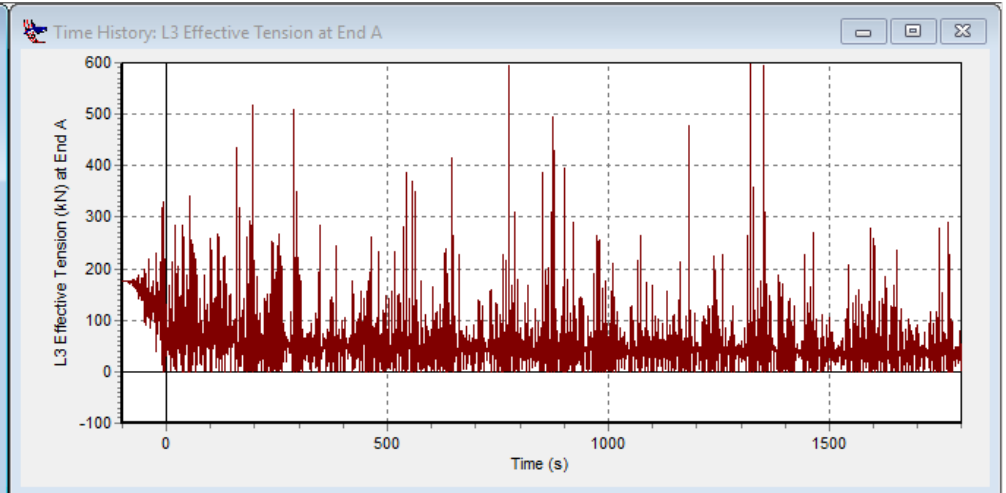
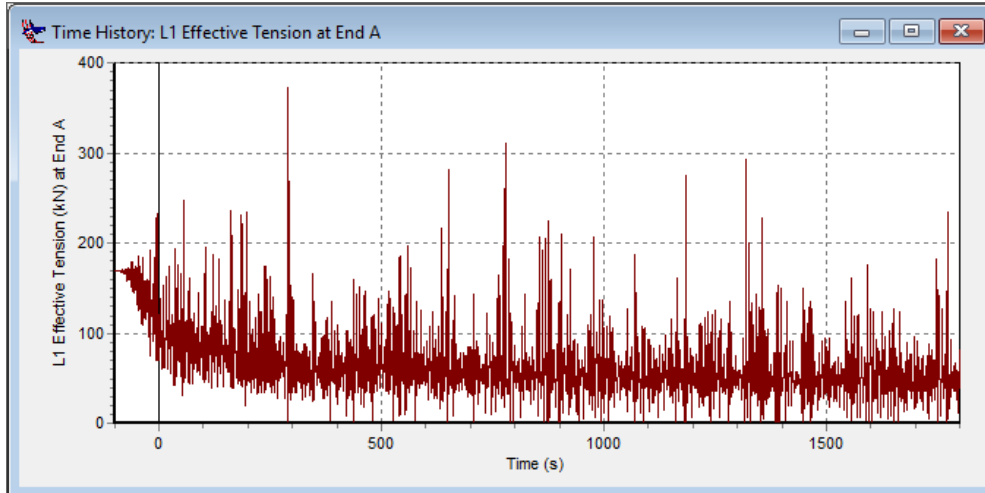
20. DOC – Inline 1 – Ballast – Non Collinear



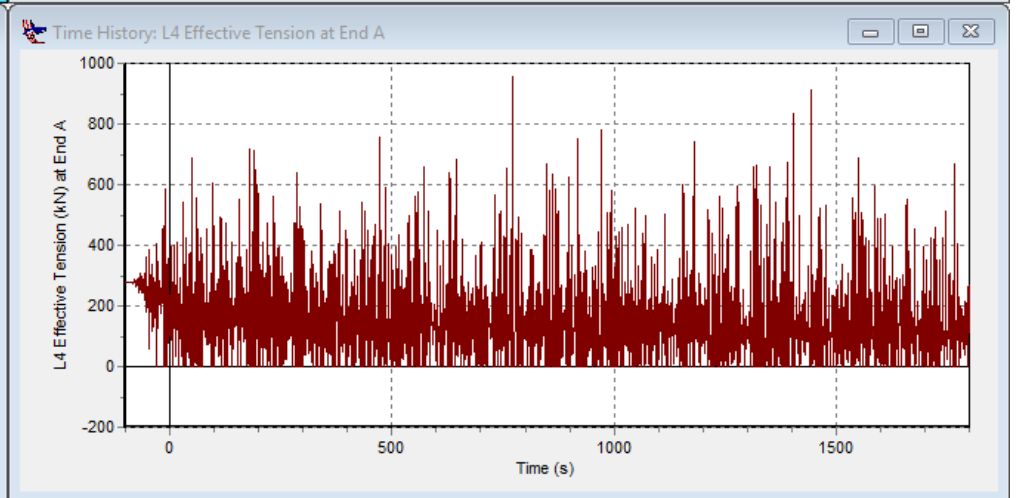
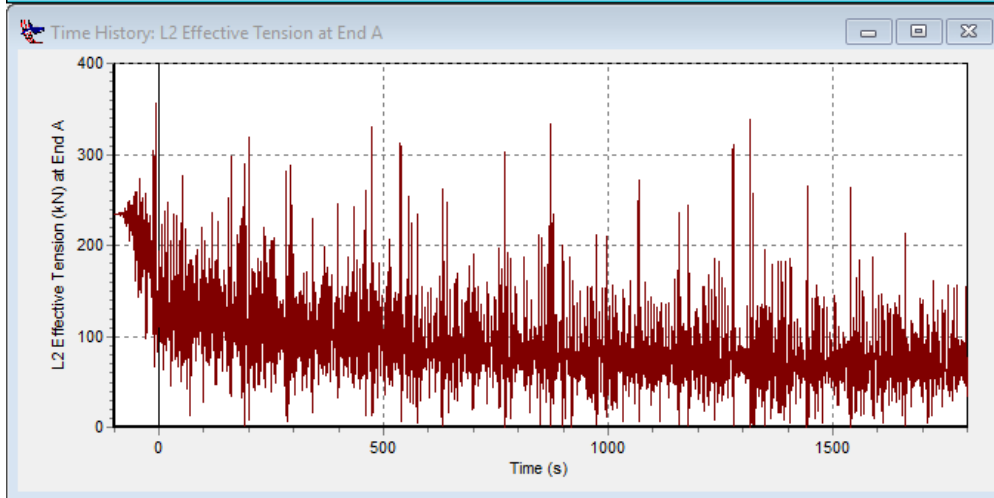
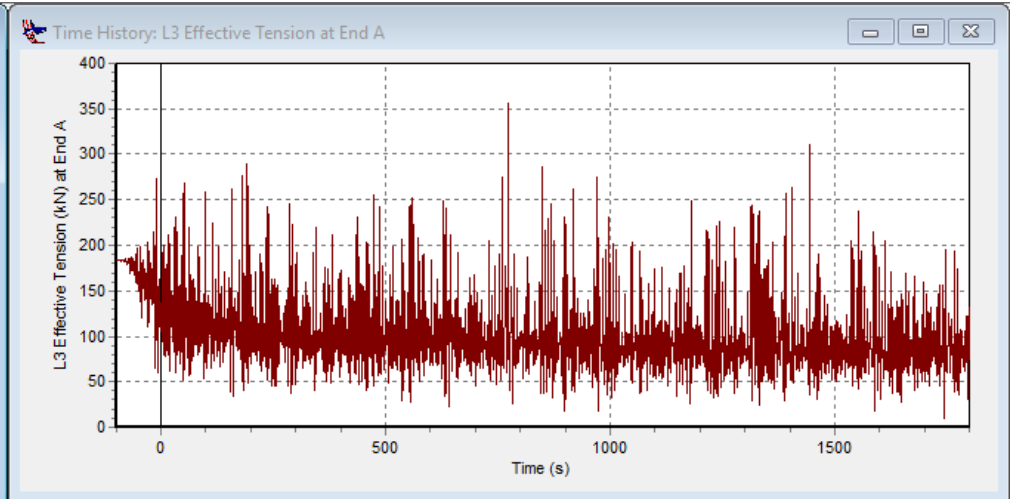
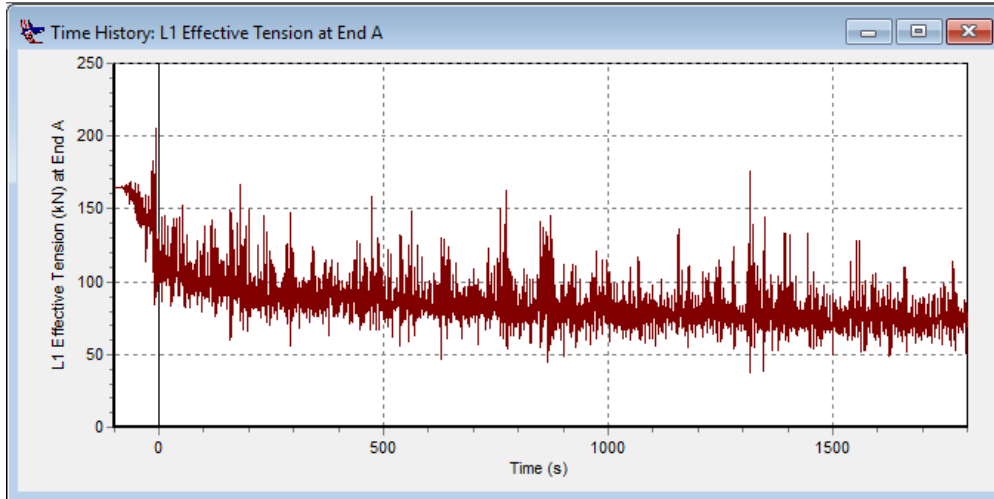
21. DOC – Inline 2 – Full Load – Collinear



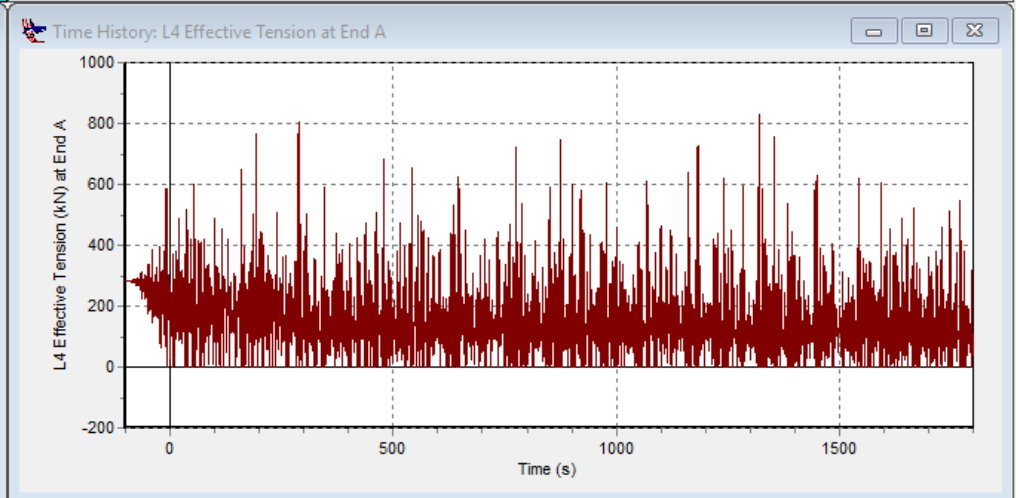
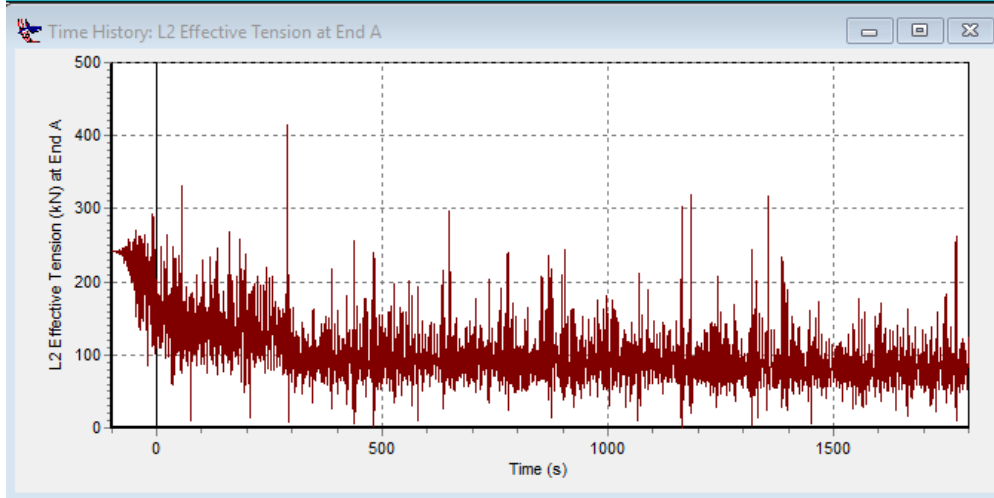
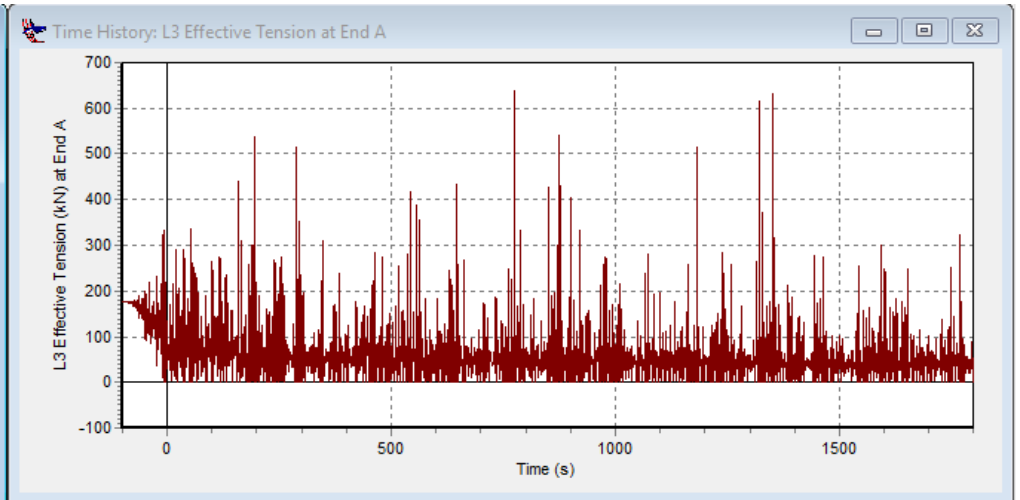
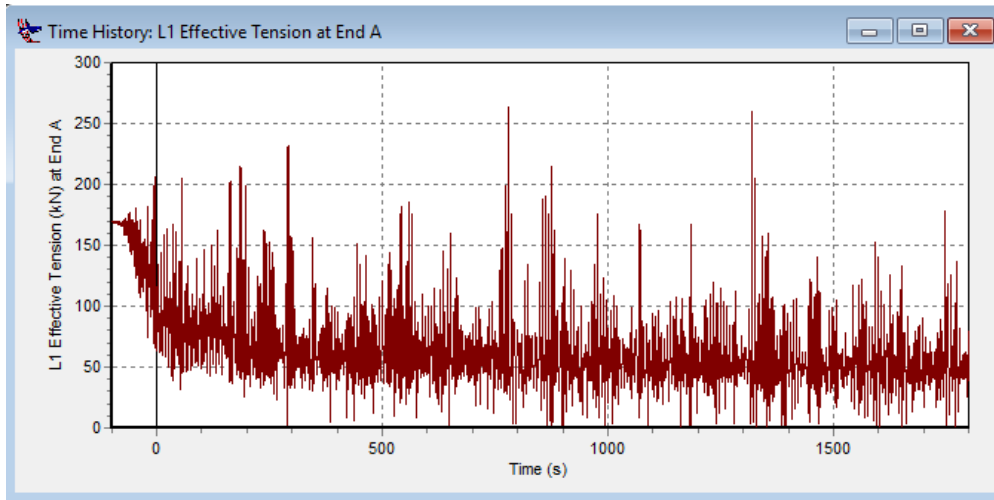
22. DOC – Inline 2 – Full Load – Non Collinear



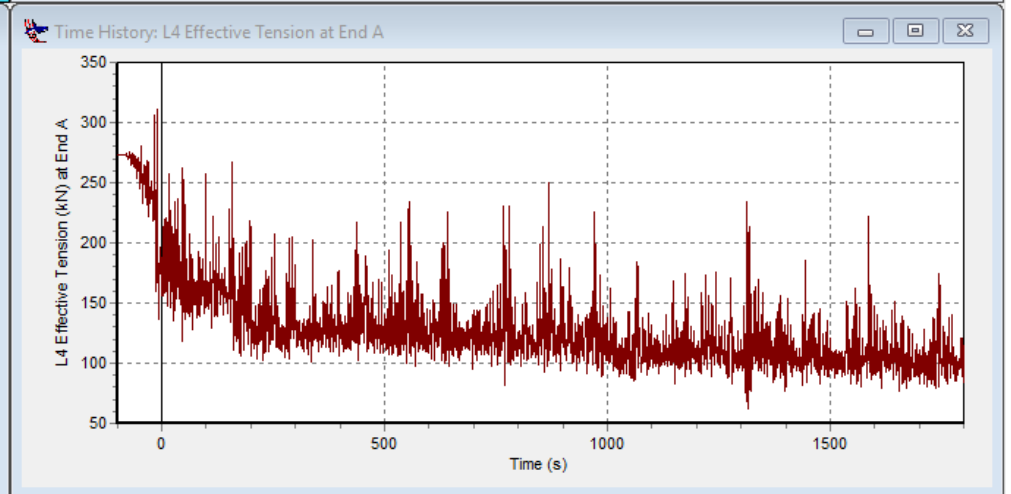
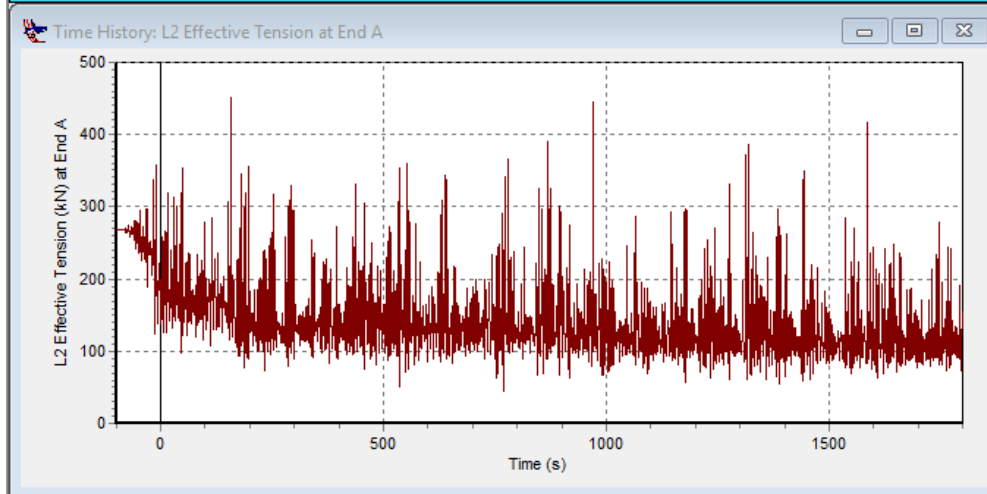
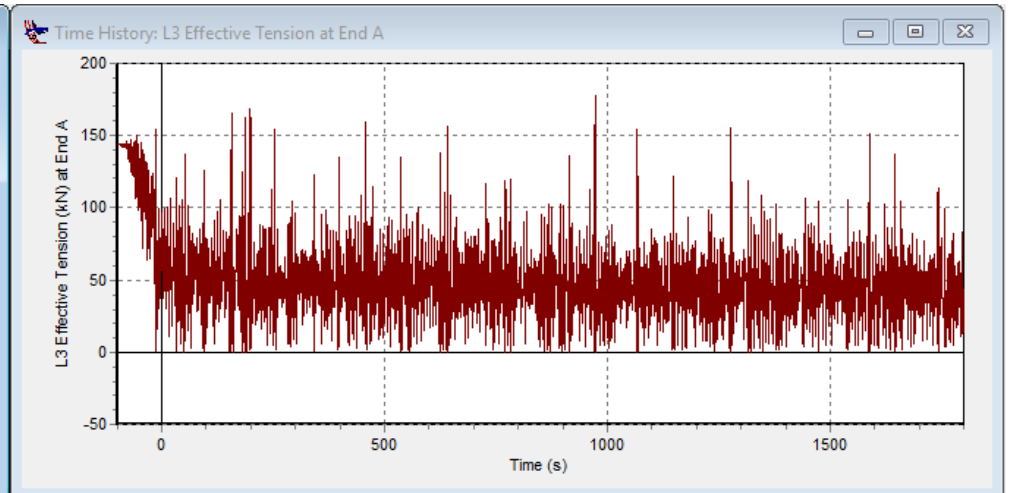
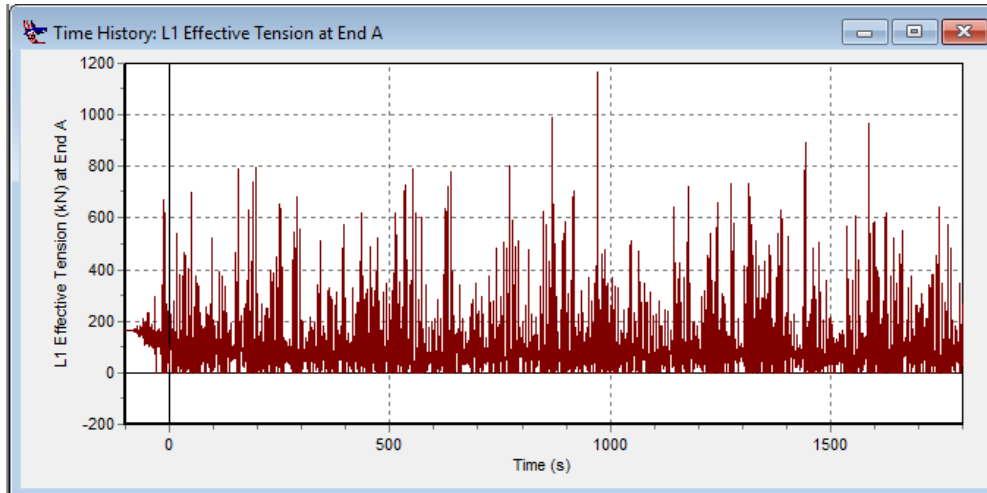
23. DOC – Inline 2 – Ballast – Collinear



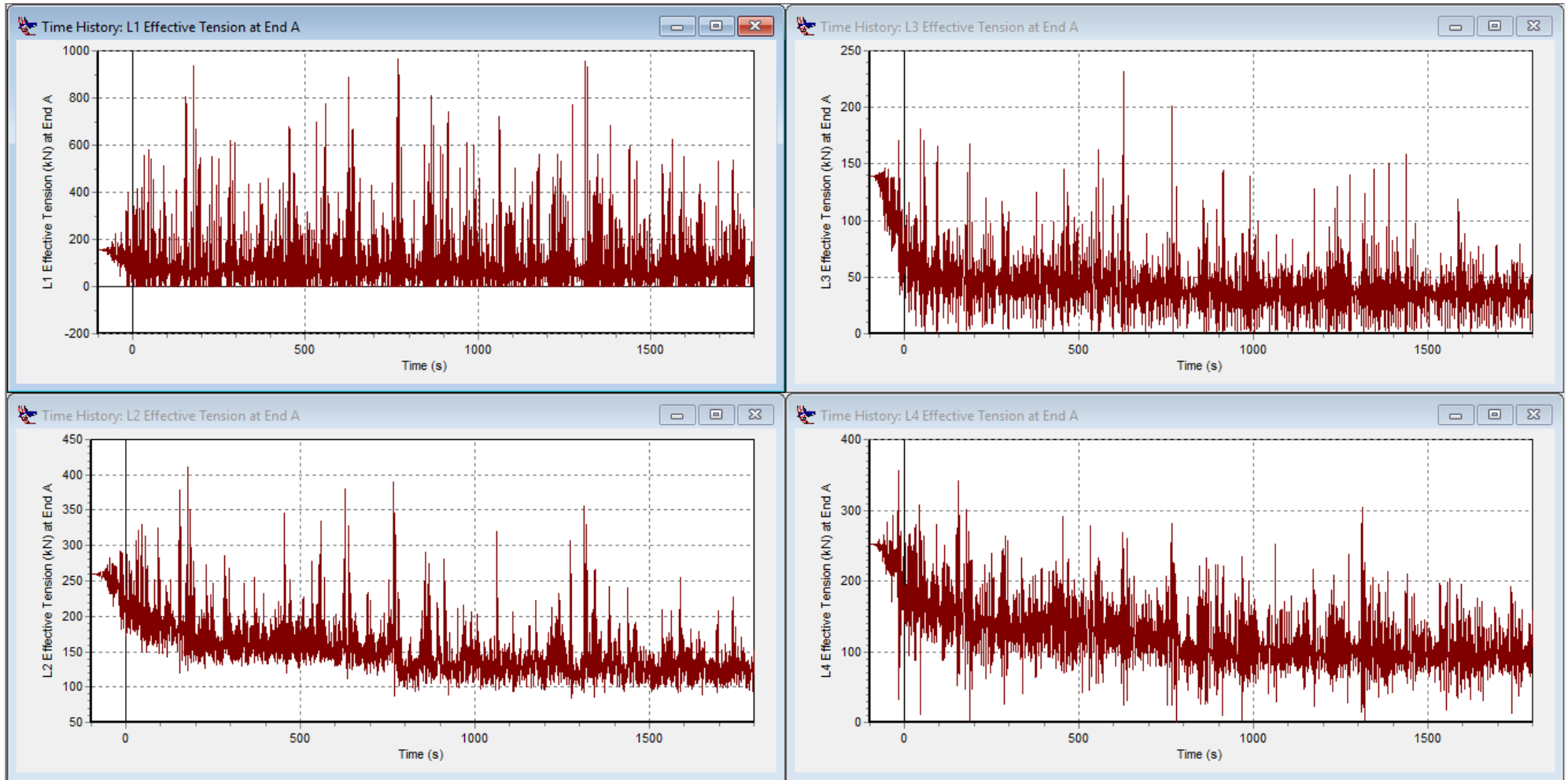
24. DOC – Inline 2 – Ballast – Non Collinear



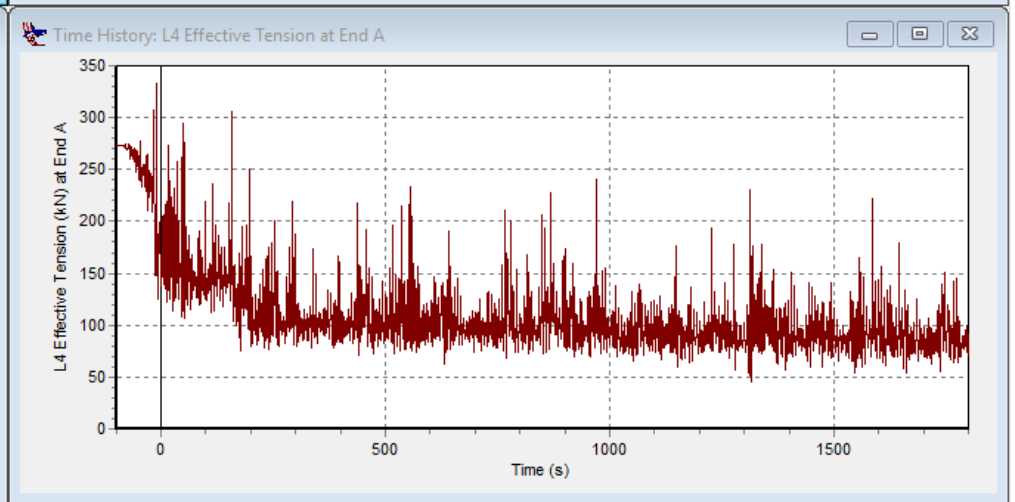
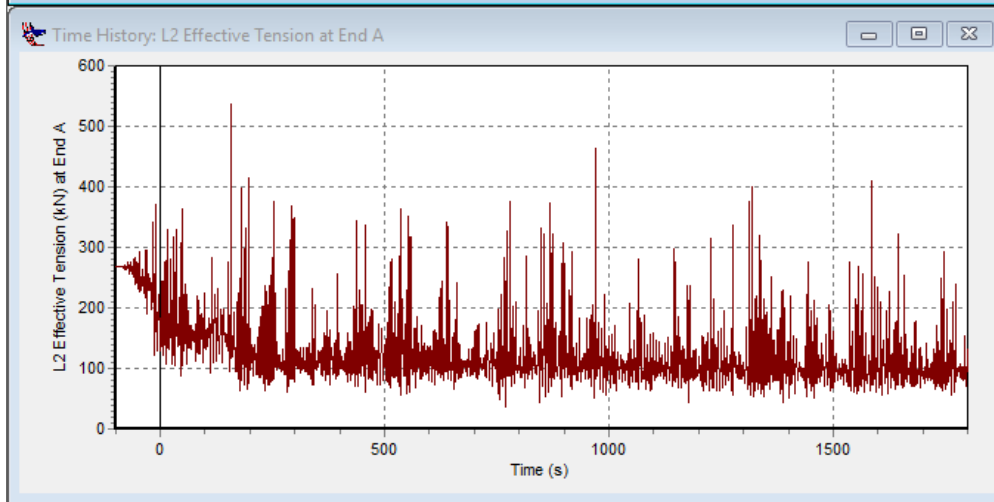
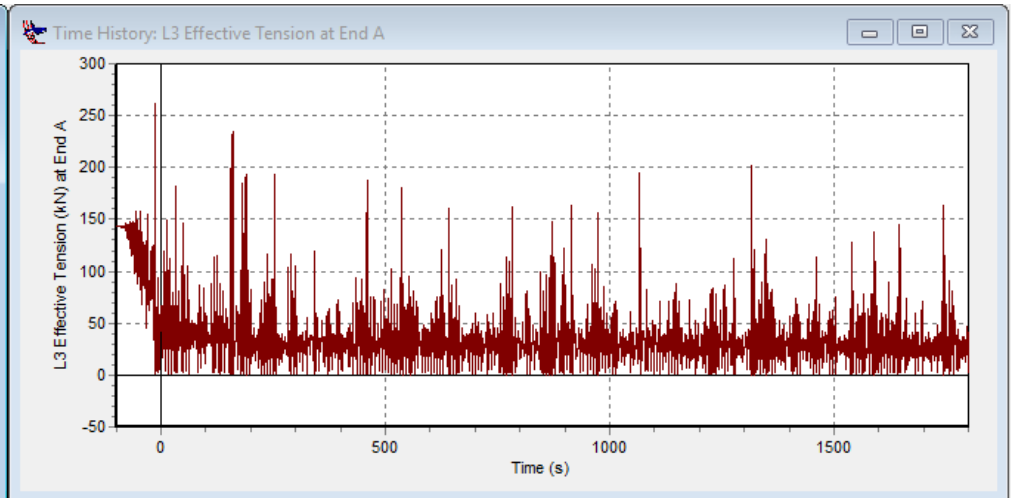
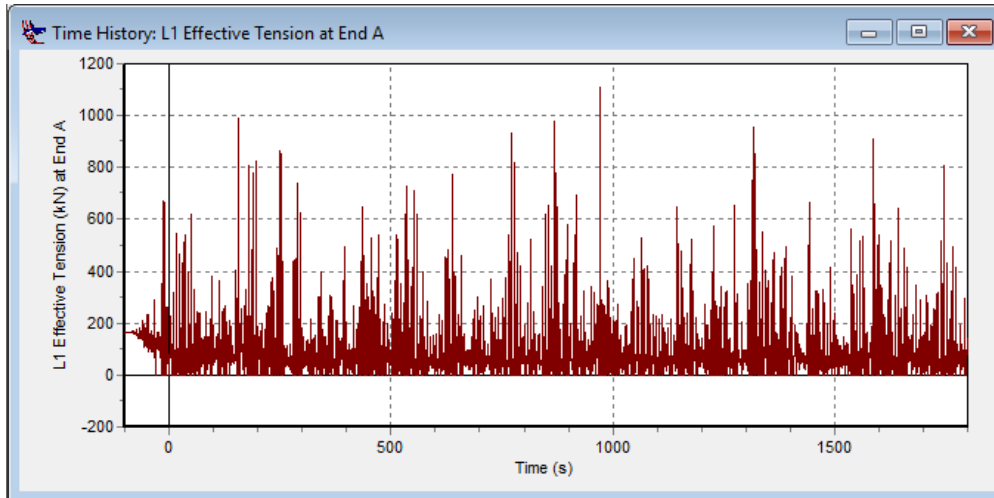
25. DOC – Inline 3 – Full Load – Collinear



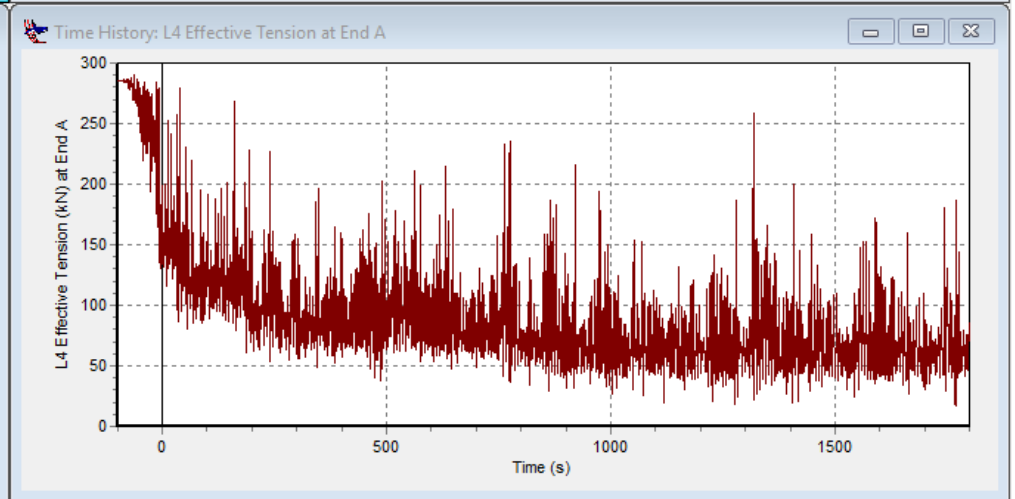
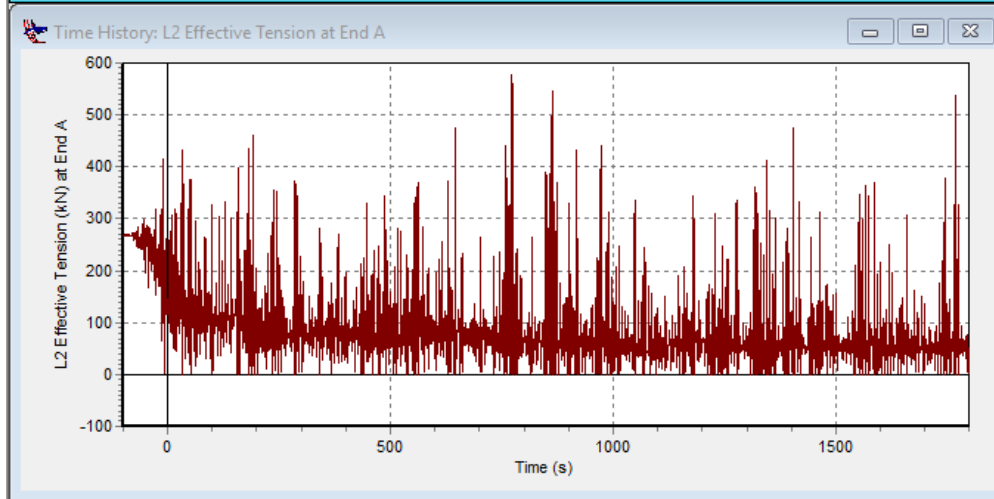
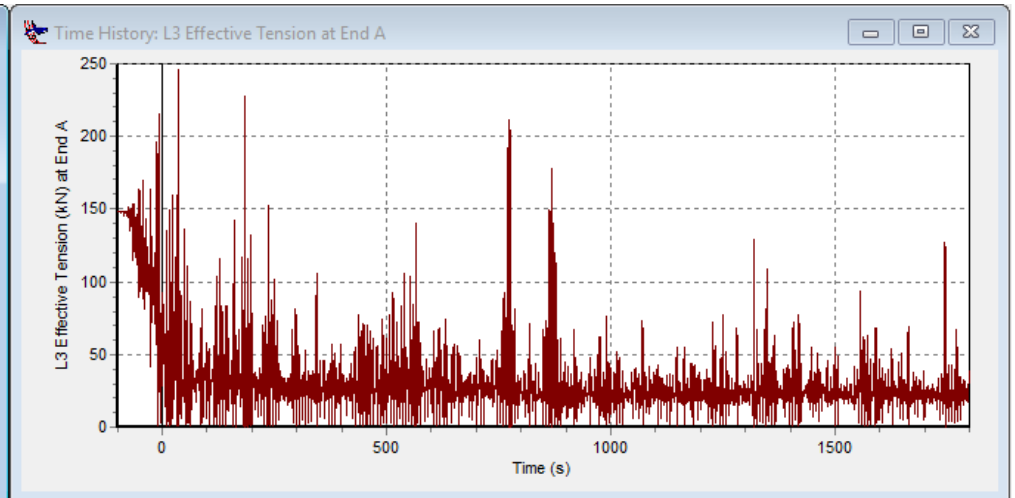
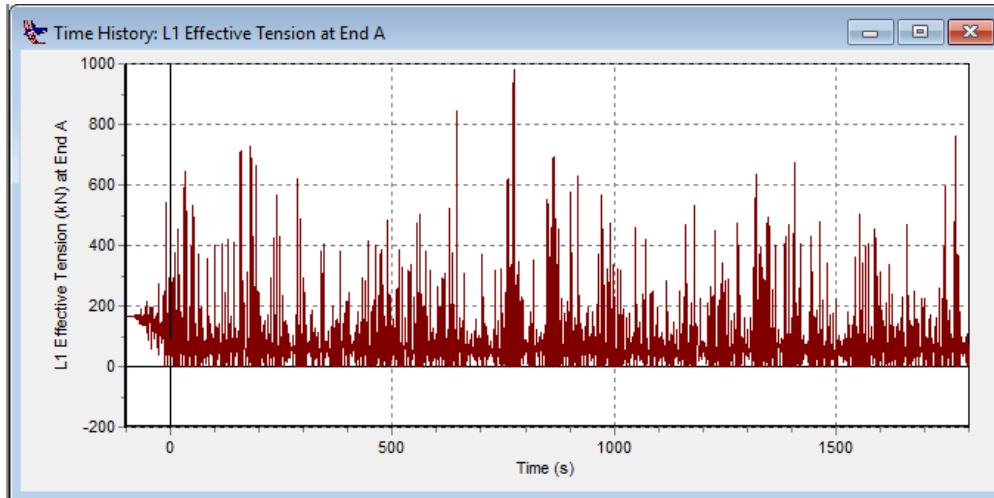
26. DOC – Inline 3 – Full Load – Non Collinear



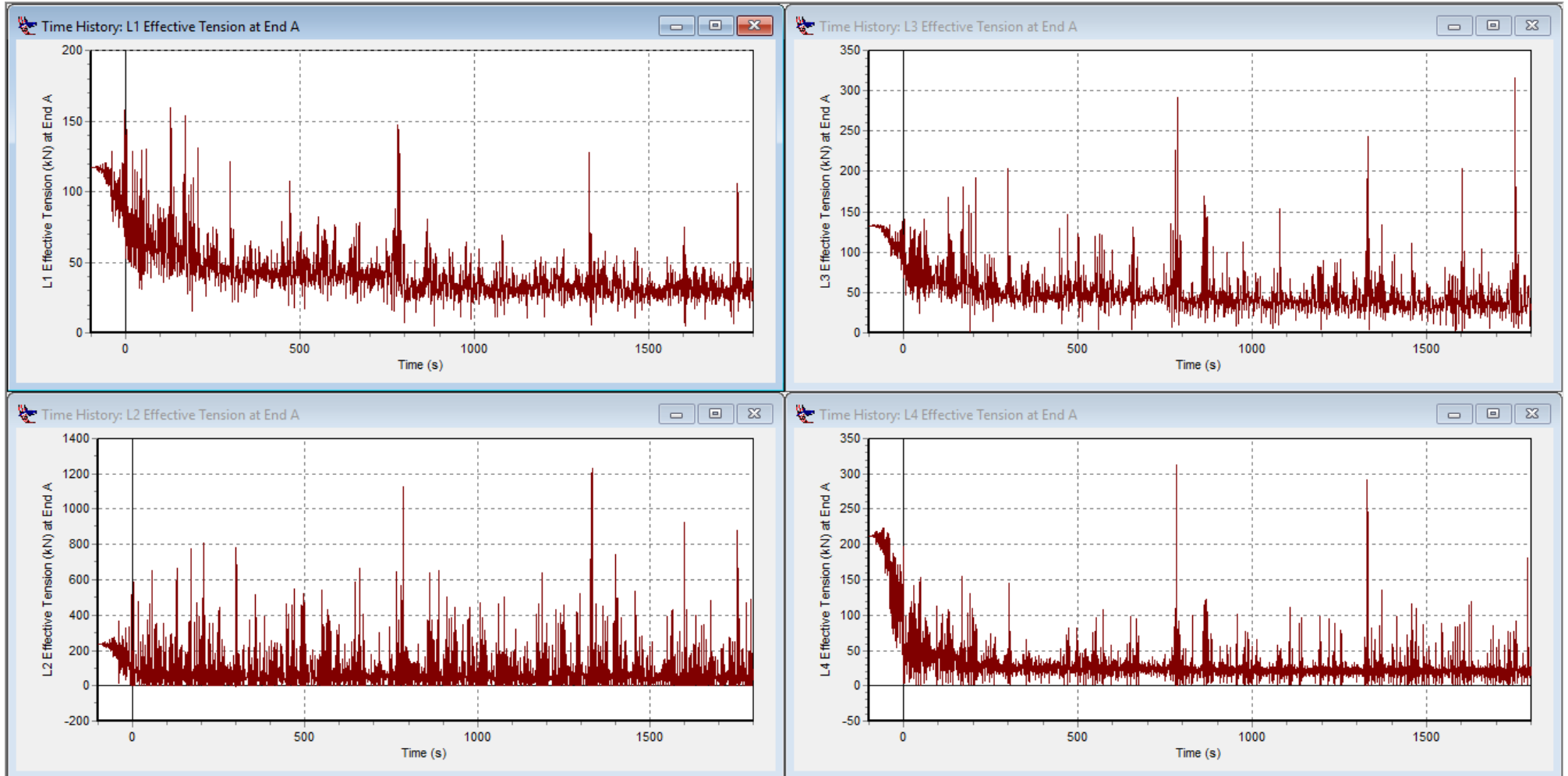
27. DOC – Inline 3 – Ballast – Collinear



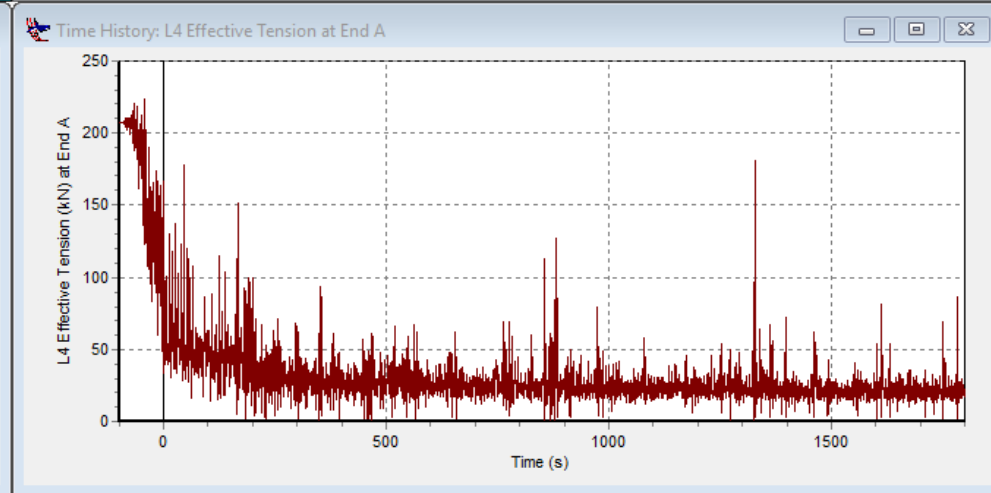
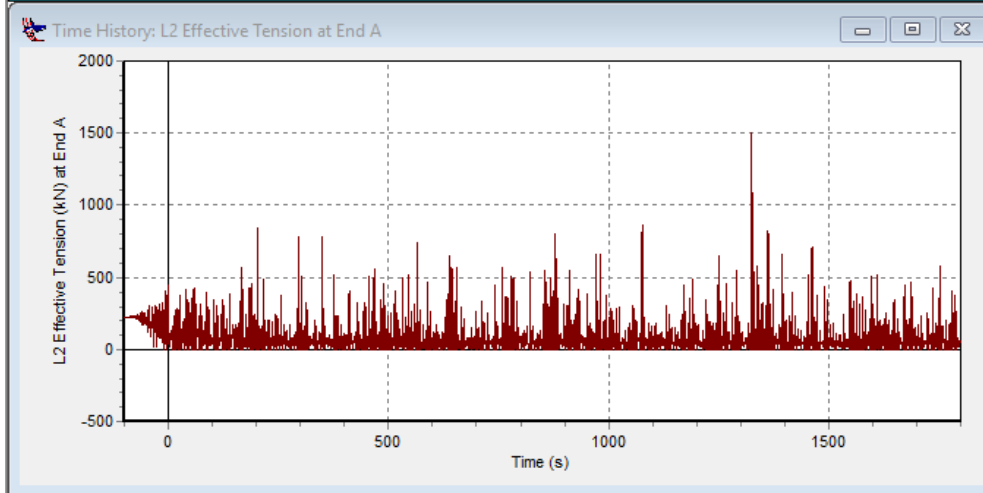
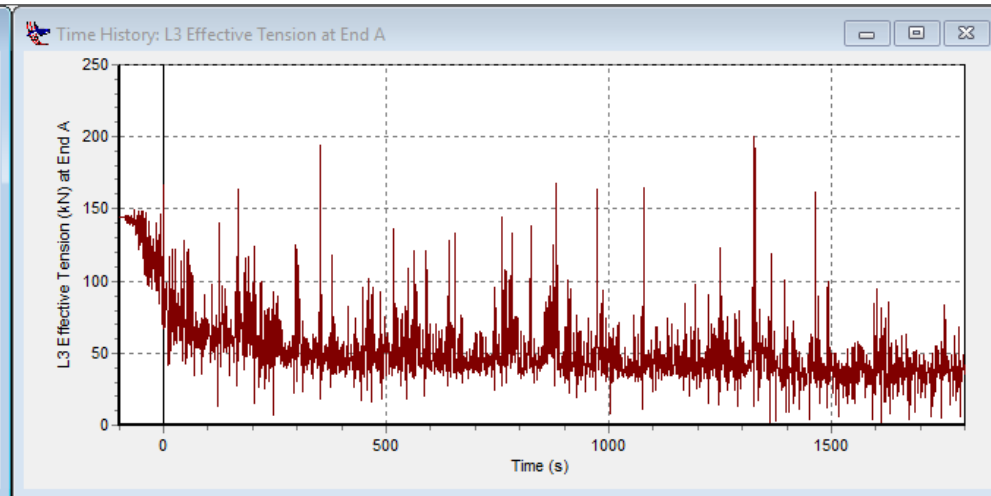
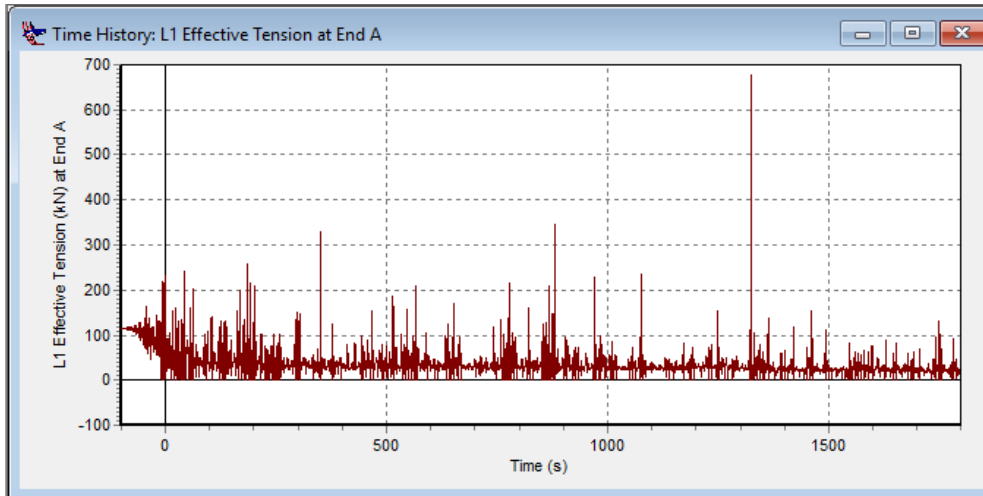
28. DOC – Inline 3 – Ballast – Non Collinear



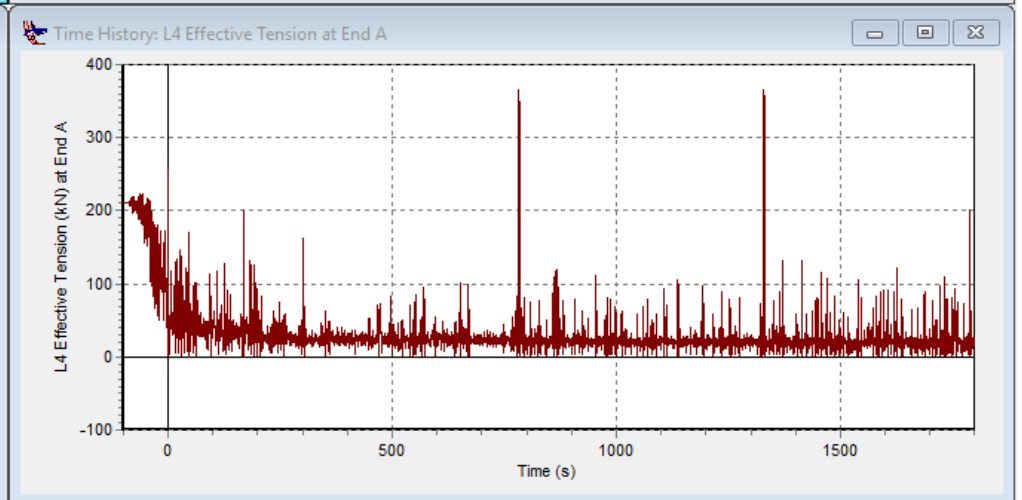
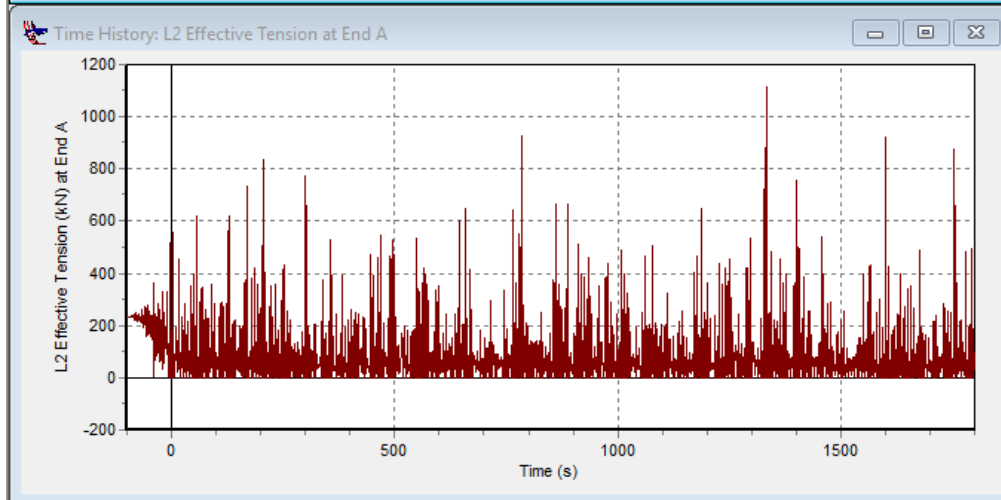
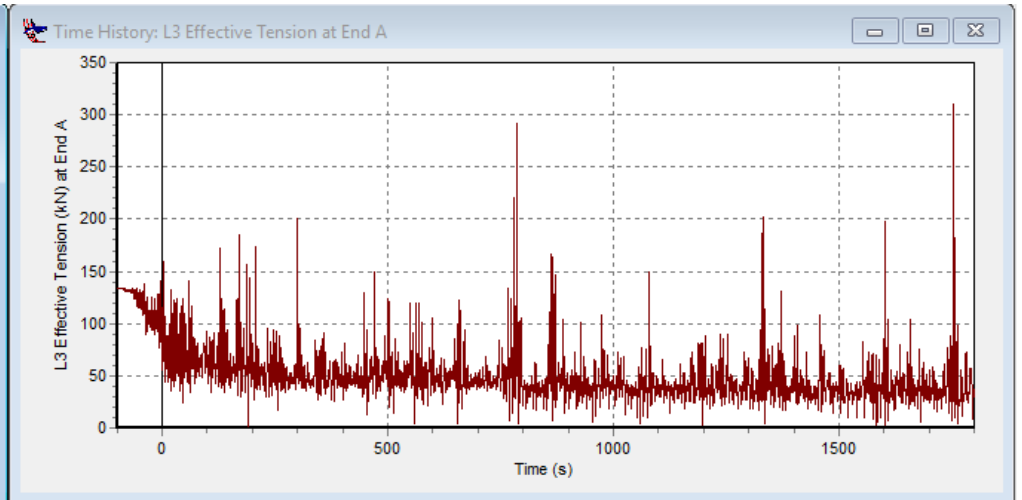
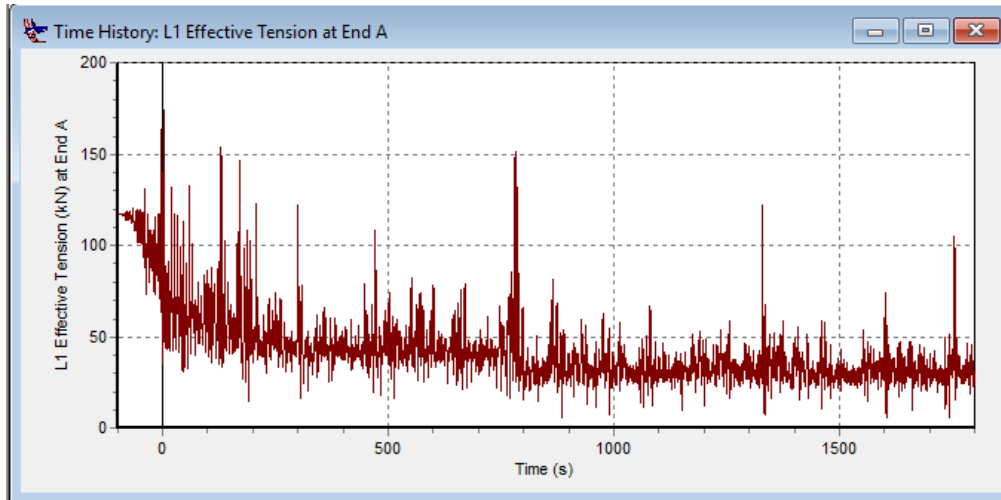
29. DOC – Inline 4 – Full Load – Collinear



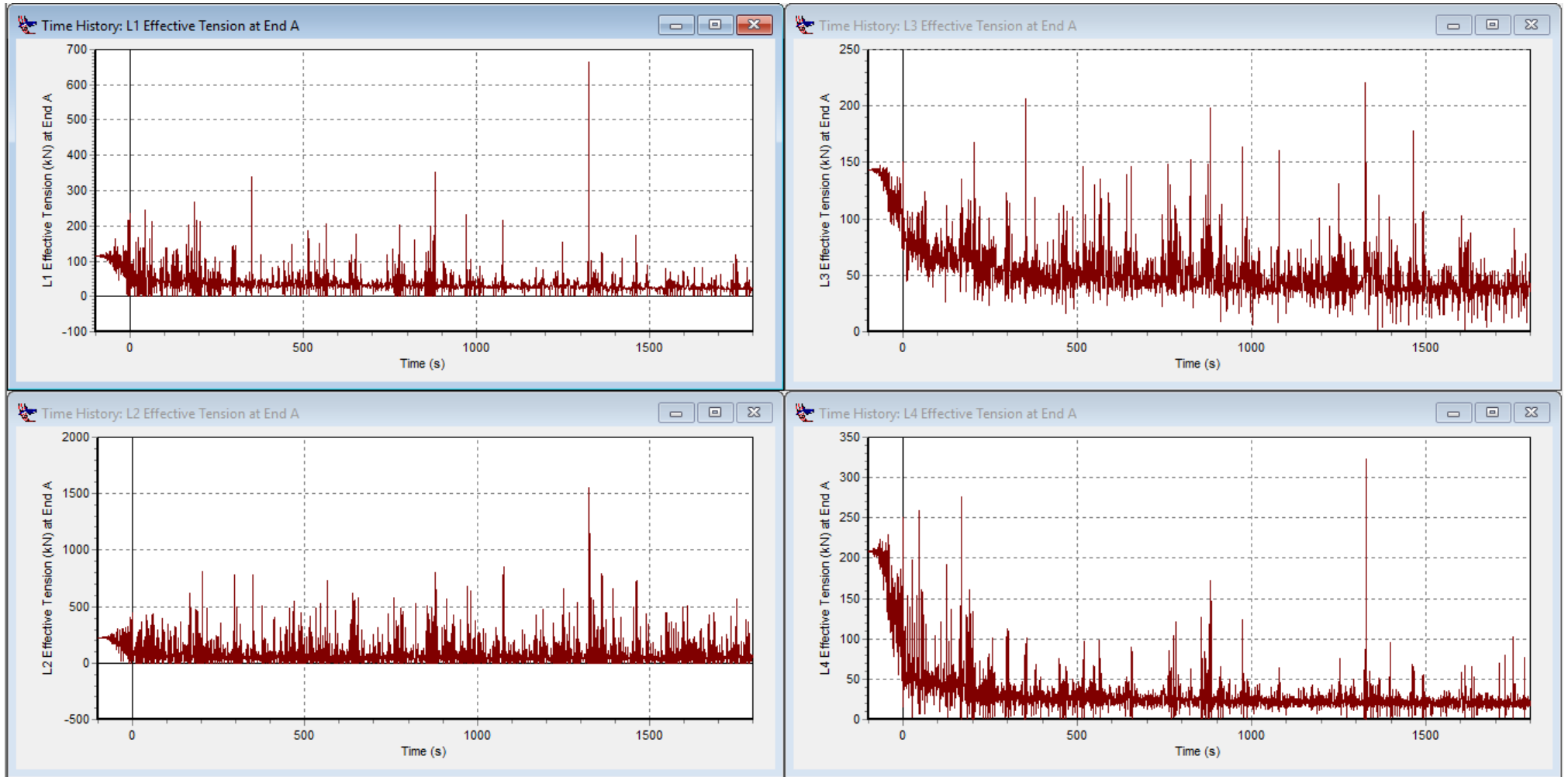
30. DOC – Inline 4 – Full Load – Non Collinear



31. DOC – Inline 4 – Ballast – Collinear

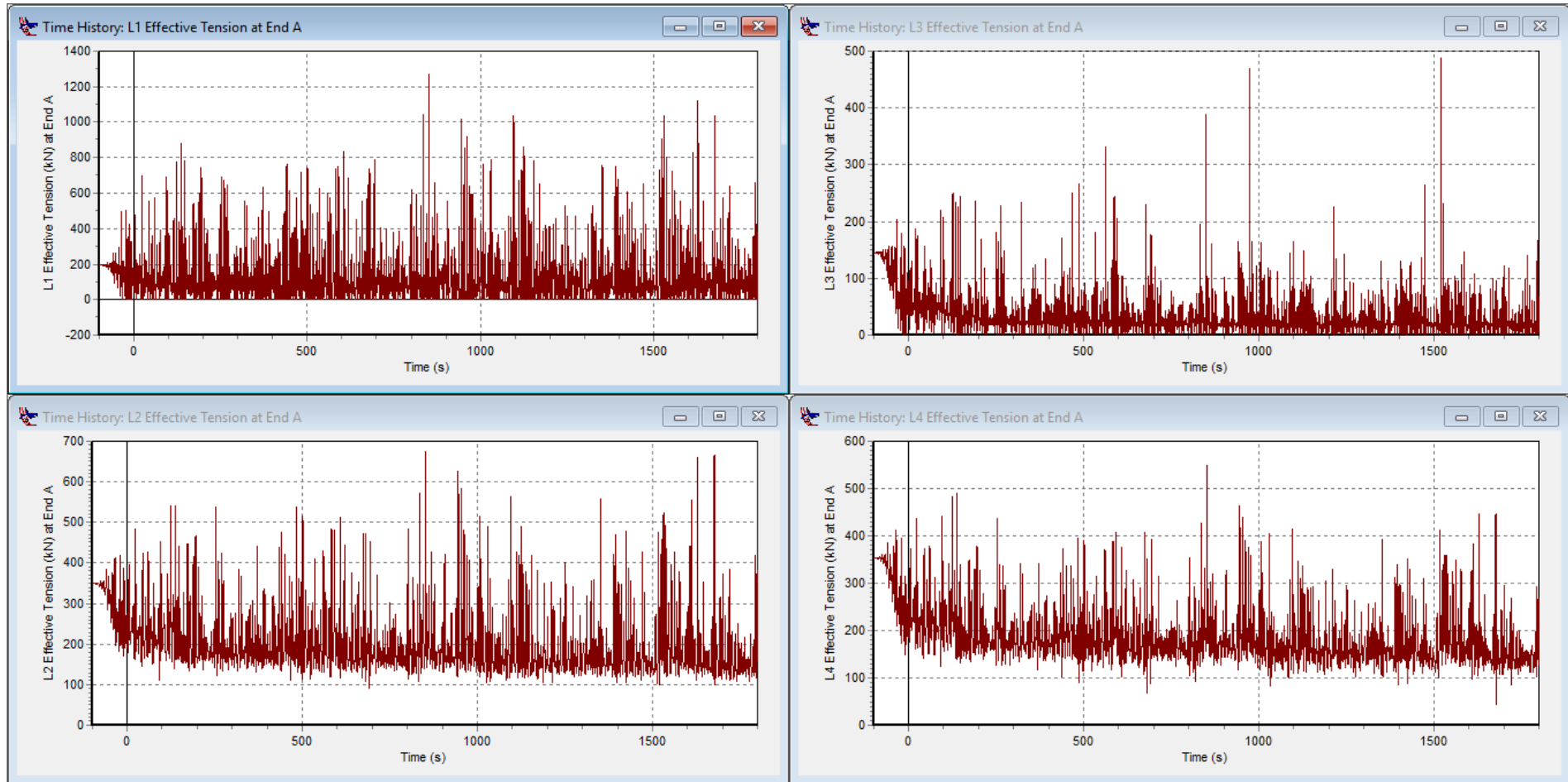


32. DOC – Inline 4 – Ballast – Non Collinear

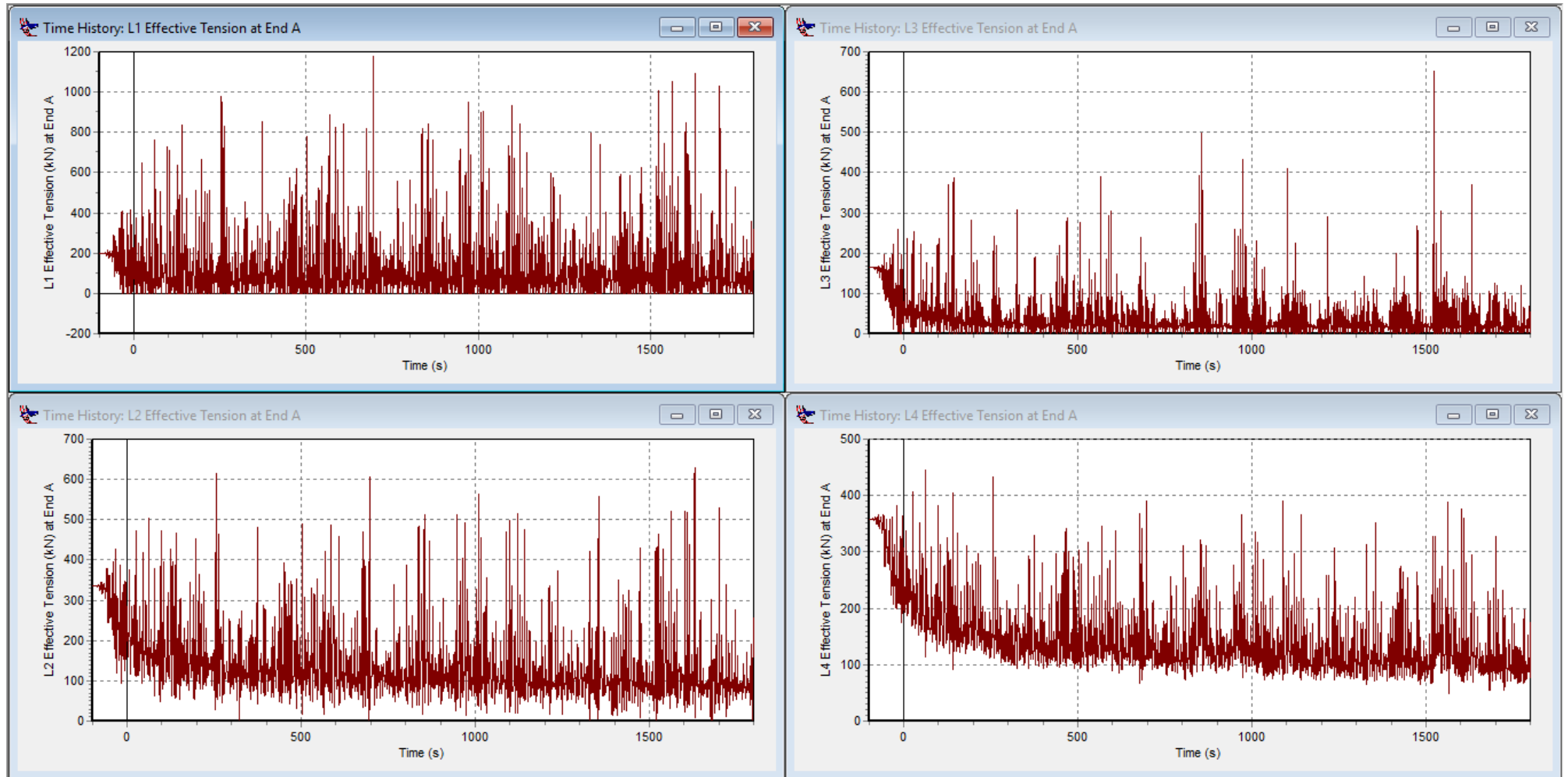


B. Design Enviromental Condition (DEC)

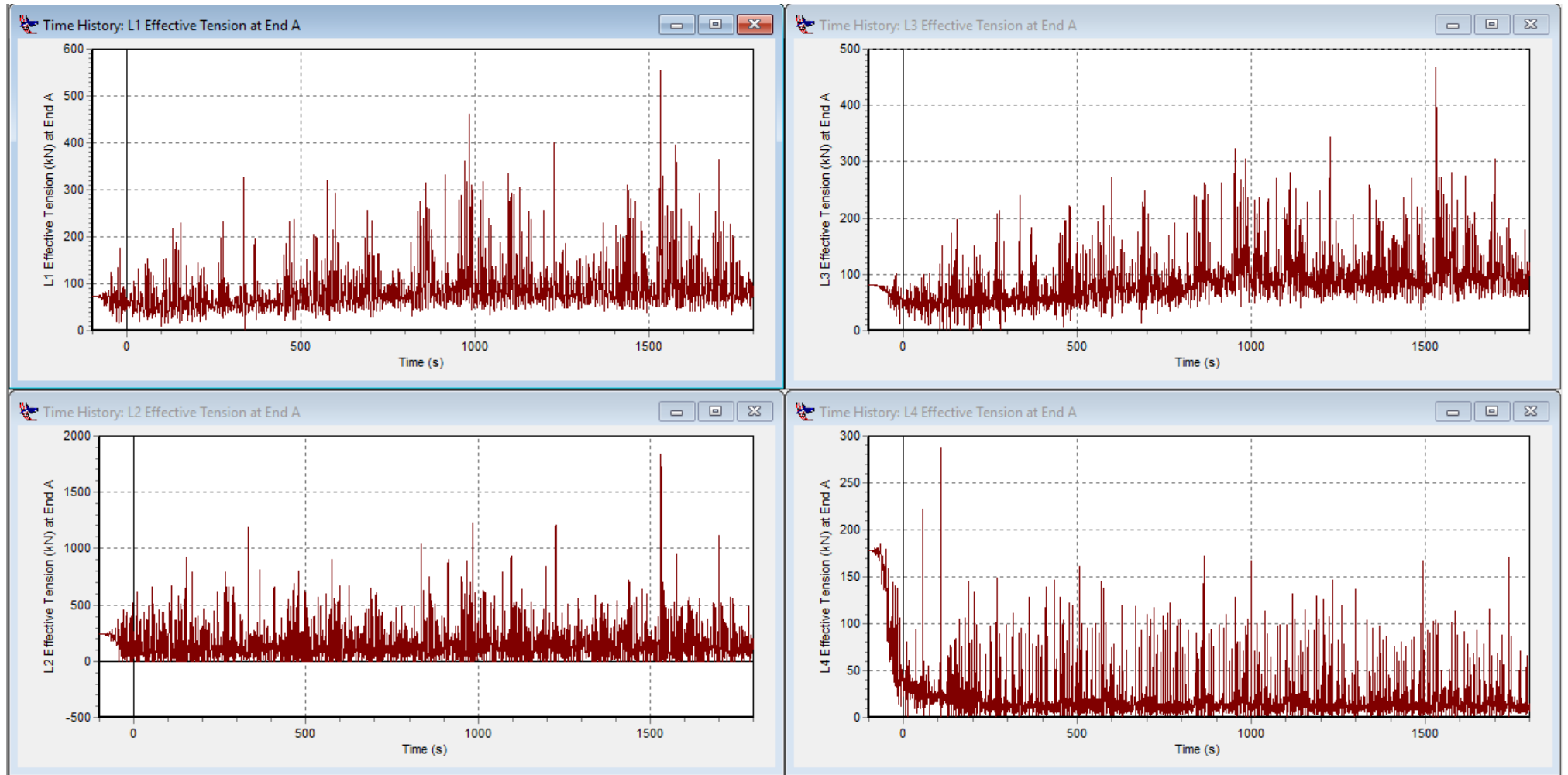
1. DEC – Inline 1 – Collinear



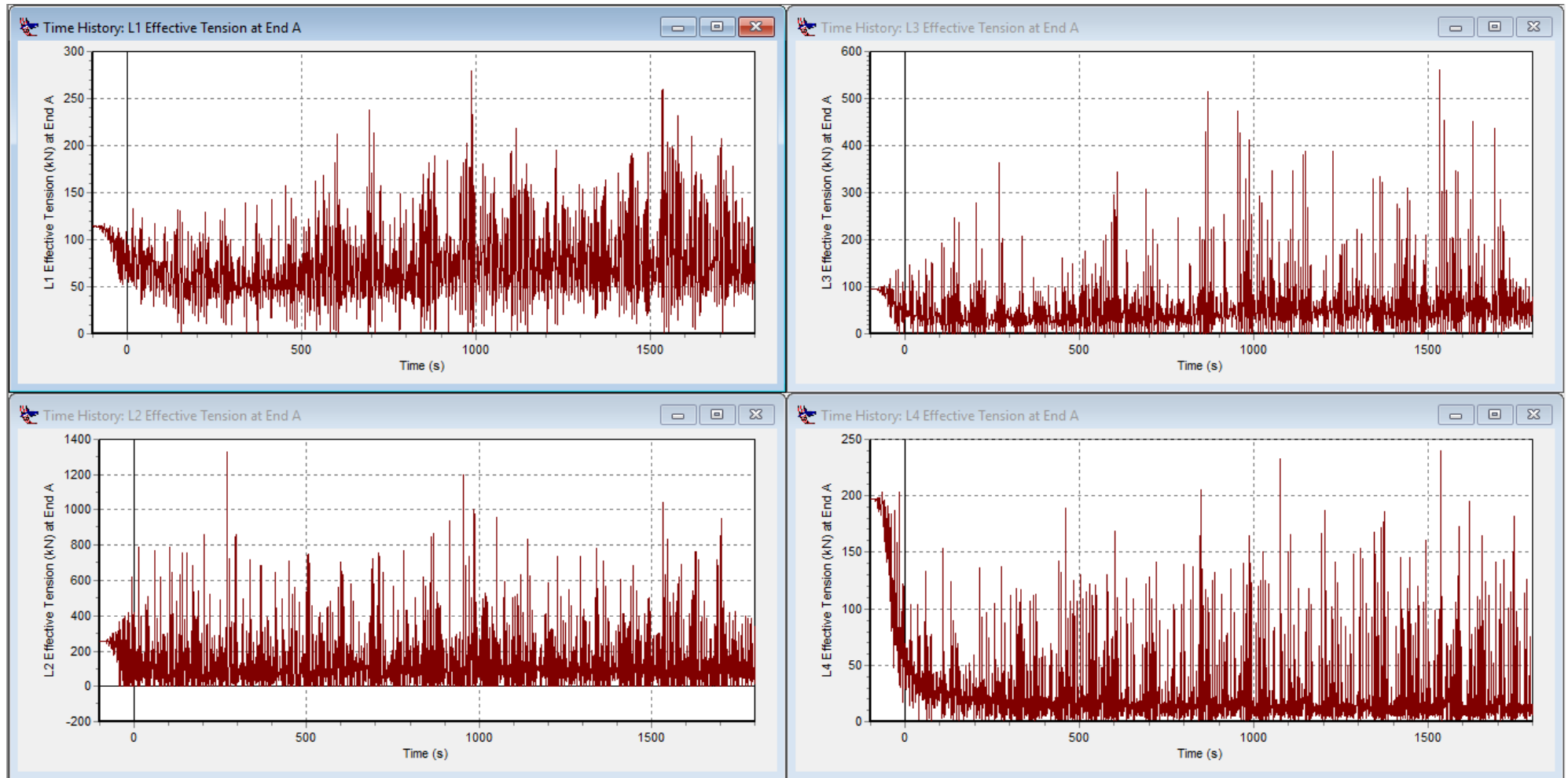
2. DEC – Inline 1 – Non Collinear



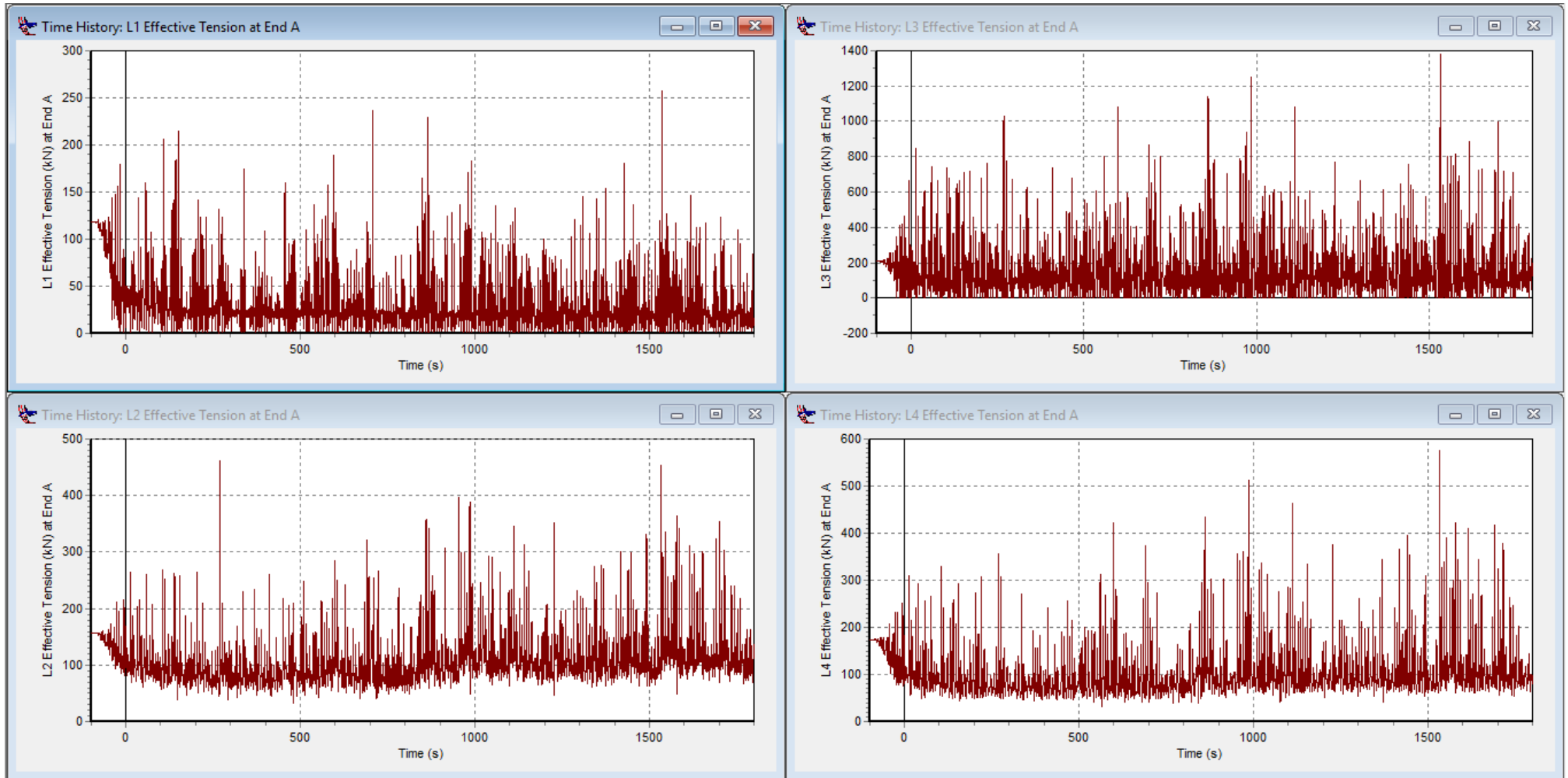
3. DEC – Inline 2 – Collinear



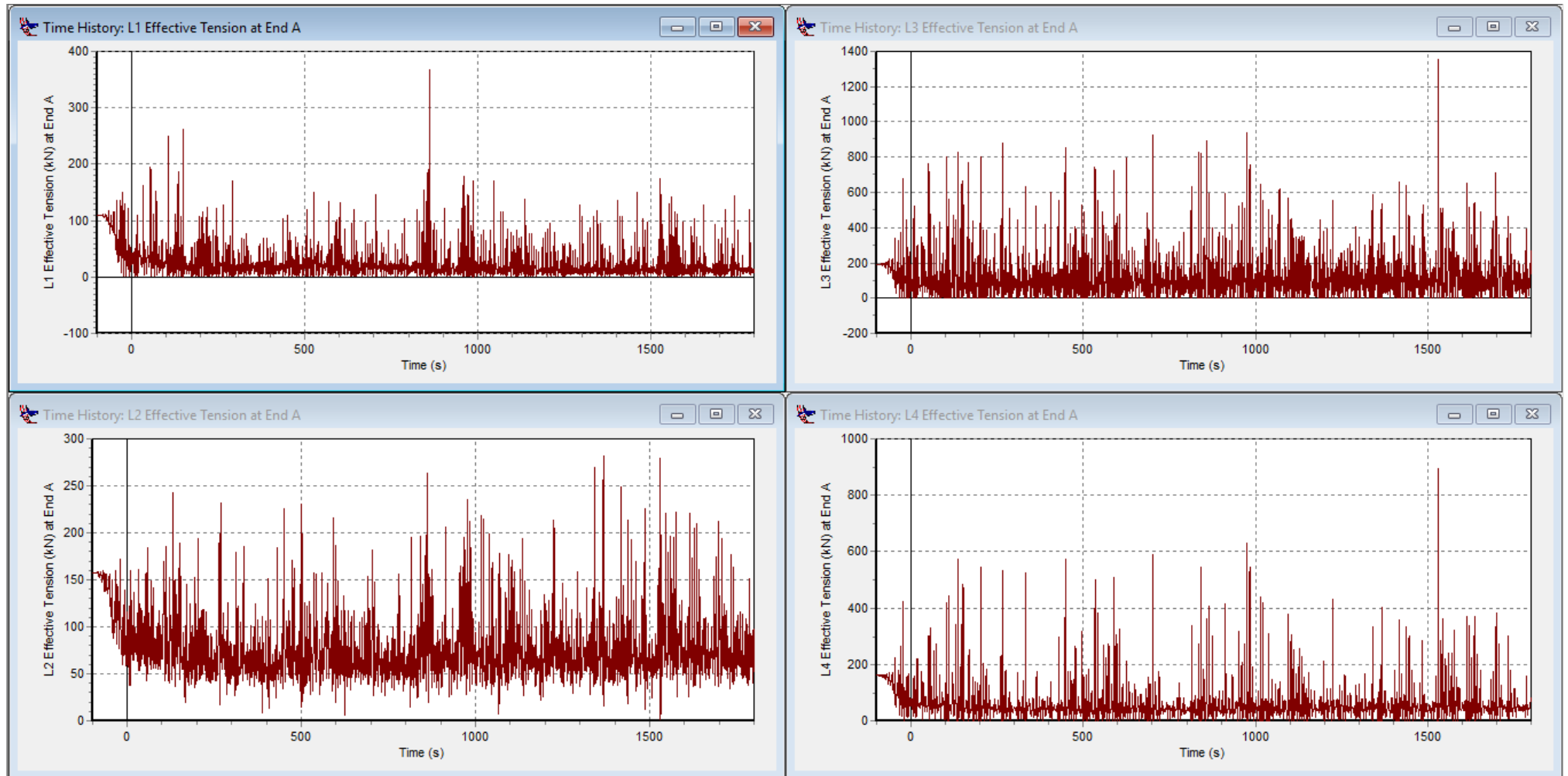
4. DEC – Inline 2 – Non Collinear



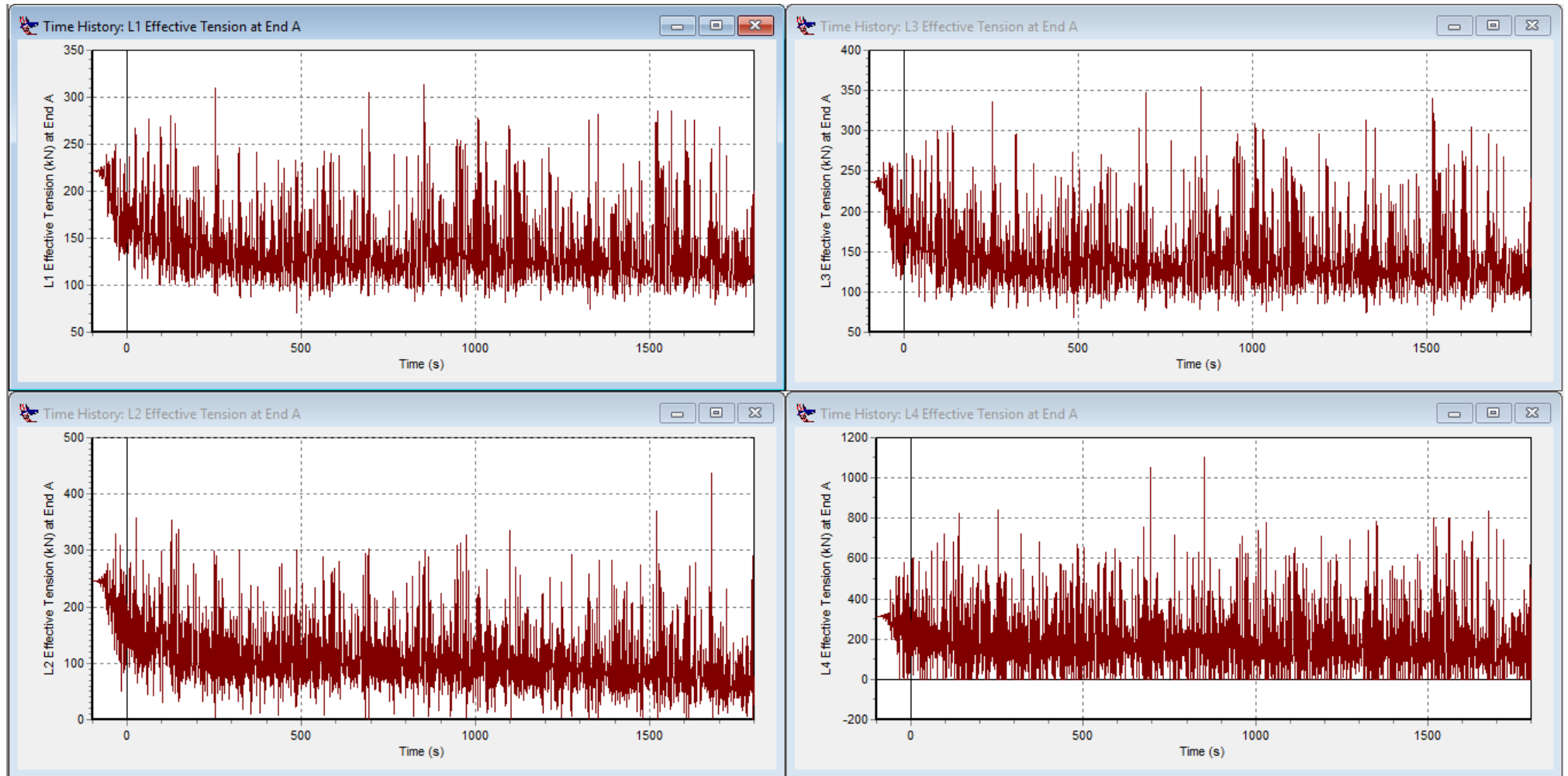
5. DEC – Inline 3 – Collinear



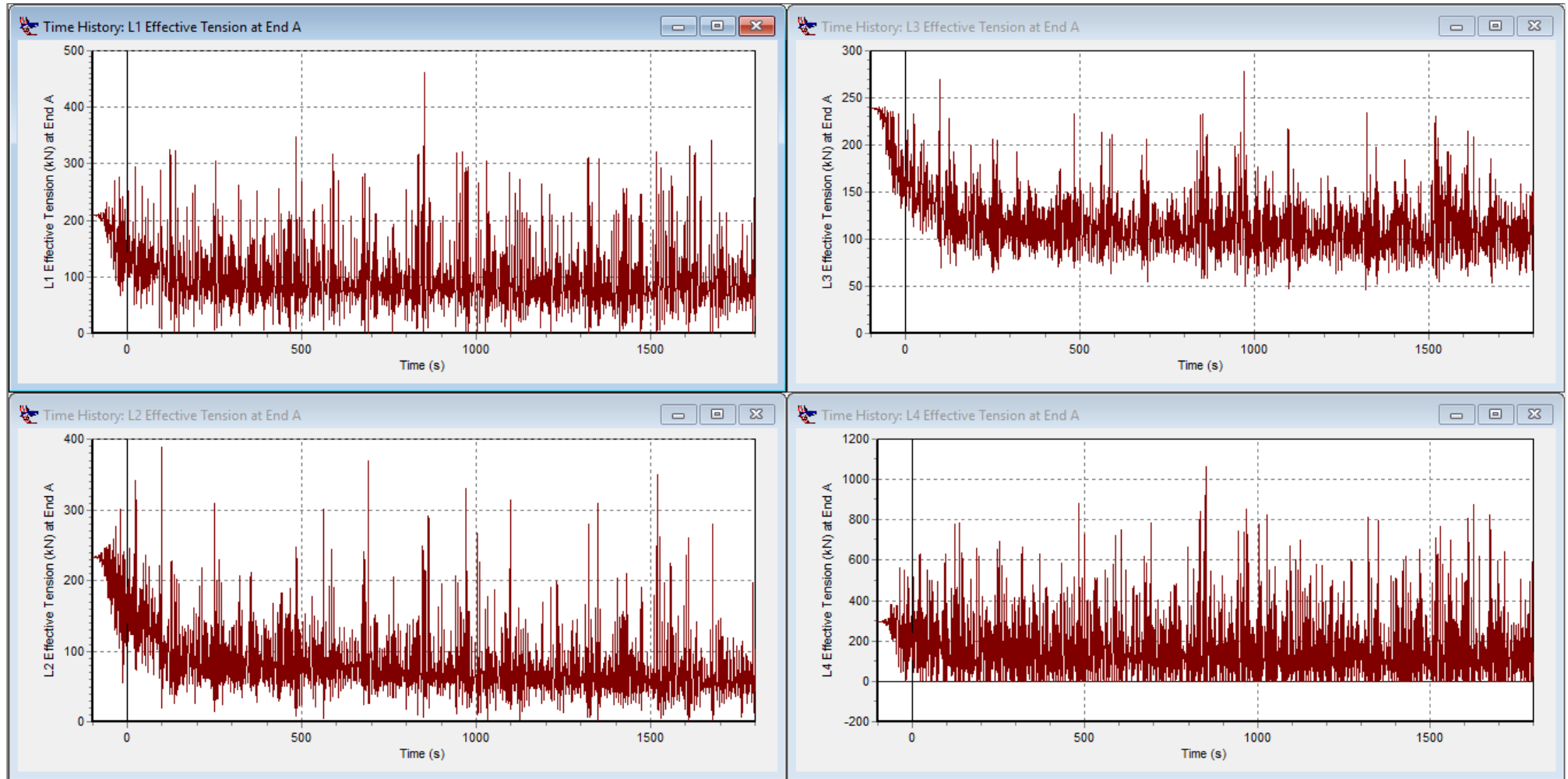
6. DEC – Inline 3 – Non Collinear



7. DEC – Inline 4 – Collinear



8. DEC – Inline 4 – Non Collinear



Lampiran IV.
Perhitungan R^2 Dari Regresi
Grafik Perubahan Nilai SF

- **Perhitungan R² Untuk Regresi Pada Grafik Perubahan SF Kondisi DOC Yang Memiliki Tension Terbesar**

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.999395
R Square	0.99879
Adjusted R Square	0.998387
Standard Error	0.009035
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	0.202233	0.202233	2477.143	1.79E-05
Residual	3	0.000245	8.16E-05		
Total	4	0.202478			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercept	1.643765	0.009476	173.4574	4.23E-07	1.613606	1.673923	1.588413	1.699116
0	-2.84417	0.057145	-49.7709	1.79E-05	-3.02603	-2.66231	-3.17795	-2.51039

RESIDUAL OUTPUT

<i>Observation</i>	<i>Predicted</i> 1.67304292773086	<i>Residuals</i>
1	1.501556	0.008365
2	1.359347	-0.00418
3	1.217139	-0.00837
4	1.07493	-0.00418
5	0.932721	0.008365

- **Perhitungan R^2 Untuk Regresi Pada Grafik Perubahan SF Kondisi DEC Yang Memiliki Tension Terbesar**

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.999395
R Square	0.99879
Adjusted R Square	0.998387
Standard Error	0.007639
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	0.144536	0.144536	2477.143	1.79E-05

Residual	3	0.000175	5.83E-05
Total	4	0.144711	

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercept	1.389635	0.008011	173.4574	4.23E-07	1.36414	1.415131	1.342842	1.436429
0	-2.40446	0.048311	-49.7709	1.79E-05	-2.5582	-2.25071	-2.68664	-2.12228

RESIDUAL OUTPUT

<i>Observation</i>	<i>Predicted</i>	<i>Residuals</i>
	1.41438727603946	
1	1.269413	0.007072
2	1.14919	-0.00354
3	1.028967	-0.00707
4	0.908744	-0.00354
5	0.788521	0.007072

BIODATA PENULIS



Penulis Tugas Akhir ini adalah bernama Rafliansyah Azhar Putera. Penulis lahir di Madiun, 22 April 2000. Penulis saat ini tinggal di Ds. Kertosari RT8/RW2, Kabupaten Madiun dan selama menjalani perkuliahan, penulis bertempat tinggal di Keputih gg 1C no 9, Sukolilo, Surabaya. Sejarah pendidikan penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di Madrasah Ibtidaiyah (MI) Islamiyah 03 Madiun. Lalu, penulis menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah Pertama pada SMPN 1 Madiun dengan mengikuti program percepatan (akselerasi) selama 2 tahun. Selanjutnya, penulis menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah Atas pada SMAN 2 Madiun dengan mengikuti program percepatan (akselerasi) selama 2 tahun. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perkuliahan di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2016 hingga tahun 2020 (4 tahun).

Selama menempuh bangku perkuliahan, penulis mengikuti beberapa kegiatan kepanitiaan, pelatihan, dan seminar. Selama perkuliahan, penulis berpartisipasi dalam panitia *Migas Goes to Campus* (MGTS) 2017 yang merupakan kerjasama antara HIMATEKLA ITS dan Kementrian ESDM. Penulis juga ikut serta mensukseskan *big event* departemen bernama OCEANO 2019 sebagai *staff* konsumsi. Selain itu, penulis juga mengikuti beberapa pelatihan *software* yang diadakan oleh HIMATEKLA ITS seperti pelatihan AutoCAD, SACS, ORCAFLEX, dan MOSES. Serta, penulis juga aktif mengikuti beberapa seminar nasional yang berkaitan dengan perkembangan migas di Indonesia dan dunia.

Penulis juga memiliki pengalaman Kerja Praktek di PT. Saipem Indonesia (PTSI) Jakarta selama 2 bulan dan ditempatkan pada divisi *Technical and Inspection* (T&I). Selama program kerja praktek, penulis belajar beberapa analisis yang dilakukan dalam proses instalasi *jacket* (seperti *modelling jacket*, *lifting*, *transporting*, dan *upending*) menggunakan *software* SACS. Selama berkuliah, penulis ingin berfokus pada perancangan struktur bangunan lepas pantai dan hidrodinamika lepas pantai, sehingga selama melakukan kerja praktik penulis tertarik untuk menganalisis dan mendalami bidang analisis struktur dan hidrodinamika bangunan lepas pantai, dan pada akhirnya pada Tugas Akhir ini penulis mengambil topik “Analisis Tegangan Lokal Pada Sambungan Antar Rantai *Mooring Line* SPM (*Single Point Mooring*) Yang Mengalami Degradasi Diameter”.

Contact Person

Email : raflip707@gmail.com
LinkedIn : Rafliansyah Azhar Putera