DESAIN DAN ANALISIS KEHANDALAN STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE *JACKET TRIPOD* DI PERAIRAN SELAT MAKASSAR

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

Muhammad Arkaan Ah'naf

NIM 15517047

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan

Institut Teknologi Bandung

2021

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Sarjana

DESAIN DAN ANALISIS KEHANDALAN STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE *JACKET TRIPOD* DI PERAIRAN SELAT MAKASSAR

Adalah benar dibuat oleh saya sendiri dan belum pernah dibuat dan diserahkan sebelumnya baik sebagian atau pun seluruhnya, baik oleh saya mau pun orang lain, baik di ITB maupun institusi pendidikan lainnya.

Cirebon, 31 Agustus 2021
Penulis

Muhammad Arkaan Ah'naf
NIM 15517047

Cirebon, 31 Agustus 2021

Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Ricky Lukman Tawekal
NIP 19590904 198503 1 001

Mengetahui:

Program Studi Teknik Kelautan
Ketua,

Dr. Ir. Hendriyawan, MT
NIP 197208162 008011 010

PROGRAM STUDI TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

Diberikan kepada :

Nama : Muhammad Arkaan Ah'naf
NIM : 15517047

Judul Tugas Akhir adalah DESAIN DAN ANALISIS KEHANDALAN STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE *JACKET TRIPOD* DI PERAIRAN SELAT MAKASSAR.

Dengan isi Tugas Akhir sebagai berikut :

BAB I	PENDAHULUAN
BAB II	DASAR TEORI
BAB III	PEMODELAN DAN PEMBEBANAN STRUKTUR
BAB IV	ANALISIS *IN-PLACE*
BAB V	ANALISIS SEISMIK
BAB VI	ANALISIS *FATIGUE*
BAB VII	ANALISIS GELOMBANG
BAB VIII	ANALISIS *PUSHOVER*
BAB IX	ANALISIS KEHANDALAN
BAB X	PENUTUP

Tugas Akhir ini dibuat rangkap 6 (enam) :

1. Untuk Mahasiswa (1 buah)
2. Untuk Pembimbing (1 buah)
3. Untuk Penguji Sidang Tugas Akhir (2 buah)
4. Untuk Tata Usaha Program Studi Teknik Kelautan (1 buah)
5. Untuk Perpustakaan (1 buah)

Cirebon, 31 Agustus 2021

Menyetujui

Koordinator Tugas Akhir,	Pembimbing,
Izqi Yustina Animylia Yusuf, M.T.,	Prof. Dr. Ir Ricky Lukmal Tawekal
NIP 19921224 201903 2 025	NIP 19590904 198503 1 001

ABSTRAK

DESAIN DAN ANALISIS KEHANDALAN STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE *JACKET TRIPOD* DI PERAIRAN SELAT MAKASSAR

Oleh

Muhammad Arkaan Ah'naf

NIM: 15517047

Indonesia merupakan negara maritim yang kaya akan sumber daya alam, contohnya adalah minyak dan gas bumi yang sangat penting untuk kebutuhan aktivitas manusia. Oleh karena itu, diperlukan struktur anjungan lepas pantai untuk kebutuhan eksplorasi minyak dan gas. Salah satu tipe anjungan lepas pantai yaitu *fixed jacket platform*. Pada Tugas Akhir ini dilakukan pemodelan dan analisis kehandalan untuk struktur anjungan lepas pantai tiga kaki tipe *fixed jacket platform* dengan bantuan perangkat lunak SACS. Sebelum dilakukan analisis kehandalan, struktur harus memenuhi kriteria analisis *in-place*, *seismic* dan *spectral fatigue*. Semua analisis tersebut dikerjakan dengan mengacu pada kode standar API RP-2A WSD.

Analisis kehandalan dilakukan karena banyak ketidakpastian dari parameter dalam mendesain struktur, contohnya adalah beban lingkungan yang nilainya selalu berubah. Analisis kehandalan dilakukan berdasarkan nilai *base shear* yang didapat dari analisis *pushover*. Perhitungan analisis kehandalan pada Tugas Akhir ini menggunakan FORM 2 dengan fungsi performansi yang dipengaruhi oleh variabel acak tegangan leleh, tinggi gelombang dan kecepatan arus. Hasil dari analisis kehandalan berupa nilai indeks kehandalan. Indeks kehandalan yang didapat adalah 4.869 dengan probabilitas kegagalan sebesar 0.000000566. Nilai indeks kehandalan ini sudah memenuhi target kelas keselamatan tinggi apabila mengacu pada Bai dan Jin yakni 3.72 untuk target kelas keselamatan tinggi.

Kata Kunci: Struktur *Jacket*, *In-place*, *Seismic*, *Spectral Fatigue*, *Pushover*, Kehandalan, FORM 2.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa karena dengan rahmat-Nya laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Laporan Tugas Akhir dengan Judul "DESAIN DAN ANALISIS KEHANDALAN STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE *JACKET TRIPOD* DI PERAIRAN SELAT MAKASSAR" dibuat sebagai salah satu syarat kelulusan Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung. Laporan ini berisi tentang desain struktur anjungan lepas pantai dan beberapa analisis struktur.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis;
2. Bapak Prof. Dr. Ir Ricky Lukman Tawekal, Ibu Jessica Rikanti Tawekal S.T, M.T dan kak Faisal Dwiyana Purnawarman S.T, M.T selaku pembimbing penulis selama mengerjakan Tugas Akhir;
3. Bapak Dr. Ir. Hendriyawan, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Kelautan ITB dan Dosen Wali penulis selama berkuliah di Teknik Kelautan;
4. Seluruh dosen dan staff Tata Usaha yang sudah membimbing dan membantu penulis selama berkuliah di Teknik kelautan; dan
5. Teman-teman Teknik Kelautan ITB yang sudah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama berkuliah di Teknik kelautan.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dari laporan Tugas Akhir yang dikerjakan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang dapat menjadi pembelajaran bagi penulis. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi setiap pembaca dan diharapkan juga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi Program Studi Teknik Kelautan ITB. Akhir kata, Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan bimbingan dari seluruh pihak yang telah disebutkan.

Cirebon, 28 Agsutus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i

ABSTRAK iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI v

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL xv

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Tujuan 2

1.3. Lokasi Struktur 2

1.4. Ruang Lingkup 3

1.5. Metodologi 3

1.6. Sistematika Penulisan 5

BAB 2 DASAR TEORI 7

2.1. Anjungan Lepas Pantai 7

2.1.1. Jenis Anjungan Lepas Pantai 7

2.1.2. Anjungan Lepas Pantai Tipe *Jacket* 9

2.2. Beban pada Struktur 14

2.2.1. Beban Mati 14

2.2.2. Beban Hidup 14

2.2.3. Beban Lingkungan 15

2.3. Analisis Struktur 21

2.3.1. Kombinasi Pembebanan 21

2.3.2. Analisis In-Place 22
2.3.3. Analisis Seismic 26
2.3.4. Analisis *Fatigue* 27
2.3.5. Analisis *Pushover* 31
2.3.6. Analisis Kehandalan 32
2.4. Analisis Statistik dan Probabilitas 37
2.4.1. Teori Statistik 37
2.4.2. Analisis Ekstrim Gelombang 38
2.4.3. Teori Distribusi Gelombang 44
BAB 3 PEMODELAN DAN PEMBEBANAN STRUKTUR 50
3.1. Deskripsi Umum 50
3.2. Kriteria Desain 50
3.3. Data Lingkungan 51
3.3.1. Kedalaman Perairan 52
3.3.2. Gelombang 52
3.3.3. Angin 60
3.3.4. Arus 60
3.3.5. Marine Growth 60
3.3.6. Geoteknik 61
3.3.7. Gempa 62
3.3.8. Koefisien Hidrodinamik 62
3.3.9. *Corrosion Allowance* 63
3.4. Model Struktur 63
3.5. Pembebanan Struktur 70
3.5.1. Beban Equipment 71

3.5.2. Beban Appurtenance 73
3.5.3. Beban Hidup 75
3.5.4. Beban Crane 76
3.5.5. Beban Angin 77
3.5.6. Beban Gelombang 78
3.5.7. Beban Mati dan Bouyancy 80
BAB 4 ANALISIS IN-PLACE 82
4.1. Deskripsi Umum 82
4.2. Kombinasi Pembebanan 82
4.3. Metode Analisis In-Place 85
4.4. Hasil Analisis In-Place 85
4.4.1. Pemeriksaan Unity Check Tegangan *Member* 85
4.4.2. Pemeriksaan *Joint* Punching Shear 90
4.4.3. Kapasitas Pile 91
4.4.4. Defleksi 93
4.4.5. Unity Check Pile di Bawah Permukaan Tanah 99
BAB 5 ANALISIS SEISMIK 101
5.1. Tahapan Analisis Seismik 101
5.1.1. Analisis Statik 103
5.1.2. Analisis Dinamik 103
5.1.3. Analisis Gempa 104
5.1.4. Post Processing 105
5.2. Hasil Analisis Seismik 107
5.2.1. Iterasi Faktor Beban Gempa Arah X dan Y 107
5.2.2. Faktor Partisipasi Massa dan Periode Natural Struktur 107

5.2.3. Rasio Tegangan *Member* 109
5.2.4. *Joint* Punching Shear 111
5.2.5. Kapasitas Pile 113
BAB 6 ANALISIS *FATIGUE* 114
6.1. Tahapan Analisis *Fatigue* 114
6.1.1. Analisis Statik 116
6.1.2. Extract Mode Shapes 116
6.1.3. Pembentukan Transfer Function dan Respon Gelombang 117
6.1.4. Analisis Spectral *Fatigue* 126
6.2. Hasil Analisis Spektral *Fatigue* 127
BAB 7 ANALISIS GELOMBANG 129
7.1. Deskripsi Umum 129
7.2. Pemilihan Gelombang 130
7.3. Pemilihan Distribusi Gelombang 130
7.3.1. *Least Square Method* 131
7.3.2. Uji Nilai Korelasi 138
7.3.3. *Minimum Ratio of Residual Correlation Coefficient* 139
7.3.4. Uji Chi-Square 139
7.3.5. Uji Kolmogorov Smirnov 140
7.4. Hubungan Periode dengan Tinggi Gelombang 142
7.5. Analisis Ekstrim Gelombang 143
7.6. Parameter Statistik Gelombang 143
7.7. Parameter Statistik Gelombang Sesuai Dengan *Design Life* 144
BAB 8 ANALISIS *PUSHOVER* 147
8.1. Deskripsi Umum 147

8.2. Tegangan Leleh Acak 147
8.3. Penentuan Arah Ekstrim 148
8.4. *Running* dengan *Yield Strength* dan Tinggi Gelommbang Acak 149
BAB 9 ANALISIS KEHANDALAN 151
9.1. Deskripsi Umum 151
9.2. *Running* Simulasi *In-Place* 153
9.3. Penentuan Fungsi Performansi 154
9.4. FORM II 155
9.4.1. Tahapan FORM II 155
9.4.2. Hasil Analisis Kehandalan 161
BAB 10 PENUTUP 164
10.1. Kesimpulan 164
10.2. Saran 166
Daftar Pustaka 167

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Struktur Berdasarkan Peta Indonesia 2
Gambar 1.2 Lokasi Struktur..... 2
Gambar 1.3 Diagram Alir Tugas Akhir 4
Gambar 2.1 *Jacket Platform* 7
Gambar 2.2 *Concrete Gravity Platform*..... 8
Gambar 2.3 Compliant Tower..... 9
Gambar 2.4 Floating *Platform* 9
Gambar 2.5 Ilustrasi Bagian Struktur *Jacket* 10
Gambar 2.6 *Deck* pada Anjungan Lepas Pantai..... 11
Gambar 2.7 *Jacket* pada Anjungan Lepas Pantai..... 12
Gambar 2.8 Pile pada Anjungan Lepas Pantai..... 12
Gambar 2.9 (a). Pile dan (b). Skirt Pile..... 13
Gambar 2.10 *Conductor* pada Anjungan Lepas Pantai..... 13
Gambar 2.11 Ilustrasi Pembebanan Anjungan Lepas Pantai 14
Gambar 2.12 Skema Perhitungan Gelombang..... 17
Gambar 2.13 Pegeseran Doppler akibat arus stabil 18
Gambar 2.14 Regions of Applicability of Stream Function, Stokes V, and Linear Wave Theory..... 19
Gambar 2.15 Ilustrasi *Joint* Can..... 24
Gambar 2.16 Kurva S-N 30
Gambar 2.17 Konsep *Limit State* 33
Gambar 2.18 Ilustrasi hubungan probabilitas kapasitas dan beban 34
Gambar 2.19 PDF FT-I (k=∞) dan FT-II (k=2.5 s.d 10) 39
Gambar 2.20 PDF Weibull (k=0.75 s.d 2.0) 39
Gambar 2.21 Histrogram PDF 44
Gambar 2.22 Histogram CDF 44
Gambar 2.23 PDF Distribusi Normal..... 45
Gambar 2.24 CDF Distribusi Normal 45
Gambar 2.25 PDF Distribusi Lognormal..... 46
Gambar 2.26 CDF Distribusi Lognormal..... 46

Gambar 2.27 PDF Distribusi Gumbel 47
Gambar 2.28 CDF Distribusi Gumbel 47
Gambar 2.29 PDF Distribusi Weibull 48
Gambar 2.30 CDF Distribusi Weibull 48
Gambar 3.1 Ilustrasi Mata Angin 52
Gambar 3.2 End Bearing (T-Z) 61
Gambar 3.3 Skin-Friction (T-Z) 61
Gambar 3.4 Lateral Bearing (P-Y) 62
Gambar 3.5 Model Struktur (kiri) dan elevasi penting pada struktur (kanan) 63
Gambar 3.6 Kemiringan Pile Penampang XZ (kiri) Pile Penampang YZ (kanan) 64
Gambar 3.7 *Horizontal Bracing* pada Elevasi 7 m (kiri) dan -3 m (kanan) dari MSL 64
Gambar 3.8 *Horizontal Bracing* pada Elevasi -9.833 m (kiri) dan -19.667 m (kanan) dari MSL 64
Gambar 3.9 *Horizontal Bracing* pada Elevasi -29.5 m (kiri) dan -39.330 m (kanan) dari MSL 65
Gambar 3.10 *Horizontal Bracing* pada Elevasi -49.167 m (kiri) dan -59 m (kanan) dari MSL 65
Gambar 3.11 *Deck* Struktur 66
Gambar 3.12 *Main Deck* (kiri) dan *Mezzanine Deck* (kanan) 66
Gambar 3.13 Landing *Deck* 66
Gambar 3.14 *Cellar Deck* (kiri) dan Sub-*Cellar Deck* (kanan) 67
Gambar 3.15 Potongan Melintang Profile Tubular (kiri) *Wide Flange* (kanan) ... 69
Gambar 3.16 Potongan Melintang Profile Cone (kiri) Angle (kanan) 69
Gambar 3.17 Pelat pada Deck 69
Gambar 3.18 Beban Equipment pada *Main Deck* 72
Gambar 3.19 Beban Equipment pada *Mezzanine Deck* 73
Gambar 3.20 Beban Equipment pada *Cellar Deck* 73
Gambar 3.21 Beban Equipment pada Sub*Cellar Deck* 73
Gambar 3.22 Beban Anode (kiri) dan Beban Crown Connection (kanan) 74
Gambar 3.23 Beban Pile Centralizer (kiri) dan Beban Pad Eye (kanan) 74

Gambar 3.24 Beban Hidup pada *Main Deck* (kiri) dan *Mezzanine Deck* (kanan) 75
Gambar 3.25 Beban Hidup pada *Jacket* Walkway (kiri) dan Landing Deck (kanan) 75
Gambar 3.26 Beban Hidup pada *Cellar Deck* (kiri) dan Sub-*Cellar Deck* (kanan) 76
Gambar 3.27 Beban Vertikal Crane 76
Gambar 3.28 Momen Crane Arah X (kiri) dan Momen Crane Arah Y (kanan)... 77
Gambar 3.29 Pembagian Beban Angin Arah Y (kiri) Arah X (kanan)..... 77
Gambar 3.30 Beban Angin Arah X (kiri) arah Y (kanan)..... 78
Gambar 3.31 Grafik Apparent Wave Period 79
Gambar 3.32 Penentuan Teori Gelombang 80
Gambar 4.1 Diagram alir analisis *in-place* 85
Gambar 4.2 Critical *Member* pada Kondisi *Operating* 89
Gambar 4.3 Critical *Member* pada Kondisi *Storm* 89
Gambar 4.4 Lokasi *Joint* Punching Shear Maksimum..... 91
Gambar 4.5 *Joint* dengan Defleksi *Horizontal* Maksimum 95
Gambar 4.6 *Joint* dengan Defleksi Vertikal Maksimum (*Main Deck)* 97
Gambar 4.7 *Joint* dengan Defleksi Vertikal Maksimum (*Mezzanine Deck*) 97
Gambar 4.8 *Joint* dengan Defleksi Vertikal Maksimum (*Cellar Deck*) 98
Gambar 4.9 *Joint* dengan Defleksi Vertikal Maksimum (*Subcellar Deck*) 98
Gambar 4.10 *Unity Check Pile* Kondisi Operasi Kedalaman Minimum 99
Gambar 4.11 *Unity Check Pile* Kondisi Operasi Kedalaman Maksimum 100
Gambar 4.12 *Unity Check Pile* Kondisi Badai Kedalaman Minimum 100
Gambar 4.13 *Unity Check Pile* Kondisi Badai Kedalaman Maksimum 100
Gambar 5.1 Diagram Alir Analisis Seismik 102
Gambar 5.2 Input Pembuatan Superelement..... 103
Gambar 5.3 Pengubahan *fixity joint* pada sacinp. 103
Gambar 5.4 Input file Dynpac..... 104
Gambar 5.5 *Joint* yang diubah *fixity joint-nya* 104
Gambar 5.6 Input data spektral gempa 104
Gambar 5.7 Nilai *base shear* 105

Gambar 5.8 Nilai beban sendiri lateral 105
Gambar 5.9 File input pengecekan tegangan *member* 105
Gambar 5.10 File input pengecekan *joint* punching shear..... 106
Gambar 5.11 Modifikasi sacinp. untuk pengecekan kapasitas tiang pancang 106
Gambar 5.12 *Member* dengan UC Ratio terbesar pada Analissi Seismik..... 111
Gambar 5.13 *Joint* Punching Shear terbesar RIE (kiri) dan SLE (kanan) 112
Gambar 6.1 Diagram Alir Analisis *Fatigue*..... 115
Gambar 6.2 Input Center of Damage pada File Sestate..... 116
Gambar 6.3 Input file *dynpac* analisis *fatigue* 117
Gambar 6.4 Modifikasi seastate pada pembentukkan transfer function 117
Gambar 6.5 Grafik transfer function gelombang arah 0 derajat 118
Gambar 6.6 Grafik transfer function gelombang arah 30 derajat 118
Gambar 6.7 Grafik transfer function gelombang arah 60 derajat 118
Gambar 6.8 Grafik transfer function gelombang arah 90 derajat 119
Gambar 6.9 Grafik transfer function gelombang arah 120 derajat 119
Gambar 6.10 Grafik transfer function gelombang arah 150 derajat 119
Gambar 6.11 Grafik transfer function gelombang arah 180 derajat 120
Gambar 6.12 Grafik transfer function gelombang arah 210 derajat 120
Gambar 6.13 Grafik transfer function gelombang arah 240 derajat 120
Gambar 6.14 Grafik transfer function gelombang arah 270 derajat 121
Gambar 6.15 Grafik transfer function gelombang arah 300 derajat 121
Gambar 6.16 Grafik transfer function gelombang arah 330 derajat 121
Gambar 6.17 File Input Analisis Respon Gelombang 122
Gambar 6.18 Modifikasi seastate untuk analisis respon gelombang 122
Gambar 6.19 Grafik Respon Gelombang pada Arah 0 derajat 122
Gambar 6.20 Grafik Respon Gelombang pada Arah 30 derajat 123
Gambar 6.21 Grafik Respon Gelombang pada Arah 60 derajat 123
Gambar 6.22 Grafik Respon Gelombang pada Arah 90 derajat 123
Gambar 6.23 Grafik Respon Gelombang pada Arah 120 derajat 124
Gambar 6.24 Grafik Respon Gelombang pada Arah 150 derajat 124
Gambar 6.25 Grafik Respon Gelombang pada Arah 180 derajat 124

Gambar 6.26 Grafik Respon Gelombang pada Arah 210 derajat 125
Gambar 6.27 Grafik Respon Gelombang pada Arah 240 derajat 125
Gambar 6.28 Grafik Respon Gelombang pada Arah 270 derajat 125
Gambar 6.29 Grafik Respon Gelombang pada Arah 300 derajat 126
Gambar 6.30 Grafik Respon Gelombang pada Arah 330 derajat 126
Gambar 6.31 Cuplikan Input file *fatigue* 127
Gambar 6.32 Visualisasi *joint* dengan *service life* terkecil 128
Gambar 7.1 Diagram Alir Analisis Gelombang..... 129
Gambar 7.2 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi gumbel 135
Gambar 7.3 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Frechet k=2.5..... 135
Gambar 7.4 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Frechet k=3.3..... 136
Gambar 7.5 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Frechet k=5..... 136
Gambar 7.6 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Frechet k=10..... 136
Gambar 7.7 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Weibull k=0.75..... 137
Gambar 7.8 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Weibull k=1..... 137
Gambar 7.9 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Weibull k=1.4..... 137
Gambar 7.10 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Weibull k=2..... 138
Gambar 7.11 PDF Setiap Distribusi Kandidat 140
Gambar 7.12 CDF Setiap Distribusi Kandidat..... 141
Gambar 7.13 Hubungan Antara Tinggi Gelombang Signifikan dan Periode 142
Gambar 7.14 Pengecekan CDF 146
Gambar 8.1 Diagram Alir Analisis *Pushover* 147
Gambar 8.2 Hubungan Antara Tegangan Leleh dengan CBS 150
Gambar 9.1 Diagram Alir Analisis Kehandalan 152
Gambar 9.2 Hubungan Antara EBS dengan H (m) dan Vc (m/s)..... 154

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Koefisien Bentuk 16
Tabel 2.2 Faktor Kinematik Gelombang 20
Tabel 2.3 Current Blockage Factor 20
Tabel 2.4 Nilai Koefisien Bentuk 21
Tabel 2.5 Output Analisis 21
Tabel 2.6 Pile Capacity Factor 26
Tabel 2.7 Assessment Criteria 32
Tabel 2.8 Tingkat Keamanan Berdasarkan Nilai Kehandalan 34
Tabel 2.9 Konstanta Persamaan *Unbiased Plotting Position* 41
Tabel 2.10 Persamaan Variabel Tereduksi 41
Tabel 2.11 Koefisien Empiris untuk Nilai Residual dalam kriteria MIR 42
Tabel 2.12 Nilai D_N menurut jumlah data N dan significance level (α) pada uji kecocokan Kolmogorov-Test. 43
Tabel 3.1 Elevasi *Deck* 50
Tabel 3.2 Kode dan Standar Desain 50
Tabel 3.3 Faktor Kontingensi 51
Tabel 3.4 Properti Material 51
Tabel 3.5 Faktor Tegangan izin 51
Tabel 3.6 Kedalaman Desain 52
Tabel 3.7 Probabilitas setiap arah gelombang 53
Tabel 3.8 Tinggi dan Perioda Gelombang 53
Tabel 3.9 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 0 Derajat 53
Tabel 3.10 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 30 Derajat 54
Tabel 3.11 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 60 Derajat 54
Tabel 3.12 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 90 Derajat 55
Tabel 3.13 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 120 Derajat 55
Tabel 3.14 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 150 Derajat 56
Tabel 3.15 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 180 Derajat 56
Tabel 3.16 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 210 Derajat 57
Tabel 3.17 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 240 Derajat 58

Tabel 3.18 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 270 Derajat..... 58
Tabel 3.19 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 300 Derajat..... 59
Tabel 3.20 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 330 Derajat..... 59
Tabel 3.21 Kecepatan Angin..... 60
Tabel 3.22 Data Arus 60
Tabel 3.23 Tebal Marine Growth..... 61
Tabel 3.24 Data Gempa..... 62
Tabel 3.25 Koefisien hidrodinamika..... 62
Tabel 3.26 Properti Member pada setiap *deck*..... 67
Tabel 3.27 Properti *Member* pada *Jacket*..... 68
Tabel 3.28 Daftar Beban pada Struktur 70
Tabel 3.29 Beban Equipment..... 71
Tabel 3.30 Beban Appurtenance..... 73
Tabel 3.31 Daftar Beban Hidup 75
Tabel 3.32 Beban Akibat Crane..... 76
Tabel 3.33 Beban Angin Arah X Kondisi Operasional..... 77
Tabel 3.34 Beban Angin Arah Y Kondisi Operasional..... 78
Tabel 3.35 Beban Angin Arah X Kondisi *Storm* 78
Tabel 3.36 Beban Angin Arah Y Kondisi *Storm* 78
Tabel 3.37 Perhitungan Apparent Wave Period 1..... 79
Tabel 3.38 Perhitungan Apparent Wave Period 2..... 79
Tabel 3.39 Perhitungan Teori Gelombang..... 80
Tabel 3.40 Beban Mati dan Beban Bouyancy..... 81
Tabel 4.1 Kombinasi Pembebanan Kondisi *Minimum Operating* 82
Tabel 4.2 Kombinasi Pembebanan Kondisi *Maximum Operating* 83
Tabel 4.3 Kombinasi Pembebanan Kondisi *Minimum Storm*..... 83
Tabel 4.4 Kombinasi Pembebanan Kondisi *Maximum Storm* 84
Tabel 4.5 UC Ratio pada Kondisi Operasi..... 86
Tabel 4.6 UC Ratio pada Kondisi *Storm*..... 87
Tabel 4.7 *Joint* Punching Shear Kondisi Operasi 90
Tabel 4.8 *Joint* Punching Shear Kondisi *Storm* 90

Tabel 4.9 Kapasitas Pile kondisi operasi kedalaman maksimum 91
Tabel 4.10 Kapasitas Pile kondisi operasi kedaaman minimum..... 92
Tabel 4.11 Kapasitas Pile kondisi *Storm* kedalaman maksimum 92
Tabel 4.12 Kapasitas Pile kondisi Storm kedalaman minimum 93
Tabel 4.13 Defleksi *Horizontal Operating Minimum Water depth* 93
Tabel 4.14 Defleksi *Horizontal Operating Maximum Water depth*..... 94
Tabel 4.15 Defleksi *Horizontal Storm Minimum Water depth* 94
Tabel 4.16 Defleksi *Horizontal Storm Maximum Water depth*..... 94
Tabel 4.17 Defleksi Vertikal *Operating Minimum Water depth* 95
Tabel 4.18 Defleksi Vertikal *Operating* Maksimum *Water depth*..... 96
Tabel 4.19 Defleksi Vertikal *Storm Minimum Water depth* 96
Tabel 4.20 Defleksi Vertikal *Storm Maximum Water depth*..... 96
Tabel 4.21 Defleksi *Pilehead*..... 98
Tabel 5.1 Hasil iterasi faktor berat lateral struktur 107
Tabel 5.2 Faktor Partisipasi Massa RIE..... 107
Tabel 5.3 Faktor Partisipasi Massa SLE 108
Tabel 5.4 Periode natural struktur RIE 108
Tabel 5.5 Periode natural struktur SLE..... 108
Tabel 5.6 Unity Check Analisis Seismik 109
Tabel 5.7 Unity Check *Joint* Punching Shear RIE..... 111
Tabel 5.8 Unity Check Joint Punching Shear SLE 112
Tabel 5.9 Kapasitas Pile Analisis Seismik..... 113
Tabel 6.1 5 *joint* dengan nilai *service life* terkecil 127
Tabel 7.1 Gelombang Signifikan Maksimum Selama 60 Tahun 130
Tabel 7.2 α dan β Setiap Kandidat Distribusi 131
Tabel 7.3 *Least Square Method* Distribusi gumbel dan Frechet..... 131
Tabel 7.4 Least Square Method Distribusi Weibull..... 133
Tabel 7.5 Parameter Skala dan Lokasi Setiap Distribusi 138
Tabel 7.6 Nilai Korelasi Setiap Distribusi Kandidat..... 138
Tabel 7.7 MIR Setiap Distribusi Kandidat..... 139
Tabel 7.8 Hasil Uji Chi-Square..... 140

Tabel 7.9 Hasil Uji Kolmogorov Smirnov 141
Tabel 7.10 Tinggi dan Periode Gelombang Kalibrasi 143
Tabel 7.11 Parameter Statistik Gelombang 144
Tabel 8.1 Penentuan Arah Ekstrim 149
Tabel 8.2 Hasil *Running Pushover* 149
Tabel 9.1 Hasil *Running In-Place* Sebanyak 25 Kali 153
Tabel 9.2 FORM 2 Iterasi 1-3 161
Tabel 9.3 FORM 2 Iterasi 4-7 162

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim yang kaya akan sumber daya alam. Total luas lautan Indonesia mencapai 3,26 km^2 yang mana merupakan dua pertiga dari keseluruhan wilayah Indonesia. Salah satu sumber daya alam yang dimiliki oleh Indonesia adalah minyak dan gas bumi yang sangat penting bagi kebutuhan aktivitas manusia.

Cadangan minyak yang tersedia semakin menipis dikarenakan kebutuhan manusia yang membutuhkan minyak dan gas semakin meningkat seiring berkembangnya jaman. Berdasarkan data dari BP *Statistical Review of World Energy* 2020, pada tahun 2019 Indonesia memproduksi minyak 781 ribu barrel per hari yang mana Indonesia sendiri memiliki 0.2% cadangan minyak di dunia. Indonesia merupakan produsen gas alam nomor 4 di APAC (*Asia Pacific Assests Corporation*) dengan cadangan gas yang besar meskipun mengalami penurunan aktivitas eksplorasi. Produksi gas Indonesia mengalami penurunan sehingga pemerintah mendorong akselerasi *onsteram project* baru.

Dalam pengembangan lapangan minyak dan gas bumi di laut lepas, dibutuhkan fasilitas berupa anjungan lepas pantai. Untuk membangun anjungan lepas pantai sendiri diperlukan perencanaan yang matang dikarenakan resiko yang diambil sangat tinggi. Indonesia sebagai maritim, memiliki wilayah lautan yang mayoritas merupakan laut dangkal. Oleh karena itu, Indonesia merupakan negara yang cocok untuk dibangun anjungan lepas pantai tipe *fixed platform*.

Pada tugas akhir ini, dilakukan pemodelan struktur *well head platform* tipe *fixed platform* yang memiliki jumlah kaki sebanyak 3 buah. Anjungan lepas pantai ini berlokasi di Selat Makassar. Struktur yang dimodelkan juga akan dilakukan analisis agar struktur tidak mengalami kegagalan yang dikarenakan beban dan kondisi yang terjadi di lapangan. Analisis yang dilakukan antara lain analisis *in-place*, seismik, dan *fatigue.* Analisis lanjut yang akan dilakukan adalah Kehandalan berdasarkan performansi base shear struktur anjungan lepas pantai yang didapatkan dari analisis pushover.

1.2. Tujuan

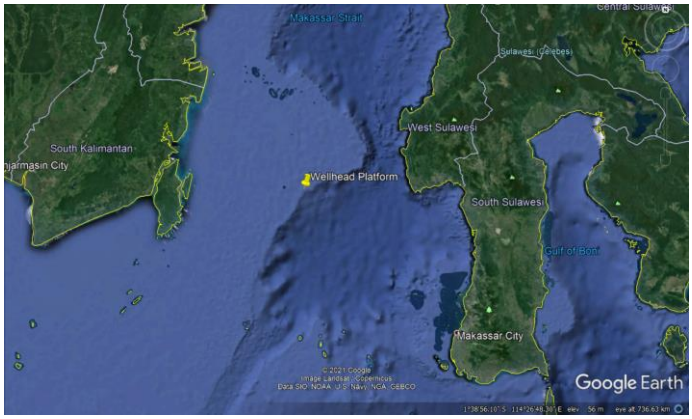
Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan desain struktur anjungan lepas pantai tiga kaki tipe *jacket* berdasarkan kriteria *in-place*, *seismic*, dan juga *fatigue* sesuai dengan standar API RP-2A WSD.
2. Menentukan Indeks kehandalan struktur anjungan lepas pantai tiga kaki tipe *jacket* dengan kondisi lingkungan ekstrim menggunakan FORM 2 berdasarkan fungsi performansi sesuai dengan standar API RP-2A WSD.

1.3. Lokasi Struktur

Struktur yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini berada di wilayah selat Makassar dengan koordinat *latitude* 3°32'56.90"S dan *longitude* 117°41'20.28"E. Lokasi pengerjaan Tugas Akhir dapat dilihat pada **Gambar 1.1** dan **Gambar 1.2**.

Gambar 1.1 Lokasi Struktur Berdasarkan Peta Indonesia
(Sumber : Google earth)



Gambar 1.2 Lokasi Struktur
(Sumber : Google earth)

1.4. Ruang Lingkup

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini, diperlukan ruang lingkup bahasan agar pengerjaan Tugas Akhir ini memiliki Batasan yang jelas. Ruang lingkup dari pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengolahan data gelombang acak untuk mendapatkan distribusi gelombang acak yang paling cocok dan analisis ekstrim untuk mendapatkan gelombang dan arus periode ulang 100 tahun.
2. Mendesain model struktur anjungan lepas pantai tipe *fixed platform* berupa struktur *jacket* yang memiliki jumlah kaki sebanyak tiga buah dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SACS.
3. Melakukan analisis terhadap struktur yang dimodelkan yakni analisis *in-place*, *seismic* dan *spectral fatigue* yang mengacu pada standar API RP-2A WSD.
4. Menghitung indeks kehandalan pada struktur anjungan lepas pantai berdasarkan performansi *base shear* beban lingkungan dan *collapse base shear* sesuai dengan standar API RP-2A WSD.

1.5. Metodologi

Dalam penulisan Tuga Akhir ini, metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan dan Pengolahan data

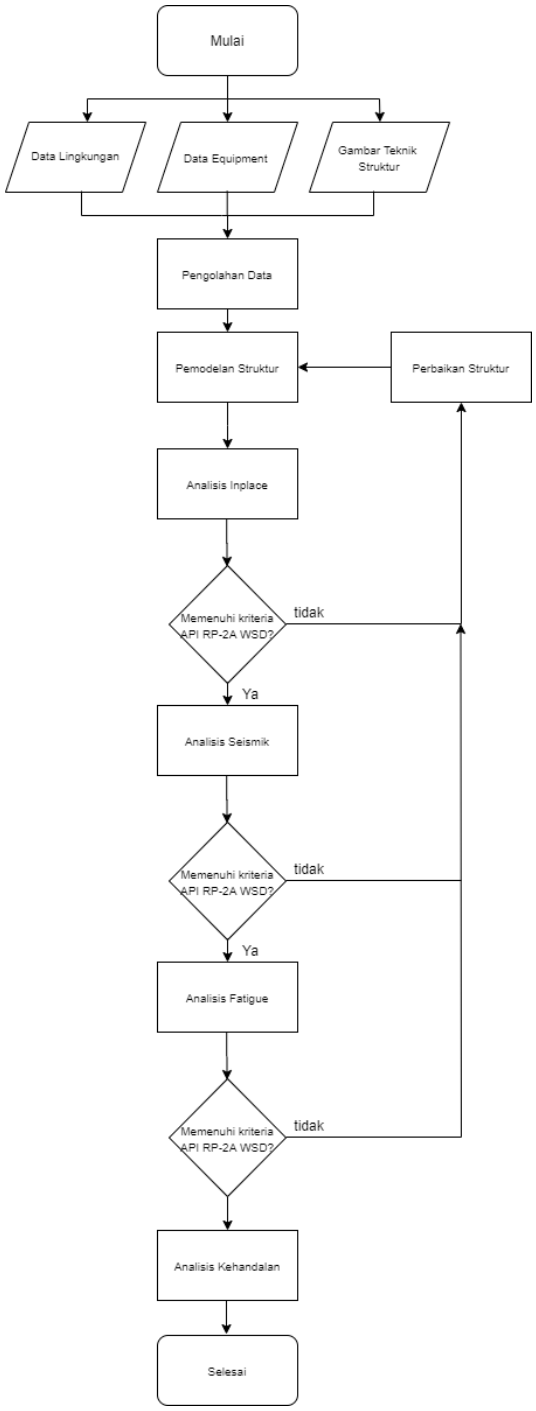
   Data yang dikumpulkan antara lain data lingkungan, data peralatan pada *paltform*, dan gambar teknik struktur. Beberapa data yang sudah dikumpukan akan diolahi sesuai dengan keperluan analisis struktur.
2. Pemodelan Struktur

   Pemodelan struktur anjungan lepas pantai tipe *fixed platform* dengan jumlah kaki sebanyak 3 buah berupa struktur *jacket* dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SACS.
3. Analisis Struktur

   Analisis yang dilakukan adalah analisis *inplace*, *seismic*, dan *fatigue* dengan tujuan mengetahui kekuatan struktur saat diberikan berbagai beban dan kondisi yang berbeda. Selanjutnya dilakukan analisis kehandalan

menggunakan FORM 2 dengan fungsi performansi berdasarkan *base shear*. Analisis dilakukan dengan mengacu standar API RP-2A WSD.

Pengerjaan tugas akhir ini akan mengikuti metodologi yang dapat dilihat pada **Gambar 1.3**.



Gambar 1.3 Diagram Alir Tugas Akhir

1.6. Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang dari topik Tugas Akhir, lokasi pengerjaan Tugas Akhir, tujuan, ruang lingkup, metodologi dan diagram alir dari pengerjaan Tugas Akhir.

BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan mengenai teori dasar anjungan lepas pantai, pembebanan pada anjungan lepas pantai serta analisis yang akan dilakukan meliputi analisis gelombang, *inplace*, seismik, *fatigue*, *pushover* dan kehandalan.

BAB 3 PEMODELAN DAN PEMBEBANAN STRUKTUR

Pada bab ini dijelaskan mengenai proses pemodelan dari struktur dimulai dari *jacket* hingga *deckk*, dijelaskan juga data-data yang tersedia seperti data lingkungan, data peralatan hingga data beban yang akan dimasukkan kedalam struktur.

BAB 4 ANALISIS IN-PLACE

Pada bab ini dijelaskan mengenai hasil analisis *inplace* yang telah dilakukan. Hasil analisis dari keemapat kondisi meliputi *unity check member, joint can,* defleksi dan kapasitas tiang pancang.

BAB 5 ANALISIS SEISMIK

Pada bab ini dijelaskan mengenai hasil analisis seismik yang telah dilakukan. Hasil analisis dari kondisi SLE dan RIE meliputi *unity check member, joint can* dan kapasitas tiang pancang.

BAB 6 ANALISIS *FATIGUE*

Pada bab ini dijelaskan mengenai analisis *spectral fatigue* yang telah dilakukan dengan tahapan pengerjaannya dab hasil analisis menggunakan kriteria API RP 2A-WSD dan dipaparkan hasil dari analisis *fatigue*.

BAB 7 ANALISIS GELOMBANG

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengolahan data gelombang acak SEAFINE selama 60 tahun di perairan selat makassar. Dilakukan analisis kecocokkan distribusi gelombang untuk mendapatkan distribusi yang paling cocok dengan gelombang acak yang akan digunakan pada analisis kehandalan. Selain itu dilakukan juga analisis parameter statistik dari gelombang acak 60 tahun.

BAB 8 ANALISIS PUSHOVER

Pada bab ini akan dijelaskan tahapan dan hasil dari analisis pushover yang berupa nilai RSR dan nilai *collapse base shear* serta hubungan antara *collapse base shear* dengan dan tegangan leleh acak.

BAB 9 ANALISIS KEHANDALAN

Pada bab ini akan dijelaskan simulasi analsis *inplace* untuk mengetahui *Environmental Base Shear*, tahapan analisis kehandalan menggunakan metode FORM II dan hasil analsiis kehandalan berupa indeks kehandalan dan *probability of failure* dari struktur yang dianalisis.

BAB 10 PENUTUP

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan dan saran atas Tugas Akhir yang dikerjakan.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1. Anjungan Lepas Pantai

Anjungan Lepas Pantai adalah struktur yang berada di lepas pantai dan biasanya digunakan untuk mendukung eksplorasi dan produksi minyak dan gas. Anjungan Lepas Pantai tidak memiiki akses ke daratan sehingga harus dapat menahan segala kondisi cuaca yang terjadi di lepas pantai. Anjungan Lepas Pantai dapat berupa struktur yang dipasang di dasar laut atau berupa struktur terapung yang dapat ditambatkan ke dasar laut (Charkabarti, 2005).

2.1.1. Jenis Anjungan Lepas Pantai

Terdapat 3 jenis anjungan lepas pantai yang digunakan dalam industri minyak dan gas alam, yaitu *fixed platform*, *compliant platform* dan *floating platform*.

1. *Fixed Platform*

   Fixed Platform merupakan struktur anjungan lepas pantai yang dipancang ke dasar laut. *Fixed Platform* dapat berupa *Jacket* ataupun *Concrete Gravity Platform.* Karena struktur ini dipancang ke dasar laut, maka struktur ini memiliki keterbatasan yaitu tidak dapat diaplikasikan di laut dalam.

   Platform Jacket terdiri dari tubular baja vertical yang ditopang dengan tiang pancang yang dipancang di dasar laut. *Jacket Platform* terdiri dari beberapa tubular yang dihubungkan sehingga menjadi kerangka 3 dimensi. *Jacket Platform* biasanya memiliki jumlah kaki dari 3 sampai 8 buah. Struktur anjungan lepas pantai tipe ini merupakan tipe yang paliug umum digunakan. Contoh *Jacket Platform* dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.

Gambar 2.1 *Jacket Platform*
(Sumber: Inside the first fully automated offshore *platform* (offshore-technology.com))

Concrete Gravity Platform dibangun ngen material utama beton bertulang yang mengandalkan kekuatan gravitasi untuk mempertahankan kestabilan struktur akibat beban-beban yang dikenai. Struktur ini biasanya digunakan pada perairan yang tidak dalam dikarenakan struktur ini sangat massif sehingga sangat sulit untuk membangun struktur ini untuk perairan yang dalam. Contoh *Concrete Gravity Platform* dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.

Gambar 2.2 *Concrete Gravity Platform*
(Sumber: *Gravity* base structures from around the world | Structurae)

2. *Compliant Platform*

   Compliant Platform merupakan tipe anjungan lepas pantai yang teridir dari Menara yang lebih kecil dari *Fixed Platform* dan pondasi tiang yang dapat menahan beban *deck* untuk kebutuhan ekplorasi/produksi minyak dan gas. Menara yang dirancang sesuai untuk menopang defleksi dan beban lateral yang cukup besar dan biasanya stuktur tipe ini digunakan di kedalaman air mulai dari 1500 kaki hingga 3000 kaki (450 m hingga 900 m). Dengan bantuan tali yang diikatkan ke dasar laut, struktur ini dapat menahan beban lateral yang signifikan dan juga compliant *platform* didesain untuk memiliki frekuensi natural dibawah frekuensi beban dinamik, berlawanan dengan fixed *platform* yang memiliki frekuensi natural diatas frekuensi beban dinamik. Contoh *Compliant Platform* dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.

Gambar 2.3 Compliant Tower
(Sumber: www.wison.com)

3. *Floating Platform*

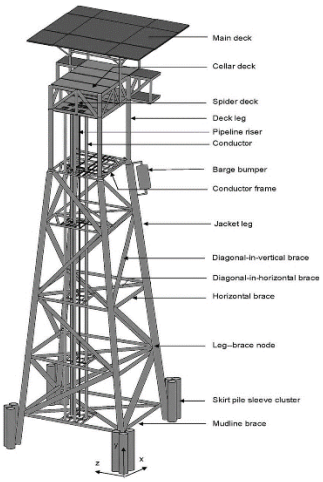
   Floating Platform sebuah struktur yang mengapung di permukaan laut dan menggunakan *mooring* atau *dynamic positioning system* dengan menggunakan GPS agar struktur tetap berada di lokasi yang sama. Produksi dari *subsea wells* disalurkan ke permukaan dengan menggunakan riser yang didesain untuk mengakomodir pergerakan anjungan. Struktur ini dapat berupa semi-submersible seperti *Floating Production System* (FPS) atau berupa kapal tanker yang ditambat ke dasar laut *seperti Floating Production, Storage and Offloading System* (FPSO). Ilustrasi struktur jenis ini ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.

Gambar 2.4 Floating *Platform*
(Sumber : Semi-submersible floating drilling rig Severnoye Siyanie (aoosk.ru))

2.1.2. Anjungan Lepas Pantai Tipe *Jacket*

Struktur anjungan lepas pantai tipe *jacket* merupakan struktur fix yang terpancang ke dasar laut. Anjungan lepas pantai tipe *jacket* terdiri dari *pile, jacket, deck,* dan

conductor. Pile pada struktur anjungan lepas pantai tipe *jacket* memiliki fungsi sebagai fondasi struktur *jacket* yang menahan beban lateral danaksial yang ditransformasikan ke tanah, sedangkan *jacket* berfungsi sebagai pelindung pipa dan menjadi selubung pada saat pipa dipancang. *Deck* berfungsi sebagai tempat melakukan seluruh aktivitas yang berhubungan dengan produksi minyak dan gas oleh karena itu *deck* dilengkapi oleh pelat agar mudah dipijak dan ditempatkan peralatan. Berikut ilistrasi bagian struktur anjungan lepas pantai tipe *jacket* dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Ilustrasi Bagian Struktur *Jacket*
(Sumber : Okoro, Uzoma & Kolios, Athanasios. (2018). Multicriteria risk assessment framework for components' risk ranking: Case study of a complex oil and gas support structure. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. 25. 10.1002/mcda.1651.)

2.1.2.1. Deck

Deck merupakan bagian struktur anjungan lepas pantai yang berfungsi sebagai tempat seluruh aktivitas yang menunjang ekplorasi dan produksi minyak dan gas. *Deck* pada struktur anjungan lepas pantai dapat dibagi menjadi beberapa bagian yang bertujuan agar aktivitas yang dilakukan diatas *deck* lebih efisien dan aman. Pada umumnya *deck* dibagi menjadi:

1. *Main Deck*

   Main deck merupakan bagian *deck* yang menunjang sistem *drilling/production* dan juga dapat menjadi tempat penyimpanan *equipment*, *living quarter* dan sebagainya.

2. *Cellar Deck*

   Cellar deck merupakan bagian *deck* yang menunjang peralatan yang perlu diletakkan di bawah *main deck* seperti pompa, *pig launcher*, *receiver*, *christmas trees* dan perpipaan lainnya.

3. *Crane Deck*

   Crane Deck merupakan bagian *deck* yang berfungsi sebagai tempat diletakkannya *Pedestral Crane*.

4. *Heli Deck*

   Heli Deck merupakan bagian *deck* yang berfungsi sebagai tempat berlabuhnya helicopter.

5. *Deck* lainnya seperti sub*cellar deck* dan mezannine *deck* yang dapat menjadi tempat untuk peralatan lainnya.

Berikut contoh *deck* pada anjungan lepas pantai dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.

Gambar 2.6 *Deck* pada Anjungan Lepas Pantai
(Sumber : Offshore *Platforms* / Projects / Home - Tecon Srl)

Elevasi setiap *deck* dapat ditentukan berdasarkan jarak terhadap *deck* dibawahnya dan elevasi *deck* terendah harus lebih tinggi dari *splash zone* ditambah dengan *air gap* sebesar 5 ft menurut API RP-2A WSD agar tidak terkena gelombang tertinggi. Elevasi *deck* terendah *minimum* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Elevasi_{deckminimum} = HAT + SS + \frac{H}{2} + Freeboard$$

Dimana;

- HAT = *Highest Astronomical Tide*
- SS = *Storm Surge*

- H = Tinggi gelombang terbesar
- $Freeboard$ = Air Gap (5 ft)

2.1.2.2. Jacket

Jacket merupakan bagian dari anjungan lepas pantai yang befungsi sebagi penyalur beban lateral seperti beban lingkungan, *Storm*, *boat landing* dan lain-lain ke *pile*. *Jacket* juga berfungsi sebagai penyangga *topside/deck* yang diletakkan diatasnya. Contoh gambar *jacket* pada anjungan lepas pantai dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.

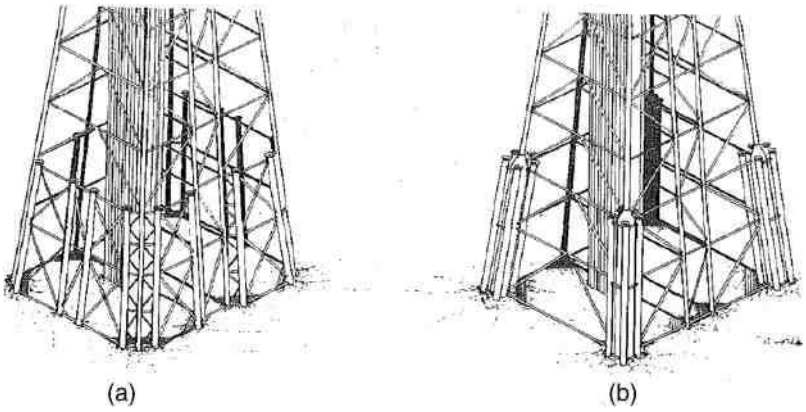
Gambar 2.7 *Jacket* pada Anjungan Lepas Pantai
(Sumber : Construction completed on first Bohai Phase 3 *wellhead platform jacket* | spiritnow stories (conocophillips.com))

2.1.2.3. Pile

Pile merupakan bagian dari anjunagn lepas pantai tipe *jacket* yang berfungsi sebagai fondasi struktur *jacket* yang menahan beban lateral dan aksial yang ditransformasikan ke tanah. Pada sturktur anjungan lepas pantai tipe *jacket*, *pile* dan *jacket* biasanya dipancangkan dengan kemiringan tertentu (biasanya disebut *batter*) dengan tujuan untuk menahan beban lateral pada tanah. Berikut contoh gambar *pile* pada anjungan lepas pantai tipe *jacket* dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.

Gambar 2.8 Pile pada Anjungan Lepas Pantai
(Sumber: *Jacket* installation *services* - Acteon)

Pile dihubungkan dengan *jacket leg* menggunakan *crown plate*. Ukuran *pile* harus lebih kecil dari *jacket leg* agar *pile* dapat masuk kedalam *jacket leg.* Terdapat dua macam tipe pemasangan *pile* pada struktur anjungan lepas pantai yakni *pile* yang dipancangkan ke dalam *jacket*, dapat juga menggunakan *skirt pile* yang dipancang di luar *jacket leg*. Ilustrasi *pile* dan *skirt pile* dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 (a). Pile dan (b). Skirt Pile
(Sumber : Dallyn, Paul & El-Hamalawi, Ashraf & Palmeri, Alessandro & Knight, Robert. (2015). Experimental testing of grouted connections for offshore substructures: A critical review. Structures. 3. 10.1016/j.istruc.2015.03.005.)

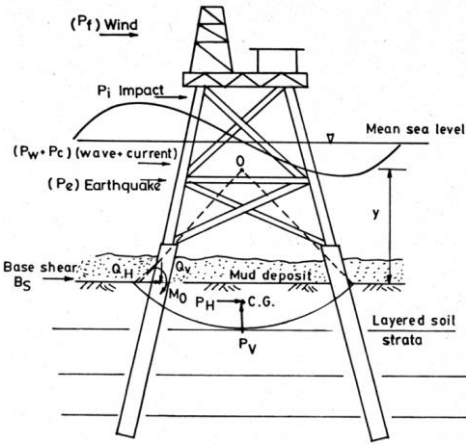
2.1.2.4. Conductor

Conductor merupakan bagian anjungan lepas pantai yang berupa pipa berdiameter besar yang ditanam ke tanag dan membantu menstabilkan struktur untuk lubang pengeboran. *Conductor* memiliki fungsi sebagai pengebor minyak dari *reservoir* ke *wellhead*. Contoh gambar *conductor* pada anjungan lepas pantai dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.

Gambar 2.10 *Conductor* pada Anjungan Lepas Pantai
(Sumber : *Conductor* engineering - Acteon)

2.2. Beban pada Struktur

Dalam pengoperasiannya, struktur anjungan lepas pantai akan dikenai beban yang berasal dari factor-faktor tertentu. Oleh karena itu, struktur anjunga lepas pantai harus didesain sedemikian rupa sehingga mampu menahan beban yang bekerja pada struktur tersebut. Beban yang dipertimbangkan meliputi beban mati, beban hidup dan beban lingkungan. Berikut ilustasi struktur anjungan lepas pantai yang dikenai beban dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Ilustrasi Pembebanan Anjungan Lepas Pantai
(Sumber : Anjaneyulu, K & Dey, Arindam & Basudhar, Prabir. (2008). Stability of submarine slopes subjected to wave forces and external loadings.)

2.2.1. Beban Mati

Menurut API RP-2A WSD, Beban mati merupakan bobot dari semua struktur *platform* dan peralatan yang sifatnya permanen dan tidak berubah terhadap kondisi operasi. Yang termasuk beban mati adalah sebagai berikut:

1. Berat sendiri struktur anjungan lepas pantai;
2. Berat *equipment* dan struktur pelengkap yang dipasang secara permanen pada struktur anjungan lepas pantai; dan
3. Beban akibat gaya hidrostattis yang bekerja dibawah permukaan laut, termasuk tekanan luar dan *buoyancy*.

2.2.2. Beban Hidup

Menurut API RP-2A WSD, Beban hidup merupakan beban yang dikenakan pada *platform* selama beban tersebut digunakan dan dapat berubah terhadap berbagai kondisi operasi. yang termauk beban hidup adalah sebagai berikut:

1. Beban alat pengeboran dan produksi yang dapa ditambahkan dan dihapus dari struktur anjungan lepas pantai;
2. Berat *living quarters*, *heliport*, dan peralatan pendukung keselamatan lainnya yang dapat ditambahkan atau dilepas dari struktur anjungan lepas pantai;
3. Berat persediaan dan cairan yang dapat dikonsumsi pada *storage tanks*.
4. Beban akibat gaya ang diberikan pada struktur seperti pengeboran, penangan material atau penambatan kapal dan helicopter muatan; dan
5. Beban akibat gaya yang diberikan pada struktur dari penggunaan crane.

2.2.3. Beban Lingkungan

Menurut API RP-2A WSD, Beban lingkungan adalah beban yang dikenai pada struktur anjungan lepas pantai meliputi angin, arus, gelombang, gempa bumi, salju, es dan pergerakan bumi. Beban lingkungan juga mencakup variasi tekanan hidrostatik dan gaya apung yang disebabkan oleh perubahan permukaan air karena gelombang dan pasang surut.

Arah beban lingkungan yang dianalisis ditentukan berdasarkan jumlah kaki *jacket*. Berdasarkan API RP-2A WSD untuk struktur fixed *jacket* dengan jumlah kaki sebanyak tiga buah dibutuhkan minimal 12 arah beban lingkungan. Beban lingkungan yang akan dianalisis pada analisis *in-place* diantara beban lingkungan akibat angin, arus dan gelombang.

2.2.3.1. Beban Angin

Beban angin merupakan merupakan beban dinamik yang bekerja pada bagian struktur anjungan lepas pantai yang tidak terkena air meliputi peralatan dan alat berat yang terletak di elevasi *deck*. Meskipun beban angin bersifat dinamis, beberapa struktur akan merespon dengan cara yang hamper statis.

Kecepatan dan arah angin bervariasi bergantung pada ketinggian. Referensi elevasi data angin adalah 10 m. Untuk kondisi angin kencang, kecepatan angin desain u (z,t) (ft/s) pada ketinggian z (ft) di atas permukaan air laut dan sesuai dengan periode rata-rata t(s) [dimana t<t0 ;t0=3600 sec] dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\boldsymbol{u(z,t) = U(z)x[1 - 0.41xI_u(z)xln\left(\frac{t}{t_0}\right)}$$

Dimana U(z) adalah kecepatan angin rata0rata satu jam pada ketinggian tertentu yang dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$U(z) = U_0 x\left[1 + Cxln\left(\frac{z}{32.8}\right)\right]$$

Dimana,

$$C = 5.73x10^{-2}x(1 + 0.0457xU_0)^{0.5}$$

Dan $I_u(z)$ merupakan intensitas turbulen pada ketinggian z yang dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$I_u(z) = 0.06x[1 + 0.0131xU_0]x\left(\frac{z}{32.8}\right)^{-0.22}$$

Sedangkan U_0 (ft/s) adalah kecepatan angin rata-rata satu jam pada ketinggian 32.8 ft atau 10 meter. Setelah ditentukan keceapatan angin desain U(z,t), gaya angin dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F = \left(\frac{\rho}{2}\right)U^2(z,t)C_sA$$

Dimana;

- F = gaya angin (kips)
- ρ = massa jenis angin (0.0023668 slugs/ft^3 untuk tekanan dan temperature standar)
- u = kecepatan angin (ft/s)
- C_s = koefisien bentuk
- A = luas permukaan objek (ft^2)

Koefisien bentuk Nilai koefisien bentuk didapatkan berdasarkan dari jenis area yang terproyeksi dengan asumsi beban angin sebagai beban statik yang bekerja pada *joint* kaki *deck* sesuai dengan elevasi setiap *deck*.

Tabel 2.1 Nilai Koefisien Bentuk
(Sumber : API RP-2A WSD, 21st Edition)

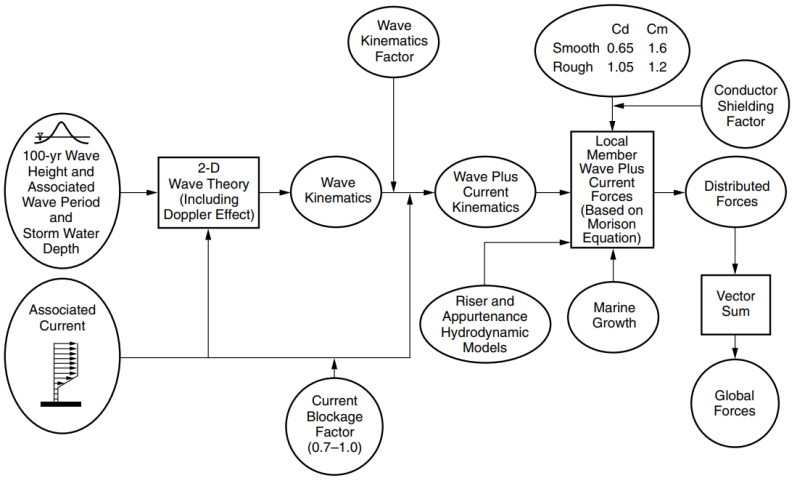
Proyeksi Area	C_s
Balok	1.5
Sisi Struktur	1.5
Penampang silinder	0.5
Penampang Keseluruhan	1

2.2.3.2. Beban Arus

Beban arus merupakan jumlah vektor pasang surut, angin musin, sirkulasi laut dan pengaruh cuaca seperti badai. Skala relatif komponen ini, dan dengan demikian kepentingan mereka untuk menghitung beban, bervariasi dengan lokasi lepas pantai. Arus pasang surut umumnya lemah di perairan dalam melewati patahan. Mereka umumnya lebih kuat di continental shelves yang luas daripada di shelves curam, tapi jarang melebihi 1 kaki / s (0,3 m / s) di sepanjang garis pantai terbuka. Arus pasang surut dapat diperkuat oleh konfigurasi garis pantai atau dasar sehingga arus pasang surut yang kuat dapat ada di banyak daerah perairan dan pesisir; misalnya, nilai permukaan sekitar 10 ft / s (3 m / s) dapat terjadi di Cook Inlet. Untuk pemodelan struktur anjungan lepas pantai dibutuhkan kecepatan arus di setiap kedalaman tertentu yang juga dapat menjadi penentu konfigurasi *boat landing*.

2.2.3.3. Beban Gelombang

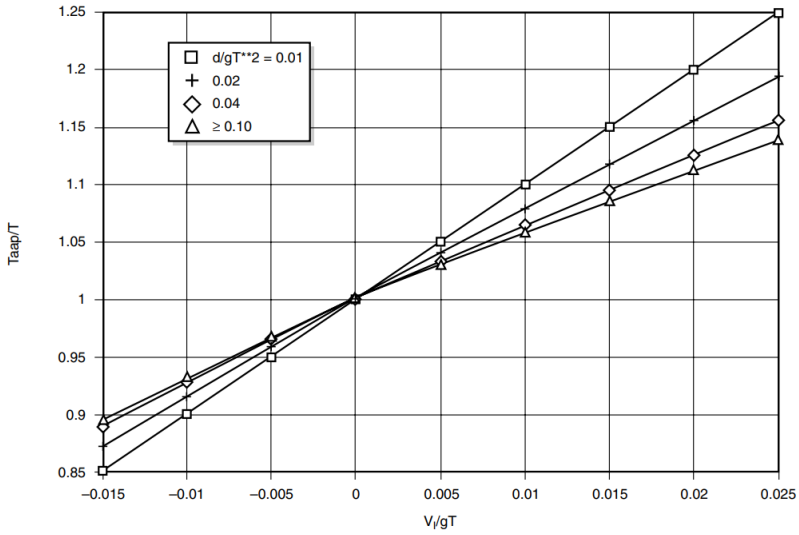
Gelombang terjadi akibat adanya angin yang berhembus. Beban gelombang yang dikenai pada struktur anjungan lepas pantai merupakan beban dinamik. Pada anjungan lepas pantai tipe *fixed* ini beban gelombang dilakukan menggunakan analisis statik karena pada banyak perencanaan struktur, beban gelombang dapat direpresentasikan oleh nilai statiknya. Berikut adalah skema perhitungan gelombang dan berbagai hal yang dapat diperhatikan dalam perhitungannya dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Skema Perhitungan Gelombang
(Sumber : API RP-2A WSD, 21st Edition)

1. Penentukan *Apparent Wave Period*

   Arus yang searah dengan gelombang cenderung meregangkan Panjang gelombang, sedangkan arus yang berlawanan cenderung memperpendek panjang gelombang. *Apparent wave period* dapat dihitung menggunakan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 2.13** dengan cara menghitung nilai V/gT dan d/gT^{2}dan membandingan nilai tersebut kedalam grafik. Walaupun dalam penggunaan grafik pada **Gambar 2.13** menggunakan asumsi profil arus seragam untuk seluruh kedalaman, hasil yang didapatkan cukup akurat untuk profil arus "slab" dengan profil seragam dari permukaan air sampai kedalaman 50 meter.



Gambar 2.13 Pegeseran Doppler akibat arus stabil
(Sumber : API RP-2A WSD, 21st Edition)

Sebagai catatan, **Gambar 2.13** dapat digunakan hanya untuk nilai d/gT^2 > 0.01. Untuk nilai d/gT^2 < 0.01, perhitungan *apparent wave periode* dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\left(\frac{T_{app}}{T}\right) = 1 + V\sqrt{gd}$$

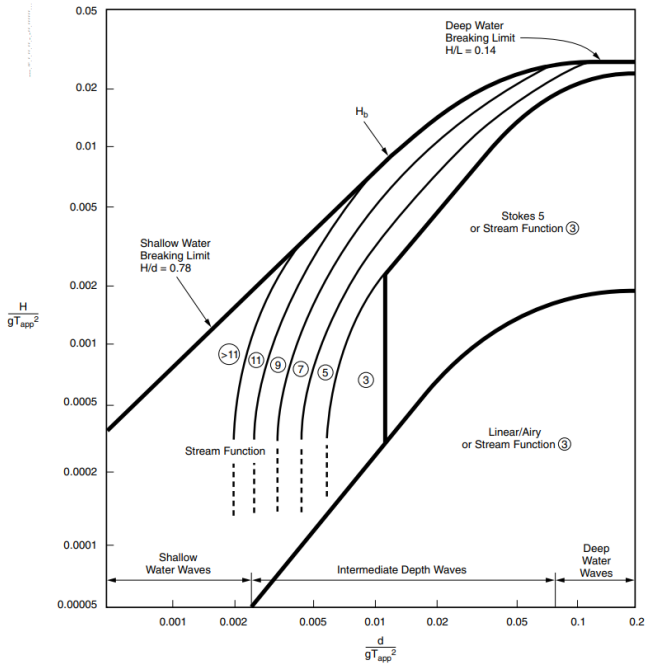
Dimana,

- d = Kedalaman perairan pada kondisi *Storm* (m)
- T = Perioda gelombang asli (s)
- g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
- V = Kecepatan Arus (m/s)

- T_{app} = *Apparent Wave Periode* (s)

2. Penentuan Teori Kinematik Gelombang

   Dengan mengetahui nilai periode semu T_{app}, kedalaman perairan d, dan tinggi gelombang H, maka teori kinematik gelombang yang sesuai dengan karakteristik perairan dapat ditentukan dengan melihat grafik pada **Gambar 2.14**. Teori kinematik gelombang ditentukan dengan cara menghitung nilai kedalaman relative $\left(\frac{d}{gT_{app}^2}\right)$ dan kecuraman gelombang $\left(\frac{H}{gT_{app}^2}\right)$ dan membandingkan terhadap grafik.



Gambar 2.14 Regions of Applicability of Stream Function, Stokes V, and Linear Wave Theory
(Sumber : API RP-2A WSD, 21st Edition)

3. Penentuan Faktor Kinematik Gelombang

   Teori kinematic gelombang baik stream function maupun Stokes orde V tidak memperhitungkan ketidakteraturan pada bentuk profil gelombang. Maka dari itu, kecepatan dan percepatan *horizontal* gelombang yang didapatkan dari solusi teori gelombang regular 2 dimensi perlu dikalikan dengan faktor kinematik gelombang. Berikut nilai dari faktor kinematik dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Faktor Kinematik Gelombang
(Sumber : API RP-2A WSD, 21st Edition)

Nilai	Keterangan
0.85 - 0.95	Perairan dengan *tropical Storm*
0.95 – 1.00	Perairan dengan *extreme tropical strom*

4. Penentuan *Current Blockage Factor*

   Kecepatan arus di sekitar struktur anjungan lepas pantai dikurangi dari "aliran bebas" yang ditentukan dengan *blockage factor*. Dengan kata lain, dengan adanya struktur anjungan lepas pantai menyebabkan aliran menyimpang. Dalam penentuan beban gelombang, diperlukan untuk mengalikan kecepatan arus dengan sebuah faktor. Faktor tersebut bergantung pada jumlah kaki dari struktur *jacket* yang dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Current Blockage Factor
(Sumber : API RP-2A WSD, 21st Edition)

legs	Heading	Factor
3	All	0.90
4	End-on	0.80
	Diagonal	0.85
	broadside	0.80
6	End-on	0.75
	Diagonal	0.85
	broadside	0.80
8	End-on	0.70
	Diagonal	0.85
	broadside	0.8

5. Penentuan Pengaruh *Marine Growth*

   Semua member struktur, konduktor, riser dan perlengkapan harus di tingkatkan dari segi area penampangnya untuk memperhitungkan ketebalan *marine growth*. Oleh karena itu dengan adanya *marine growth* akan menambah luas proyeksi dari member struktur dan juga menambah tingkat kekasaran pada permukaan struktur.

6. Penentuan *Drag* dan Inersia *Coefficient*

   Perhitungan beban gelombang pada struktur anjungan lepas pantai tipe *jacket* umumnya menggunakan persamaan Moorison. Persamaan Moorison

membutuhkan koefisien drag dan inertia. Koefisien tersebut dipengaruhi oleh kekasaran dari permukaan penampang. Nilai koefisien berdasarkan kekasaran permukaan dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Nilai Koefisien Bentuk
(Sumber : API RP-2A WSD, 21st Edition)

Kekasaran Permukaan	C_d	C_m
Halus	0.65	1.6
Kasar	1.05	1.2

2.3. Analisis Struktur

Pada anjungan lepas pantai terdapat istilah yang disebut umur layan. Umur layan adalah batas waktu tertentu yang harus dicapai oleh sebuah struktur agar bertahan selama beroperas di laut lepas. Struktur anjungan lepas pantai didesain untuk bertahan pada lokasi dan memfasilitasi industry minyak dan gas dengan umur layan sebagai batasannya. Untuk memastikan sturktur tersebut dapat bertahan atau tidak harus dilakukan beberapa analisis yang diantaranya adalah analisis *in-place*, analisis *seismic*, dan analisis *fatigue*. Masing-masing analisis akan mengeluarkan ouput yang dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Output Analisis

Analisis	Output
Analisis *In-place*	*Unity check* tegangan, *joint punching shear*, factor keamanan tiang pancang
Analisis *Seismic*	*Unity check* tegangan dan *joint punching shear*
Analisis *Fatigue*	Nilai *service life*
Analisis Kehandalan	Indeks Kehandalan

2.3.1. Kombinasi Pembebanan

Sebelum analisis dimulai, seluruh beban yang telah diinput ke model akan dikombinasikan sehingga menjadi kombinasi pembebanan yang biasanya terjadi di lapangan. Kombinasi pembebanan yang dimaksud yaitu:

1. Kombinasi pembebanan kondisi operasional dengan kedalaman maksimum;
2. Kombinasi pembebanan kondisi operasional dengan kedalaman *minimum*;
3. Kombinasi pembebanan kondisi badai dengan kedalaman maksimum; dan

4. Kombinasi pembebanan kondisi badai dengan kedalaman *minimum*.

Dengan menggunakan konsep desain WSD maka faktor pembebanan setiap kategori beban adalah sama. Secara umum, kombinasi pembebanan untuk kondisi *operating* adalah :

$$D + L + E$$

Sedangkan untuk kondisi *Storm* digunakan kombinasi seperti berikut :

$$D + 0.75L + E$$

Dimana;

- $D =$ Beban Mati;
- $L =$ Beban Hidup;
- $E =$ Beban Lingkungan

2.3.2. Analisis In-Place

Analisis *in-place* merupakan analisis struktur yang bertujuan untuk mengetahui kondisi struktur setelah berada laut lepas dan sudah beroperasi sesuai dengan fungsinya. Pada analisis *in-place* dilakukan dua macam kombinasi yakni kombinasi dengan kondisi *operating* (perioda ulang 1 tahunan) dan kondisi *Storm* (perioda ulang 100 tahunan). Masing-masing kondisi akan digunakan dua macam kedalaman yakni kedalaman maksimum dan *minimum* yang perhitungannya dapat dilihat pada rumus sebagai berikut:

$$d_{max} = d + HAT + SS$$

$$d_{min} = d + LAT + SS$$

Dimana;

- $d_{max} =$ kedalaman maksimum
- $d_{min} =$ kedalaman *minimum*
- $d =$ kedalaman perairan dengan MSL sebagai datum
- $HAT =$ *Highest Astronomical Tide*
- $LAT =$ *Lowest Astronomical Tide*
- $SS =$ *Storm Surge*

2.3.2.1. Unity Check Tegangan Member

Pada analisis *inplace* dilakukan pengecekan *unity check* tegangam member pada setiap member grup struktur. Unity check dapat didefinisikan sebagai perbandingan

antara tegangan pada *member* dengan tegangan izin yang diperbolehkan terjadi dimana nilai rasio maksimum yang diizinkan adalah 1. Pada kondisi *operating* tegangan izin diberikan factor bernilai 1 sedangkan untuk kondisi *Storm* tegangan izin diberikan faktor 1.33. Faktor tegangan izin tersebut dimodelkan dengan AMOD dimana AMOD berfungsi sebagai pemberian faktor pada *allowable stress*. Nilai UC akan diambil dari nilai terbesar dari persamaan sebagai berikut:

$$UC = \frac{f_a}{f_c} + \frac{C_m\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{\left(1 - \frac{f_a}{\frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}}\right)F_b}$$

$$UC = \frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b}$$

Jika *member* memiliki nilai $\frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$, maka UC dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$UC = \frac{f_a}{F_a} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b}$$

Untuk nilai UC dari pile, dapat dihitung dengan UC single pile analysis dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$UC = \frac{\frac{P}{A}}{F_{xc}} + \frac{2}{\pi}\left|\sin^{-1}\frac{\frac{M}{Z}}{F_{xc}}\right|$$

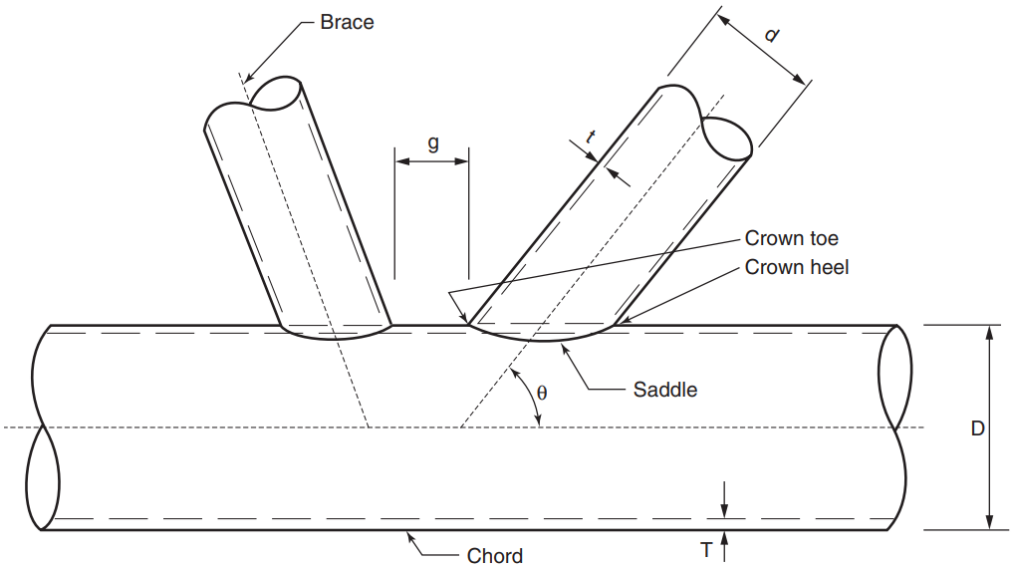
Dimana;

- f_a = *Axial loading (kips)*
- F_a = *Allowable axial stress (ksi)*
- C_m = *Reduction factor*
- f_{bx} = *X axis bending moment (kips-ft)*
- f_{by} = *Y axis bending moment (kips-ft)*
- K = *effective length factor*
- E = *Elastic modulus (ksi)*

- I = *Moment of Inertia (ft^4)*
- F_b = *Allowable bending stress (ksi)*
- F_y = *Yeild Strength (ksi)*
- F_{xc} = *Inelastic local buckling stress (ksi)*
- P = *Non-linear analysis axial loading (kips)*
- A = *Cross-sectional area (ft^2)*
- M = *Non-linear bending moment (kips-ft)*
- Z = *Plastic sectional modulus (ft^3)*

2.3.2.2. Pemeriksaan Joint Punching Shear

Pemeriksaan *Joint Punching Shear* dilakukan pada sambungan antara *jacket* dengan *horizontal bracing* dan diagonal *bracing* dimana sambungan tersebut dapat menyebabkan *buckling* akibat tekanan dari *bracing* ke *jacket* leg. Umumnya beban geser tersebut terjadi pada sambungan *joint* can pada *jacket*. Ilustrasi *joint can* dapat dilihat pada **Gambar 2.15**.



Gambar 2.15 Ilustrasi *Joint* Can
(Sumber : API RP-2A WSD, 21st Edition)

Perhitungan *Unity Check joint can* dibagi menjadi 2 yakni *Load UC* dan *Stremgth UC*. Berdasrkan API RP-2A WSD perhitungan *Load UC* dan *Strength UC* dapat dilihat dari persamaan sebagai berikut:

$$Load\ UC = \left[\frac{V_p}{V_{pa}}\right]_{IPB} + \left[\frac{V_p}{V_{pa}}\right]_{OPB} \leq 1.0$$

$$Load\ UC = \left|\frac{V_p}{V_{pa}}\right|_{\Delta X} + \frac{2}{\pi} arcsin \sqrt{\left[\frac{V_p}{V_{pa}}\right]^2_{IPB} + \left[\frac{V_p}{V_{pa}}\right]^2_{OPB}}$$

Dimana;

- V_p = *Actual punching shear*
- V_{pa} = *Allowable punching shear*

$$Strength\ UC = \frac{F_{yb}\gamma\tau sin\theta}{F_{yc}\left(11 + \frac{1,5}{\beta}\right)} \leq 1.0$$

Dimana;

- f_a = *Yield strength* pada *joint* chord
- F_a = *Yield strength* pada *brace member*
- $\gamma = \frac{Diameter\ chord}{2(Tebal\ Chord)}$
- τ = Tebal *Chord*
- β = Perbandingan diameter *brace* dengan *chord*
- θ = Sudut *brace*

Pada pengecekan *joint punching shear*, output dari pengecekan ini adalah *unity check* dimana definisi dari *unity check* sendiri sama dengan pada pengecekan *unity check member* dengan nilai batas izin adalah 1.0. Pada *Strength UC* dibandingkan 0.5 kekuatan efektri dari *member* dengan tegangan yang terjadi pada sambungan yang dianalisis.

2.3.2.3. Kapasitas Pile

Pada pengecekan kapasitas tiang pancang, output dari pengecekan ini adalah *safety factor* yang dipengaruhi oleh kapasitas beban tekan dan tarik yang terjadi. Pengecekan kapasitas tiang pancang ini bertujuan untuk mengetahui apakah kapasitas tiang pancang melebihi kapasitas izin dari tiang pancang. Berdasarkan API RP-2A WSD, berikut syarat nilai *minimum* safety factor tersebut berdasarkan kondisi yang terjadi dapat dilihat pada **Tabel 2.6**.

$$SF = \frac{Pile\ with\ Soil\ Axial\ Capacity}{Axial\ Load}$$

Tabel 2.6 Pile Capacity Factor

Kondisi	*Safety Factor*
Operating	2
Storm	1.5

2.3.2.4. Defleksi Joint

Pengecekan defleksi ditujukan untuk mengecek *service*alibity dari struktur anjungan lepas pantai. Defleksi yang dicek terdiri dari defleksi vertikal, horizontal dan defleksi *pilehead*. Berdasarkan SNI – 03 – 1729 – 2000 (Tata cara perencanaan struktur baja) nilai defleksi izin arah vertikal pada *deck*, berdasarkan ISO 9001 nilai defleksi izin arah lateral pada *deck* dan defleksi izin pada *pilehead* menggunakan nilai absolutnya dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut:

$$\delta_{vertikalmax} = \frac{L}{100}$$

$$\delta_{horizontalmax} = \frac{H}{200}$$

$$\delta_{pileheadmax} = \frac{OD}{10}$$

Dimana;

- $\delta_{vertikal}$ = Defleksi vertical
- $\delta_{horizontal}$ = Defleksi *Horizontal*
- $\delta_{pilehead}$ = Defleksi *pilehead*
- L = Jarak lateral antara *acting joint* dengan *joint* acuan
- OD = Diameter luar tiang pancang
- H = Jarak dalam arah vertical antrara *acting joint* dengan *joint* acuan

2.3.3. Analisis Seismic

Analisis seismik merupakan analisis dinamis pada struktur anjungan lepas pantai sebagai akibat dari gempa yang terjadi di laut lepas. Analisis seismik dilakukan dengan tujuan sturkutur dapat menahan gaya akibat beban gempa yang dikenakan pada struktur. Berdasarkan API RP-2A analisis seismik dilakukan apabila suatu daerah memiliki percepatan tanah lebih dari 0.05g, kurang dari angka tersebut dapat dikatakan bahwa pergerakan seismik di daerah tersebut rendah sehingga beban lingkungan yang lain lebih berpengaruh.

Pada saat gempa terjadi, tidak ada aktivitas manusia pada struktur sehingga beban hidup yang digunakan untuk analisis seismik ini hanya sebesar 75% dari total. Kombiasi pembebanan pada analisis seismik dengan konsep WSD adalah sebagai berikut:

$$D + 0.75L + E$$

Dimana;

- $D =$ Beban mati;
- $L =$ Beban hidup; dan
- $E =$ Beban gempa

Berdasarkan API RP-2A *section* 2.3.6, terdapat 2 kriteria untuk melakukan analisis seismik, yakni:

1. *Strength Level Earthquake (SLE)*

   Analisis seismik SLE merupakan analisis seismik dengan menggunakan data gempa yang sangat mungkin terjadi selama masa layan struktur. Pada analisis ini umumnya periode gempa yang digunakan adalah 200 tahun. Struktur harus masih harus berada kondisi elastis ketika beban gempa terjadi.

2. *Ductility Level Earthquake (RIE)*

   Analisis seismik RIE merupakan analisis seismik dengan menggunakan data gempa yang kecil kemungkinannya terjadi saat masa layan dan biasanya periode yang diambil dapat mencapai ribuan tahun. Jika beban gempa ini terjadi, struktur boleh mengalami kerusakan kecil yang tidak signifikan namun tidak boleh runtuh.

Hasil analisis yang diddapat pada analisis seismik sama dengan analsis *in-place* yang mana menghitung rasio tegangan seluruh member agar tidak melebihi satu dengan faktor tegangan izin sebesar 1.70.

2.3.4. Analisis *Fatigue*

Analisis *fatigue* merupakan analisis yang mempertimbangkan kelelahan dari struktur akibat beban berulang (siklik) yang terjadi. Struktur akan mengalami *damage* yang disebabkan tegangan kecil namun terjadi berulang kali.

Damage Fatigue disebabkan oleh dua hal yaitu *hotspot stress* dan *micro crack*. Hotspot stress adalah tegangan yang terjadi pada titik di sekitar diskontinuitas struktur misalnya pada sambungan las. Tegangan pada titik hotspot lebih besar daripada titik lainnya. Maka dari itu pada titik ini harus diperhitungkan dengan suatu faktor yang bernama stress concentration factor (SCF). Sedangkan *micro crack* adalah celah-celah kecil pada struktur sebagai akibat dari pengelasan yang tidak sempurna yang biasanya terjadi ketika struktur yang dilas tidak digerinda. Hal ini dapat memperbesar *damage fatigue*.

Analisis *fatigue* pada anjungan lepas pantai terdapat dua jenis metode yang sering digunakan yakni metode analisis *fatigue deterministic* dan analis *fatigue spectral*.

1. Analisis *fatigue deterministic*

   Analisis *fatigue deterministic* merupakan analisis *fatigue* yang mana struktur anjungan lepas pantai disimulasikan menerima gelombang laut berdasarkan frekuensi dan tinggi gelombang dengan jumlah kejadian tertentu secara terus menerus yang akhirnya akan didapat tegangan maksimum dari beban gelombang tersebut sehingga dijumlahkan untuk mengetahui total kerusakan dan umur layan dari struktur anjungan lepas pantai tersebut.

2. Analisis *fatigue spectral*

   Analisis *fatigue spectral* merupakan analissi *fatigue* yang menggunakan spektrum energi gelombang acak. Metode ini memerlukan pendekatan secara statistik untuk menghasilkan fungsi transfer respons structural. Fungsi transfer ini digunakan untuk mendapatkan tegangan maksimum (HSS) dari struktur. Metode ini digunakan dalam pengerjaan tugas akhir dikarenakan datanya yang mendukung.

Pada analisis *fatigue spectral*, data gelombang determintistik yang memiliki periode dan tinggi yang berbeda-beda dihitung gayanya. Struktur dikenakan gelombang tersebut dan akan menghasilkan rentang tegangan pada setiap membernya, Adapun spectrum gelombang dapat menghasilkan rentang tegangan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_{RMS} = \sqrt{\int_0^\infty H_i^2(f) x S_i(f) x df}$$

Dimana;

- σ_{RMS} = rentang tegangan (spektrum)
- $H_i(f)$ = *transfer function*
- $S_i(f)$ = *wave power spectral density*

Metode ini menggunakan *stress concentration factor (SCF)*. Persamaan SCF merupakan persamaan persamaan empiris yang mana merupakan perbandingan antara tegangan pada daerah *hotspot* terhadap tegangan normal. Persamaan SCD yang sering digunakan adalah persamaan SCD Efthymiou (1988).

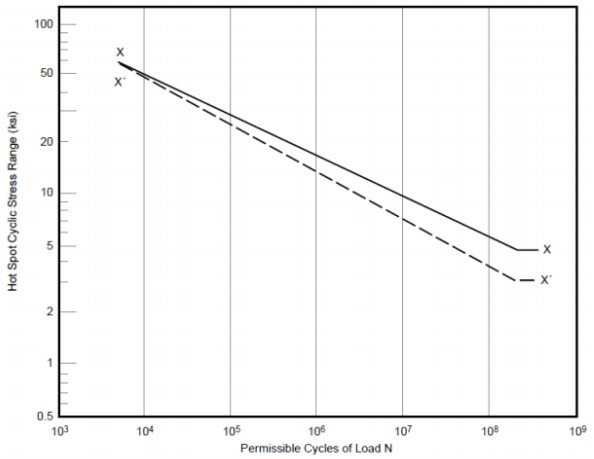
Transfer function adalah rasio dari bentangan siklus dengan dan tinggi gelombang dan dijadikan sebagai nilai frekuensi. Umumnya digunakan *wave steepness* 1/15, 1/20, atau 1/25 dengan berbagai periode untuk membentuk *transfer function*. Sekelompok gelombang harus dipilih dalam pembentukan transfer function sehingga dapat merepresentasikan kondisi lingkungan yang sesungguhnya.

Pada analisis *fatigue spectral*, jumlah kejadian gellmbang selama masa layan struktur anjungan lepas pantai dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$n_i = \frac{m_i L}{T_z} = \frac{m_i L}{\sqrt{\frac{\int_0^\infty S_i(f) x df}{\int_0^\infty f_i^2 x S_i(f) x df}}}$$

Dimana;

- L = umur layan desain terfaktor;
- m_i = probabilitas teradinya suatu *stress range*
- T_z = periode gelombang *zero-crossing*



Note: These curves may be represented mathematically as

$$N = 2 \times 10^6 \left(\frac{\Delta_\sigma}{\Delta_{\sigma ref}}\right)^{-m}$$

where N is the permissible number of cycles for applied cyclic stress range Δ_σ, with $\Delta_{\sigma ref}$ and m as listed below.

Curve	$\Delta_{\sigma ref}$ Stress Range at 2 Million Cycles	m Inverse Log-Log Slope	Endurance Limit at 200 Million Cycles
X	14.5 ksi (100 MPa)	4.38	5.07 ksi (35 MPa)
X'	11.4 ksi (79 MPa)	3.74	3.33 ksi (23 MPa)

Gambar 2.16 Kurva S-N
(Sumber : API RP-2A WSD, 21st Edition)

Kurva S-N adalah karakteristik *fatigue* yang umum digunakan dari suatu bahan yang mengalami tegangan berulang dengan besar yang sama. Dari kurva S-N dapat disimpulkan bahwa semakin besar tegangan berulang yang terjadi maka semakin sedikit siklus menuju kegagalan struktur. Kurva tersebut diperoleh dari tes spesimen baja yang diberi beban berulang sebesar N siklus hingga spesimen tersebut gagal, namun kurva S-N hanya menyediakan informasi untuk pembebanan dengan amplitude yang konstan sehingga untuk beban lingkungan dengan amplitude yang berbeda-beda, kurva S-N dilengkapi dengan aturan *Palmgren-Miner*. Nilai *damage* akibat beban berulang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$D = \sum_{i=1}^{I} \frac{n_i}{N_i}$$

Dimana;

- $D = damage$ (kerusakan);
- $n_i =$ jumlah siklus pada rentang tegangan beban gelombang ke-I;
- $N_i =$ jumlah siklus yang diizinkan oleh kurva S-N apda rentang tegangan beban gombang ke-i.

Fatigue damage pada setiap pasangan tinggi dan periode gelombang yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$D_{i,\sigma_{rms}} = \frac{n_i}{N_{i,\sigma_{rms}}} p_{\sigma_{RMS}}$$

Dimana;

- $N_{i,\sigma_{rms}}$ = jumlah kejadian yang menghasilkan keruntuhan pada suatu *stress range*
- $p_{\sigma_{RMS}}$ = probabilitas terjadinya suatu spektrum *stress range*

Kegagalan analisis *fatigue* terjadi ketika nilai D mencapat angka 1.00. Menurut API RP-2A WSD, stuktur anjungan lepas pantai harus memiliki *service life* dua kali lebih besar dari umur layan.

2.3.5. Analisis *Pushover*

Analisis *Pushover* merupakan analisis statik plastik non-linier yang digunakan untuk mengetahui kekuatan dan plastisitas struktur terhadap beban geser. Analisis ini diperlukan karena analisis seismik dan *in-place* tidak memperhatikan daktilitas dari sebuah struktur sehingga tidak terlihat keruntuhan struktur akibar tegangan yang berlebih.

Kombinasi beban vertikal dan beban lingkungan pada struktur digunakan untuk melakukan analisis *pushover* dengan beban vertikal bernilai tetap sedangkan beban lingkungan ditambahkan secara bertahap hingga struktur mengalami keruntuhan. Beban lingkungan yang digunakan merupakan beban lingkungan pada saat kondisi badai sehigga menghasilkan nilai beban lingkungan terbesar yang dapat terjadi pada struktur. Hasil dari analisis ini yaitu berupa *reserve strength ratio* (RSR) yang dihitung menggunakan analisa non linier elemen hingga. Berikut perhitungan RSR dapat dilihat pada rumus dibawah.

$$RSR = \frac{F_{collapse}}{F_{initial}}$$

Dimana;

- $F_{collapse}$ = Beban struktur saat struktur mengalami keruntuhan (*Collapse*)
- $F_{initial}$ = Beban pada stuktur saat kondisi lingkungan ekstrim

Berdasarkan API RP-2A WSD, nilai RSR minimum pada struktur berbeda sesuai dengan kondisinya. RSR minimum dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Assessment Criteria
(Sumber : API RP-2A WSD, 21st Edition)

Assessment Category	Exposure Category		Design Level Analysis	Ultimate Strength Analysis
	Consequence of Failure	Life Safety		
A-1	High	Manned, Non-Evacuated or Unmanned	85% of lateral loading caused by 100-year environmental conditions	1.6
A-3	Low	Unmanned	50% of lateral loading caused by 100-year environmental conditions	0.8

2.3.6. Analisis Kehandalan

Dalam perencanaan struktur, sebuah struktur diharuskan memiliki kekuatan atau kapasitas yang lebih besar dibandingkan dari efek beban yang diterapkan. Namun pada kenyataannya ada beberapa faktor yang menyebabkan ketidakpastian dalam parameter yang berhubungan dengan beban dan kapasitas. Hal ini menyebabkan permenuhan akan kebutuhan perencanaan menjadi tidak sederhana.

Analisis kehandalan diperlukan untuk meninjau kegagalan struktur dengan memperhatikan probabilitas struktur mengalami kegagalan dengan beban yang terjadi oleh karena itu struktur harus memenuhi *limit-state* agar selisih antara beban pada kondisi ekstrim dan kapasitas struktur cukup besar. Jenis-jenis *limit-state* adalah sebagai berikut:

- *Ultimate limit state;*
- *Fatigue limit state;*
- *Serviceability limit state;* dan
- *Accidental limit state.*

Limit-state yang digunakan dapat diubah menjadi sebuah fungsi yang dinamakan fungsi performasi.

Fungsi performasi merupakan fungsi yang dapat menggambarkan akumulasi kegagalan pada struktur yang dianalisis. Sebuah analisis kehandalan harus ditentukan fungsi performasinya yang dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$Z = g(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

Dimana;

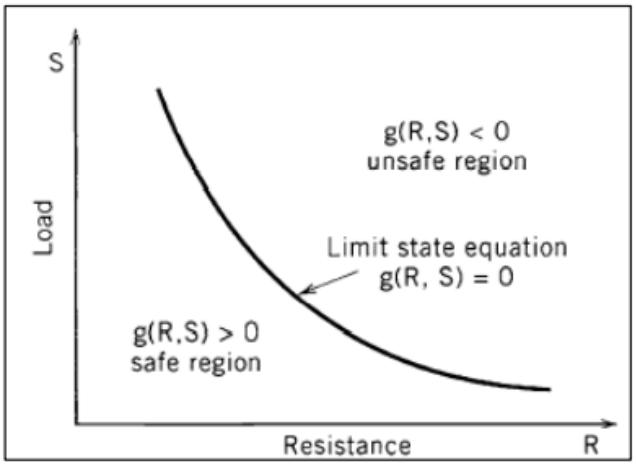
- $Z =$ Fungsi performasi; dan
- $X_i =$ Variabel acak yang merepresentasikan beban dan kapasitas struktur.

Limit-state terjadi ketika nilai Z sama dengan 0 atau bahkan lebih kecil sesuai dengan **Gambar 2.17**. Persamaan performasi pada umumnya dapat ditulis dengan persamaan sebagi berikut:

$$Z = g(R - S) = R - S$$

Dimana;

- $R =$ Kekuatan yang dimiliki oleh struktur; dan
- $S =$ Beban yang diterima oleh struktur.



Gambar 2.17 Konsep *Limit State*
(Sumber : Haldar, 2000)

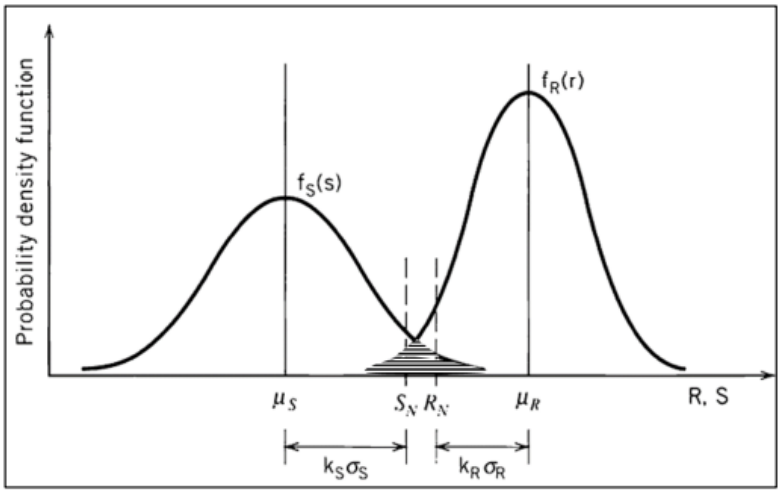
Karena kegagalan struktur dapat dinotasikan dengan Z<0 maka probabilitas kegagalannya dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_f = \int_{g(\ )<0} f_x(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n$$

$$P_f = P(R - S < 0)$$

$$\beta = \Phi^{-1}(1 - P_f)$$

Dimana P_f merupakan probabilitas sebuah struktur mengalami kegagalan dan β merupakan tingkat keamanan dari sebuah struktur.



Gambar 2.18 Ilustrasi hubungan probabilitas kapasitas dan beban
(Sumber : Haldar, 2000)

Sebagai contoh, pada gambar **Gambar 2.18** ditunjukkan bahwa sebuah keadaan dimana terdapat dua variabel yakni R yang merupakan ketahanan setruktur terhadap beban dan S yang merupakan beban yang mengenai struktur, kedua variabel ini saling berkaitan. Kedua variabel ini memiliki parameter statistik yakni rerata, standar deviasi dan *probability density function* (PDF) yang sesuai. Didapat nilai nominal dari parameter beban S dan kapasitas R dengan notasi S_N dan R_N berdasarkan pendekatan faktor keamanan.

Berdasarkan Bai dan Jin (2016), rekomendasi tingkat keamanan struktur anjungan lepas pantai dapat dilihat pada **Tabel 2.8**.

Tabel 2.8 Tingkat Keamanan Berdasarkan Nilai Kehandalan

Nomor	Tingkat Keamanan	Probabilitas Kegagalan (P_f)	Nilai Kehandalan (β)
1	Rendah	10^{-2}	2.32
2	Sedang	10^{-3}	3.09
3	Tinggi	10^{-4}	3.72

Dimana setiap tingkat keamanan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tingkat Keamanan Rendah

   Kelas Keamanan Rendah adalah kondisi di mana kegagalan member atau joint tidak berakibat terhadap keselamatan manusia dan kerusakan lingkungan. Ketika kerusakan tersebut terjadi pada kelas ini pun kondisinya dapat dimonitor dan tidak diperlukan perlakuan khusus.

2. Tingkat Keamanan Sedang

   Kelas Keamanan Sedang adalah kondisi di mana kegagalan mengakibatkan resiko terhadap keselamatan manusia, bahaya minor terhadap bagian utama anjungan, kerusakan minor terhadap lingkungan, dan kerugian ekonomi tertentu.

3. Tingkat Keamanan Tinggi

   Kelas Keamanan Tinggi adalah kondisi di mana kegagalan mengakibatkan resiko terhadap keselamatan seluruh anjungan, begitu juga terhadap keselamatan manusia, dan kerusakan lingkungan serta kerugian ekonomi yang besar.

Analisis kehandalan dapat digunakan dengan berbagai metode yang sederhana agar pengerjaannya tidak rumit. Metode tersebut secara umum dapat dibagi menjadi 2 yakni pendekatan analitis dan simulsi. Pendekatan analitis yang digunakan adalah menggunakan fungsi integral yang dibagi menjadi 2 jenis yaitu FORM (*First Order Reliability Methods*) dan SORM (*Second Order Reliability Methods*), metode simulasi yang dapat digunakan yakni simulasi Monte Carlo. Pada pengerjaan tugas akhir ini akan dilakukan analisis kehandalan menggunakan FORM 2.

Tahapan analisis kehandalan menggunakan FORM 2 dapat dijabarkan menjadi 8 step sebagai berikut:

1. Menentukan fungsi performasi yang menggambarkan keadaan beban dan tahanan yang terjadi pada struktur.
2. Mengasumsikan nilai awal dari titik desain dari variabel acak yang telah ditentukan dan hitung nilai sesuai dari fungsi performasi. Titik desain awal dapat berupa nilai rata-rata dari variabel acak jika informasi yang dimiliki tidak cukup.

3. Hitung rata-rata dan simpangan baru pada titik desain dari distribusi normal ekuivalen untuk variabel-variabel yang tidak terdistribusi normal. Menentukan koordinat titik desain dalam ruang normal untuk masing-masing variabel dengan persamaan sebagaib berikut:

$$x_i'^* = \frac{x_i' - \mu_{x_i}^N}{\sigma_{x_i}^N}$$

4. Menghitung turunan parsial $\frac{\partial g}{\partial X_i}$ di *design point* untuk setiap variabel acak yang didefinisikan.
5. Menghitung turunan parsial $\frac{\partial g}{\partial X_i'}$ pada ekuivalen *standard normal* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial g}{\partial X_i'} = \frac{\partial g}{\partial X_i}\frac{\partial X_i}{\partial X_i'} = \frac{\partial g}{\partial X_i}\sigma_{X_i}^N$$

6. Menghitung nilai baru untuk *design point* dalam standar ekuivalen ruang normal dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$x_{k+1}'^* = \frac{1}{|\nabla g(x_k'^*)|^2}[\nabla g(x_k'^*)^t x_k'^* - g(x_k'^*)]\nabla g(x_k'^*)^t$$

7. Menghitung jarak ke titik desain baru dengan titik desain awal. Hasil dari perhitungan ini dinamakan nilai kehandalan (β). Perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\beta = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i'^*)^2}$$

Setelah dilakukan perhitungan nilai kehandalan, nilai tersebut diperiksa apakah sudah perbedaan nilai kehandalan dengan *design point* baru dengan *design point* awal kurang dari 0.001. Apabila masih kurang maka harus dilakukan iterasi ulang hingga nilai kehandalan memenuhi.

8. Menentukan nilai yang baru untuk design point pada desain awal dengan menggunakan persamaaan sebagai berikut:

$$x_i^* = \mu_{x_i}^N + \sigma_{x_i}^N . x_i'^*$$

Setelah mendapatkan nilai baru untuk *design point* baru, dilakukan perhitungan nilai *g( )*. Apabila nilai *g( )* masih lebih dari 0.001 maka harus dilakukan iterasi ulang untuk langkah 3-7.

2.4. Analisis Statistik dan Probabilitas

2.4.1. Teori Statistik

Statistika merupakan sebuah cabang ilmu yang mempelajari mengenai proses pengolahan data. Statistik adalah data yang dapat berupa angka maupun huruf yang telah diolah sehingga menjadi sebuah informasi yang berkaitan dengan permasalahan tertentu. Statistik akan digunakan untuk meninjau probabilitas terjadinya suatu kejadian. Parameter statistik yang digunakan antara lain:

1. Rerata

   Rerata dapat didefinisikan menjadi beberapa arti yakni nilai harapan dari suatu peubah acak, sebuah nilai yang menjadi pusat dari sebaran data acak atau jika dilihat dari sisi matematisnya rerata merupakan momen pertama dari suatu peubah acak. Rerata dapat dihitung menggunakan persaaman sebagai berikut:

$$\mu_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i)$$

2. Varian

   Varian dalam ilmu statistik dapat didefinisikan sebagai ukuran seberapa jauh sebauh kumpulan data acak tersebar. Varian selalu bernilai positif, jika bernilai nol artinya semua data yang ada bernilai sama. Varian dapat dihitung menggunakan persaaman sebagai berikut:

$$Var(X) = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu_x)^2$$

3. Standar Deviasi

   Standar deviasi adalah sebuah parameter statistik yang digunakan untuk melihat pesebaran data dari sebuah sampel dan seberapa dekat dengan rerata dari sebuah sampel. Standar deviasi dapat dihitung menggunakan persaaman sebagai berikut:

$$\sigma_x = \sqrt{Var(X)}$$

4. Koefisien Varian

   Koefisien varian adalah perbandingan antara simpangan dan rerata dari sebuah data yang tersebar yang digunakan untuk mencari nilai rata-rata yang terdapat pada kelompok data tertentu. Koefisien varian dapat dihitung menggunakan persaaman sebagai berikut:

$$Cov(X) = \delta_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x}$$

2.4.2. Analisis Ekstrim Gelombang

Analisis ektrim gelombang diperlukan pada perancangan struktur anjungan lepas pantai agar mengetahui tinggi gelombang maksimum yang dapat terjadi di suatu daerah tertentu. Langkah pertama untuk melakukan analisis ekstrim gelombang adalah pemilihan gelombang desain, tinggi gelombang yang digunakan biasanya merupakan tinggi gelombang badai yang terjadi sekali dalam periode ulang tertentu, misalnya 100 tahun.

Untuk pemilihan data gelombang dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode *annual maxima* (AM). Pada metode *annual maxima* (AM) diambil data tinggi gelombang signifikan tertenggi di setiap tahun. Data tinggi gelombang yang telah dipilih dianalisis dan dicocokan dengan beberapa fungsi distribusi. Fungsi distribusi kumulatif yang umum digunakan menurut Goda adalah sebagai berikut:

1. Fisher-Tippet tipe I (FT-1) atau dikenal sebagai distribusi Gumbel:

$$F(x) = \exp\left[-exp\left(-\frac{x-B}{A}\right)\right] : -\infty < x < \infty$$

2. Fisher-Tippet tipe II (FT-II) atau dikenal sebagai distribusi Frechet:

$$F(x) = \exp\left[-\left(1+\frac{x-B}{A}\right)^{-k}\right] : B - kA < x < \infty$$

3. Distribusi Weilbull:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-B}{A}\right)^{k}\right] : B < x < \infty$$

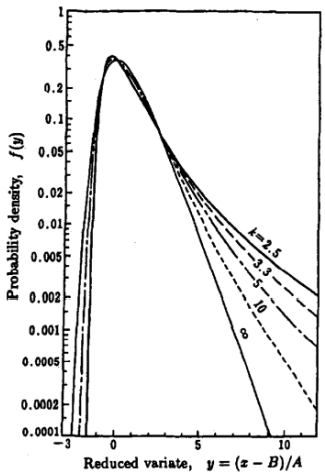
4. Distribusi Lognormal

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}Ax}\exp\left[-\frac{(lnx - B)^2}{2A^2}\right] : 0 < x < \infty$$

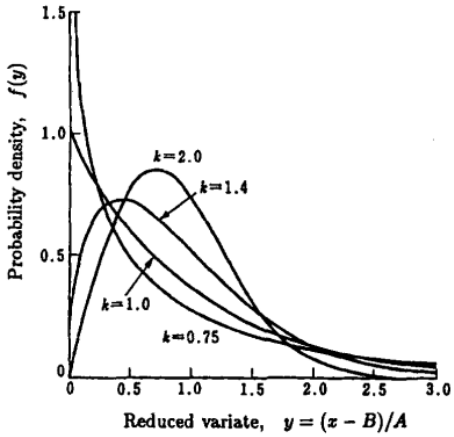
Dimana;

- $A =$ Parameter skala karena mengatur skala linier *x*;
- $B =$ Parameter lokusi karena menentukan lokasi sumbu *x*;
- $k =$ Parameter bentuk karena nilainya menentukan fungsional bentuk distribusi.

Parameter k tidak memiliki dimensi tetap parameter A dan B memiliki satuan yang sama dengan x kecuali untuk distribusi lognormal. Berikut contoh grafik probabilitas untuk keempat distribusi dengan koefisien bentuk yang berbeda-beda dapat dilihat pada **Gambar 2.19** dan **Gambar 2.20**.



Gambar 2.19 PDF FT-I (k=∞) dan FT-II (k=2.5 s.d 10)



Gambar 2.20 PDF Weibull (k=0.75 s.d 2.0)

Untuk mencocokan data gelombang dengan beberapa fungsi distribusi dapat dilakuan dengan beebreapa metode diantaranya adalah sebagai berikut:

- *Graphical Fitting Method;*
- *Least Square Method;*
- *Methods of moments;* dan
- *Maximum likehood method*.

Graphical Fitting Method dan *Least Square Method* memerlukan pengaruhan ulang data dalam sampel yang diberikan dalam urutan menurun dengan menempatkan data terbesar di posisi paling atas. Data yang disusun ulang diberikan probabilitas menurut nomor urut setiap data dan ukuran sampel N (jumlah data dalam suatu sampel). Dalam metode pencocokkan grafik digunakan lembar probabilitas khusus yang dirancang sedemikian rupa sehingga distribusi tertentu akan direpresentasikan sebagai garis lurus di lembar tersebut. Data ekstrim diplot di lembar probabilitas distribusi yang dipilih, diambil garis lurus yang paling sesuai secara visual. Metode *least square* mengeliminasi proses penilaian visual dan dapat membuat perbandingan objektif dalam *goodness of fit*.

Dalam metode *least square* parameter dari setiap fungsi distribusi harus dicari. Fungsi yang digunakan harus dibuat agar menyerupai garis lurus. Agar metode ini memenuhi kondisi yang tidak bias maka digunakan persamaan posisi plot sebagai berikut:

$$\widehat{F_{(m)}} = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}$$

Dimana;

- $\widehat{F_{(m)}}$ = Persamaan *unbiased plotting position*;
- m = Nomor urut data;
- N = Jumlah total kejadian tinggi gelombang pada suatu sampel;
- α, β = Konstanta *formula unbiased plotting position* yang dapat dilihat pada **Tabel 2.9**;

Tabel 2.9 Konstanta Persamaan *Unbiased Plotting Position*

Distribusi	α	β	*Authors*
FT-II	$0.44 + 0.52/k$	$0.12 - 0.11/k$	Goda dan Onzawa
FT-I	0.44	0.12	Gringorten
Weibull	$0.20 + 0.27/\sqrt{k}$	$0.20 + 0.23/\sqrt{k}$	Goda
Normal	0.375	0.25	Blom
Lognormal	0.375	0.25	Blom

Setiap fungsi distribusi akan diubah menjadi sebuah persamaan garis lurus yang dapat dinotasikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$x_m = \hat{B} + \hat{A} y_m$$

Dimana;

- $A =$ Parameter skala;
- $B =$ Parameter lokasi;
- $x_m =$ Tinggi gelombang; dan
- $y_m =$ Variabel tereduksi yang dapat dihitung menggunakan **Tabel 2.10**.

Tabel 2.10 Persamaan Variabel Tereduksi

FT-I	$y_m = -\ln\left[-ln\hat{F}_m\right]$
FT-II	$y_m = k\left[\left(-ln\hat{F}_m\right)^{-\frac{1}{k}} - 1\right]$
Weibull	$y_m = \left[-\ln\left(1 - \hat{F}_m\right]^{-\frac{1}{k}}$

Setelah dilakukan metode *least square*, distribusi kandidat dicocokan dengan data observasi. Persamaan garis yang didapat, dicari koefisien korelasinya menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$r = \frac{Cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\frac{1}{N-1}\sum_{m=1}^{N}(x_m - \bar{x})(y_m - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}$$

Dimana;

- $Cov(x,y) =$ Koefisien varian dari variabel x_m dan y_m; dan
- $\sigma(x,y) =$ Standar deviasi dari variabel x_m dan y_m.

Untuk menguji karakteristik dari koefisien korelasi digunakan nilai residunya, didefinisikan sebagai $\Delta r = 1 - r$. Goda dan Kobune menyarankan untuk menggunakan kriteria MIR (*Minimum Ratio of Residual Coefficient*) sebagai

penilaian pencocokkan kurva distribusi. Distribusi dengan rasio terkecil adalah yang paling tepat untuk data gelombang. Goda dan Kobune menurunkan rumus empiris untuk memperkirakan rata-rata residu untuk suatu distribusi. Rumus untuk kriteria MIR dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta r_{mean} = \exp\left(a + b.lnN + c.(lnN)^2\right)$$

Dimana a, b dan c merupakan koefisien yang nilainya bergantung kepada distribusi yang digunakan dapat dilihat pada tabel **Tabel 2.11**.

Tabel 2.11 Koefisien Empiris untuk Nilai Residual dalam kriteria MIR
(Sumber: Goda, 2000)

Distribution	a	b	c
FT-II ($k = 2.5$)	$-2.470 + 0.015\nu^{3/2}$	$-0.1530 - 0.0052\nu^{5/2}$	0
FT-II ($k = 3.33$)	$-2.462 - 0.009\nu^{2}$	$-0.1933 - 0.0037\nu^{5/2}$	-0.007
FT-II ($k = 5.0$)	-2.463	$-0.2110 - 0.0131\nu^{5/2}$	-0.019
FT-II ($k = 10.0$)	$-2.437 + 0.028\nu^{5/2}$	$-0.2280 - 0.0300\nu^{5/2}$	-0.033
FT-I	$-2.364 + 0.54\nu^{5/2}$	$-0.2665 - 0.0457\nu^{5/2}$	-0.044
Weibull ($k = 0.75$)	$-2.435 - 0.168\nu^{1/2}$	$-0.2083 + 0.1074\nu^{1/2}$	-0.047
Weibull ($k = 1.0$)	-2.355	-0.2612	-0.043
Weibull ($k = 1.4$)	$-2.277 + 0.056\nu^{1/2}$	$-0.3169 - 0.0499\nu$	-0.044
Weibull ($k = 2.0$)	$-2.160 + 0.113\nu$	$-0.3788 - 0.0979\nu$	-0.041
Log-normal	$-2.153 + 0.059\nu^{2}$	$-0.2627 - 0.1716\nu^{1/4}$	-0.045

Selain itu, terdapat beberapa uji kecocokkan lainnya yang dapat digunakan untuk memastikan dsitribusi mana yang paling cocok dengan data gelombang yang tersedia diantara adalah uji Chi-Square dan uji Kolmogorov-Smirnov (K-S). Uji Chi-Square menggunakan selisih antara nilai PDF (*Probability Density Function*) setiap distribusi dan PDF aktual dengan nilai derajat kebebasan *f* sebagai batasan error yang diperbolehkan. Nilai error dari Chi-Square dapat dilihat dengan persamaan sebagai berikut:

$$Error_{Chi-Square} = \sum_{i=1}^{m} \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i}$$

Dimana;

- n_i = PDF distribusi yang sedang diuji; dan
- e_i = PDF data observasi.

sedangkan Uji Kolmogorov Smirnov (K-S) menggunakan selisih antara nilai CDF (*Cumualtive Density Function*) setiap distribusi dan CDF aktual. Nilai error dari Uji Kolmogorov Smirnov (K-S) dapat dilihat dengan persamaan sebagai berikut:

$$D_n = \max|F_x(x_i) - S_n(x_i)|$$

Dimana;

- $F_x(x_i)$ = CDF dari setiap distribusi yang diuji; dan
- $S_n(x_i)$ = CDF data observasi.

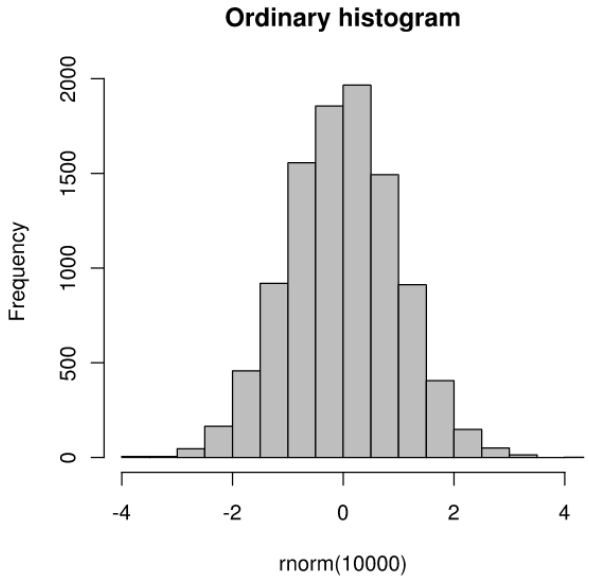
D_n merupakan variabel acak yang menjadi nilai batas error dari uji Kolmogorov Smirnov (K-S) yang nilainya bergantung pada jumlah data observasi dan nilai signifikansi yang biasanya diambil antara 0.01 hingga 0.1. Nilai D_n dapat dilihat berdasarkan **Tabel 2.12**:

Tabel 2.12 Nilai D_N menurut jumlah data N dan significance level (α) pada uji kecocokan Kolmogorov-Test.
(*Sumber : Haldar, 2000*)

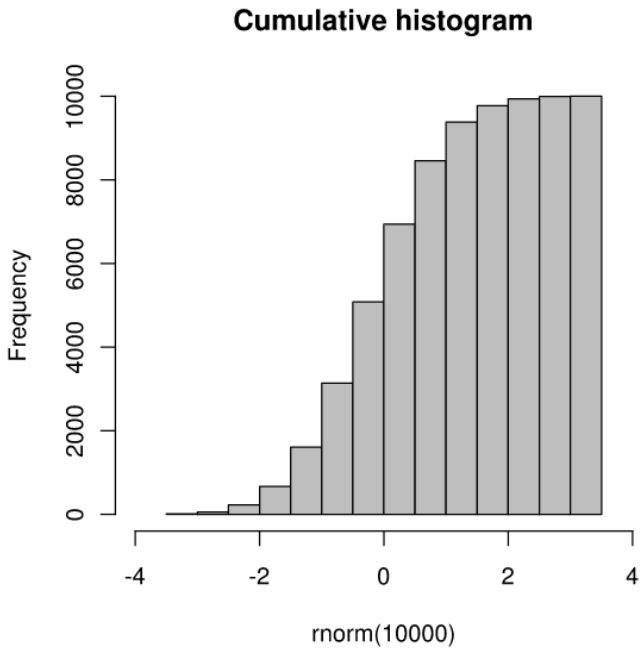
n	$D_n^{0.2}$	$D_n^{0.15}$	$D_n^{0.1}$	$D_n^{0.05}$	$D_n^{0.01}$
5	0.446	0.474	0.510	0.563	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.409	0.486
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.352
25	0.21	0.22	0.24	0.264	0.32
30	0.19	0.20	0.22	0.242	0.29
35	0.18	0.19	0.21	0.23	0.27
40	0.17	0.18	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.17	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.16	0.17	0.19	0.23
>50	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

2.4.3. Teori Distribusi Gelombang

Tampilan grafis dan tabulasi frekuensi yang digambarkan sebagai grafik bentuk batang dapat disebut sebagai histogram. Contoh histogram ditunjukkan pada **Gambar 2.21** dan **Gambar 2.22**.



Gambar 2.21 Histrogram PDF



Gambar 2.22 Histogram CDF

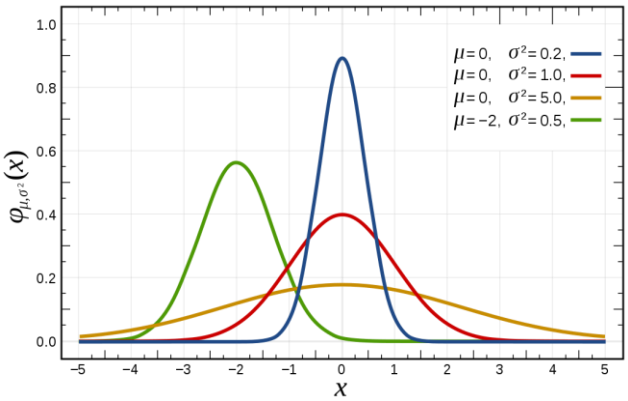
Kurva pendekatan histogram dapat didekati dengan probability density function (PDF). PDF (*Probability Density Function*) dapat didefinisikan sebagai nilai yang menenjukkan probabilitas terjadinya sebuah nilai dalam sebuah *range* tertentu. CDF (*Cumulative Density Function*) adalah penjumlahan tiap nilai PDF dari setiap range dimana nilai maksimal dari CDF adalah 1 dikarenakan jumlah terjadinya semua gelombang adalah 1.

1. Distribusi Normal

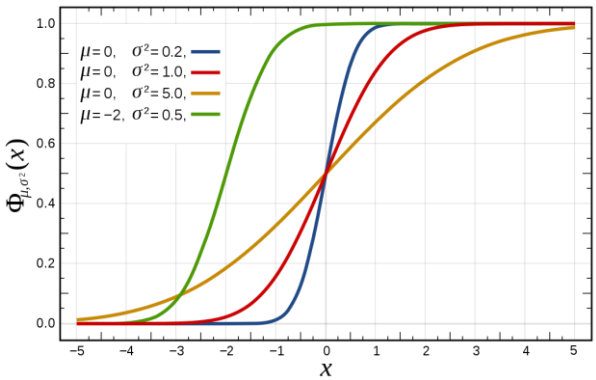
   Visualisasi dari distribusi normal dapat dilihat pada **Gambar 2.23** dan **Gambar 2.24**, sedangkan rumus CDF dan PDF untuk distribusi normal dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right]$$

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^{x}\frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right]dx$$



Gambar 2.23 PDF Distribusi Normal



Gambar 2.24 CDF Distribusi Normal

2. Distribusi Lognormal

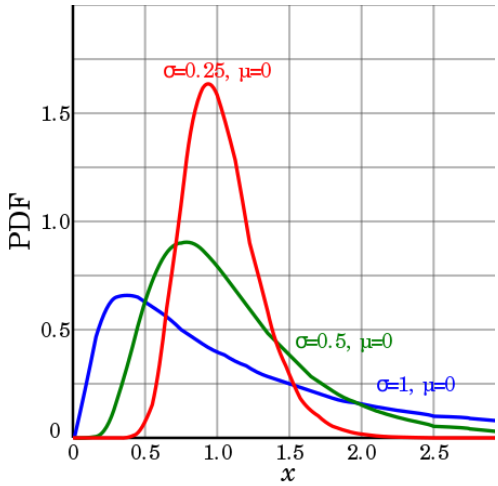
Visualisasi dari distribusi lognormal dapat dilihat pada **Gambar 2.25** dan **Gambar 2.26**, sedangkan rumus CDF dan PDF untuk distribusi normal dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$f_x(x) = \frac{1}{\zeta_x x\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{lnx - \lambda_x}{\zeta_x}\right)^2\right]$$

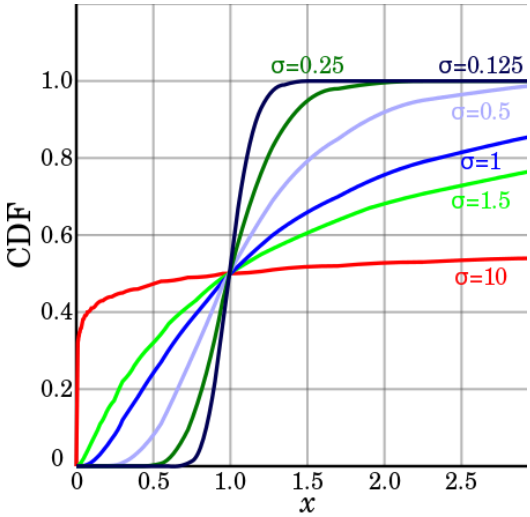
$$F_x(x) = \int_{-\infty}^{x} \frac{1}{\zeta_x x\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{lnx - \lambda_x}{\zeta_x}\right)^2\right] dx$$

$$\lambda_x = ln\mu_x - \frac{1}{2}\zeta_x^2$$

$$\zeta_x^2 = \ln\left(1 + \delta_x^2\right)$$



Gambar 2.25 PDF Distribusi Lognormal



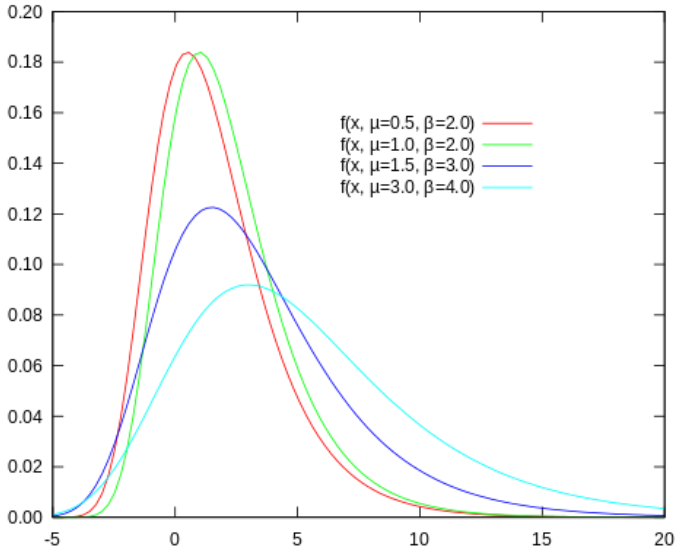
Gambar 2.26 CDF Distribusi Lognormal

3. Distribusi Gumbel

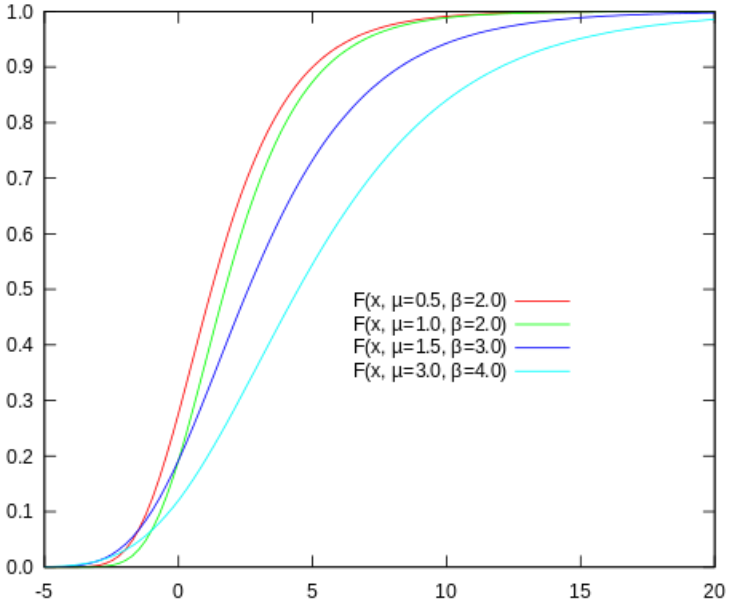
Visualisasi dari distribusi gumbel dapat dilihat pada **Gambar 2.27** dan **Gambar 2.28**, sedangkan rumus CDF dan PDF untuk distribusi normal dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma}\exp\left\{-\left[\frac{x-\mu}{\sigma} + exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]\right\}$$

$$F_x(x) = \exp\left\{-exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right\}$$



Gambar 2.27 PDF Distribusi Gumbel



Gambar 2.28 CDF Distribusi Gumbel

4. Distribusi Weibull

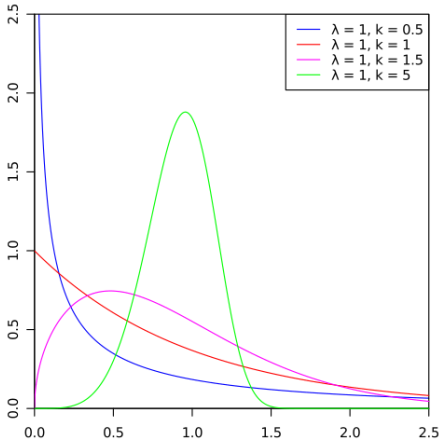
Visualisasi dari distribusi gumbel dapat dilihat pada Gambar 2.29 dan **Gambar 2.30**, sedangkan rumus CDF dan PDF untuk distribusi normal dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$f_x(y) = \frac{k}{w}\left(\frac{y}{w}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{y}{w}\right)^{k}\right]$$

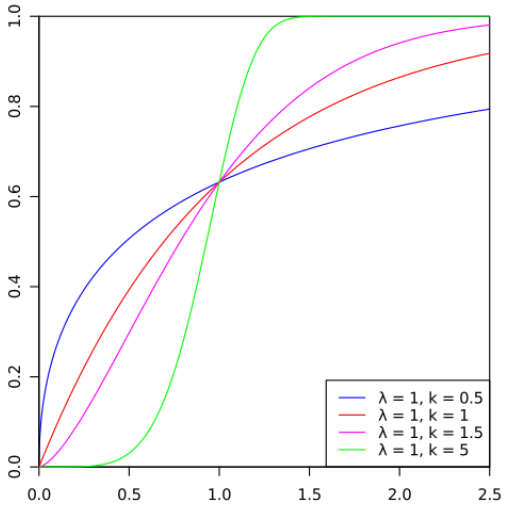
$$F_x(y) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{y}{w}\right)^{k}\right]$$

$$k = \delta_y^{-1.08}$$

$$w = \frac{\mu_y}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)}$$



Gambar 2.29 PDF Distribusi Weibull



Gambar 2.30 CDF Distribusi Weibull

5. Parameter Statistik Berdasarkan PDF

Dari keempat contoh distribusi diatas, dapat diubah menjadi parameter statistik tertentu. Dari sebuah PDF distribusi tertentu dapat ditentukan rerata, modus, varian dan standar deviasi. Momen pertama luasan kurva sebuah PDF dapat dinyatakan sebagai rerata dari sebuah keacakan data, sedangkan momen inersia luasan kurva terhadap rerata dapat dinyatakan sebagai varian. Berikut adalah persamaan untuk mengubah PDF menjadi parameter statistik tertentu.

Persamaan untuk menentukan rerata :

$$\mu_x = \int_{-\infty}^{\infty} x f_x(x) dx$$

Rerata yang diperoleh, dapat dikembangkan menjadi persamaan untuk menacari varian.

$$Var(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^2 f_x(x) dx$$

$$Var(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx - 2\mu \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx + \mu^2 \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) dx$$

$$Var(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 dF(x) - 2\mu \int_{-\infty}^{\infty} x dF(x) + \mu^2 \int_{-\infty}^{\infty} dF(x) dx$$

$$Var(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 dF(x) - 2\mu . \mu + \mu^2$$

$$Var(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 dF(x) - \mu^2$$

Persamaan untuk menentukan modus:

$$\frac{d f_x(x)}{dx} = 0$$

Persamaan untuk menentukan standar deviasi:

$$\sigma_x = \sqrt{Var(x)}$$

BAB 3 PEMODELAN DAN PEMBEBANAN STRUKTUR

3.1. Deskripsi Umum

Pada wilayah perairan selat makassar didesain sebuah struktur anjungan lepas pantai. Struktur yang didesain pada tugas akhir ini merupakan struktur *wellhead* tipe *fixed jacket* tiga kaki yang memiliki kemiringan pada arah sumbu x pada dua kaki dengan perbandingan rise:run 8:1 dan kemiringan pada arah sumbu y pada satu kaki dengan perbandingan rise:run 7:1. Struktur ini didesain dengan kedalaman 60.5 meter dengan datum *mean sea level* (MSL) memiliki 8 elevasi pada *jacket* dan *diagonal bracing* bertipe *diagonal down*. Struktur ini membentuk sudut 45^0 dengan *true north* berlawanan dengan arah jarum jam Anjungan lepas pantai ini memiliki elevasi *deck* yang digunakan yang dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Elevasi *Deck*

***Deck* (tipe)**	**Elevasi (m)**
Main Deck	22.000
Mezzanine Deck	17.500
Cellar Deck	14.500
Sub *Cellar Deck*	11.000
Landing Deck	8.500

3.2. Kriteria Desain

Kriteria desain yang digunakan antara lain berupa kode dan standar yang digunakan dalam pemodelan struktur, faktor kontingensi sebagai faktor beban untuk mengantisipasi berat dari struktur yang tidak pasti, properti material dan faktor tegangan izin yang mengacu pada API RP-2A WSD yang dapat dilihat pada **Tabel 3.2** sampai **Tabel 3.5.**

Tabel 3.2 Kode dan Standar Desain

Kode/Standar Desain	
1	API RP-2A WSD 21st *Edition*
2	AISC (AISC *Manual of Steel Construction* 13rd *Edition*

Tabel 3.3 Faktor Kontingensi

Description	**Kontingensi (%)**
Deck Appurtenance	5
Existing Equipment Load	5
Jacket Appurtenance	5
Non-Generated Dead Load	5
Structural Self Weight	5

Tabel 3.4 Properti Material

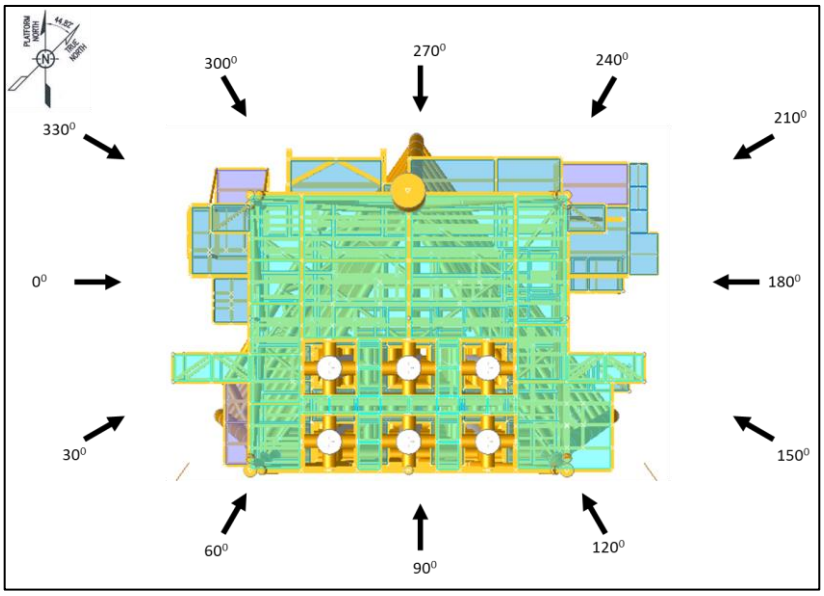
Properti	**Pile**	**Tubular OD >16"**	**Tubular < 16**
Modulus Young	20.000 kN/cm^2	20.000 kN/cm^2	20.000 kN/cm^2
Modulus Shear	7.722 kN/cm^2	7.722 kN/cm^2	7.722 kN/cm^2
Poisson Ratio	0.3	0.3	0.3
Densitas	7,849 ton/m^3	7,849 ton/m^3	7,849 ton/m^3
Yield Strength	50	36	35

Tabel 3.5 Faktor Tegangan izin

Faktor	**Required Allowable Stress Guidance**
1 tahun (operasi)	AISC-API
100 tahun (badai)	AISC API + 1/3 (penambahan)
Gempa	AISC-API + 0.7 (penambahan)

3.3. Data Lingkungan

Pada data lingkungan, API RP- 2A WSD menjelaskan untuk arah beban lingkungan yang digunakan untuk struktur dengan tiga kaki minimal menggunakan 12 arah mata angin. Ilustrasi dari arah mata angin yang digunakan untuk analisis ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Ilustrasi Mata Angin

3.3.1. Kedalaman Perairan

Untuk kebutuhan analisis *inplace*, dibutuhkan kedalaman maksimum dan *minimum* setiap kondisi desain. Nilai kedalaman dapat dilihat pada **Tabel 3.6**.

Tabel 3.6 Kedalaman Desain

Item	**MSL (m) – *Platform***
1-year *Minimum Water depth*	59.34
1-year *Maximum Water depth*	61.82
100-year *Minimum Water depth*	59.29
100-year *Maximum Water depth*	61.90

3.3.2. Gelombang

Data gelombang yang digunakan terdiri dari parameter tinggi gelombang maksimum dan periode gelombang dengan arah *omni-directional* untuk analisis *in-place* dan data probabilitas kejadian tinggi serta periode gelombang pada setiap arah datang gelombang untuk analisis *fatigue*. Data gelombang dapat dilihat pada **Tabel 3.7** sampai **Tabel 3.20**.

Tabel 3.7 Probabilitas setiap arah gelombang

Arah	Ni	Probabilitas
0	36528184	0.072796
30	39894535	0.079504
60	46897869	0.093461
90	46897869	0.093461
120	46897869	0.093461
150	41011759	0.081731
180	41004412	0.081716
210	60793559	0.121153
240	60793559	0.121153
270	18972798	0.03781
300	25570231	0.050958
330	36528184	0.072796

Tabel 3.8 Tinggi dan Perioda Gelombang

Deskripsi	Plaftorm	
	Omni Directional	
	1-Tahun *Operating Storm*	100-Tahun Extreme *Storm*
Tinggi Gelombang Maksimum (m)	4.1	6.2
Perioda Gelombang (s)	8.0	9.4

Tabel 3.9 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 0 Derajat

Peak Periode (s)	Significant Wave (0 Derajat)						
	0.0 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 1.8	1.8 - 2.4	2.4 - 3.0	3.0 - 3.6	3.6 - 4.2
0 - 1	0.0005	0.0001	0	0	0	0	0
1 - 2	0.0305	0.0002	0	0	0	0	0
2 - 3	0.1341	0.0027	0.0001	0	0	0	0
3 - 4	0.3507	0.0173	0.0004	0.0001	0	0	0
4 - 5	0.2108	0.0339	0.0025	0.0001	0	0	0
5 - 6	0.0895	0.0288	0.0041	0.0006	0.0001	0	0
6 - 7	0.0355	0.0148	0.0028	0.0006	0.0001	0.0001	0
7 - 8	0.0139	0.0065	0.0011	0.0003	0.0001	0.0001	0
8 - 9	0.0058	0.0028	0.0004	0.0001	0.0001	0	0
9 - 10	0.0026	0.0012	0.0002	0.0001	0	0	0
10 - 11	0.0012	0.0005	0.0001	0.0001	0	0	0
11 - 12	0.0005	0.0002	0.0001	0	0	0	0
12 - 13	0.0002	0.0001	0.0001	0	0	0	0
13 - 14	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0

Peak Periode (s)	Significant Wave (0 Derajat)						
	0.0 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 1.8	1.8 - 2.4	2.4 - 3.0	3.0 - 3.6	3.6 - 4.2
14 - 15	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
15 - 16	0.0001	0	0	0	0	0	0
16 - 17	0.0001	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.10 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 30 Derajat

Peak Periode (s)	Significant Wave (30 Derajat)						
	0.0 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 1.8	1.8 - 2.4	2.4 - 3.0	3.0 - 3.6	3.6 - 4.2
0 - 1	0.0005	0.0001	0	0	0	0	0
1 - 2	0.0284	0.0003	0	0	0	0	0
2 - 3	0.1265	0.0034	0.0001	0	0	0	0
3 - 4	0.3321	0.0214	0.0007	0	0	0	0
4 - 5	0.2046	0.0423	0.004	0.0002	0	0	0
5 - 6	0.089	0.0361	0.0064	0.0006	0.0001	0	0
6 - 7	0.0359	0.0186	0.0043	0.0005	0.0001	0.0001	0
7 - 8	0.0142	0.0082	0.0017	0.0003	0.0001	0.0001	0
8 - 9	0.006	0.0035	0.0007	0.0001	0.0001	0	0
9 - 10	0.0027	0.0015	0.0003	0.0001	0	0	0
10 - 11	0.0012	0.0006	0.0002	0.0001	0	0	0
11 - 12	0.0005	0.0003	0.0001	0	0	0	0
12 - 13	0.0002	0.0002	0.0001	0	0	0	0
13 - 14	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
14 - 15	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
15 - 16	0.0001	0	0	0	0	0	0
16 - 17	0.0001	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.11 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 60 Derajat

Peak Periode (s)	Significant Wave (60 Derajat)						
	0.0 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 1.8	1.8 - 2.4	2.4 - 3.0	3.0 - 3.6	3.6 - 4.2
0 - 1	0.0005	0.0001	0	0	0	0	0
1 - 2	0.0265	0.0004	0	0	0	0	0
2 - 3	0.1196	0.0039	0.0001	0	0	0	0
3 - 4	0.3154	0.0249	0.0008	0.0001	0	0	0
4 - 5	0.1993	0.0494	0.0051	0.0003	0.0001	0	0
5 - 6	0.0889	0.0422	0.0082	0.001	0.0001	0.0001	0
6 - 7	0.0364	0.0217	0.0056	0.0009	0.0001	0.0001	0.0001
7 - 8	0.0146	0.0096	0.0022	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001
8 - 9	0.0062	0.0041	0.0009	0.0001	0.0001	0.0001	0
9 - 10	0.0028	0.0017	0.0003	0.0001	0.0001	0	0
10 - 11	0.0013	0.0007	0.0001	0.0001	0	0	0

Peak Periode (s)			Significant Wave (60 Derajat)						
			0.0 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 1.8	1.8 - 2.4	2.4 - 3.0	3.0 - 3.6	3.6 - 4.2
11	-	12	0.0006	0.0003	0.0001	0	0	0	0
12	-	13	0.0003	0.0002	0.0001	0	0	0	0
13	-	14	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
14	-	15	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
15	-	16	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
16	-	17	0.0001	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.12 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 90 Derajat

Peak Periode (s)			Significant Wave (90 Derajat)						
			0.0 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 1.8	1.8 - 2.4	2.4 - 3.0	3.0 - 3.6	3.6 - 4.2
0	-	1	0.0005	0.0001	0	0	0	0	0
1	-	2	0.0265	0.0003	0	0	0	0	0
2	-	3	0.1196	0.0039	0.0001	0	0	0	0
3	-	4	0.3154	0.0249	0.0008	0.0001	0	0	0
4	-	5	0.1993	0.0494	0.0051	0.0003	0.0001	0	0
5	-	6	0.0889	0.0422	0.0082	0.001	0.0002	0	0
6	-	7	0.0364	0.0217	0.0056	0.0009	0.0002	0.0001	0.0001
7	-	8	0.0146	0.0096	0.0022	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001
8	-	9	0.0062	0.0041	0.0009	0.0001	0.0001	0.0001	0
9	-	10	0.0028	0.0017	0.0003	0.0001	0.0001	0	0
10	-	11	0.0013	0.0007	0.0001	0.0001	0	0	0
11	-	12	0.0006	0.0003	0.0001	0	0	0	0
12	-	13	0.0003	0.0002	0.0001	0	0	0	0
13	-	14	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
14	-	15	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
15	-	16	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
16	-	17	0.0001	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.13 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 120 Derajat

Peak Periode (s)			Significant Wave (120 Derajat)						
			0.0 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 1.8	1.8 - 2.4	2.4 - 3.0	3.0 - 3.6	3.6 - 4.2
0	-	1	0.0005	0.0001	0	0	0	0	0
1	-	2	0.0265	0.0003	0	0	0	0	0
2	-	3	0.1196	0.0039	0.0001	0	0	0	0
3	-	4	0.3154	0.0249	0.0008	0.0001	0	0	0
4	-	5	0.1993	0.0494	0.0051	0.0003	0.0001	0	0
5	-	6	0.0889	0.0422	0.0082	0.001	0.0002	0.0001	0
6	-	7	0.0364	0.0217	0.0056	0.0009	0.0002	0.0001	0.0001
7	-	8	0.0146	0.0096	0.0022	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001

Peak Periode (s)	Significant Wave (120 Derajat)						
	0.0 - 0.6	**0.6 - 1.2**	**1.2 - 1.8**	**1.8 - 2.4**	**2.4 - 3.0**	**3.0 - 3.6**	**3.6 - 4.2**
8 - 9	0.0062	0.0041	0.0009	0.0001	0.0001	0.0001	0
9 - 10	0.0028	0.0017	0.0003	0.0001	0.0001	0	0
10 - 11	0.0013	0.0007	0.0001	0.0001	0	0	0
11 - 12	0.0006	0.0003	0.0001	0	0	0	0
12 - 13	0.0003	0.0001	0.0001	0	0	0	0
13 - 14	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
14 - 15	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
15 - 16	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
16 - 17	0.0001	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.14 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 150 Derajat

Peak Periode (s)	Significant Wave (150 Derajat)						
	0.0 - 0.6	**0.6 - 1.2**	**1.2 - 1.8**	**1.8 - 2.4**	**2.4 - 3.0**	**3.0 - 3.6**	**3.6 - 4.2**
0 - 1	0.0005	0.0001	0	0	0	0	0
1 - 2	0.0347	0.0001	0	0	0	0	0
2 - 3	0.1498	0.0015	0	0	0	0	0
3 - 4	0.3897	0.0086	0.0001	0	0	0	0
4 - 5	0.2259	0.0146	0.0001	0.0001	0	0	0
5 - 6	0.0924	0.0113	0.0001	0.0001	0	0	0
6 - 7	0.0357	0.0056	0.0001	0.0001	0	0	0
7 - 8	0.0136	0.0025	0.0001	0.0001	0	0	0
8 - 9	0.0057	0.001	0.0001	0.0001	0	0	0
9 - 10	0.0025	0.0004	0.0001	0	0	0	0
10 - 11	0.0011	0.0002	0	0	0	0	0
11 - 12	0.0005	0.0001	0	0	0	0	0
12 - 13	0.0002	0.0001	0	0	0	0	0
13 - 14	0.0001	0	0	0	0	0	0
14 - 15	0.0001	0	0	0	0	0	0
15 - 16	0.0001	0	0	0	0	0	0
16 - 17	0.0001	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.15 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 180 Derajat

Peak Periode (s)	Significant Wave (180 Derajat)						
	0.0 - 0.6	**0.6 - 1.2**	**1.2 - 1.8**	**1.8 - 2.4**	**2.4 - 3.0**	**3.0 - 3.6**	**3.6 - 4.2**
0 - 1	0.0005	0	0	0	0	0	0
1 - 2	0.0347	0.0001	0	0	0	0	0
2 - 3	0.1499	0.0015	0	0	0	0	0
3 - 4	0.3898	0.0086	0.0001	0	0	0	0

Peak Periode (s)			Significant Wave (180 Derajat)						
			0.0 - 0.6	**0.6 - 1.2**	**1.2 - 1.8**	**1.8 - 2.4**	**2.4 - 3.0**	**3.0 - 3.6**	**3.6 - 4.2**
4	-	5	0.226	0.0146	0.0001	0	0	0	0
5	-	6	0.0924	0.0113	0.0001	0.0001	0	0	0
6	-	7	0.0357	0.0056	0.0001	0.0001	0	0	0
7	-	8	0.0136	0.0025	0.0001	0	0	0	0
8	-	9	0.0057	0.001	0.0001	0	0	0	0
9	-	10	0.0025	0.0004	0.0001	0	0	0	0
10	-	11	0.0011	0.0002	0	0	0	0	0
11	-	12	0.0005	0.0001	0	0	0	0	0
12	-	13	0.0002	0.0001	0	0	0	0	0
13	-	14	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
14	-	15	0.0001	0	0	0	0	0	0
15	-	16	0.0001	0	0	0	0	0	0
16	-	17	0.0001	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.16 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 210 Derajat

Peak Periode (s)			Significant Wave (210 Derajat)						
			0.0 - 0.6	**0.6 - 1.2**	**1.2 - 1.8**	**1.8 - 2.4**	**2.4 - 3.0**	**3.0 - 3.6**	**3.6 - 4.2**
0	-	1	0.0006	0.0001	0	0	0	0	0
1	-	2	0.0285	0.0004	0	0	0	0	0
2	-	3	0.128	0.0034	0.0001	0	0	0	0
3	-	4	0.3369	0.0211	0.0004	0	0	0	0
4	-	5	0.2101	0.0398	0.0021	0.0001	0	0	0
5	-	6	0.0925	0.0329	0.0034	0.0003	0.0001	0	0
6	-	7	0.0376	0.0168	0.0023	0.0003	0.0001	0	0
7	-	8	0.015	0.0074	0.001	0.0002	0.0001	0	0
8	-	9	0.0064	0.0032	0.0004	0.0001	0	0	0
9	-	10	0.0029	0.0013	0.0002	0.0001	0	0	0
10	-	11	0.0013	0.0005	0.0001	0	0	0	0
11	-	12	0.0006	0.0002	0.0001	0	0	0	0
12	-	13	0.0003	0.0001	0	0	0	0	0
13	-	14	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
14	-	15	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
15	-	16	0.0001	0	0	0	0	0	0
16	-	17	0.0001	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.17 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 240 Derajat

Peak Periode (s)	Significant Wave (240 Derajat)						
	0.0 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 1.8	1.8 - 2.4	2.4 - 3.0	3.0 - 3.6	3.6 - 4.2
0 - 1	0.0006	0.0001	0	0	0	0	0
1 - 2	0.0285	0.0003	0	0	0	0	0
2 - 3	0.128	0.0034	0.0001	0	0	0	0
3 - 4	0.3369	0.0211	0.0004	0	0	0	0
4 - 5	0.2101	0.0398	0.0021	0.0001	0	0	0
5 - 6	0.0925	0.0329	0.0034	0.0004	0.0001	0	0
6 - 7	0.0376	0.0168	0.0023	0.0003	0.0001	0	0
7 - 8	0.015	0.0074	0.0009	0.0002	0.0001	0	0
8 - 9	0.0064	0.0032	0.0004	0.0001	0.0001	0	0
9 - 10	0.0029	0.0013	0.0002	0.0001	0	0	0
10 - 11	0.0013	0.0005	0.0001	0	0	0	0
11 - 12	0.0006	0.0002	0.0001	0	0	0	0
12 - 13	0.0003	0.0001	0	0	0	0	0
13 - 14	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
14 - 15	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
15 - 16	0.0001	0	0	0	0	0	0
16 - 17	0.0001	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.18 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 270 Derajat

Peak Periode (s)	Significant Wave (270 Derajat)						
	0.0 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 1.8	1.8 - 2.4	2.4 - 3.0	3.0 - 3.6	3.6 - 4.2
0 - 1	0.0005	0.0001	0	0	0	0	0
1 - 2	0.0294	0.0003	0	0	0	0	0
2 - 3	0.1313	0.0032	0.0001	0	0	0	0
3 - 4	0.3447	0.0194	0.0003	0	0	0	0
4 - 5	0.2126	0.0365	0.0014	0.0001	0	0	0
5 - 6	0.0926	0.0302	0.0023	0.0002	0.0001	0	0
6 - 7	0.0374	0.0154	0.0015	0.0002	0.0001	0	0
7 - 8	0.0148	0.0068	0.0006	0.0001	0.0001	0	0
8 - 9	0.0063	0.0029	0.0002	0.0001	0	0	0
9 - 10	0.0028	0.0012	0.0002	0.0001	0	0	0
10 - 11	0.0013	0.0005	0.0001	0	0	0	0
11 - 12	0.0006	0.0003	0.0001	0	0	0	0
12 - 13	0.0003	0.0001	0	0	0	0	0
13 - 14	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
14 - 15	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
15 - 16	0.0001	0	0	0	0	0	0
16 - 17	0.0001	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.19 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 300 Derajat

Peak Periode (s)	Significant Wave (300 Derajat)						
	0.0 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 1.8	1.8 - 2.4	2.4 - 3.0	3.0 - 3.6	3.6 - 4.2
0 - 1	0.0005	0.0001	0	0	0	0	0
1 - 2	0.032	0.0002	0	0	0	0	0
2 - 3	0.1399	0.0023	0	0	0	0	0
3 - 4	0.3653	0.0143	0.0002	0	0	0	0
4 - 5	0.2175	0.027	0.0011	0.0001	0	0	0
5 - 6	0.0915	0.0223	0.0017	0.0001	0.0001	0	0
6 - 7	0.0361	0.0113	0.0011	0.0001	0.0001	0.0001	0
7 - 8	0.014	0.005	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0
8 - 9	0.0059	0.0021	0.0002	0.0001	0	0	0
9 - 10	0.0026	0.0009	0.0001	0.0001	0	0	0
10 - 11	0.0012	0.0003	0.0001	0	0	0	0
11 - 12	0.0005	0.0001	0.0001	0	0	0	0
12 - 13	0.0002	0.0001	0	0	0	0	0
13 - 14	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
14 - 15	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
15 - 16	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
16 - 17	0.0001	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.20 Probabilitas Kejadian gelombang Arah 330 Derajat

Peak Periode (s)	Significant Wave (0 Derajat)						
	0.0 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 1.8	1.8 - 2.4	2.4 - 3.0	3.0 - 3.6	3.6 - 4.2
0 - 1	0.0005	0.0001	0	0	0	0	0
1 - 2	0.0305	0.0003	0	0	0	0	0
2 - 3	0.1341	0.0027	0.0001	0	0	0	0
3 - 4	0.3507	0.0173	0.0004	0.0001	0	0	0
4 - 5	0.2108	0.0339	0.0025	0.0001	0	0	0
5 - 6	0.0895	0.0288	0.0041	0.0005	0.0001	0	0
6 - 7	0.0355	0.0148	0.0028	0.0005	0.0001	0.0001	0
7 - 8	0.0139	0.0065	0.0011	0.0003	0.0001	0.0001	0
8 - 9	0.0058	0.0028	0.0004	0.0001	0.0001	0	0
9 - 10	0.0026	0.0012	0.0003	0.0001	0	0	0
10 - 11	0.0012	0.0005	0.0001	0.0001	0	0	0
11 - 12	0.0005	0.0002	0.0001	0	0	0	0
12 - 13	0.0002	0.0001	0.0001	0	0	0	0
13 - 14	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
14 - 15	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0
15 - 16	0.0001	0	0	0	0	0	0
16 - 17	0.0001	0	0	0	0	0	0

3.3.3. Angin

Data angin yang digunakan terdiri dari parameter kecepatan dengan arah *omni-directional.* Data angin dapat dilihat pada **Tabel 3.21**.

Tabel 3.21 Kecepatan Angin

Deskripsi	**Plaftorm**	
	Omni Directional	
	1-Tahun *Operating Storm*	**100-Tahun Extreme *Storm***
Kecepatan angin rata-rata 1 jam (m/s)	11.8	15.4
Kecepatan angin rata-rata 10 menit (m/s)	13.0	16.9
Kecepatan angin rata-rata 1 menit (m/s)	15.4	20.1
Kecepatan hembusan angin 3 detik (m/s)	17.1	22.3

3.3.4. Arus

Data arus yang digunakan terdiri dari parameter kecepatan dengan arah *omni-directional.* Data arus dapat dilihat pada **Tabel 3.22**.

Tabel 3.22 Data Arus

Arus	***Platform***	
	Omni Directional	
	1-Tahun *Operating Storm*	**100-Tahun Extreme *Storm***
At Surface (m/s)	1.6	1.9
Mid Depth Layer (m/s)	1.5	1.7
Layer 1 above sea bed (m/s)	0.9	1.1

3.3.5. Marine Growth

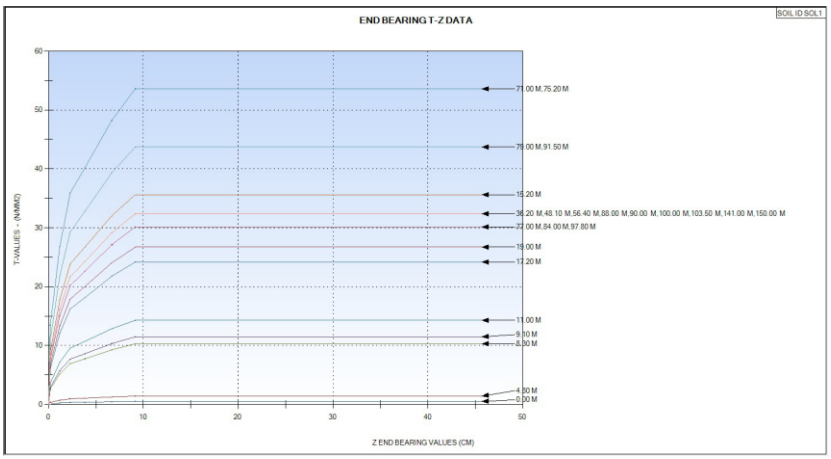
Data marine growth yang digunakan terdiri dari parameter tebal perkedalaman dan densitas. Data tebal perkedalaman dapat dilihat pada **Tabel 3.23.**

Tabel 3.23 Tebal Marine Growth

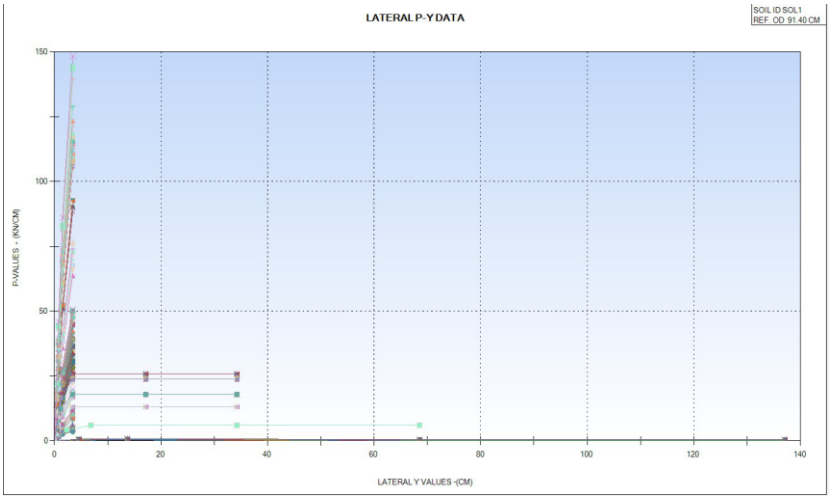
Elevation (m)	Marine Growth Thickness (mm)	Marine Growth Density (in air) (tonne/m^3)
EL (+) 2.0 to (-) 15	100	1.4
(-) 15 to (-) 30	50	1.4
(-) 30 to mudline	25	1.4

3.3.6. Geoteknik

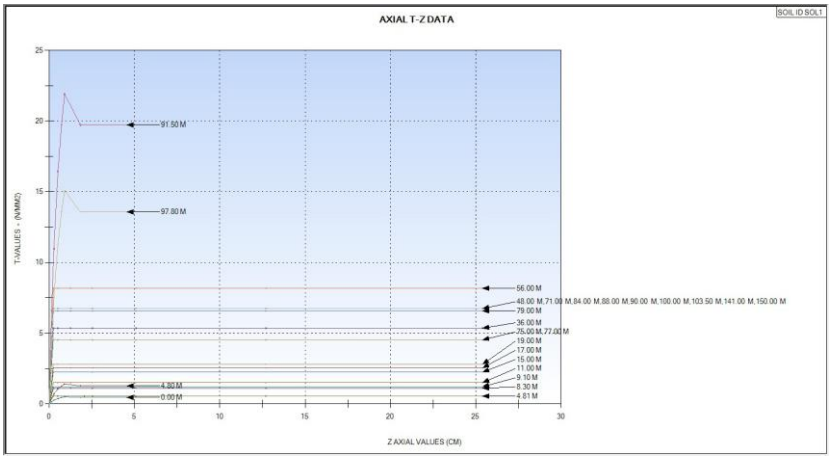
Data geoteknik yang tersedia meliputi *skin-friction* (T-Z), *lateral bearing* (P-Y) dan *end bearing* (Q-Z) yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2** sampai **Gambar 3.4.**



Gambar 3.2 End Bearing (T-Z)



Gambar 3.3 Skin-Friction (T-Z)



Gambar 3.4 Lateral Bearing (P-Y)

3.3.7. Gempa

Data gempa yang tersedia adalah nilai spectral desain untuk *Strength Level Earthquake (SLE)* dan *Rare Intense Earthquake (RIE).* Data gempa yang akan digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3.24**.

Tabel 3.24 Data Gempa

Period (s)	Spectral Acceleration (G) SLE	Spectral Acceleration (G) RIE
0.01	0.100	0.180
0.2	0.230	0.430
0.5	0.160	0.310
1	0.100	0.200
2	0.066	0,120
5	0.014	0.027

3.3.8. Koefisien Hidrodinamik

Berikut koefisien hidrodinamika dapat dilihat pada **Tabel 3.25**

Tabel 3.25 Koefisien hidrodinamika

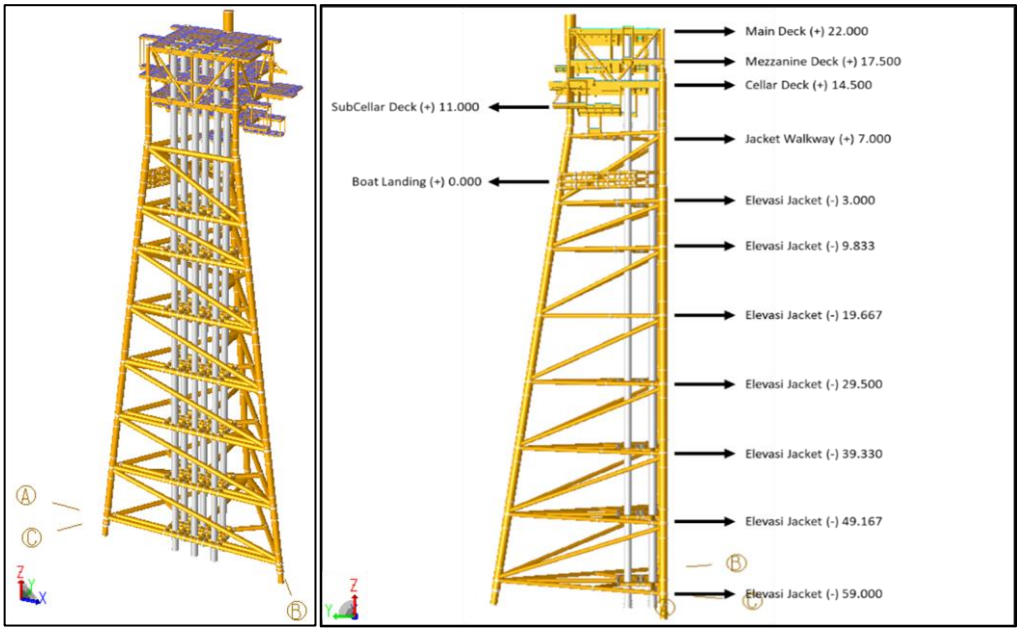
Type	*Kinematic Factor*	Cd		Cm	
		Smooth Member	*Rough Member*	*Smooth Member*	*Rough Member*
Operating	0.95	0.65	1.05	1.5	1.2
Storm	0.95	0.65	1.05	1.5	1.2
Fatigue	1	0.5	0.8	2	2

3.3.9. *Corrosion Allowance*

Corrosion allowance diletakkan di area *splash zone* karena rawan terjadi korosi sehingga sebagai justifikasi pada pemodelan, diberikan toleransi sebesar 1/8 inch untuk semua member pada area *spash zone*.

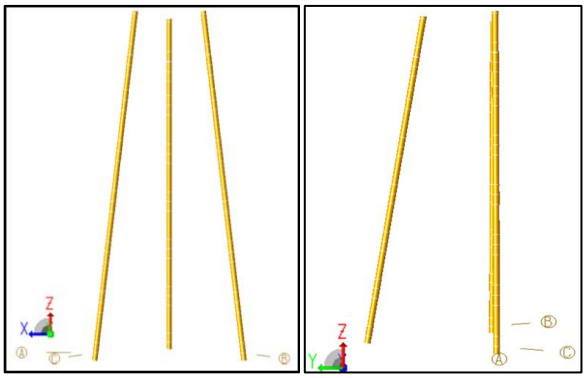
3.4. Model Struktur

Struktur anjungan lepas pantai tipe *jacket* pada tugas akhir ini dimodelkan menggunakan perangkat lunak SACS. Bagian yang dimodelkan antara lain *leg, pile* dan *deck*. Member-member dan pelat juga dimodelkan untuk keperluan analisis. Ilustrasi model struktur dan elevasi penting ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



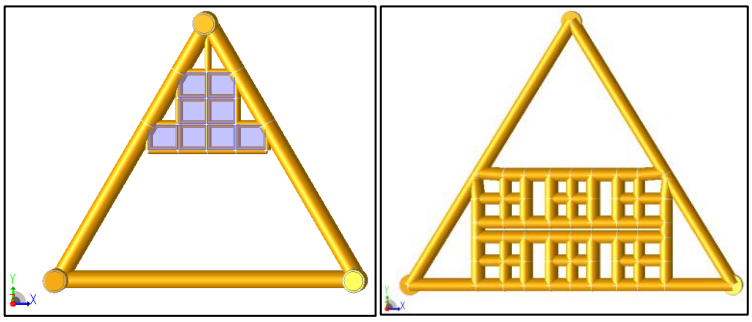
Gambar 3.5 Model Struktur (kiri) dan elevasi penting pada struktur (kanan)

Pile dimodelkan dengan kemiringan jenis *single batter* pada ketiga buah kaki dengan perbandingan $\frac{Rise}{Run} = 8$ untuk arah X pada dua pile di depan dan perbandingan $\frac{Rise}{Run} = 7$ untuk arah Y pada satu pile di belakang. Kemiringan ini ditujukan agar strutur dapat menahan gelombang dengan baik. Visualisasi kemiringan dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.

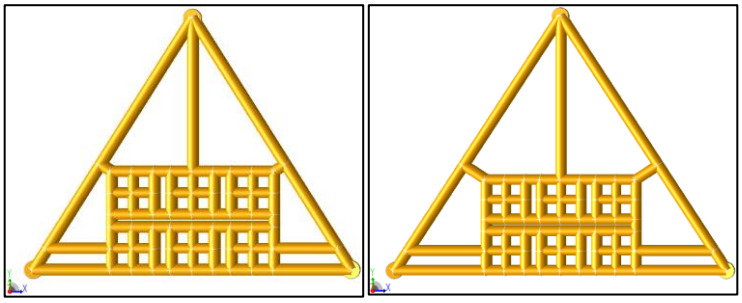


Gambar 3.6 Kemiringan Pile Penampang XZ (kiri) Pile Penampang YZ (kanan)

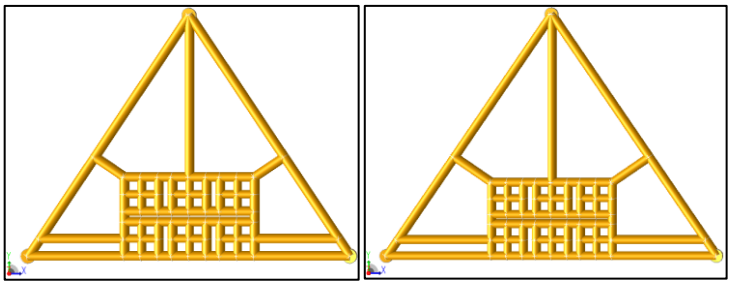
Struktur *jacket* dimodelkan dengan memiliki 8 level *horizontal bracing* dengan *diagonal bracing* tipe *down*. Plane pada setiap level *horizontal bracing* ditunjukkan pada **Gambar 3.7** hingga **Gambar 3.10**.



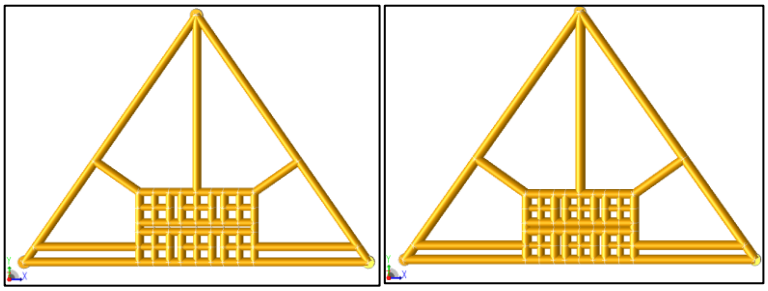
Gambar 3.7 *Horizontal Bracing* pada Elevasi 7 m (kiri) dan -3 m (kanan) dari MSL



Gambar 3.8 *Horizontal Bracing* pada Elevasi -9.833 m (kiri) dan -19.667 m (kanan) dari MSL



Gambar 3.9 *Horizontal Bracing* pada Elevasi -29.5 m (kiri) dan -39.330 m (kanan) dari MSL



Gambar 3.10 *Horizontal Bracing* pada Elevasi -49.167 m (kiri) dan -59 m (kanan) dari MSL

Deck yang dimodelkan terdiri 4 *deck* utama dengan elevasi *deck* terendah dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Elevasi_{terendah} = HAT + SS + \frac{H}{2} + Freeboard$$

$$Elevasi_{terendah} = 1.06 + 0.34 + \frac{6.2}{2} + 1.524$$

$$Elevasi_{terendah} = 6.024\ meter$$

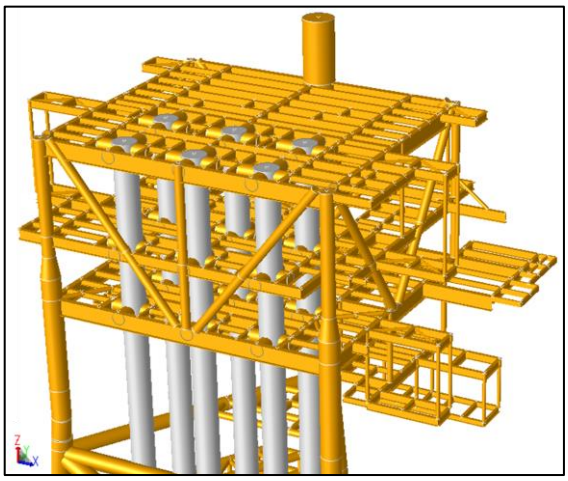
Dimana:

- HAT = *Highest Astronomical Tide (m);*
- SS = *Storm Surge (m);*
- H = Tinggi Gelombang (*m);*
- $Freeboard$ = *Freeboard/Air Gap (5 ft)*

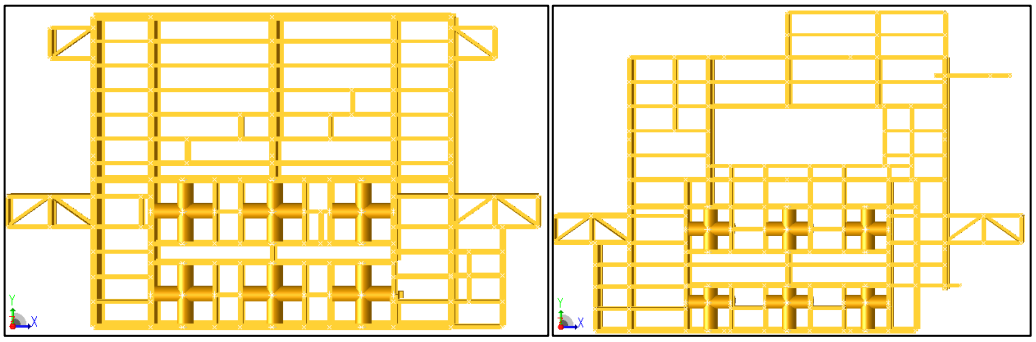
Dengan elevasi *deck* terendah *minimum* adalah 6.024 me maka dipilih elevasi *deck minimum* adalah 7 m yang menjadi elevasi *jacket walkway*. Setelah didapatkan elevasi *deck* terendah, elevasi *deck* dapat dimodelkan. Elevasi penting struktur untuk pemodelan yang diukur dari MSL adalah sebagai berikut :

- *Main deck* (+) 22 m
- *Mezzanine deck* (+) 17.5 m
- *Cellar Deck* (+) 14.5 m
- *SubCellar Deck* (+) 11 m
- *Landing Deck* (+) 8.5 m
- *Jacket Walkway* (+) 7 m

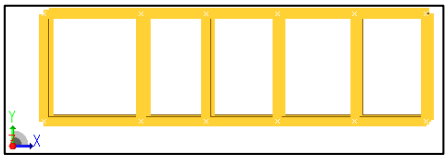
Pemodelan *deck* dilakukan berdasarkan beban yang diletakkan diatas *deck* tersebut. Visualisasi pemodelam *beam* pada *deck* dapat dilihat pada **Gambar 3.11** hingga **Gambar 3.14.**



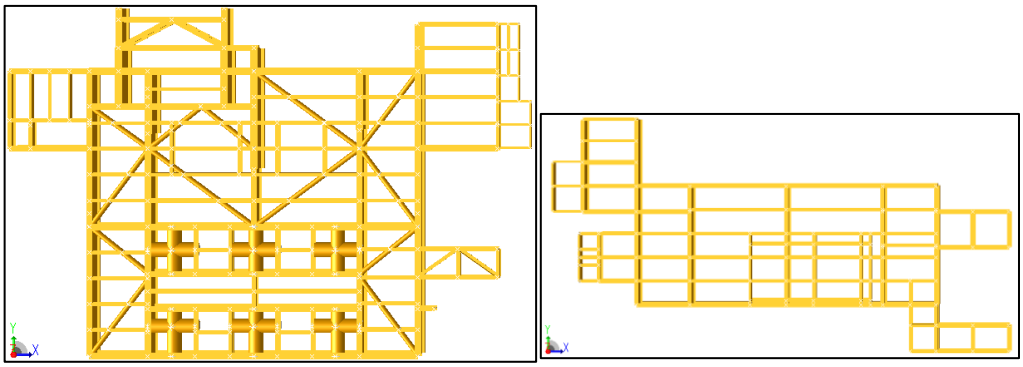
Gambar 3.11 *Deck* Struktur



Gambar 3.12 *Main Deck* (kiri) dan *Mezzanine Deck* (kanan)



Gambar 3.13 Landing *Deck*



Gambar 3.14 *Cellar Deck* (kiri) dan Sub-*Cellar Deck* (kanan)

Properti member pada *deck* dan *jacket* merupakan properti yang sudah dilakukan optimasi dimana member-member yang ditertera sudah memenuhi semua kriteria analisis yang akan dilakukan. Properti member dapat dilihat pada **Tabel 3.26** dan **Tabel 3.27**.

Tabel 3.26 Properti Member pada setiap *deck*

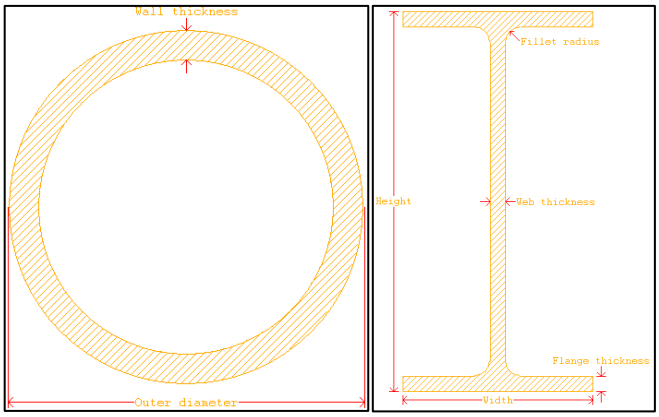
No	Member *Group*	Deskripsi	Jenis	Ukuran
1	UB2	*Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck*	*Wide Flange*	UB 253 x 146 x 43
2	UB3		*Wide Flange*	UB 356 x 171 x 67
3	UB4		*Wide Flange*	UB 457 x 191 x 161
4	UB5		*Wide Flange*	UB 533 x 210 x 92
5	UB6		*Wide Flange*	UB 686 x 254 x 170
6	UB7		*Wide Flange*	UB 762 x 267 x 197
7	UB8		*Wide Flange*	UB 838 x 292 x 176
8	UB9		*Wide Flange*	UB 914 x 305 x 576
9	L6		Angle	L6 x 6 x 0.5
10	H100		*Flange*	H100 x 100 x 6
11	C25		Channel	C250 x 90 x9
12	CPL		Tubular	150 cm x 3.81 cm
13	CN1		Cone	91.4 cm x 2.5 cm 60 cm x 2.5 cm
14	CN2		Cone	150 cm x 3.81 cm 91.4 cm x 3.81 cm
15	DLG		Tubular	91.4 cm x 3.81 cm
16	DGD		Tubular	40.64 cm x 1.27 cm
17	DHB		Tubular	21.91 cm x 0.82 cm
21	VB1		Tubular	60.00 cm x 2.54 cm
22	JW		Tubular	45.72 cm x 1.6 cm
23	VB2		Tubular	40.64 cm x 1.27 cm
24	VB3		Tubular	27.31 cm x 1.27 cm

No	Member *Group*	Deskripsi	Jenis	Ukuran
25	VB4		Tubular	16.83 cm x 0.71 cm
26	VB5		Tubular	11.41 cm x 0.60 cm
27	CGD		Tubular	60.99 cm x 3.81 cm

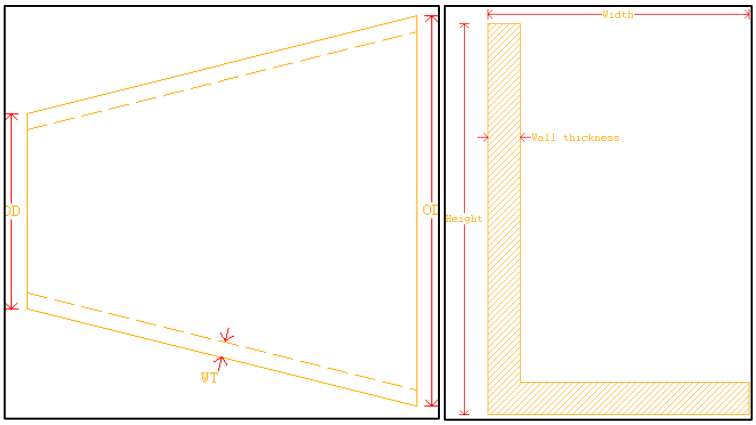
Tabel 3.27 Properti *Member* pada *Jacket*

No	*Member Group*	Deskripsi	Jenis	Ukuran
1	BOA	Boatlanding	Tubular	45.72 cm x 2.54 cm
2	BOB		Tubular	25.4 cm x 2.54 cm
3	CG	*Conductor Guide*	Tubular	60.99 cm x 3.81 cm
4	DGJ	*Diagonal brace*	Tubular	71.12 cm x 3.175 cm
5	DGS	*Diagonal brace*	Tubular	70.49 cm x 2.858 cm
6	HOR	*Horizontal brace*	Tubular	61 cm x 3.175 cm
7	MDM	Mudmat	TUbulat	61 cm x 3.175 cm
8	LG2	Leg	Tubular	110 cm x 4.8 cm
9	LG3		Tubular	110 cm x 4.8 cm
10	LG4		Tubular	110 cm x 4.8 cm
11	LG5		Tubular	110 cm x 4.8 cm
12	LG6		Tubular	110 cm x 4.8 cm
13	LG7		Tubular	110 cm x 4.8 cm
14	LG8		Tubular	110 cm x 4.8 cm
15	LG9		Tubular	110 cm x 4.8 cm
16	LGB		Tubular	110 cm x 4.8 cm
17	LGS		Tubular	109.36 cm x 4.48 cm
18	PL1	Pile	Tubular	91.4 cm x 3.81 cm
19	PL2		Tubular	91.4 cm x 3.81 cm
20	PL3		Tubular	91.4 cm x 3.81 cm
21	PL4		Tubular	91.4 cm x 3.81 cm
22	PL5		Tubular	91.4 cm x 3.81 cm
23	PL6		Tubular	91.4 cm x 3.81 cm
24	PL7		Tubular	91.4 cm x 3.81 cm
25	PL8		Tubular	91.4 cm x 3.81 cm
26	PL9		Tubular	91.4 cm x 3.81 cm
27	PLA		Tubular	91.4 cm x 3.81 cm

Ilustrasi profil *member* yang digunakan pada pemodelan struktur ditunjukkan pada **Gambar 3.15** dan **Gambar 3.16**.

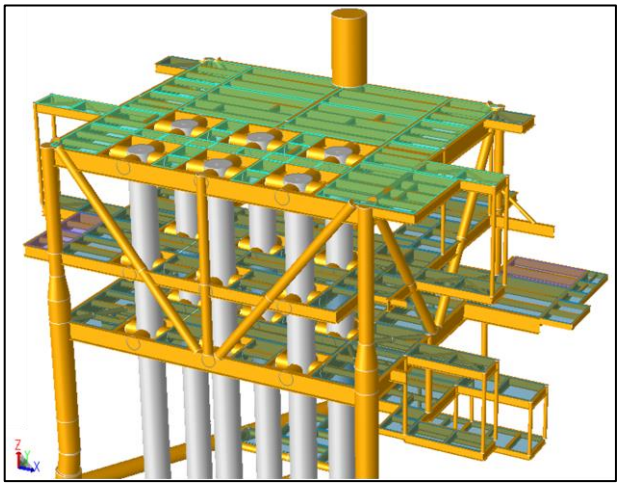


Gambar 3.15 Potongan Melintang Profile Tubular (kiri) *Wide Flange* (kanan)



Gambar 3.16 Potongan Melintang Profile Cone (kiri) Angle (kanan)

Pada pemodelan pelat, tebal yang digunakan sebesar 1 inch. Ilustrasi pelat pada setiap *deck* dapat dilihat pada **Gambar 3.17.**



Gambar 3.17 Pelat pada Deck

3.5. Pembebanan Struktur

Daftar pembebanan struktur dapat dilihat pada **Tabel 3.28**.

Tabel 3.28 Daftar Beban pada Struktur

Load Case	Deskripsi
APP	*Jacket* Appurtenance
CRN	Beban vertikal dan beban mati Pedestral Crane
WFX	Beban angin arah X
WFY	Beban angin arah Y
CRNX	Momen Pedestral Crane arah X
CRNY	Momen Pedestral Crane arah Y
LIVE	Beban hidup
DEAD	Beban mati struktur
EQP	Beban equipment
WC1	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 0 Derajat *Minimum Water depth*
WC2	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 30 Derajat *Minimum Water depth*
WC3	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 60 Derajat *Minimum Water depth*
WC4	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 90 Derajat *Minimum Water depth*
WC5	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 120 Derajat *Minimum Water depth*
WC6	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 150 Derajat *Minimum Water depth*
WC7	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 180 Derajat *Minimum Water depth*
WC8	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 210 Derajat *Minimum Water depth*
WC9	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 240 Derajat *Minimum Water depth*
WC10	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 270 Derajat *Minimum Water depth*
WC11	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 300 Derajat *Minimum Water depth*
WC12	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 330 Derajat *Minimum Water depth*
WC13	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 0 Derajat *Maximum Water depth*
WC14	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 30 Derajat *Maximum Water depth*
WC15	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 60 Derajat *Maximum Water depth*
WC16	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 90 Derajat *Maximum Water depth*
WC17	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 120 Derajat *Maximum Water depth*
WC18	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 150 Derajat *Maximum Water depth*
WC19	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 180 Derajat *Maximum Water depth*
WC20	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 210 Derajat *Maximum Water depth*
WC21	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 240 Derajat *Maximum Water depth*
WC22	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 270 Derajat *Maximum Water depth*
WC23	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 300 Derajat *Maximum Water depth*
WC24	Beban Lingkungan Kondisi Operasi Arah 330 Derajat *Maximum Water depth*
WC25	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 0 Derajat *Minimum Water depth*
WC26	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 30 Derajat *Minimum Water depth*
WC27	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 60 Derajat *Minimum Water depth*
WC28	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 90 Derajat *Minimum Water depth*
WC29	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 120 Derajat *Minimum Water depth*
WC30	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 150 Derajat *Minimum Water depth*

Load Case	Deskripsi
WC31	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 180 Derajat *Minimum Water depth*
WC32	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 210 Derajat *Minimum Water depth*
WC33	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 240 Derajat *Minimum Water depth*
WC34	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 270 Derajat *Minimum Water depth*
WC35	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 300 Derajat *Minimum Water depth*
WC36	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 330 Derajat *Minimum Water depth*
WC37	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 0 Derajat *Maximum Water depth*
WC38	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 30 Derajat *Maximum Water depth*
WC39	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 60 Derajat *Maximum Water depth*
WC40	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 90 Derajat *Maximum Water depth*
WC41	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 120 Derajat *Maximum Water depth*
WC42	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 150 Derajat *Maximum Water depth*
WC43	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 180 Derajat *Maximum Water depth*
WC44	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 210 Derajat *Maximum Water depth*
WC45	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 240 Derajat *Maximum Water depth*
WC46	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 270 Derajat *Maximum Water depth*
WC47	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 300 Derajat *Maximum Water depth*
WC48	Beban Lingkungan Kondisi *Storm* Arah 330 Derajat *Maximum Water depth*

3.5.1. Beban Equipment

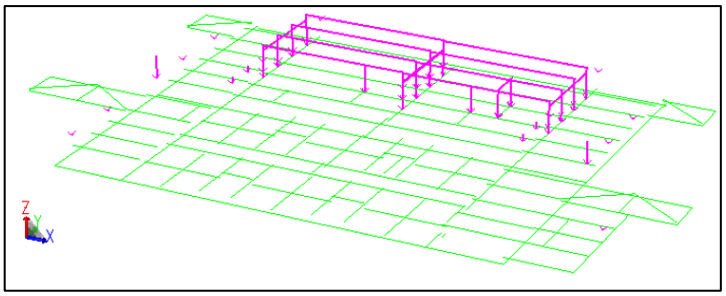
Terdapat dua macam beban *equipment* yang digunakan yakni beban *equipment* pada konisi operasional dan beban *equipment* pada kondisi *Storm*. Beban Equipment dapat dilihat pada **Tabel 3.29**.

Tabel 3.29 Beban Equipment

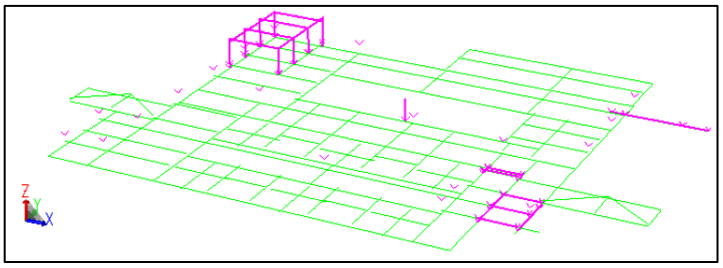
Nomor	*Equipment*	*Load ID*	Beban (kN)		Lokasi
			Operating	*Storm*	
1	*Carbon Dioxide Estinguisher*	CDEXT	0.098	0.098	*Cellar Deck, Mezzanine Deck*
2	*Coil Tube*	COILTUBE	266.89	266.892	*Main Deck*
3	*Deluge Skid*	127-LY-1	4.971	4.971	*Cellar Deck*
4	*Dry Chemical Fire Extinguisher*	FIREEXT	2.472	2.472	*Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck*
5	*Fire Water / Foam Hosereel*	FWFOAM	-	2.836	*Mezzanine Deck, Cellar Deck*
6	*Fire Water Monitor*	FWMNTR	-	0.147	*Mezzanine Deck*

Nomor	*Equipment*	*Load ID*	Beban (kN)		Lokasi
			Operating	*Storm*	
7	*Lifebouy with Light and Painter Line*	*LIFE*BOUY	-	2.107	*Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck*
8	*Life Raft (25 men)*	*LIFE*RAFT	-	7.257	*Cellar Deck, Sub Cellar Deck*
9	*Monorail With Hoist*	MR-WHP-1	-	0.147	*Mezzanine Deck*
10	*Dry Chemical Wheeled Fire Extinguisher*	MULTIDCF	0.441	0.441	*Mezzanine Deck*
11	*Multiphase Flow Meter*	111-JY-1	5.266	5.266	*Cellar Deck*
12	*Navigational Aid Light*	139-EV-1	0.392	0.392	*Main Deck*
13	*Open Drain Pump*	119-P-1	0.490	0.490	*Sub Cellar Deck*
14	*Open Drain Tank*	119-T-1	71.588	41.188	*Sub Cellar Deck*
15	*PIG Receiver*	114-MQ-1	6.669	6.669	*Cellar Deck*
16	*External Emergency Lighting*	138-ED-3	2.942	2.942	*Cellar Deck*
17	*Stretcher*	STRETCHR	-	0.138	*Cellar Deck*
18	*Wellhead Control Panel*	110-JP-1	30.891	26.969	*Mezzanine Deck*

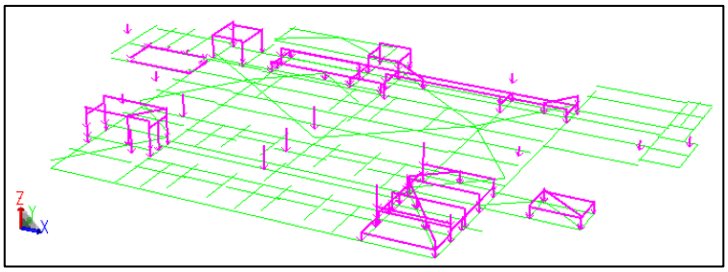
Ilustrasi beban equipment yang dimodelkan dapat dilihat pada **Gambar 3.18** hingga **Gambar 3.21**.



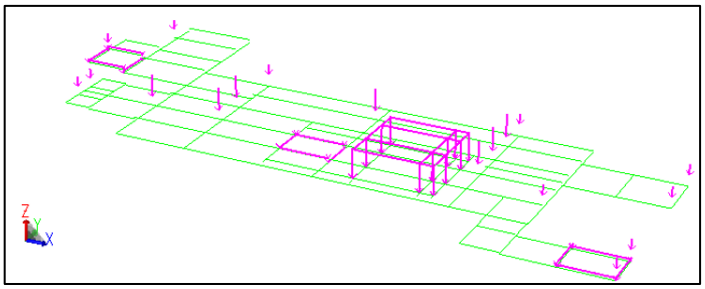
Gambar 3.18 Beban Equipment pada *Main Deck*



Gambar 3.19 Beban Equipment pada *Mezzanine Deck*



Gambar 3.20 Beban Equipment pada *Cellar Deck*



Gambar 3.21 Beban Equipment pada Sub*Cellar Deck*

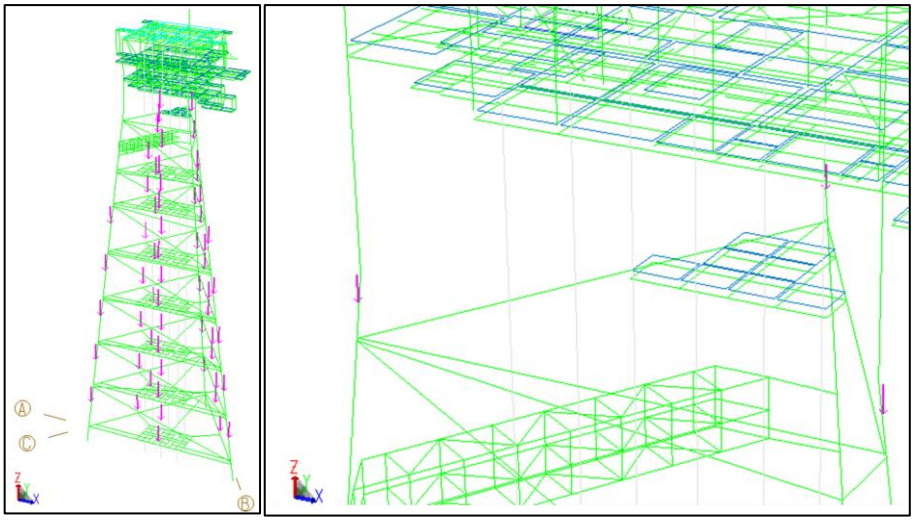
3.5.2. Beban Appurtenance

Beban *appurtenance* yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3.30.**

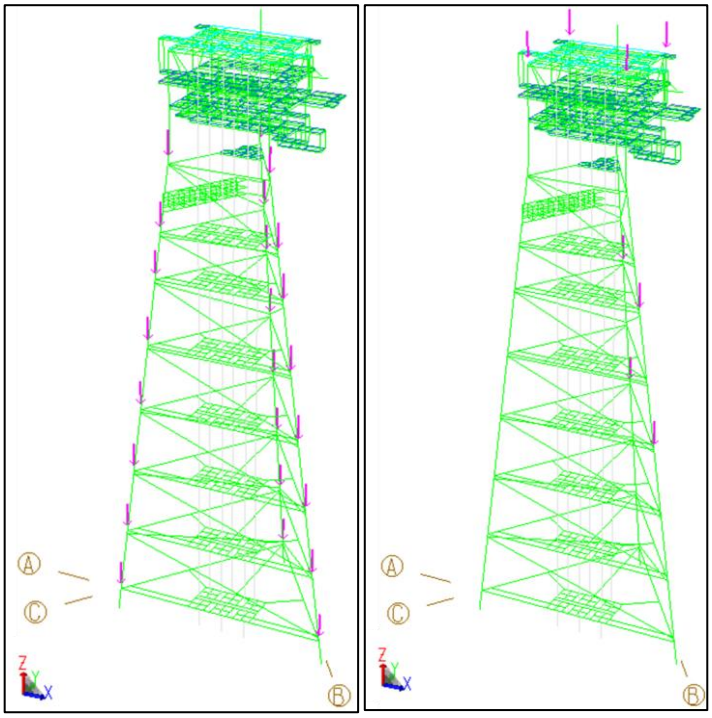
Tabel 3.30 Beban Appurtenance

Nomor	Deskripsi	Beban (kN/buah)
1	Padeye	4
2	Anode	2.5
3	Pile Centralizer	0.5
4	Crown Connection	4.7

Ilustrasi Beban Appurtenance dapat dilihat pada **Gambar 3.22** dan **Gambar 3.23**.



Gambar 3.22 Beban Anode (kiri) dan Beban Crown Connection (kanan)



Gambar 3.23 Beban Pile Centralizer (kiri) dan Beban Pad Eye (kanan)

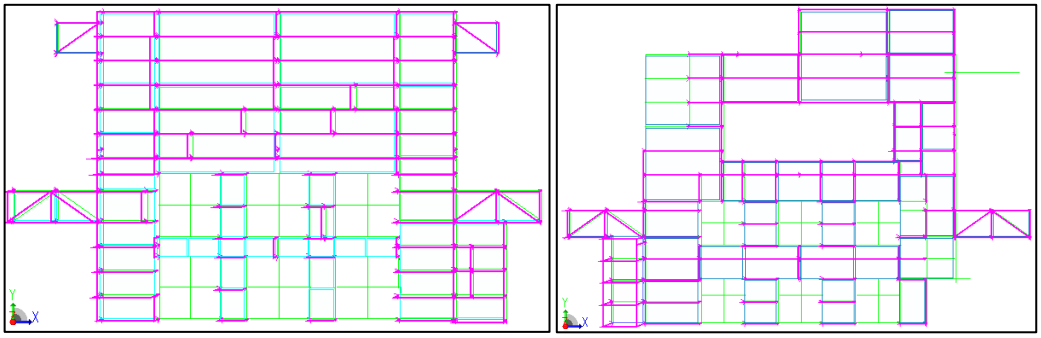
3.5.3. Beban Hidup

Beban hidup berbeda di setiap *deck* yang dapat dilihat pada **Tabel 3.31**.

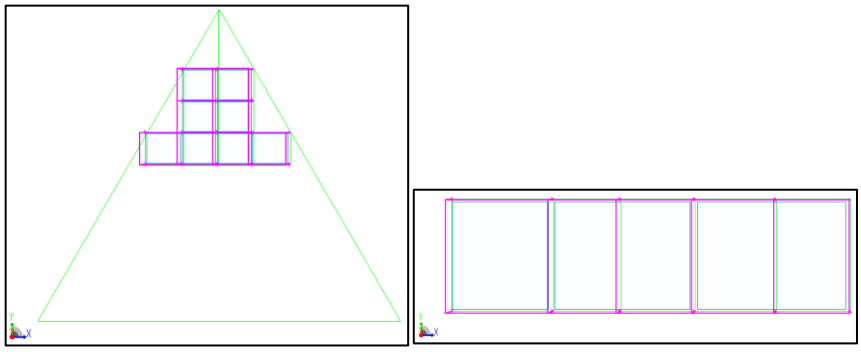
Tabel 3.31 Daftar Beban Hidup

Nomor	***Item/Location***	***Minimum Strength Area Loads (Global Analysis)* UDL (kN/m²)**	***Area (m²)***	***Total Applied Load (kN)***
1	*General lay-down and storage areas*	25	146.933	3673.325
2	*Sub Cellar Deck*	5	91.891	459.455
3	*Walkways/Grated Area*	5	176.1065	880.533
4	*Stair and access platform*	5	4.08	20.4
5	*Main deck Local Design*	15	112.82	1692.28
6	*Areas where coil tubing is located*	25	27.218	680.438

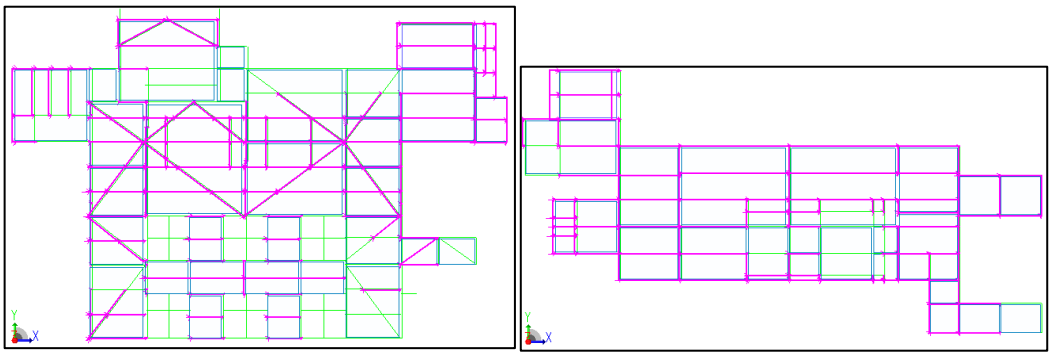
Ilustrasi lokasi beban hidup dapat dilihat pada **Gambar 3.24** hingga **Gambar 3.26.**



Gambar 3.24 Beban Hidup pada *Main Deck* (kiri) dan *Mezzanine Deck* (kanan)



Gambar 3.25 Beban Hidup pada *Jacket* Walkway (kiri) dan Landing Deck (kanan)



Gambar 3.26 Beban Hidup pada *Cellar Deck* (kiri) dan Sub-*Cellar Deck* (kanan)

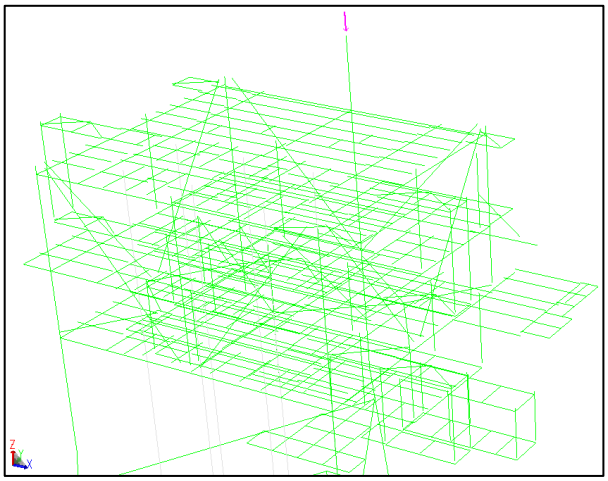
3.5.4. Beban Crane

Beban crane yang digunakan terdiri dari beban vertical crane dan momen crane yang dibagi menjadi dua arah yakni arah x dan arah y. Beban Crane yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3.32**.

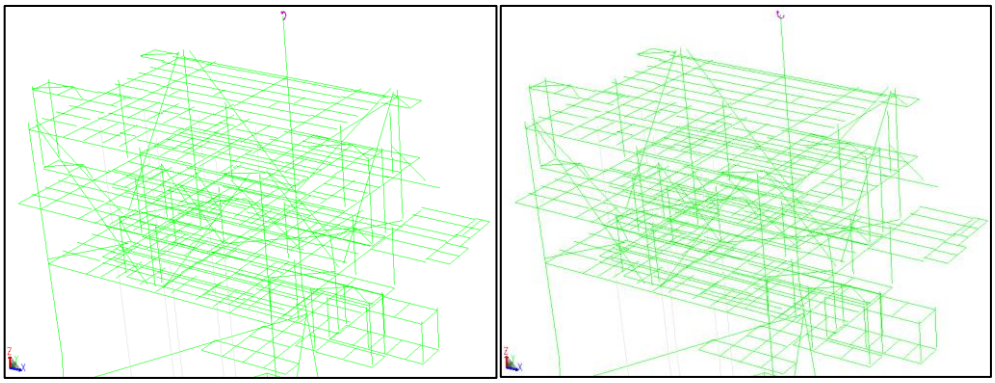
Tabel 3.32 Beban Akibat Crane

Deskripsi Beban	Kondisi	
	Operasional (kN)	*Storm* (kN)
Beban Mati	435.93	435.93
Beban Vertikal	599.07	-
Momen arah x	8775	-
Momen arah y	8775	-

Ilustrasi beban crane pada model dapat dilihat pada **Gambar 3.27** dan **Gambar 3.28**.



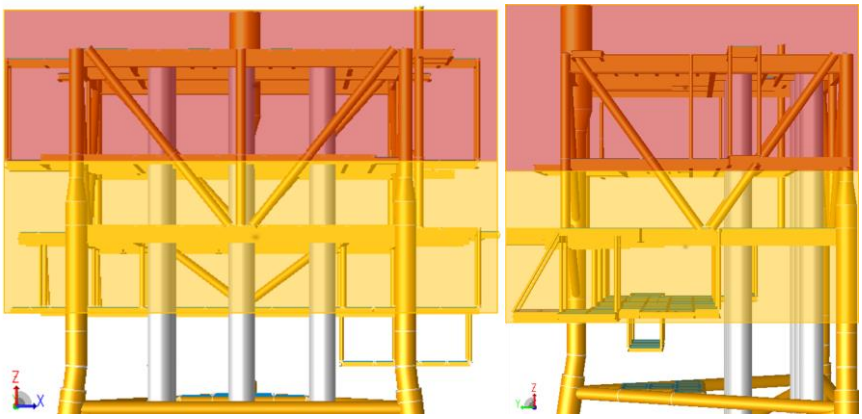
Gambar 3.27 Beban Vertikal Crane



Gambar 3.28 Momen Crane Arah X (kiri) dan Momen Crane Arah Y (kanan)

3.5.5. Beban Angin

Beban angin yang bekerja akan dimodelkan pada *main deck* dan *cellar deck*. Untuk pembagian luas penampang akibat beban angin yang bekerja dapat dilihat pada **Gambar 3.29**. Untuk menghitung beban angin yang bekerja perhitungan yang digunakan mengacu pada API RP-2A WSD. Nilai beban angin yang dihitung dapat dilihat pada **Tabel 3.33** hingga **Tabel 3.36**.



Gambar 3.29 Pembagian Beban Angin Arah Y (kiri) Arah X (kanan)

Tabel 3.33 Beban Angin Arah X Kondisi Operasional

Deck	**Area (ft^2)**	**U_{opr}**	**I(u)**	**C**	**Uz**	**U(z,t)**	**FxOpr (kips)**
Main Deck	783	38.71	0.0645	0.09535	41.625	46.134	20.92
Cellar Deck	757	38.71	0.0833	0.09535	40.086	45.694	20.08

Tabel 3.34 Beban Angin Arah Y Kondisi Operasional

Deck	**Area (ft^2)**	**U_{opr}**	**I(u)**	**C**	**Uz**	**U(z,t)**	**FyOpr (kips)**
Main Deck	1343	38.71	0.0645	0.09535	41.625	46.134	35.88
Cellar Deck	1135	38.71	0.0833	0.09535	40.086	45.694	30.07

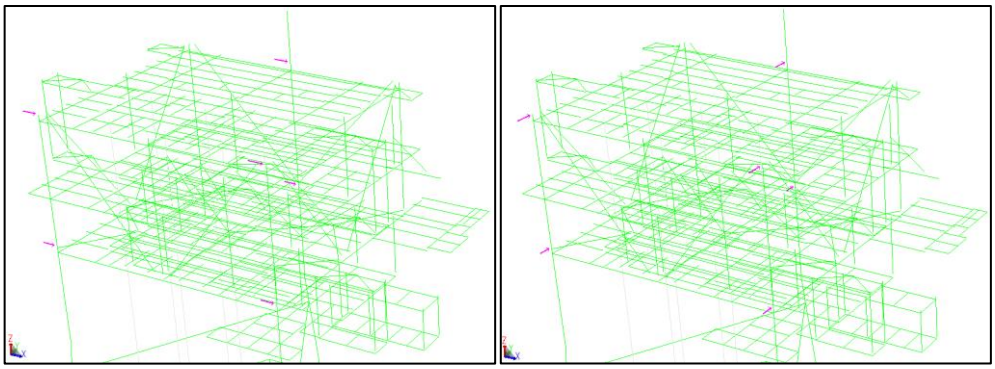
Tabel 3.35 Beban Angin Arah X Kondisi *Storm*

Deck	**Area (ft^2)**	**U_{opr}**	**I(u)**	**C**	**Uz**	**U(z,t)**	**FxOpr (kips)**
Main Deck	783	55.44	0.0856	0.10657	58.328	66.748	38.66
Cellar Deck	757	55.44	0.0942	0.10657	55.948	64.789	35.29

Tabel 3.36 Beban Angin Arah Y Kondisi *Storm*

Deck	**Area (ft^2)**	**U_{opr}**	**I(u)**	**C**	**Uz**	**U(z,t)**	**FyOpr (kips)**
Main Deck	1343	55.44	0.0856	0.10657	58.328	66.748	66.32
Cellar Deck	1135	55.44	0.0942	0.10657	55.948	64.789	52.86

Beban angin yang digunakan merupakan beban yang bekerja pada *joint* yang dimodelkan di setiap *deck* leg pada elevasi *main deck* dan *cellar deck*. Ilustrasi beban angin pada model dapat dilihat pada **Gambar 3.30**.



Gambar 3.30 Beban Angin Arah X (kiri) arah Y (kanan)

3.5.6. Beban Gelombang

Pada tugas akhir ini, beban gelombang dan arus bekerja pada struktur dengan waktu bersamaan. Untuk menghitung beban gelombang dan arus, digunakan teori gelombang yang akan dipakai mengacu pada API RP 2A-WSD dan akan dihitung

secara otomatis dengan perangkat lunnak SACS. Parameter gelombang yang dibutuhkan adalah teori gelombang, tinggi gelombang, periode gelombang, *wave kinematics factor* dan arah gelombang. Parameter arus yang dibutuhkan adalah kecepatan dan arah arus perkedalaman dan *blocking factor*. Berikut adalah perhitungan beban gelombang setiap kondisi.

1. Penentuan *Apparent Wave Period* (T_{app})

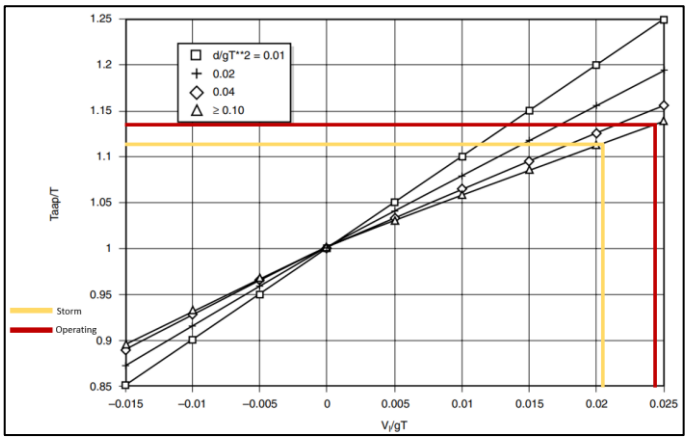
   Perhitungan *Apparent Wave Periode* adalah perhitungan periode gelombang akibat efek *Doppler* dari arus. Untuk menentukan nilai *Apparent Wave Periode* dibutuhkan persamaan grafik yang tetera pada API RP-2A WSD dengan syarat nilai d/gT^2 lebih dari 0.01. Berikut perhitungan ditunjukkan pada **Tabel 3.37**, **Tabel 3.38** dan **Gambar 3.31**.

Tabel 3.37 Perhitungan Apparent Wave Period 1

Kondisi	$\frac{v}{gT}$		$\frac{d}{gT^2}$	
	Maximum WD	***Minimum WD***	***Maximum WD***	***Minimum WD***
Operating	0.02421	0.02421	0,0985	0,0945
Storm	0.020604	0.020604	0,0714	0,0684

Tabel 3.38 Perhitungan Apparent Wave Period 2

Kondisi	$\frac{T_{app}}{T}$	T_{app}
Operating	1.148 s	9.184 s
Storm	1.1192 s	10.52 s



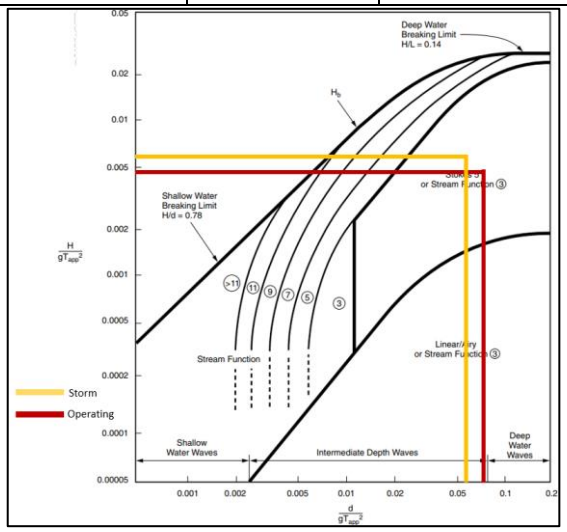
Gambar 3.31 Grafik Apparent Wave Period
(Sumber : API RP-2A WSD 21st Edition)

2. Penentuan Teori Gelombang

   Setelah dilakukan perhitungan *Apparent Wave Period* (T_{app}), teori gelombang dapat dicari dengen menggunakan Grafik *Regions of Applicability of Stream Function, Stokes V, and Linear Wave Theory* yang bersumber pada API RP-2A WSD. Berikut perhitungan penentuan teori gelombang yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3.39** dan **Gambar 3.32**.

Tabel 3.39 Perhitungan Teori Gelombang

Kondisi	Kedalaman	$\frac{d}{gT_{app}^2}$	$\frac{h}{gT_{app}^2}$	Teori Gelombang
Operasional	Maksimum	0.0757	0.00502	Stokes 5/Stream Function
	Minimum	0.0726		
Storm	Maksimum	0.0545	0.00571	Stokes 5/Stream Function
	Minimum	0.0569		



Gambar 3.32 Penentuan Teori Gelombang
(Sumber : API RP-2A WSD 21st Edition)

3.5.7. Beban Mati dan Bouyancy

Beban mati dan *bouyancy* saling berhubungan. Beban mati adalah beban yang yang dihasilkan atas massa dari struktur tersebut sehingga beban mati akan selalu ada pada *platform* selama *platform* tersebut ada. Berat mati struktur berbeda-beda pada setiap kondisinya karena kedalaman air yang berbeda. Untuk perhitungan berat sendiri struktur digunakan berat jenis baja sebesar 7.85 ton/m^3, berat jenis air laut sebesar 1.028 ton/m^3 dan beberapa *member* diatur untuk kondisi *flooded* (bagian

yang kosong pada *member* terisi oleh air laut) dan *nonflooded* (bgian yang kosong pada *member* tidak terisi air laut). Berikut mati struktur dan *bouyancy* dapat dilihat pada **Tabel 3.40.**

Tabel 3.40 Beban Mati dan Beban Bouyancy

Keterangan	**Total Beban (kN)**	
	Beban Mati	***Bouyancy***
Max Water depth 1 yr - Operating	22296.639	12571.954
Min Water depth 1 yr - Operating	23532.178	12213.622
Max Water depth 100 yr - Storm	21762.824	12544.211
Min Water depth 100 yr - Storm	22772.229	12094.942

BAB 4 ANALISIS IN-PLACE

4.1. Deskripsi Umum

Analisis *in-place* dilakukan berdasarkan kode standar API RP-2A WSD. Pada analisis ini, akan dilakukan pengecekan *unity check member, unity check joitn can,* defleksi dan kapasitas tiang pancang. Terdapat beberapa kombinasi pembebanan yang dilakukan pada analisis *in-place*. Keempat kombinasi pembebanan adalah sebagai berikut:

1. Beban pada kondisi operasional dengan kedalaman desain maksimum.
2. Beban pada kondisi operasional dengan kedalaman desain *minimum*.
3. Beban pada kondisi *Storm* dengan kedalaman desain maksimum.
4. Beban pada kondisi *Storm* dengan kedalaman desain *minimum*.

4.2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk setiap kondisi dapat dilihat pada **Tabel 4.1** hingga **Tabel 4.4**.

Tabel 4.1 Kombinasi Pembebanan Kondisi *Minimum Operating*

Load Case	*Operating - Minimum Water depth*											
	101	**102**	**103**	**104**	**105**	**106**	**107**	**108**	**109**	**110**	**111**	**112**
Sudut	*0*	*30*	*60*	*90*	*120*	*150*	*180*	*210*	*240*	*270*	*300*	*330*
Dead	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
CRN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CRN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CRNX	1	0.87	0	0	-0.5	-0.87	0	-0.87	-0.5	0	0.5	0.87
CRNY	0	0.5	0.87	1	0	0.5	0	-0.5	-0.87	-1	-0.87	-0.5
LIVE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EQP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
APP	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
WFX	1	0.87	0.5	0	-0.5	-0.87	-1	-0.87	-0.5	0	0.5	0.87
WFY	0	0.5	0.87	1	0.87	0.5	0	-0.5	-0.87	-1	-0.87	-0.5
WC 1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 4	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 5	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
WC 6	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
WC 7	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-

Load Case	*Operating - Minimum Water depth*											
	101	**102**	**103**	**104**	**105**	**106**	**107**	**108**	**109**	**110**	**111**	**112**
Sudut	*0*	*30*	*60*	*90*	*120*	*150*	*180*	*210*	*240*	*270*	*300*	*330*
WC 8	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
WC 9	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
WC 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
WC 11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
WC 12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Tabel 4.2 Kombinasi Pembebanan Kondisi *Maximum Operating*

Load Case	*Operating - Maximum Water depth*											
	201	**202**	**203**	**204**	**205**	**206**	**207**	**208**	**209**	**210**	**211**	**212**
	0	*30*	*60*	*90*	*120*	*150*	*180*	*210*	*240*	*270*	*300*	*330*
Dead	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
CRN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CRN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CRNX	1	0.87	0	0	-0.5	-0.87	0	-0.87	-0.5	0	0.5	0.87
CRNY	0	0.5	0.87	1	0	0.5	0	-0.5	-0.87	-1	-0.87	-0.5
LIVE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EQP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
APP	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
WFX	1	0.87	0.5	0	-0.5	-0.87	-1	-0.87	-0.5	0	0.5	0.87
WFY	0	0.5	0.87	1	0.87	0.5	0	-0.5	-0.87	-1	-0.87	-0.5
WC 13	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 14	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 15	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 16	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 17	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
WC 18	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
WC 19	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
WC 20	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
WC 21	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
WC 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
WC 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
WC 24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Tabel 4.3 Kombinasi Pembebanan Kondisi *Minimum Storm*

Load Case	*Storm - Minimum Water depth*											
	301	**302**	**303**	**304**	**305**	**306**	**307**	**308**	**309**	**310**	**311**	**312**
	0	*30*	*60*	*90*	*120*	*150*	*180*	*210*	*240*	*270*	*300*	*330*
Dead	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
CRN	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

Load Case	*Storm - Minimum Water depth*											
	301	**302**	**303**	**304**	**305**	**306**	**307**	**308**	**309**	**310**	**311**	**312**
	0	*30*	*60*	*90*	*120*	*150*	*180*	*210*	*240*	*270*	*300*	*330*
LIVE	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
EQP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
APP	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
WFX	1	0.87	0.5	0	-0.5	-0.87	-1	-0.87	-0.5	0	0.5	0.87
WFY	0	0.5	0.87	1	0.87	0.5	0	-0.5	-0.87	-1	-0.87	-0.5
WC 25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 26	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 27	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 28	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 29	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
WC 30	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
WC 31	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
WC 32	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
WC 33	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
WC 34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
WC 35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
WC 36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

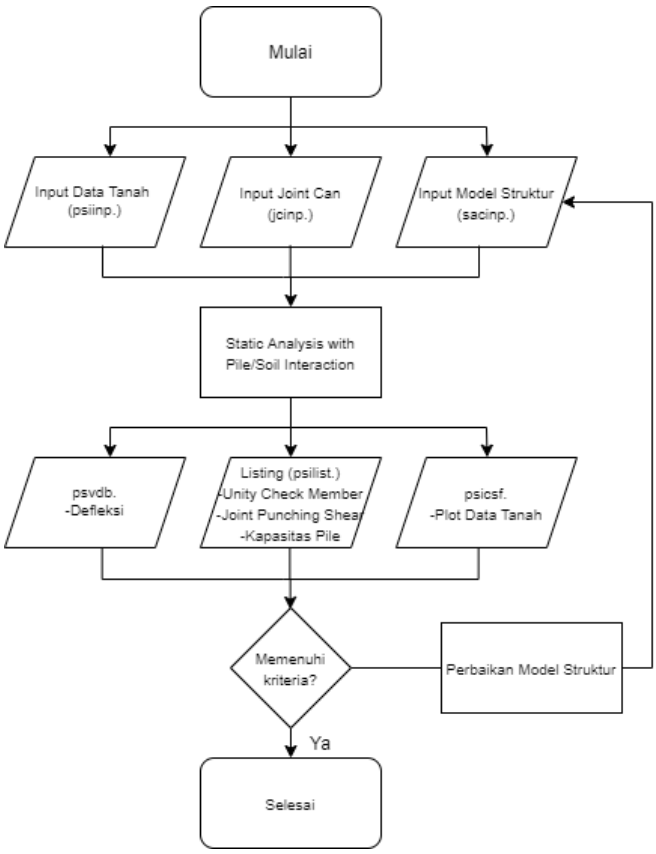
Tabel 4.4 Kombinasi Pembebanan Kondisi *Maximum Storm*

Load Case	*Storm - Maximum Water depth*											
	401	**402**	**403**	**404**	**405**	**406**	**407**	**408**	**409**	**410**	**411**	**412**
	0	*30*	*60*	*90*	*120*	*150*	*180*	*210*	*240*	*270*	*300*	*330*
Dead	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
CRN	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
LIVE	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
EQP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
APP	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
WFX	1	0.87	0.5	0	-0.5	-0.87	-1	-0.87	-0.5	0	0.5	0.87
WFY	0	0.5	0.87	1	0.87	0.5	0	-0.5	-0.87	-1	-0.87	-0.5
WC 37	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 38	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 39	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 40	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
WC 41	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
WC 42	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
WC 43	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
WC 44	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
WC 45	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
WC 46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-

Load Case	*Storm - Maximum Water depth*											
	401	**402**	**403**	**404**	**405**	**406**	**407**	**408**	**409**	**410**	**411**	**412**
WC 47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
WC 48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

4.3. Metode Analisis In-Place

Analisis *in-place* dilakukan dengan bantuan perangkat SACS. Alur pengerjaan Analisis *in-place* dapat dilihat pada **Gambar 4.1.**



Gambar 4.1 Diagram alir analisis *in-place*

4.4. Hasil Analisis In-Place

4.4.1. Pemeriksaan Unity Check Tegangan *Member*

Unity Check adalah rasio antara tegangan yang terjadi apda struktur dengan tegangan yang diizinkan dimana rasio tersebut tidak boleh bernilai lebih dari 1. *Unity check* yang dilampirkan merupakan nilai *unity check* pada struktur yang sidah dioptimasi. Nilai unity check terbesar setiap grup *member* untuk setiap kondisi dapat dilihat pada **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6.**

Tabel 4.5 UC Ratio pada Kondisi Operasi

Description	*Group*	Member No.	*Min Opreating*		*Max Operating*	
			LC	UC	LC	UC
Deck Beam	C25	6190-6192	104	0.89	204	0.89
Vertical Cone Bracing at Deck	CN1	L007-L008	109	0.35	209	0.34
	CN2	L056-L055	102	0.71	202	0.71
Crane Pedestal Leg	CPL	8043-L058	106	0.8	209	0.8
Diagonal Bracing at Deck	DGD	7506-8010	104	0.89	204	0.89
Diagonal Bracing at Jacket	DGJ	202L-301L	101	0.4	201	0.37
Diagonal Bracing at Jacket (Splash Zone)	DGS	901L-803L	109	0.29	209	0.27
Horizonal Tubular Bracing at Deck	DHB	6126-6254	109	0.35	209	0.34
Deck Leg	DLG	B03L-L050	105	0.72	204	0.73
Deck Beam	H10	6185-6183	110	0.18	210	0.18
Horizontal Bracing at Jacket	HOR	801L-0563	111	0.43	212	0.42
Jacket Walkway	JW	0150-903L	104	0.17	204	0.17
Deck Beam	L6	8020-8012	106	0.3	206	0.3
Jacket Leg	LG2	103L-203L	104	0.45	204	0.41
	LG3	203L-303L	104	0.38	210	0.37
	LG4	303L-403L	110	0.11	210	0.1
	LG5	403L-503L	110	0.18	210	0.17
	LG6	503L-603L	110	0.22	210	0.21
	LG7	603L-703L	110	0.28	210	0.27
	LG8	703L-803L	110	0.34	210	0.33
	LG9	0142-903L	110	0.46	210	0.46
	LGB	803L-0144	110	0.41	210	0.4
Jacket Leg at Splash Zone	LGS	0144-0142	110	0.43	210	0.41
Mudmat	MDM	0202-0315	110	0.74	210	0.69
Pile	PL1	003P-103P	104	0.83	204	0.69
	PL2	103P-203P	104	0.81	204	0.68
	PL3	203P-303P	104	0.83	204	0.69
	PL4	303P-403P	104	0.67	204	0.57
	PL5	403P-503P	104	0.61	204	0.52
	PL6	503P-603P	104	0.6	204	0.51
	PL7	603P-703P	104	0.6	204	0.51
	PL8	703P-803P	104	0.58	204	0.49
	PL9	803P-903P	104	0.6	204	0.52

Description	*Group*	Member No.	*Min Opreating*		*Max Operating*	
			LC	UC	LC	UC
	PLA	A03L-B03L	104	0.53	204	0.45
Deck Beam	UB2	7086-7073	112	0.94	212	0.94
	UB3	6098-6258	102	0.89	212	0.89
	UB4	7125-7067	102	0.57	202	0.57
	UB5	6153-6156	108	0.21	205	0.2
	UB6	6173-6164	104	0.77	204	0.77
	UB7	6107-6327	110	0.96	210	0.95
	UB9	8041-8043	104	0.85	204	0.85
Vertical Bracing at Deck	VB1	L008-8054	103	0.56	203	0.56
	VB2	6173-7083	104	0.93	204	0.92
	VB3	5004-6107	110	0.54	210	0.53
	VB4	7102-8062	109	0.75	209	0.74
	VB5	5025-6261	105	0.27	205	0.27

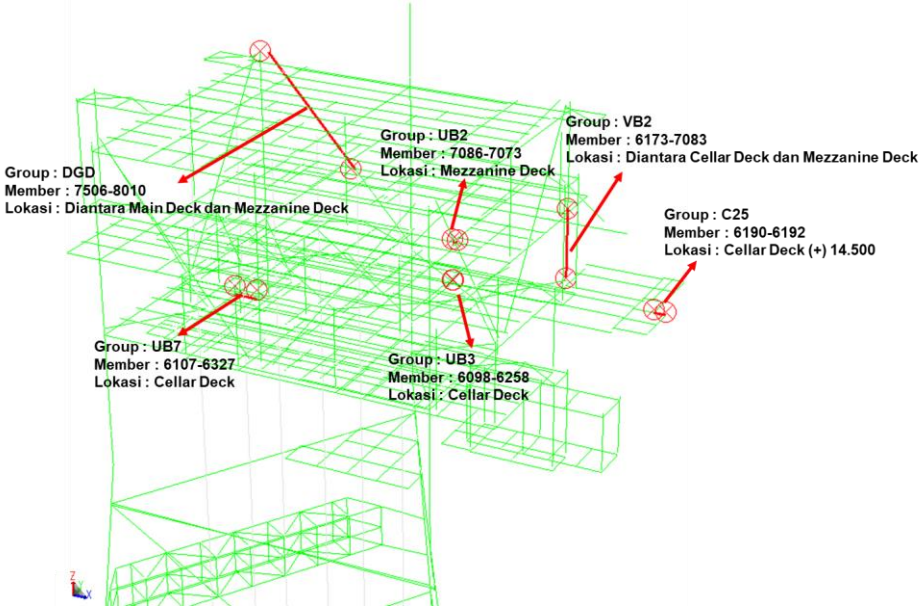
Tabel 4.6 UC Ratio pada Kondisi *Storm*

Description	*Group*	Member No.	*Min Storm*		*Max Storm*	
			LC	UC	LC	UC
Deck Beam	C25	6190-6192	304	0.55	404	0.55
Vertical Cone Bracing at Deck	CN1	L003-L004	311	0.28	410	0.29
	CN2	L056-L055	304	0.27	404	0.27
Crane Pedestal Leg	CPL	L056-8043	304	0.18	404	0.17
Diagonal Bracing at Deck	DGD	7507-8045	304	0.6	404	0.59
Diagonal Bracing at Jacket	DGJ	203L-301L	303	0.56	403	0.53
Diagonal Bracing at Jacket (Splash Zone)	DGS	901L-803L	309	0.3	409	0.29
Horizonal Tubular Bracing at Deck	DHB	6235-6106	311	0.31	411	0.32
Deck Leg	DLG	7304-6160	304	0.69	404	0.7
Deck Beam	H10	6185-6183	310	0.12	410	0.12
Horizontal Bracing at Jacket	HOR	801L-0563	312	0.44	410	0.45
Jacket Walkway	JW	0150-903L	304	0.2	404	0.21
Deck Beam	L6	8020-8012	310	0.17	410	0.17
Jacket Leg	LG2	103L-203L	304	0.52	404	0.53
	LG3	203L-303L	310	0.48	410	0.47
	LG4	303L-403L	310	0.14	410	0.13
	LG5	403L-503L	310	0.2	410	0.19

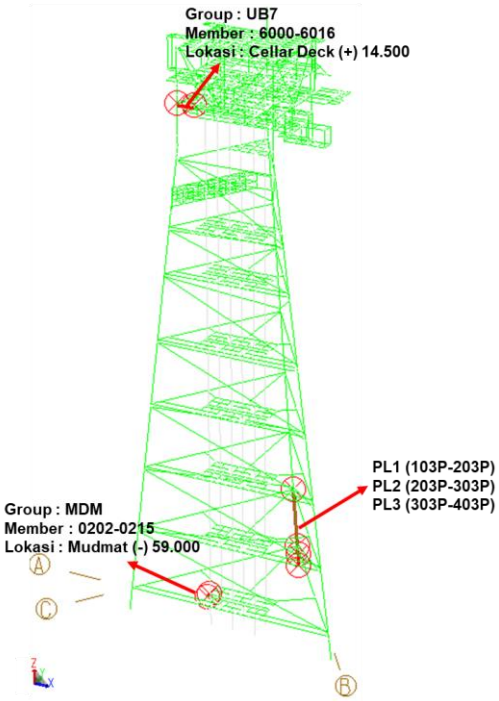
Description	*Group*	Member No.	*Min Storm*		*Max Storm*	
			LC	UC	LC	UC
	LG6	503L-603L	310	0.25	410	0.24
	LG7	603L-703L	310	0.32	410	0.31
	LG8	703L-803L	310	0.39	410	0.38
	LG9	0142-903L	310	0.52	410	0.52
	LGB	803L-0144	310	0.47	410	0.45
Jacket Leg at Splash Zone	LGS	0144-0142	310	0.48	410	0.46
Mudmat	MDM	0202-0315	310	0.88	410	0.87
Pile	PL1	003P-103P	304	0.83	404	0.93
	PL2	103P-203P	304	0.81	404	0.91
	PL3	203P-303P	304	0.75	404	0.86
	PL4	303P-403P	304	0.63	404	0.71
	PL5	403P-503P	304	0.57	404	0.64
	PL6	503P-603P	304	0.57	404	0.63
	PL7	603P-703P	304	0.56	404	0.63
	PL8	703P-803P	304	0.56	404	0.62
	PL9	803P-903P	304	0.59	404	0.66
	PLA	903P-A03L	304	0.53	404	0.6
Deck Beam	UB2	7071-7076	309	0.51	410	0.52
	UB3	8103-8111	310	0.58	404	0.7
	UB4	7000-7001	311	0.54	411	0.56
	UB5	6153-6156	304	0.17	404	0.16
	UB6	6062-6065	310	0.62	410	0.63
	UB7	6000-6016	312	0.83	412	0.86
	UB9	6171-6160	304	0.43	404	0.43
Vertical Bracing at Deck	VB1	7000-8001	311	0.39	411	0.4
	VB2	6173-7083	304	0.52	404	0.52
	VB3	5004-6107	310	0.47	410	0.48
	VB4	7102-8062	310	0.49	410	0.5
	VB5	5025-6261	304	0.19	404	0.19

Berdasarkan beberapa tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai *Unity Check* pada kondisi *operating* lebih besar daripada kondisi *Storm*. Hal ini dikarenakan beban hidup yang bekerja pada kondisi *operating* lebih besar daripada kondisi *Storm*. Namun berbeda dengan beberapa *member* di *jacket* dimana *Unity Check* pada kondisi *operating* lebih kecil daripada kondisi *Storm*. Hal ini dikarenakan *member* tersebut dalam kondisi *Storm* harus menahan gaya lingkungan yang lebih

besar daripada pada kondisi *operating*. Visualisasi bagian yang menghasilkan nilai UC terbesar dapat dilihat pada **Gambar 4.2** dan **Gambar 4.3**.



Gambar 4.2 Critical *Member* pada Kondisi *Operating*



Gambar 4.3 Critical *Member* pada Kondisi *Storm*

4.4.2. Pemeriksaan *Joint* Punching Shear

Pada pemeriksaan *joint punching* shear, dilakukan analisis nilai UC *joint can* di setiap elevasi *jacket* dimana nilai maksimum adalah 1. Nilai UC *joint can* maksimum setiap elevasi *jacket* dapat dilihat pada **Tabel 4.7** dan **Tabel 4.8.**

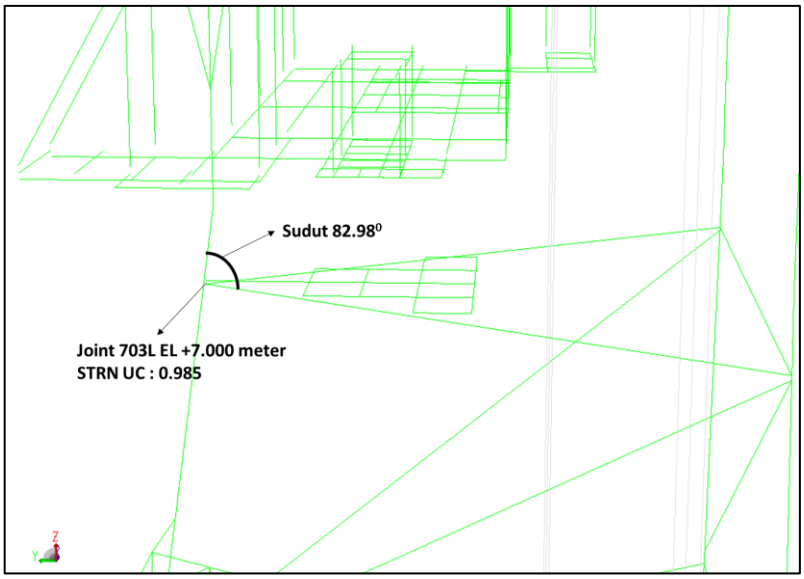
Tabel 4.7 *Joint* Punching Shear Kondisi Operasi

Joint	*Maximum* Depth			*Minimum* Depth			Lokasi (m)
	Load UC	Strength UC	Load Combination	Load UC	Strength UC	Load Combination	
903L	0.154	0.953	210	0.151	0.954	110	7.000
803L	0.212	0.804	205	0.209	0.865	103	-3.000
703L	0.197	0.876	210	0.202	0.879	110	-9.833
602L	0.266	0.887	207	0.278	0.887	107	-19.667
502L	0.265	0.885	207	0.276	0.885	107	-29.500
402L	0.249	0.837	207	0.259	0.883	107	-39.330
302L	0.26	0.882	207	0.269	0.882	107	-49.167
202L	0.193	0.901	212	0.207	0.904	112	-59.000

Tabel 4.8 *Joint* Punching Shear Kondisi *Storm*

Joint	*Maximum* Depth			*Minimum* Depth			Lokasi (m)
	Load UC	Strength UC	Load Combination	Load UC	Strength UC	Load Combination	
903L	0.164	0.981	410	0.158	0.985	310	7.000
802L	0.237	0.739	404	0.238	0.742	304	-3.000
703L	0.227	0.875	410	0.228	0.881	310	-9.833
603L	0.257	0.833	410	0.269	0.838	310	-19.667
503L	0.265	0.788	410	0.279	0.792	310	-29.500
401L	0.294	0.778	406	0.306	0.772	306	-39.330
301L	0.321	0.774	410	0.338	0.774	310	-49.167
202L	0.238	0.882	412	0.26	0.884	312	-59.000

Berdasarkan tabel-tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai *unity check joint can* setiap kondisi masih memenuhi kriteria dimana nilainya tidak melebihi angka 1. Visuaslisasi lokasi *joint punching shear* maksimum dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Lokasi *Joint* Punching Shear Maksimum

4.4.3. Kapasitas Pile

Nilai kapasitas pile *compression* dan *tension* dapat dilihat pada **Tabel 4.9** dan **Tabel 4.12**.

Tabel 4.9 Kapasitas Pile kondisi operasi kedalaman maksimum

Operating – Maximum Depth				
Compression				
Joint	**Capacity (kN)**	**Max. Load (kN)**	**Load Comb.**	**SF**
001P	-26940.8	-6723.9	208	4.01
002P	-26940.8	-7129.9	212	3.78
003P	-26887.6	-11900.1	204	2.26
Tension				
Joint	**Capacity (kN)**	**Max. Load (kN)**	**Load Comb.**	**SF**
001P	27100	2068.1	202	13.10
002P	27100	1939.8	206	13.97
003P	27047	3062.1	210	8.83

Tabel 4.10 Kapasitas Pile kondisi operasi kedaaman minimum

Operating – Minimum Depth				
Joint	***Compression***			
	Capacity (kN)	**Max. Load (kN)**	**Load Comb.**	**SF**
001P	-26940.8	-6329	107	4.26
002P	-26940.8	-7117.7	112	3.79
003P	-26887.6	-12091.7	104	2.22
Joint	***Tension***			
	Capacity (kN)	**Max. Load (kN)**	**Load Comb.**	**SF**
001P	27100	2113.1	102	12.82
002P	27100	2062.1	106	13.14
003P	27047	3233.2	110	8.37

Tabel 4.11 Kapasitas Pile kondisi *Storm* kedalaman maksimum

Storm – Maximum Depth				
Joint	***Compression***			
	Capacity (kN)	**Max. Load (kN)**	**Load Comb.**	**SF**
001P	-26940.8	-9378.5	408	2.87
002P	-26940.8	-10162.7	412	2.65
003P	-26887.6	-16811.2	404	1.60
Joint	***Tension***			
	Capacity (kN)	**Max. Load (kN)**	**Load Comb.**	**SF**
001P	27100	5614	402	4.83
002P	27100	5612.6	406	4.83
003P	27047	9444.3	410	2.86

Tabel 4.12 Kapasitas Pile kondisi Storm kedalaman minimum

Storm – Minimum Depth				
Joint	***Compression***			
	Capacity (kN)	**Max. Load (kN)**	**Load Comb.**	**SF**
001P	-26940.8	-9974.6	308	2.70
002P	-26940.8	-10757.5	312	2.50
003P	-26887.6	-17323.8	304	1.55
Joint	***Tension***			
	Capacity (kN)	**Max. Load (kN)**	**Load Comb.**	**SF**
001P	27100	5608.1	302	4.83
002P	27100	5709.9	306	4.75
003P	27047	9539.9	310	2.84

Berdasarkan tabel diatas didapatkan bahwa nilai safety factor yang terjadi pada kondisi operasional lebih dari 2 dan pada kondisi *Storm* lebih dari 1.5. Hal tersebut menunjukkan interaksi tanah dengan pile masih memenuhi kriteria API RP-2A WSD.

4.4.4. Defleksi

4.4.4.1. Defleksi Horizontal

Defleksi *horizontal* yang terjadi untuk setiap kondisi dapat dilihat pada **Tabel 4.13** sampai **Tabel 4.16**. Lokasi *joint* dengan nilai defleksi maksimum setiap *deck* ditunjukkan pada **Gambar 4.5**.

Tabel 4.13 Defleksi *Horizontal Operating Minimum Water depth*

Deck	***Joint***	**LC**	***Displacement***		**h (m)**	**Defleksi (cm)**	
			x	***y***		**Relatif**	**Izin**
Main deck	8017	104	0.47	22.14	81	22.15	40.50
Mezzanine Deck	7098	104	0.25	20.88	77.5	20.88	38.25
Cellar Deck	6136	104	0.46	20.28	73.5	20.28	36.75
Sub-Cellar Deck	5033	110	0.23	19.67	70	19.67	35.00

Tabel 4.14 Defleksi *Horizontal Operating Maximum Water depth*

Deck	***Joint***	**LC**	***Displacement***		**h (m)**	**Defleksi (cm)**	
			x	***y***		**Relatif**	**Izin**
Main deck	8017	204	0.48	19.66	81	19.66	40.50
Mezzanine Deck	7098	204	0.27	18.50	77.5	18.50	38.25
Cellar Deck	6136	204	0.47	17.97	73.5	17.98	36.75
Sub-Cellar Deck	5033	210	-0.79	17.73	70	17.74	35.00

Tabel 4.15 Defleksi *Horizontal Storm Minimum Water depth*

Deck	***Joint***	**LC**	***Displacement***		**h (m)**	**Defleksi (cm)**	
			x	***y***		**Relatif**	**Izin**
Main deck	8017	304	-0.26	33.75	81	33.75	40.50
Mezzanine Deck	7100	304	-0.22	32.60	77.5	32.60	38.25
Cellar Deck	6136	304	0.05	31.80	73.5	31.80	36.75
Sub-Cellar Deck	5033	310	-0.61	-31.39	70	31.40	35.00

Tabel 4.16 Defleksi *Horizontal Storm Maximum Water depth*

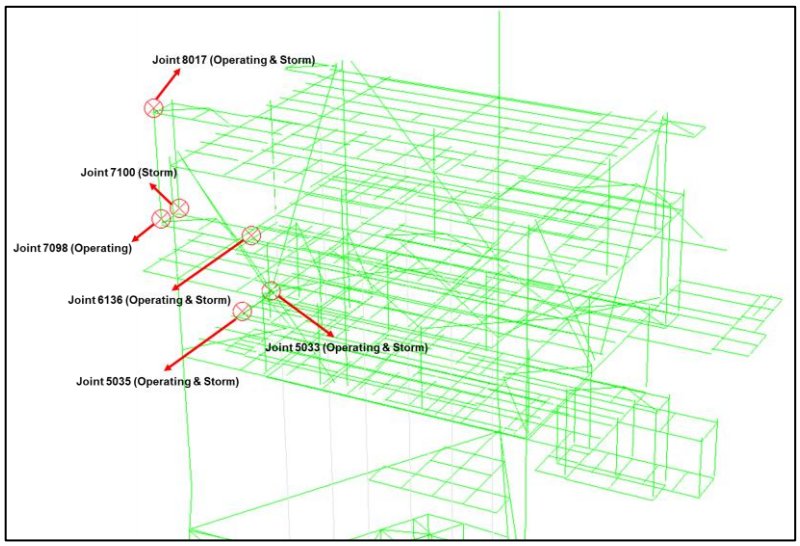
Deck	***Joint***	**LC**	***Displacement***		**h (m)**	**Defleksi (cm)**	
			x	***y***		**Relatif**	**Izin**
Main deck	8017	404	-0.22	36.15	81	36.15	40.50
Mezzanine Deck	7100	404	-0.19	34.85	77.5	34.85	38.25
Cellar Deck	6136	404	0.08	33.95	73.5	33.95	36.75
Sub-Cellar Deck	5035	404	-0.01	33.17	70	33.17	35.00

Berdasarkan nilai defleksi *horizontal* maksimum diatas, dapat dilihat bahwa seluruh defleksi *horizontal* yang terjadi pada struktur berada dibawah nilai defleksi izin sesuai dengan standar SNI 03-1729-2000.

Berdasarkan nilai defleksi *horizontal* maksimum diatas, dapat dilihat bahwa nilai defleksi *horizontal* terbesar terdapat pada kondisi *Storm* dengan kedalaman

maximum. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh beban lingkungan pada kondisi *Storm* jauh lebih besar daripada pengaruh angin pada kondisi *operating*.

Visualisasi defleksi *horizontal* maksimum pada setiap kondisi dan setiap *deck* dapat dilihat pada **Gambar 4.5.**



Gambar 4.5 *Joint* dengan Defleksi *Horizontal* Maksimum

4.4.4.2. Defleksi Vertikal

Defleksi vertikal pada analisis ini dicek pada setiap elevasi *deck* dan dapat dilihat pada **Tabel 4.17** sampai **Tabel 4.20**. Lokasi *joint* dengan nilai defleksi vertikal maksimum setiap *deck* ditunjukkan pada **Gambar 4.6** sampai **Gambar 4.9**.

Tabel 4.17 Defleksi Vertikal *Operating Minimum Water depth*

Deck	**LC**	***Joint***	**Defleksi *Joint* (cm)**	**Referensi *Joint***	**Def Ref *Joint* (cm)**	**SPAN (m)**	**Defleksi (cm)**	
							Relatif	**Izin**
Main deck	103	8154	-4.052	8155	-3.9003	1.2	0.1517	1.2
Mezzanine Deck	109	7100	-3.853	7098	-3.765	1.2	0.088	1.2
Cellar Deck	103	6182	-5.839	6186	-5.4036	1.1	0.4354	1.1
Sub-Cellar Deck	103	5096	-4.814	5097	-4.5418	1.65	0.2722	1.65

Tabel 4.18 Defleksi Vertikal *Operating* Maksimum *Water depth*

Deck	LC	*Joint*	Defleksi *Joint*	Referensi *Joint*	Defleksi Ref *Joint*	SPAN (m)	Defleksi	
							Relatif	Izin
Main deck	203	8154	-3.741	8155	-3.6131	1.2	0.1279	1.2
Mezzanine Deck	209	7100	-3.659	7098	-3.5583	1.2	0.1007	1.2
Cellar Deck	203	6182	-5.462	6186	-5.0508	1.1	0.4112	1.1
Sub-Cellar Deck	203	5096	-4.535	5097	-4.2971	1.65	0.2379	1.65

Tabel 4.19 Defleksi Vertikal *Storm Minimum Water depth*

Deck	LC	*Joint*	Defleksi *Joint*	Referensi *Joint*	Defleksi Ref *Joint*	SPAN (m)	Defleksi	
							Relatif	Izin
Main deck	311	8062	-3.672	8061	-3.5806	1.2	0.0914	1.2
Mezzanine Deck	311	7102	-3.66	7104	-3.5749	1.2	0.0851	1.2
Cellar Deck	303	6182	-4.997	6186	-4.2284	1.1	0.7686	1.1
Sub-Cellar Deck	301	5096	-4.181	5097	-4.0618	1.65	0.1192	1.65

Tabel 4.20 Defleksi Vertikal *Storm Maximum Water depth*

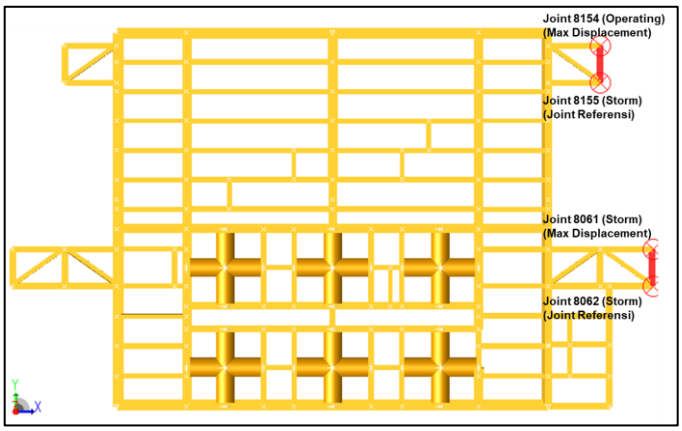
Deck	LC	*Joint*	Defleksi *Joint*	Referensi *Joint*	Defleksi Ref *Joint*	SPAN (m)	Defleksi	
							Relatif	Izin
Main deck	402	8154	-3.874	8155	-3.7529	1.2	0.1211	1.2
Mezzanine Deck	411	7102	-3.776	7104	-3.6593	1.2	0.1167	1.2
Cellar Deck	403	6182	-5.428	6186	-4.9596	1.1	0.4684	1.1
Sub-Cellar Deck	402	5096	-4.438	5097	-4.1945	1.65	0.2435	1.65

Berdasarkan nilai defleksi vertical maksimum diatas, dapat dilihat bahwa seluruh defleksi *horizontal* yang terjadi pada struktur berada dibawah nilai defleksi izin sesai dengan standar SNI 03-1729-2000.

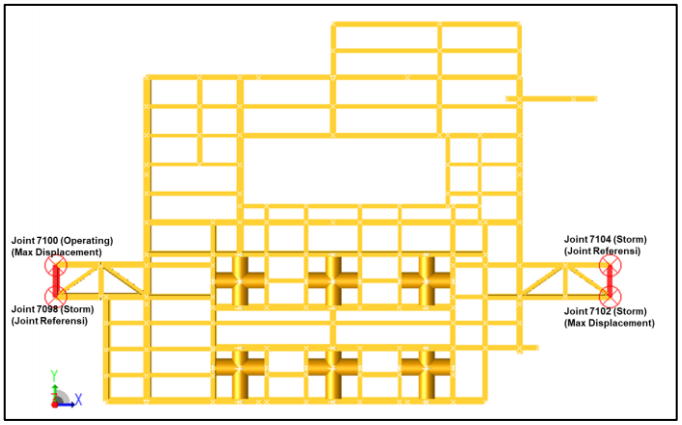
Berdasarkan nilai defleksi vertikal diatas, nilai defleksi maksimum kondisi *Storm* lebih besar dibanding pada kondisi *operating*. Hal ini dikarenakan beban lingkungan pada kondisi *Storm* lebih besar dibandingkan pada kondisi *operating*.

Sedangkan untuk *maindeck* nilai defleksi tetap lebih besar pada kondisi *operating* dibanding kondisi *Storm* karena beban crane yang dikenakan lebih besar.

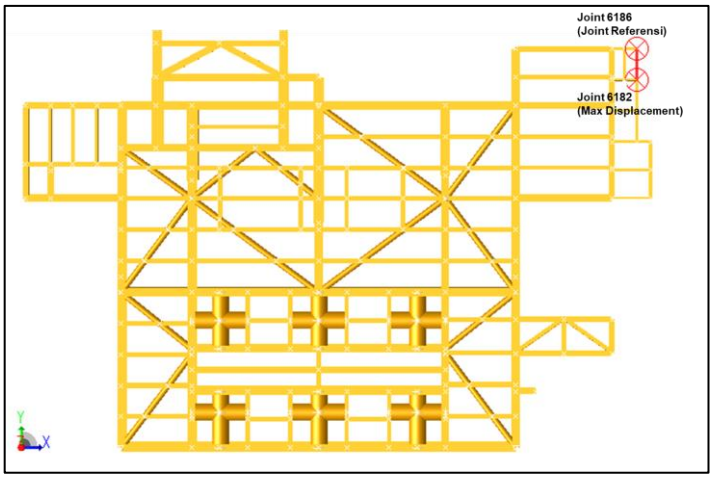
Visualisasi defleksi *vertikal* maksimum pada setiap kondisi dan setiap *deck* dapat dilihat pada **Gambar 4.6** sampai **Gambar 4.9.**



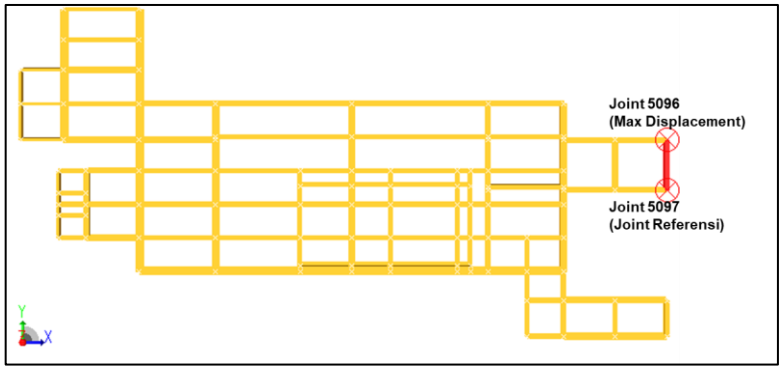
Gambar 4.6 *Joint* dengan Defleksi Vertikal Maksimum (*Main Deck)*



Gambar 4.7 *Joint* dengan Defleksi Vertikal Maksimum (*Mezzanine Deck*)



Gambar 4.8 *Joint* dengan Defleksi Vertikal Maksimum (*Cellar Deck*)



Gambar 4.9 *Joint* dengan Defleksi Vertikal Maksimum (*Subcellar Deck*)

4.4.4.3. Defleksi Pilehead

Defleksi *pilehead* maksimum yang terjadi pada struktur dengan berbagai kondisi dapat dilihat pada **Tabel 4.21.**

Tabel 4.21 Defleksi *Pilehead*

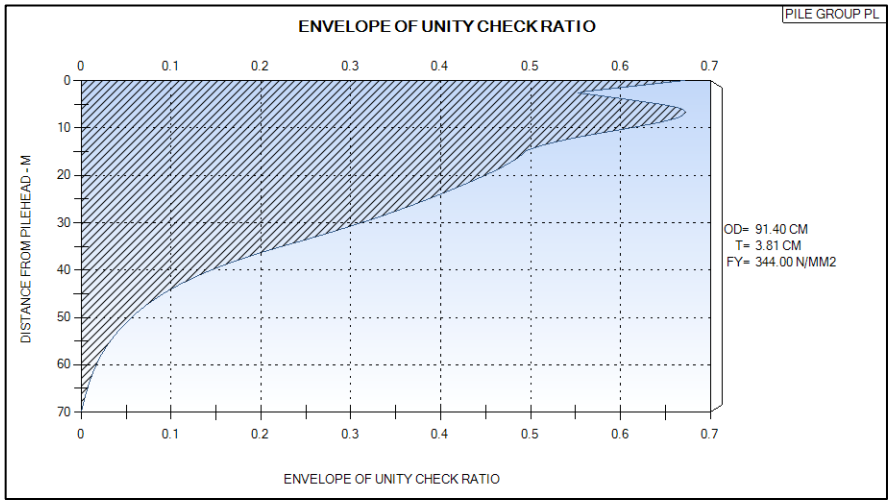
Maximum Depth - Operating					
Joint	LC	*Displacement*		Defleksi (cm)	
		x	*y*	Relatif	Izin
001P	210	0.1126	3.7788	3.780477	9.14
002P	211	1.0083	3.4618	3.605652	9.14
003P	210	0.1216	3.6991	3.701098	9.14
Minimum Depth - Operating					
Joint	LC	*Displacement*		Defleksi (cm)	
		x	*y*	Relatif	Izin
001P	110	0.1261	4.0208	4.022777	9.14
002P	111	1.0884	3.6646	3.822814	9.14
003P	110	0.1363	3.9276	3.929964	9.14

Maximum Depth - Storm					
Joint	LC	*Displacement*		Defleksi (cm)	
		x	*y*	Relatif	Izin
001P	410	0.06	5.9342	5.934503	9.14
002P	411	1.6507	5.605	5.843016	9.14
003P	410	0.2465	5.8563	5.861485	9.14
Minimum Depth - Storm					
Joint	LC	*Displac ement*		Defleksi (cm)	
		x	*y*	Relatif	Izin
001P	310	0.0795	6.0821	6.08262	9.14
002P	311	1.7005	5.726	5.973171	9.14
003P	310	0.2539	5.9839	5.989284	9.14

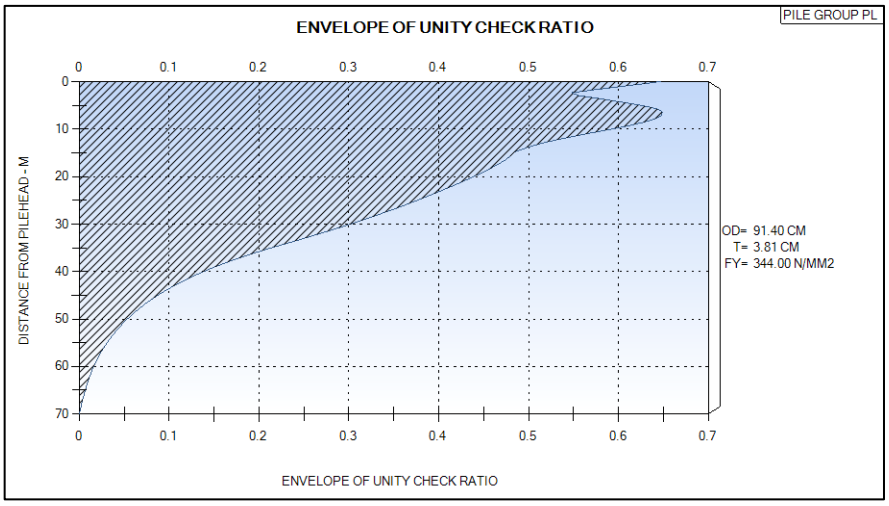
Berdasarkan tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa seluruh defleksi *pilhead* pada struktur tidak melebihi defleksi izin sehingga defleksi *pilehad* pada strutur memenuhi syarat defleksi *pilehead* yang diizinkan.

4.4.5. Unity Check Pile di Bawah Permukaan Tanah

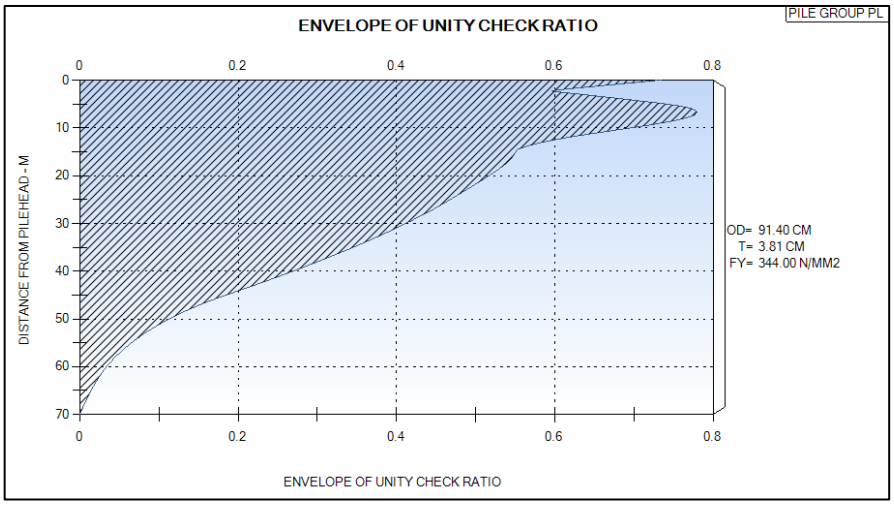
Dilakukan pengecekan *unity check* dari pile yang dipancang dibawah permukaan tanah. Berdasarkan pengecekan, *unity check* pada semua kondisi tidak lebih dari 1.00 sehingga memenuhi kriteria. Berikut grafik *unity check* dapat dilihat pada **Gambar 4.10** sampai **Gambar 4.13**.



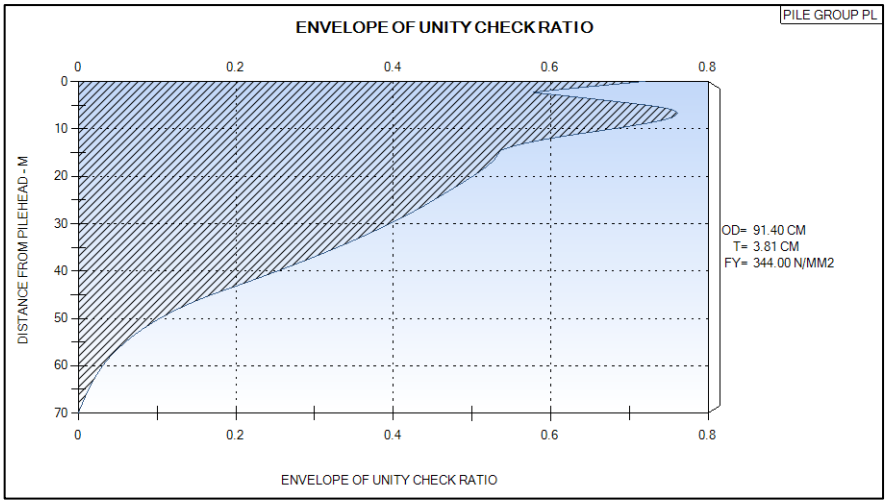
Gambar 4.10 *Unity Check Pile* Kondisi Operasi Kedalaman Minimum



Gambar 4.11 *Unity Check Pile* Kondisi Operasi Kedalaman Maksimum



Gambar 4.12 *Unity Check Pile* Kondisi Badai Kedalaman Minimum



Gambar 4.13 *Unity Check Pile* Kondisi Badai Kedalaman Maksimum

BAB 5 ANALISIS SEISMIK

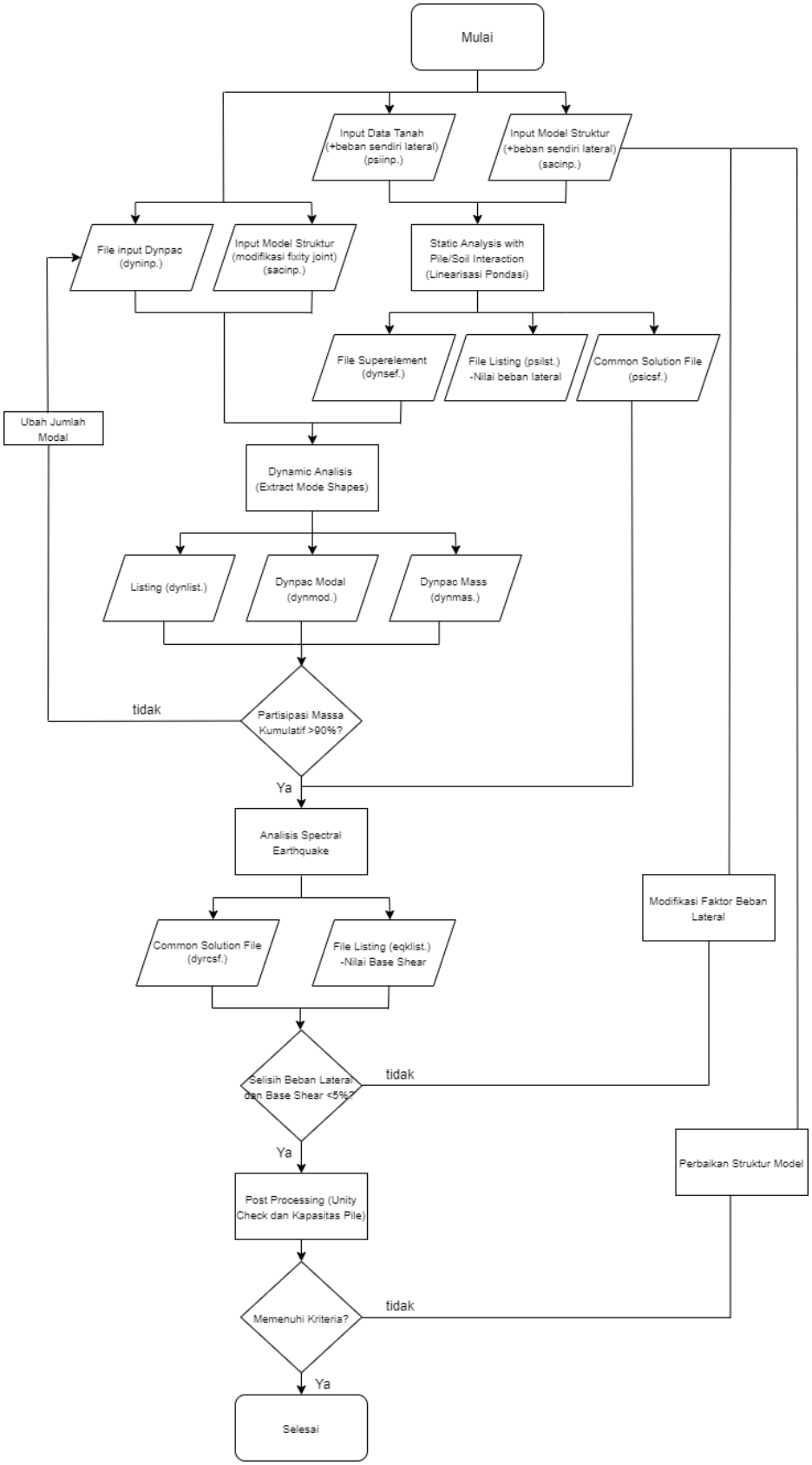
5.1. Tahapan Analisis Seismik

Analisis *seismic* dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SACS. Analisis ini dilakukan ketika suatu daerah memiiki percepatan tanah lebih dari 0.05g. analisis yang akan dilakukan adalah analisis seismik SLE (*Strength Level Earthquake*) yang memikiki periode ulang selama 475 tahun dengan percepatan tanah sebesar 0.10g dan analisis seismik RIE (*Rare Intense Earthquake*) yang memiliki periode ulang selama 2000 tahun dengan eprcepatan tanah sebesar 0.18g.

Untuk melakukan analisis ini, terdapat beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Linerarisasi tiang pancang (Analisis Statik)
2. *Extract mode shapes* (Analisis Dinamik)
3. Analisis *Spectral Earthquake*
4. *Post Processing*

Pada analisis *seismic*, akan diasumsikan menggunakan *Mean Sea Level*. Diagram alir analisis *seismic* dapat dilihat pada **Gambar 5.1.**



Gambar 5.1 Diagram Alir Analisis Seismik

5.1.1. Analisis Statik

Sebelum analisis statik, dilakukan *linearisasi fondasi* terlebih dahulu dalam pengerjaan analisis statik. *Linearisasi fondasi* dilakukan sebagai penyederhanaan model interaksi antara tanah dengan tiang pancang. Struktur diberi *dead load* pada arah X dan Y dengan faktor awal bernilai 1 yang akan diterasi pada analisis gempa, sedangkan pada input data tanah ditambahkan perintah pembuatan *superelement*.

```
LOAD
LOADCN  GX
DEAD
DEAD      +X                                  M
LOADCN  GY
DEAD
DEAD      +Y                                  M
```

```
PILSUP AVG          ESEXESEY
END
```

Gambar 5.2 Input Pembuatan Superelement

Seteleh dilakukan *linearisasi fondasi*, dilakukan analisis statik untuk mendapatkan respon struktur terhadap semua beban yang bekerja. Pada analisis ini dibtuhkan input model file (sacinp.), input data tanah (psiinp.) dengan file keluaran berupa *static common solution* (psicsf.) dan file *superelement* (dynsef.) yang mana file tersebut akan menjadi file input pada analisis dinamik.

5.1.2. Analisis Dinamik

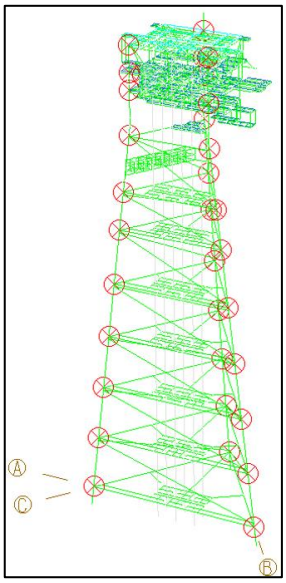
Analisis dinamik dilakukan dengan tujuan ekstraksi ragam getar struktur yang mana dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi struktur akibat beban dinamik. Pada tahapan ini dibutuhkan 3 file yakni file input model (sacinp.) dengan modifikasi *joint fixity* pada *jacket leg* dan *deck leg* yang awalnya 000000 menjadi 222000 sesuai pada **Gambar 5.5**, file *superelement* (dynsef.) dan file input *dynpac* (dyninp.). File *dynpac* berisi jumlah modal yang digunakan pada analisis dinamik dimana besar modal yang diinput harus memenuhi agar akumulasi partisipasi massa struktur lebih besar dari 90%. Ilustrasi pengubahan *fixity joint* dan input file *dynpac* dapat dilihat pada **Gambar 5.3** dan **Gambar 5.4.**

```
JOINT 901L      0.     0.     7.-18.750                222000
JOINT 901P      0.     0.     7.-18.750
JOINT 902L     14.     0.     7. 18.750                222000
JOINT 902P     14.     0.     7. 18.750
JOINT 903L      7.    12.     7.        33.829         222000
```

Gambar 5.3 Pengubahan *fixity joint* pada sacinp.

```
1  DYNOPT +ZMN 60CONS7.84904                          1.0          SA-Z
2  DYNOP2     1.1    1.0
3  END
```

Gambar 5.4 Input file Dynpac



Gambar 5.5 *Joint* yang diubah *fixity joint-nya*

Analisis dinamik tipe *extract mode shapes* memiliki file keluaran berupa *dynpac mass* (dynmas.), *dynpac modal* (dynmod.), dan file listing (dynlst.).

5.1.3. Analisis Gempa

Analisis gempa dilakukan untuk mengetahui respons struktur akibat beban gempa yang diberikan. Untuk melakukan analisis gempa diperlukan file keluaran dari analisis dinamik pada tahap sebelumnya yakni *dynpac mass* (dynmas.) dan *dynpac solution* (dynmod.) serta solusi dari analisis statik (psicsf.). Selain itu, diperlukan juga file input gempa dalam analasis ini yang berisikan data spektrum gempa, jumlah mode, kedalaman perairan, dan *damping ratio* yang dapat dilihat pada **Gambar 5.6**. File keluaran dari analisis ini adalah *static seismic common file* (dyrcsf.). Contoh input data spektral gempa dapat dilihat pada **Gambar 5.6**.

```
1  DROPT SPEC  20  +Z  -59.
2  STCMB            WGTH  1.0      1.0      1.0      1.0      1.0      1.0      1.0
3  SDAMP        5.
4  LOAD
5  SPLOAD  CARD  RSPA  SDO CQC AVD                0.1    1.    1.   0.5 N
6  RSPSPC   1
7  RSPSPC   6    5.          0.01       0.1       0.2      0.23
8  RSPSPC                     0.5      0.16        1.       0.1
9  RSPSPC                      2.     0.066        5.     0.014
10 END
11
```

Gambar 5.6 Input data spektral gempa

Hasil dari analisis gempa adalah nilai *base shear* yang akan dibandingkan dengan nilai beban sendiri lateral yang sudah dihitung pada analisis statik (linearisasi pondasi) yang akan diinput sebagai faktor nilai beban sendiri lateral sumbu x dan y. Hasil nilai *base shear* dikatakan memenuhi jika memiliki galat kurang dari 3% dari nilai beban lateral sendiri, jika galat masih melebihi 3% maka perlu dilakukan iterasi. Berikut adalah cuplikan hasil nilai *base shear* dan nilai beban sendiri lateral dapat dilihat pada **Gambar 5.7** dan **Gambar 5.8**.

```
                FOR LOAD CASE  1
** X-DIRECTION BASE SHEAR =        194.      KN
** Y-DIRECTION BASE SHEAR =        167.      KN
** X-DIRECTION OVERTURNING MOMENT =      0.833E+04 KN-M
** Y-DIRECTION OVERTURNING MOMENT =      0.101E+05 KN-M
** Z-DIRECTION VERTICAL LOAD =       317.      KN
```

Gambar 5.7 Nilai *base shear*

Jacket Definition

***** SEASTATE COMBINED LOAD CASE SUMMARY *****
RELATIVE TO MUDLINE ELEVATION

LOAD CASE	LOAD LABEL	FX (KN)	FY (KN)	FZ (KN)	MX (KN-M)	MY (KN-M)	MZ (KN-M)
13	DL	0.00	0.00	-1037.14	-10045.1	7352.6	0.0
14	LL	0.00	0.00	-5422.51	-34583.6	47794.0	0.0
15	ESEX	189.04	0.00	-16048.72	-105057.8	128124.7	-1193.1
16	ESEY	0.00	166.16	-16048.72	-113706.8	118284.5	1139.9
17	VGTH	0.00	0.00	-16048.72	-105057.8	118284.5	0.0

Gambar 5.8 Nilai beban sendiri lateral

5.1.4. Post Processing

Setelah analisis gempa dan iterasi faktor beban gempa, dilakukan *post processing* yang bertujuan untuk mendapatkan *unity check*, dan *pile safety factor*.

5.1.4.1. Tegangan member (Unity Check)

Untuk mendapatkan tegangan *member* (*unity check)* diperlukan file input *post processor (pstinp.)* dan file keluaran dari analisis gempa (dycrsf.) dengan menggunakan tipe analisis *post processing* sub tipe *code check*. File input untuk mendapatkan tegangan *member* dapat dilihat pada **Gambar 5.9**.

```
1  PSTOPT NPT MOD          NST
2  OPTION       EN          UC    1 1    DCCPC     PTPTPTPTPTPTPTPT
3  LCSEL IN            1     2
4  UCPART                 0.7   0.7    1.    1.
5  AMOD
6  AMOD       1    1.7    2    1.7
7  END
```

Gambar 5.9 File input pengecekan tegangan *member*

Analisis ini memiliki file keluaran dalam bentuk *common solution file* (pstcsf.) dan output listing.

5.1.4.2. Joint Punching Shear

Untuk mendapatkan tegangan *joint punching shear* diperlukan file input *joint can (jcinp.)* dan file keluaran dari analisis gempa (dycrsf.) dengan menggunakan tipe analisis *post processing* sub tipe *tubular connection check*. File input untuk mendapatkan tegangan *joint punching shear* dapat dilihat pada **Gambar 5.10**.

```
1  CNOPT API EN  36.0   2.0   2.0   C  NID          N  UCUC  1.PT
2  JSLC  201L202L203L301L302L303L401L402L403L501L502L503L601L602L603L701L702L703L
3  JSLC  801L802L803L901L902L903L
4  LCSEL IN           3    4
5  AMOD
6  AMOD      3   1.7   4   1.7
7  RELIEF
8  END
```

Gambar 5.10 File input pengecekan *joint* punching shear

File keluaran dari analisis ini merupakan file listing untuk memeriksa *joint punching shear*.

5.1.4.3. Kapasitas aksial tiang pancang

Untuk medapatkan kapasitas aksial tiang pancang dibutuhkan file model (sacinp.) dan file input data tanah (psiinp.) dengan tipe analisis statik seperti pada tahap pertama. Modifikasi terletak pada file input model yakni beban total yang terjadi akibat gempa diinput menjadi beban *joint* pada *pilehead*. Input beban pada *joint pilehead* dapat dilihat pada **Gambar 5.11**.

```
5159  LOADCN PL1
5160  LOAD X 001P101P        -2480.5                          MEMB CONC   FX
5161  LOAD Y 001P101P        97.0602                          MEMB CONC   FY
5162  LOAD Z 001P101P        -37.009                          MEMB CONC   FZ
5163  LOAD X 001P101P                                 -0.0475 MEMB MOMT   MX
5164  LOAD Y 001P101P                                 -165.98 MEMB MOMT   MY
5165  LOAD Z 001P101P                                 236.036 MEMB MOMT   MZ
5166  LOADCN PL2
5167  LOAD X 002P102P        -2804.3                          MEMB CONC   FX
5168  LOAD Y 002P102P        -103.95                          MEMB CONC   FY
5169  LOAD Z 002P102P        -29.091                          MEMB CONC   FZ
5170  LOAD Y 002P102P                                 -157.09 MEMB MOMT   MY
5171  LOAD X 002P102P                                 0.03277 MEMB MOMT   MX
5172  LOAD Z 002P102P                                 -250.57 MEMB MOMT   MZ
5173  LOADCN PL3
5174  LOAD X 003P103P        -4073.5                          MEMB CONC   FX
5175  LOAD Y 003P103P        36.8313                          MEMB CONC   FY
5176  LOAD Z 003P103P        55.3359                          MEMB CONC   FZ
5177  LOAD X 003P103P                                 -0.0441 MEMB MOMT   MX
5178  LOAD Y 003P103P                                 -92.548 MEMB MOMT   MY
5179  LOAD Z 003P103P                                 75.4987 MEMB MOMT   MZ
```

Gambar 5.11 Modifikasi sacinp. untuk pengecekan kapasitas tiang pancang

File keluaran dari analisis ini adalah file listing yang berisi faktor keamanan untuk kapasitas aksial tiang pancang.

5.2. Hasil Analisis Seismik

Berikut hasil analisis seismik dapat dibagi menjadi 6 bagian.

5.2.1. Iterasi Faktor Beban Gempa Arah X dan Y

Berikut faktor berat latereal struktur berdasarkan iterasi struktur akibat pembebanan gempa dapat dilihat pada **Tabel 5.1**.

Tabel 5.1 Hasil iterasi faktor berat lateral struktur

Keterangan	SLE		RIE	
	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
	kN	kN	kN	kN
Faktor	0.0195	0.0173	0.0645	0.058
Lateral Self Weight	192.44	170.73	636.53	572.39
Base Shear	192	171	637	572
Galat (%)	0.2286	0.1581	0.0738	0.0681

5.2.2. Faktor Partisipasi Massa dan Periode Natural Struktur

Berdasarkan analisis dinamik *extract mode shapes*, didapat data partisipasi massa pada struktur dengan jumlah mode yang digunakan sebanyak 60 buah. Faktor partisipasi massa dan periode natural stuktur dapat dilihat pada **Tabel 5.2** sampai **Tabel 5.5**.

Tabel 5.2 Faktor Partisipasi Massa RIE

Modal ke-	Faktor Partisipasi Massa			Faktor Partisipasi Massa Kumulatif		
	X	Y	Z	X	Y	Z
51	3E-07	4.2E-06	0.00018	0.999627	0.99973	0.887974
52	0	1.9E-06	0.003	0.999627	0.999732	0.89097
53	7.6E-06	9E-07	0.00115	0.999635	0.999733	0.89212
54	8E-06	0	0.01393	0.999643	0.999733	0.906051
55	3.3E-05	6.9E-06	0.00945	0.999675	0.99974	0.9155
56	5E-07	8E-07	0.02309	0.999676	0.999741	0.938592
57	0	2.5E-06	8.1E-05	0.999676	0.999744	0.938673
58	1.7E-06	2.6E-06	0.00759	0.999678	0.999746	0.946267
59	5E-07	1.2E-05	0.00014	0.999678	0.999758	0.94641
60	1E-07	1.6E-05	7.5E-05	0.999678	0.999775	0.946484

Tabel 5.3 Faktor Partisipasi Massa SLE

Modal ke-	Faktor Partisipasi Massa			Faktor Partisipasi Massa Kumulatif		
	X	Y	Z	X	Y	Z
51	3E-07	4.2E-06	0.00018	0.99963	0.99973	0.88798
52	0	1.9E-06	0.00299	0.99963	0.99973	0.89097
53	7.6E-06	9E-07	0.00115	0.99964	0.99973	0.89212
54	8.1E-06	0	0.01394	0.99964	0.99973	0.90606
55	3.3E-05	6.9E-06	0.00946	0.99968	0.99974	0.91552
56	5E-07	8E-07	0.02307	0.99968	0.99974	0.93859
57	0	2.5E-06	8.2E-05	0.99968	0.99974	0.93867
58	1.7E-06	2.6E-06	0.0076	0.99968	0.99975	0.94627
59	5E-07	1.2E-05	0.00015	0.99968	0.99976	0.94642
60	1E-07	1.7E-05	7.4E-05	0.99968	0.99978	0.94649

Tabel 5.4 Periode natural struktur RIE

Modal ke-	Frekuensi (Hz)	*Generated Mass* (kN)	*Eigenvalue*	Periode (detik)
1	0.382156	2197.6141	0.17344358	2.6167305
2	0.442072	1526.6488	0.12961479	2.2620759
3	0.613349	2979.7619	0.067332485	1.6303926
4	1.080972	2021.5947	0.021677603	0.9250932
5	1.151005	1124.7894	0.019119901	0.8688058
*				
*				
56	23.046978	590.71079	4.76883E-05	0.0433896
57	24.183226	349.62094	4.33124E-05	0.041351
58	24.444873	366.93947	4.23901E-05	0.0409084
59	25.172417	204.09434	3.99752E-05	0.039726
60	25.249502	59.861011	3.97315E-05	0.0396047

Tabel 5.5 Periode natural struktur SLE

Modal ke-	Frekuensi (Hz)	*Generated Mass* (kN)	*Eigenvalue*	Periode (detik)
1	0.382161	2197.6653	0.17343932	2.6166983
2	0.442101	1526.7102	0.12959793	2.2619287
3	0.613408	2979.5431	0.067319563	1.6302362
4	1.081	2021.4529	0.021676477	0.9250692

Modal ke-	Frekuensi (Hz)	*Generated Mass* (kN)	*Eigenvalue*	Periode (detik)
5	1.151072	1124.7115	0.01911768	0.8687553
*				
*				
56	23.047094	590.08725	4.76879E-05	0.0433894
57	24.183408	349.4023	4.33117E-05	0.0413507
58	24.444976	367.51242	4.23898E-05	0.0409082
59	25.172784	205.06678	3.9974E-05	0.0397254
60	25.25006	59.941689	3.97297E-05	0.0396039

5.2.3. Rasio Tegangan *Member*

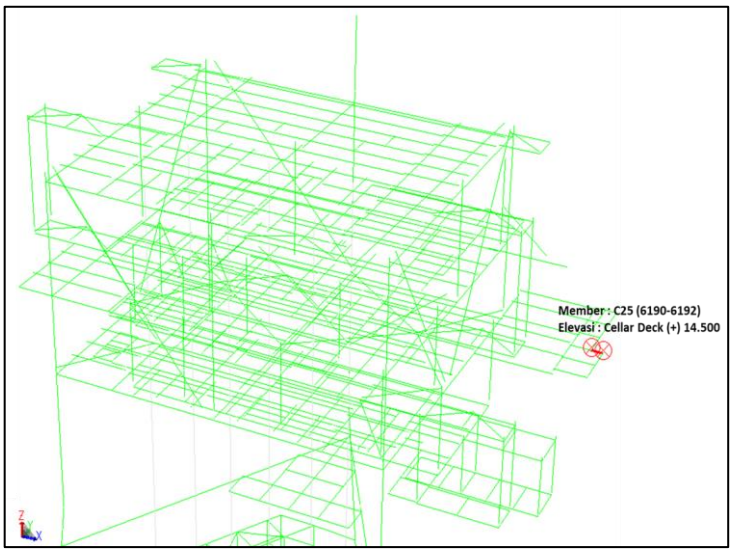
Berdasarkan API RP-2A WSD, batas nilai UC yang diperbolehkan dalam analisis seismik adalah 1.7 dikarenakan tegangan izin dinaikkan sebesar 70%. Berikut tegangan *member* disajikan dalam bentuk nilai *unity check* dapat dilihat pada **Tabel 5.6.**

Tabel 5.6 Unity Check Analisis Seismik

Description	**Group**	**SLE**			**RIE**		
		Critical Member No.	**LC**	**UC**	**Critical Member No.**	**LC**	**UC**
Deck Beam	C25	6190-6192	2	0.69	6190-6192	2	0.69
Vertical Cone Bracing at Deck	CN1	L007-L008	2	0.11	L007-L008	2	0.14
	CN2	L056-L055	2	0.65	L056-L055	2	0.66
Crane Pedestal Leg	CPL	8043-L058	1	0.49	8043-L058	1	0.49
Diagonal Bracing at Deck	DGD	7506-8010	2	0.32	7506-8010	2	0.33
Diagonal Bracing at Jacket	DGJ	203L-301L	1	0.07	203L-301L	1	0.1
Diagonal Bracing at Jacket (Splash Zone)	DGS	902L-803L	1	0.07	902L-803L	1	0.09
Horizonal Tubular Bracing at Deck	DHB	6235-6106	1	0.13	6235-6106	1	0.14
Deck Leg	DLG	7067-L055	2	0.38	7067-L055	2	0.39
Deck Beam	H10	6185-6183	2	0.09	6185-6183	2	0.1

Description	**Group**	**SLE**			**RIE**		
		Critical Member No.	**LC**	**UC**	**Critical Member No.**	**LC**	**UC**
Horizontal Bracing at Jacket	HOR	0564-802L	2	0.12	0564-802L	2	0.14
Jacket Walkway	JW	0150-903L	2	0.08	0150-903L	2	0.09
Deck Beam	L6	8058-8060	2	0.2	8058-8060	2	0.21
Jacket Leg	LG2	102L-202L	2	0.06	102L-202L	2	0.09
	LG3	201L-301L	2	0.06	201L-301L	2	0.08
	LG4	303L-403L	2	0.02	303L-403L	2	0.03
	LG5	401L-501L	1	0.03	401L-501L	1	0.04
	LG6	501L-601L	1	0.04	501L-601L	1	0.05
	LG7	601L-701L	1	0.05	601L-701L	1	0.06
	LG8	701L-801L	1	0.06	701L-801L	1	0.08
	LG9	901L-A01L	1	0.07	901L-A01L	1	0.1
	LGB	803L-0144	2	0.06	803L-0144	2	0.08
Jacket Leg at Splash Zone	LGS	0143-0141	1	0.06	0143-0141	1	0.08
Mudmat	MDM	803L-0144	2	0.06	0035-203L	2	0.14
Pile	PL1	002P-102P	2	0.12	003P-103P	2	0.18
	PL2	103P-203P	2	0.14	103P-203P	2	0.18
	PL3	203P-303P	2	0.15	203P-303P	2	0.19
	PL4	303P-403P	2	0.12	303P-403P	2	0.14
	PL5	403P-503P	2	0.1	403P-503P	2	0.13
	PL6	503P-603P	2	0.1	503P-603P	2	0.13
	PL7	603P-703P	2	0.1	603P-703P	2	0.12
	PL8	703P-803P	2	0.1	703P-803P	2	0.12
	PL9	803P-903P	2	0.11	803P-903P	2	0.14
	PLA	A03L-B03L	2	0.13	A03L-B03L	2	0.15
Deck Beam	UB2	7124-7088	1	0.44	7124-7088	1	0.44
	UB3	6098-6258	1	0.52	6098-6258	1	0.53
	UB4	7329-7117	2	0.31	7329-7117	2	0.32
	UB5	6153-6156	1	0.04	6153-6156	1	0.05
	UB6	6173-6164	2	0.43	6173-6164	2	0.43
	UB7	6328-6123	2	0.45	6328-6123	2	0.49
	UB9	8041-8043	2	0.41	8041-8043	2	0.42
Vertical Bracing at Deck	VB1	L008-8054	2	0.23	L008-8054	2	0.25
	VB2	6173-7083	1	0.39	6173-7083	1	0.41
	VB3	5004-6107	1	0.22	5004-6107	1	0.23
	VB4	7102-8062	2	0.32	7102-8062	2	0.33
	VB5	5025-6261	1	0.1	5025-6261	1	0.1

Berdasarkan tabel diatas, semua *member* pada struktur memiliki nilai *unity check* kurang dari 1.0, sehingga struktur tahan terhadap gempa SLE maupun RIE. Visualisasi *member* dengan nilai *unity check* ratio paling besar dapat dilihat pada **Gambar 5.12**.



Gambar 5.12 *Member* dengan UC Ratio terbesar pada Analissi Seismik

5.2.4. *Joint* Punching Shear

Berdasarkan API RP-2A WSD, batas nilai *Load* UC dan *Strength* UC *joint punching shear* yang diperbolehkan dalam analisis seismik adalah 1.00. Berikut *unity check* pada *joint punching shear* dapat dilihat pada **Tabel 5.7** dan **Tabel 5.8.**

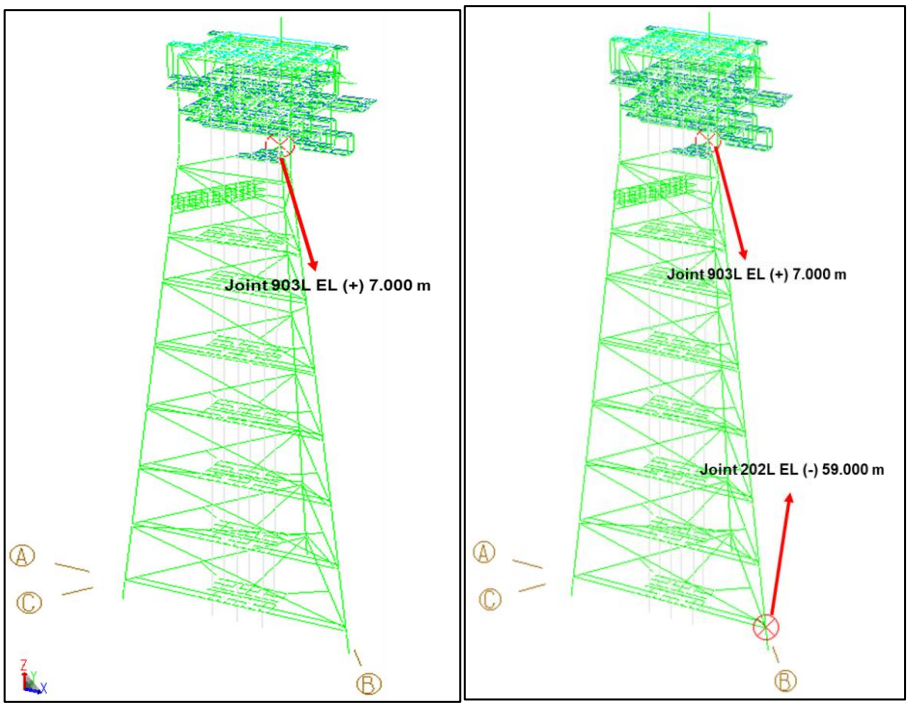
Tabel 5.7 Unity Check *Joint* Punching Shear RIE

Seismik RIE				
Joint	Load UC	Strength UC	Load Combination	Lokasi (m)
903L	0.046	0.88	4	7.000
801L	0.04	0.817	4	-3.000
702L	0.058	0.85	4	-9.833
602L	0.057	0.845	4	-19.667
502L	0.057	0.842	4	-29.500
402L	0.057	0.831	4	-39.330
301L	0.065	0.818	4	-49.167
202L	0.037	0.883	4	-59.000

Tabel 5.8 Unity Check Joint Punching Shear SLE

Seismik SLE				
Joint	Load UC	Strength UC	Load Combination	Lokasi (m)
903L	0.061	0.886	4	7.000
801L	0.064	0.866	4	-3.000
702L	0.084	0.862	4	-9.833
601L	0.086	0.866	4	-19.667
501L	0.087	0.87	4	-29.500
402L	0.087	0.874	4	-39.330
301L	0.107	0.88	4	-49.167
202L	0.06	0.886	4	-59.000

Berdasarkan tabel diatas, semua *member* pada struktur memiliki nilai *unity check* kurang dari 1.0, sehingga struktur tahan terhadap gempa SLE maupun RIE. Visualisasi lokasi *joint punching shear* terbesar dapat dilihat pada **Gambar 5.13**.



Gambar 5.13 *Joint* Punching Shear terbesar RIE (kiri) dan SLE (kanan)

5.2.5. Kapasitas Pile

Berdasarkan API RP-2A WSD, batas nilai minimal *safety factor* dari *pile head* pada struktur adalah 1.00. Berikut kapasitas *pile* dapat dilihat pada **Tabel 5.9.**

Tabel 5.9 Kapasitas Pile Analisis Seismik

Joint	Seismik RIE			Seismik SLE		
	Capacity (kN)	*Maximum* Load (kN)	Safety Factor	Capacity (kN)	*Maximum* Load (kN)	Safety Factor
001P	-26940.8	-3208.9	8.4	-26940.8	-2522.7	10.68
002P	-26940.8	-3559.7	7.57	-26940.8	-2852.6	9.44
003P	-26887.6	-5063.7	5.31	-26887.6	-4102.5	6.55

Berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa semua *safety factor* pada *pilehead* melebihi 1.00 sehingga *pile* tidak mengalami kegagalan akibat gempa dan memenuhi syarat yang diizinkan.

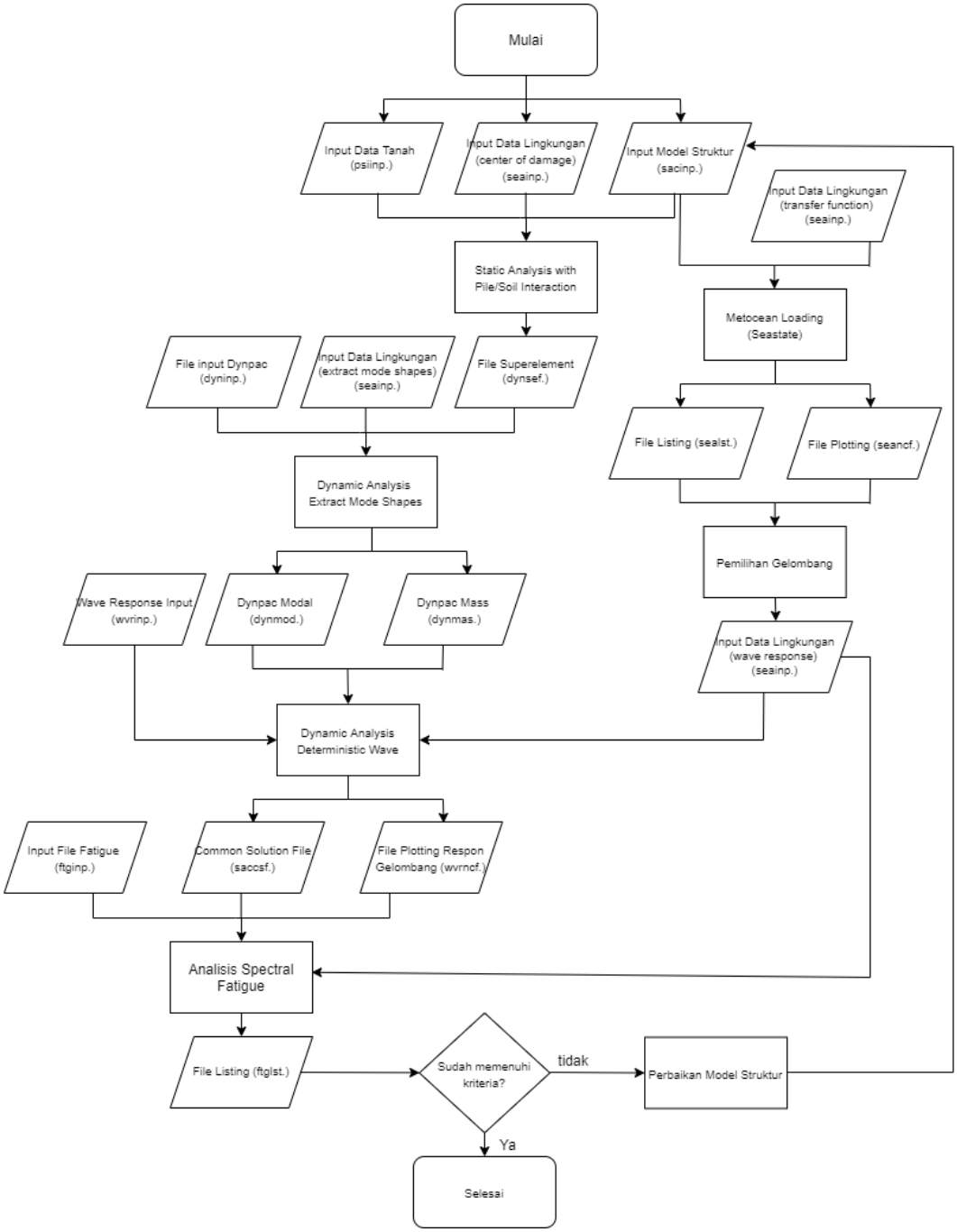
BAB 6 ANALISIS *FATIGUE*

6.1. Tahapan Analisis *Fatigue*

Analisis *fatigue* dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SACS. Untuk melakukan analisis ini, terdapat beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Analisis Statik (Pembentukan *Superelement*);
2. *Extract Mode Shapes*;
3. Pembentukkan *Transfer Function;*
4. Analisis Respon Gelombang; dan
5. Analissi Spektral *Fatigue.*

Pada analisis *fatigue,* akan diasumsikan menggunakan Mean Sea Level. Diagram alir analisis *fatigue* dapat dilihat pada **Gambar 6.1.**



Gambar 6.1 Diagram Alir Analisis *Fatigue*

6.1.1. Analisis Statik

Analisis statik ditujukan untuk mendapatkan file *superelement* (dynsef.). Perhitungan superelement dilakukan pada tahap ini untuk menghitung interaksi pondasi dengan tipe tanah dan center of damage di lokasi struktur. Tahap ini mensimulasikan kekuatan pondasi struktur *platform* terhadap kondisi tanah pada lokasi pemasangan *platform*. Jumlah arah gelombang *center of damage* adalah 4 arah, 0º , 90º , 180º , dan 270º. Untuk melakukan analisis ini diperlukan file input model (sacinp.) tanpa beban lingkungan, file input data tanah (psiinp.) dan file *seastate* (seainp.) yang sudah dimodifikasi dengan menambahkan *center of damage.* File input *seastate* dapat dilihat pada **Gambar 6.2**.

```
33  *Environmental Load*
34  LOADCNFCW1
35  LOADLBFCW1FATIGUE CENTER OF DAMAGE WAVE 0 DEG
36  WAVE
37  WAVE 1.0STOK   2.6  60.56.8904                    L         1.00  72MM10 1 1
38  LOADCNFCW2
39  LOADLBFCW2FATIGUE CENTER OF DAMAGE WAVE 90 DEG
40  WAVE
41  WAVE 1.0STOK   2.5  60.56.8904           90.      L         1.00  72MM10 1 1
42  LOADCNFCW3
43  LOADLBFCW3FATIGUE CENTER OF DAMAGE WAVE 180 DEG
44  WAVE
45  WAVE 1.0STOK    1.  60.55.0529          180.      L         1.00  72MM10 1 1
46  LOADCNFCW4
47  LOADLBFCW4FATIGUE CENTER OF DAMAGE WAVE 270 DEG
48  WAVE
49  WAVE 1.0STOK   1.6  60.5 6.032          270.      L         1.00  72MM10 1 1
```

Gambar 6.2 Input Center of Damage pada File Sestate

File keluaran dari analisis ini adalah file listing dan file *superelement* (dynsef.) yang digunakan pada analisis *extract mode shapes* dan analisis respon gelombang.

6.1.2. Extract Mode Shapes

Analisis *extract mode shapes* dilakukan dengan tujuan ekstraksi ragam getar struktur yang mana dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi struktur akibat beban dinamik dan pada saat pengecekan analisis respon gelombang. Pada analisis ini dibutuhkan 4 file yakni file input model (sacinp.), file *superelement* (dynsef.), file input *seastate* yang sudah dihilangkan bebannya dan file input *dynpac* (sama seperti pada analisis seismik). File keluaran dari analisis ini adalah *dynpac mass* (dynmas.), *dynpac solution* (dynmod.) serta listing untuk melihat frekuensi natural dan generalisasi massa struktur. Input file *dynpac* pada analisis ini dapat dilihat pada **Gambar 6.3**.

```
DYNOPT +ZMN 60CONS7.84904          -59.          1.0          SA-Z
DYNOP2   1.05    1.
GROVR PL2 N .0000254
GROVR PL3 N .0000254
GROVR PL4 N .0000254
GROVR PL5 N .0000254
GROVR PL6 N .0000254
GROVR PL7 N .0000254
GROVR PL8 N .0000254
GROVR PL9 N .0000254

*
GROVR C41 N .0000254
GROVR C42 N .0000254
GROVR C43 N .0000254
GROVR C44 N .0000254
GROVR C45 N .0000254
GROVR C46 N .0000254
*
GROVR W.B N .0000254
*
END
```

Gambar 6.3 Input file *dynpac* analisis *fatigue*

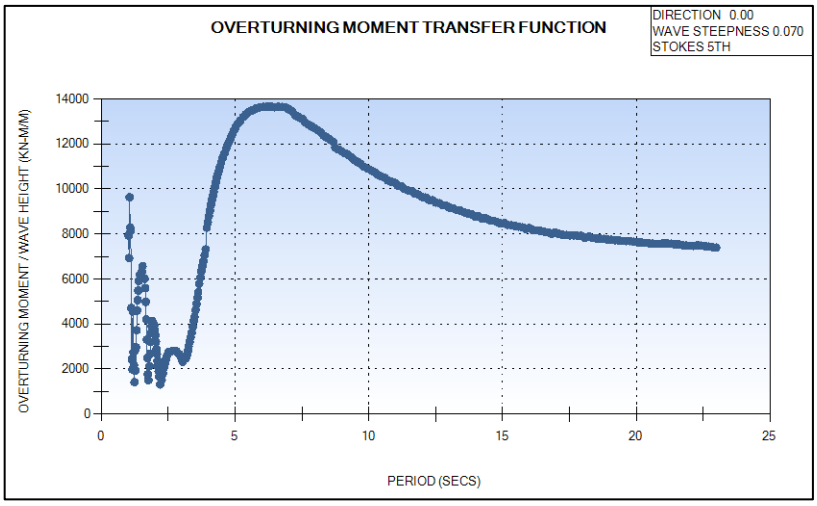
6.1.3. Pembentukan Transfer Function dan Respon Gelombang

Pembentukan *transfer function* analisis respon gelombang dilakukan sebagai penggambaran keadaan laut dan kondisi struktur berdasarkan periode, frekuensi dan tinggi gelombang dari 12 arah yang dianalisis.

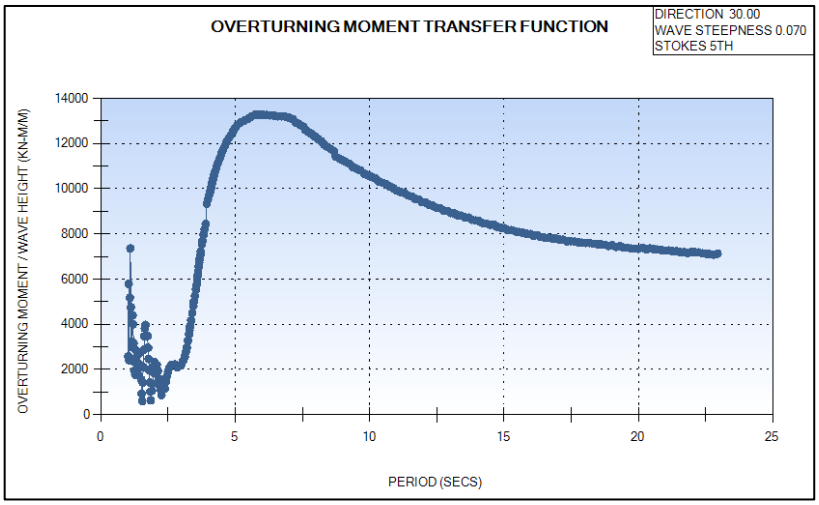
Pada pembentukkan *transfer function*, dibutuhkan 2 file yakni input model (sacinp.) dan input *seastate* (seainp.) dengan modifikasi yang mana akan menghasilkan *transfer function* dari gelombang yang akan dianalisis. Contoh modifikasi *seastate* untuk pembentukkan *transfer function* dan hasil plotting *transfer function* dapat dilihat pada **Gambar 6.4** sampai **Gambar 6.16**.

```
LOAD
LOADCN   1
GNTRF   AL550   0.07   23.  0.02                  24STOKPR      5.2 0.9
GNTRF   AL550   0.07   12.  0.02                  24STOKPR      5.2 0.9
LOADCN   2
GNTRF   AL550   0.07   23.  0.02              30. 24STOKPR      5.2 0.9
GNTRF   AL550   0.07   12.  0.02              30. 24STOKPR      5.2 0.9
LOADCN   3
GNTRF   AL550   0.07   23.  0.02              60. 24STOKPR       5. 0.9
GNTRF   AL550   0.07   12.  0.02              60. 24STOKPR       5. 0.9
LOADCN   4
GNTRF   AL550   0.07   23.  0.02              90. 24STOKPR       5. 0.9
GNTRF   AL550   0.07   12.  0.02              90. 24STOKPR       5. 0.9
LOADCN   5
GNTRF   AL550   0.07   23.  0.02             120. 24STOKPR       5. 0.9
GNTRF   AL550   0.07   12.  0.02             120. 24STOKPR       5. 0.9
LOADCN   6
GNTRF   AL550   0.07   23.  0.02             150. 24STOKPR      3.8 0.9
GNTRF   AL550   0.07   12.  0.02             150. 24STOKPR      3.8 0.9
LOADCN   7
GNTRF   AL550   0.05   23.  0.02             180. 24STOKPR       2. 0.9
GNTRF   AL550   0.05   12.  0.02             180. 24STOKPR       2. 0.9
LOADCN   8
GNTRF   AL550   0.05   23.  0.02             210. 24STOKPR      3.2 0.9
GNTRF   AL550   0.05   12.  0.02             210. 24STOKPR      3.2 0.9
LOADCN   9
GNTRF   AL550   0.05   23.  0.02             240. 24STOKPR      3.2 0.9
GNTRF   AL550   0.05   12.  0.02             240. 24STOKPR      3.2 0.9
LOADCN  10
GNTRF   AL550   0.05   23.  0.02             270. 24STOKPR      3.2 0.9
GNTRF   AL550   0.05   12.  0.02             270. 24STOKPR      3.2 0.9
LOADCN  11
GNTRF   AL550   0.07   23.  0.02             300. 24STOKPR       4. 0.9
GNTRF   AL550   0.07   12.  0.02             300. 24STOKPR       4. 0.9
LOADCN  12
GNTRF   AL550   0.07   23.  0.02             330. 24STOKPR      5.2 0.9
GNTRF   AL550   0.07   12.  0.02             330. 24STOKPR      5.2 0.9
END
```

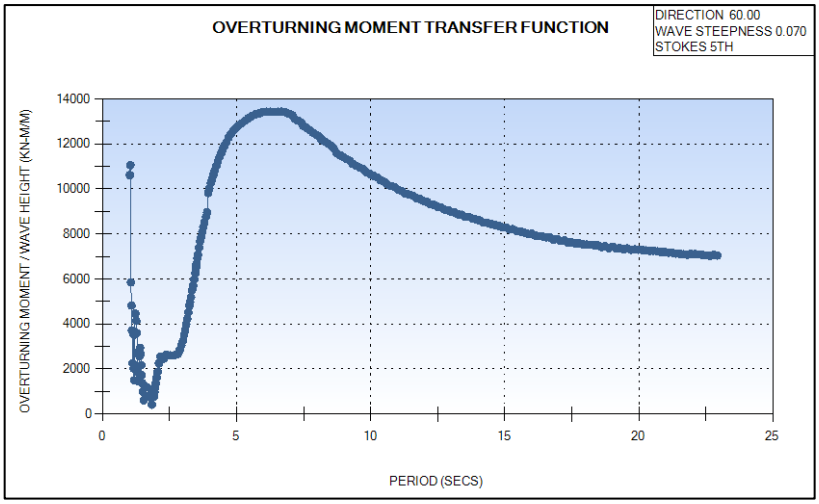
Gambar 6.4 Modifikasi seastate pada pembentukkan transfer function



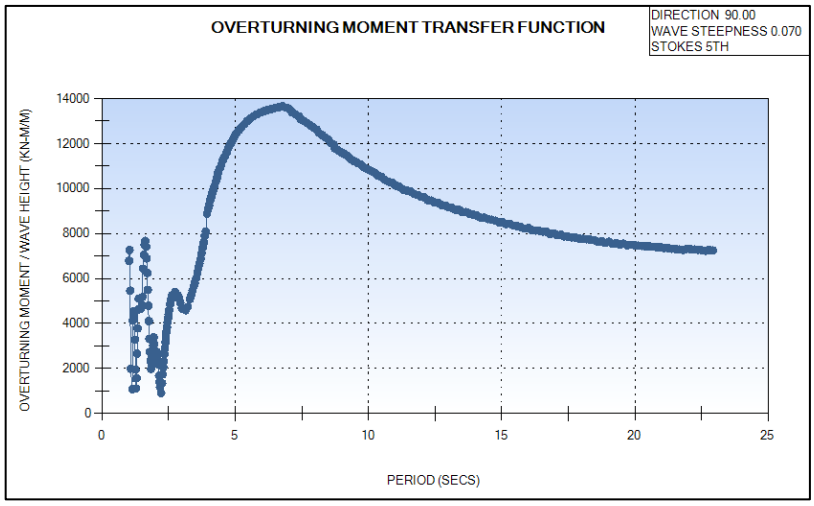
Gambar 6.5 Grafik transfer function gelombang arah 0 derajat



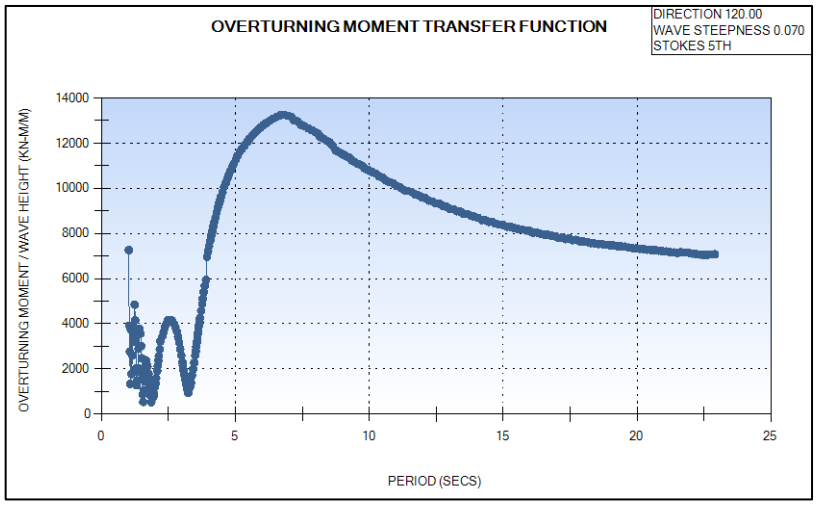
Gambar 6.6 Grafik transfer function gelombang arah 30 derajat



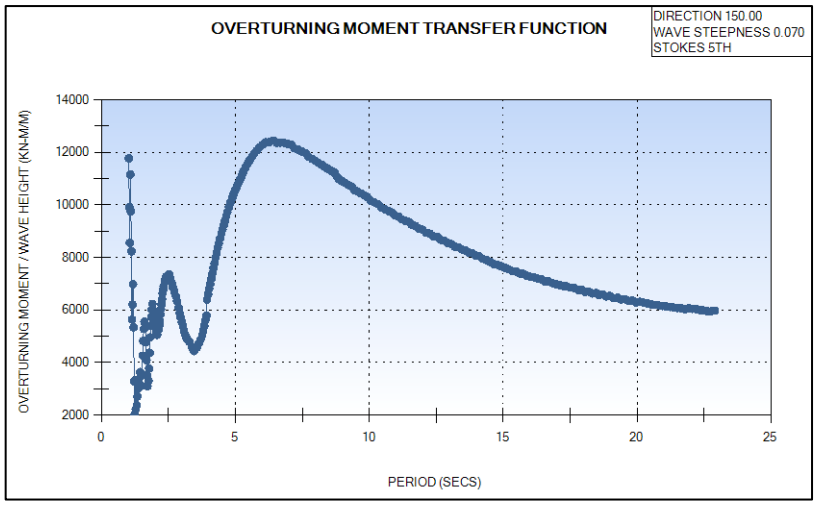
Gambar 6.7 Grafik transfer function gelombang arah 60 derajat



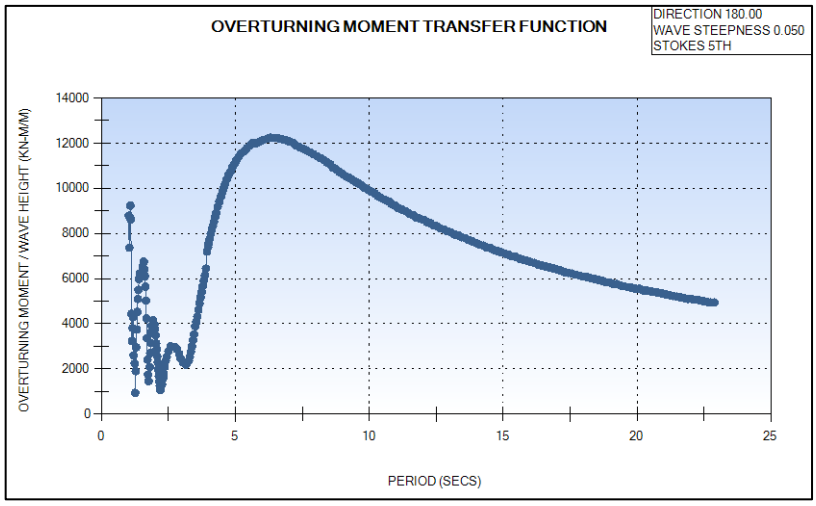
Gambar 6.8 Grafik transfer function gelombang arah 90 derajat



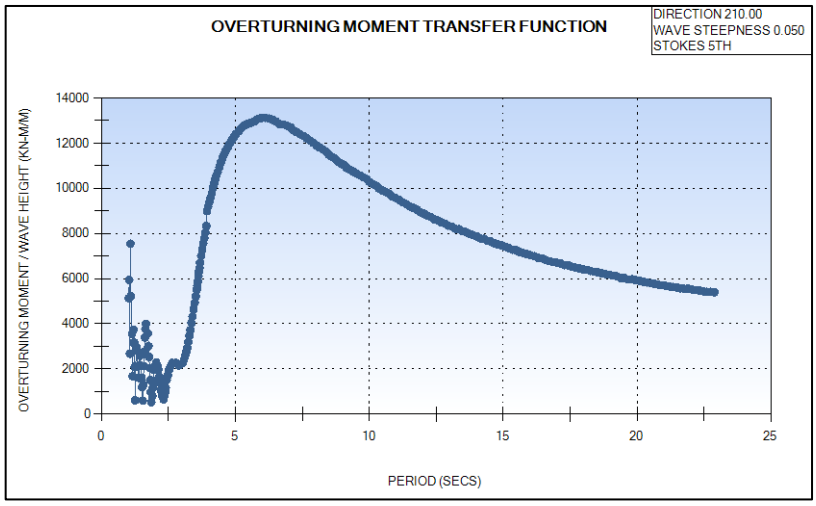
Gambar 6.9 Grafik transfer function gelombang arah 120 derajat



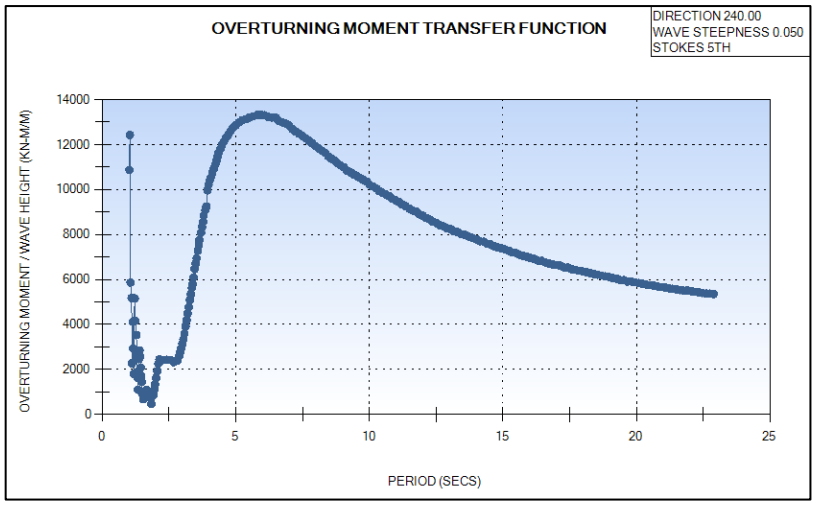
Gambar 6.10 Grafik transfer function gelombang arah 150 derajat



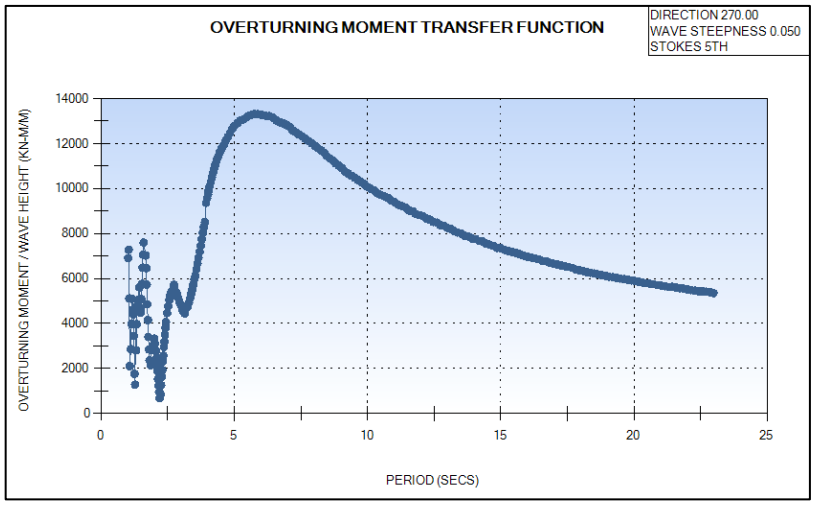
Gambar 6.11 Grafik transfer function gelombang arah 180 derajat



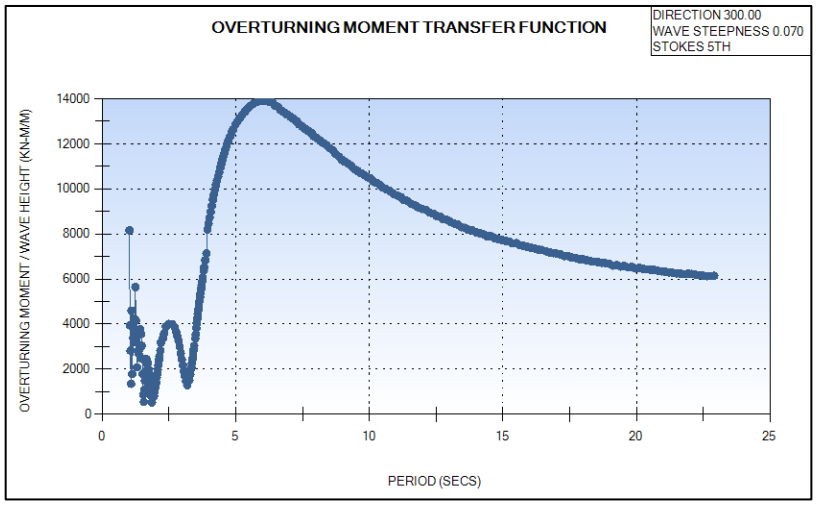
Gambar 6.12 Grafik transfer function gelombang arah 210 derajat



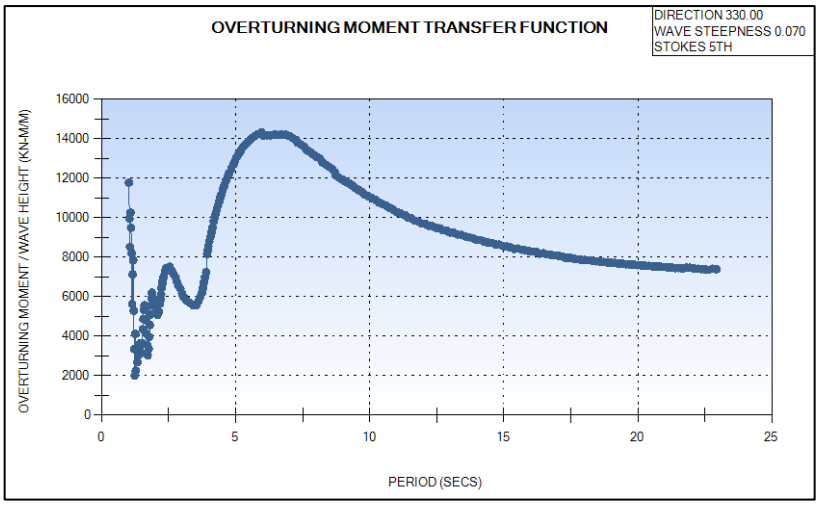
Gambar 6.13 Grafik transfer function gelombang arah 240 derajat



Gambar 6.14 Grafik transfer function gelombang arah 270 derajat



Gambar 6.15 Grafik transfer function gelombang arah 300 derajat



Gambar 6.16 Grafik transfer function gelombang arah 330 derajat

Setelah *transfer function* dibangkitkan, gelombang akan dipilih untuk analisis respon gelombang. Gelombang yang dipilih yakni sekumpulan gelombang yang menghasilkan puncak dari momen yang dihasilkan. Analisis ini membutuhkan 6 file yakni file input model (sacinp.), input *seastate* (seainp.) dengan meginput data gelombang yang dipilih yang dapat dilihat pada **Gambar 6.18**, *dynpac mass* (dynmas.), *dynpac solution* (dynmod.), file *superelement* (dynsef.) serta file input untuk analisis respon gelombang (wvrinp.) yang dapat dilihat pada Error! Reference s ource not found..

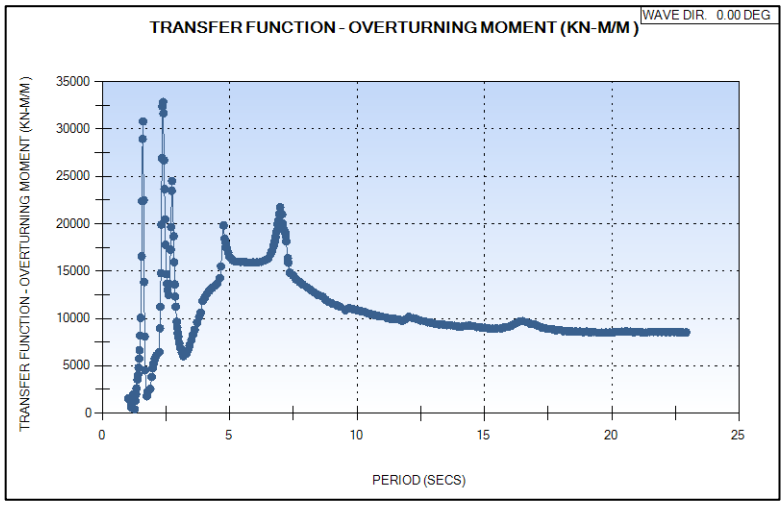
```
1  WROPT  MNPSL  M-NSUS                          60   -1
2  PLTTF                      OMBBSB                     PF
3  DAMP          2.
4  TFLCAS    1 998
5  END
```

Gambar 6.17 File Input Analisis Respon Gelombang

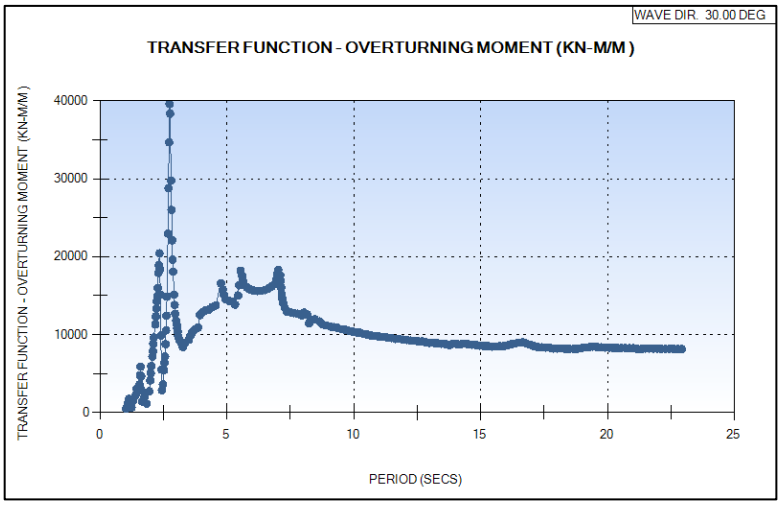
```
26  LOAD
27  LOADCN   1
28  WAVE
29  WAVE 1.0STOK  3.80  60.5 22.98        150.00      L         1.00  10MM10 1 0 1
30  LOADCN   2
31  WAVE
32  WAVE 1.0STOK  3.80  60.5 22.96        150.00      L         1.00  10MM10 1 0 1
33  LOADCN   3
34  WAVE
35  WAVE 1.0STOK  3.80  60.5 22.94        150.00      L         1.00  10MM10 1 0 1
36  LOADCN   4
37  WAVE
38  WAVE 1.0STOK  3.80  60.5 22.92        150.00      L         1.00  10MM10 1 0 1
```

Gambar 6.18 Modifikasi seastate untuk analisis respon gelombang

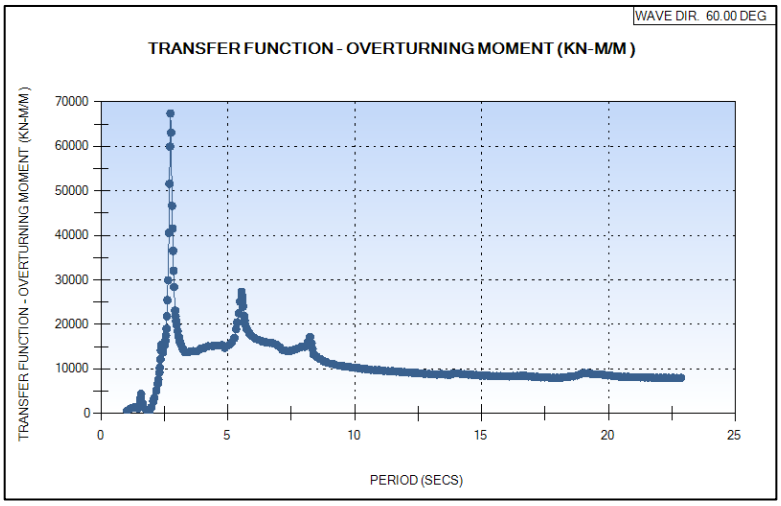
Analisis ini memiliki file keluaran *common solution file* (saccsf.) dan file hasil plotting dari analisis yang telah dilakukan (wvrncf.). Contoh hasil *plotting* dari analisis respon gelombang dapat dilihat pada **Gambar 6.19** sampai **Gambar 6.30.**



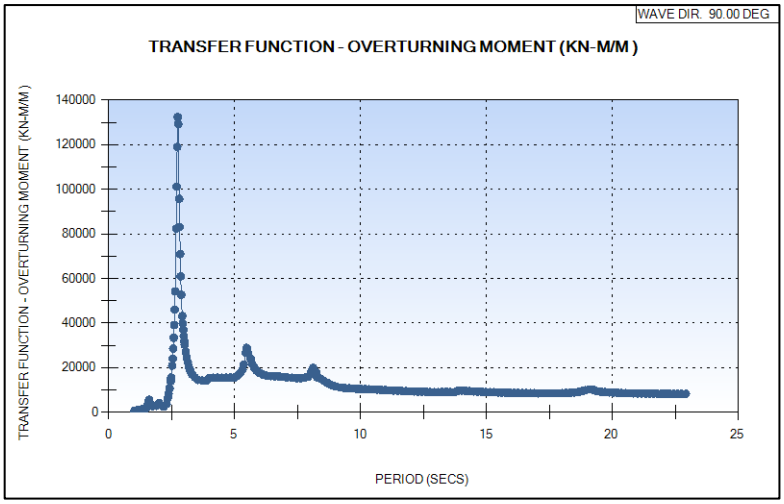
Gambar 6.19 Grafik Respon Gelombang pada Arah 0 derajat



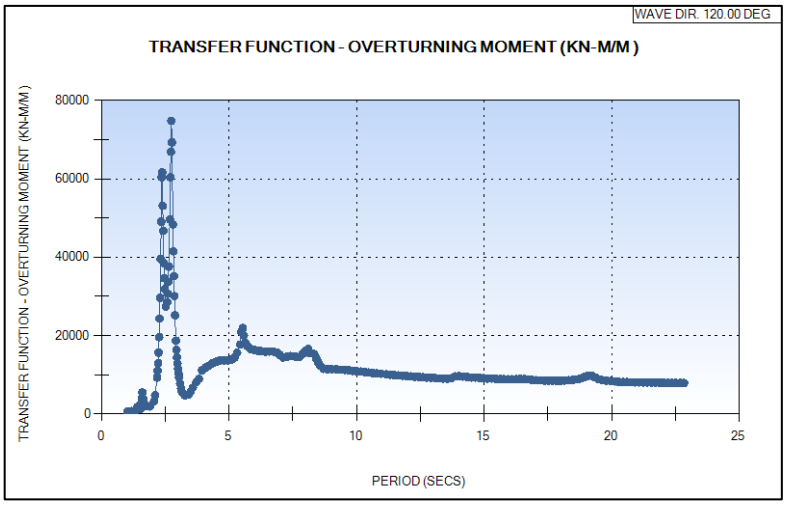
Gambar 6.20 Grafik Respon Gelombang pada Arah 30 derajat



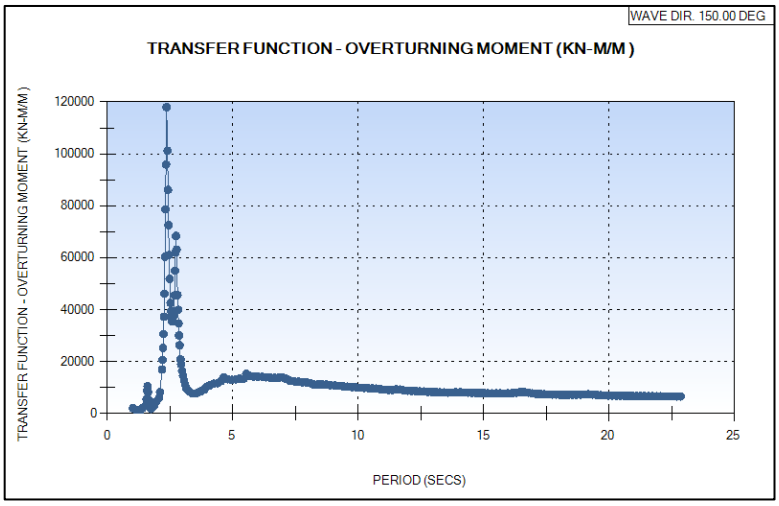
Gambar 6.21 Grafik Respon Gelombang pada Arah 60 derajat



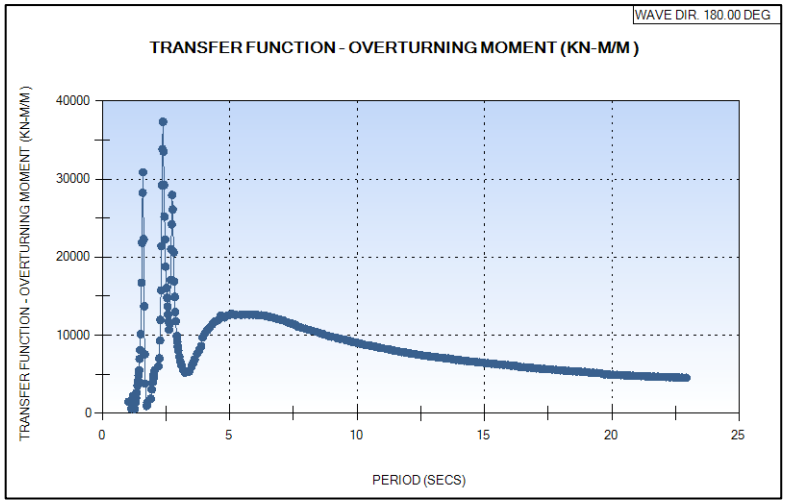
Gambar 6.22 Grafik Respon Gelombang pada Arah 90 derajat



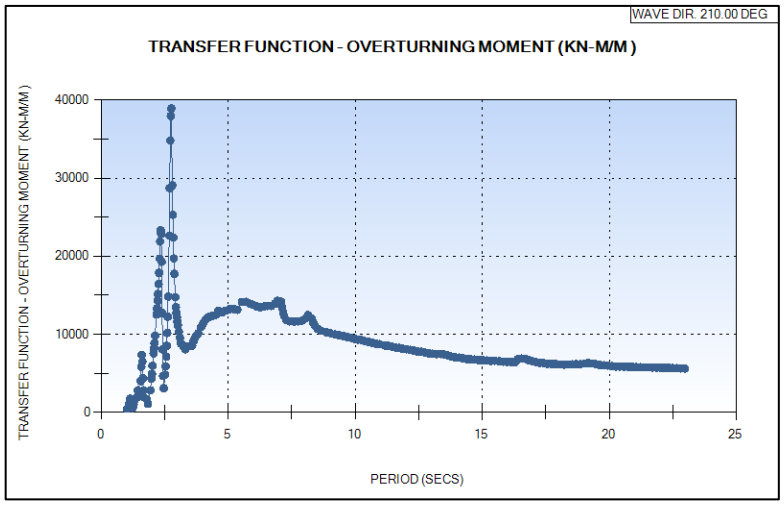
Gambar 6.23 Grafik Respon Gelombang pada Arah 120 derajat



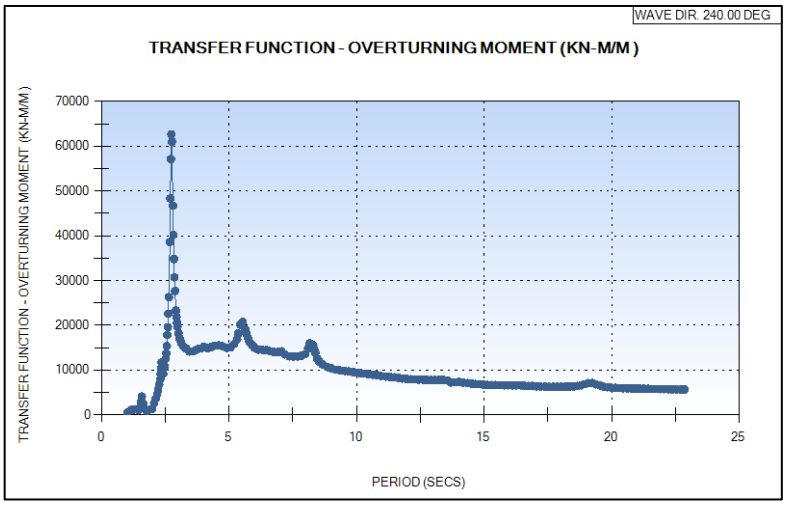
Gambar 6.24 Grafik Respon Gelombang pada Arah 150 derajat



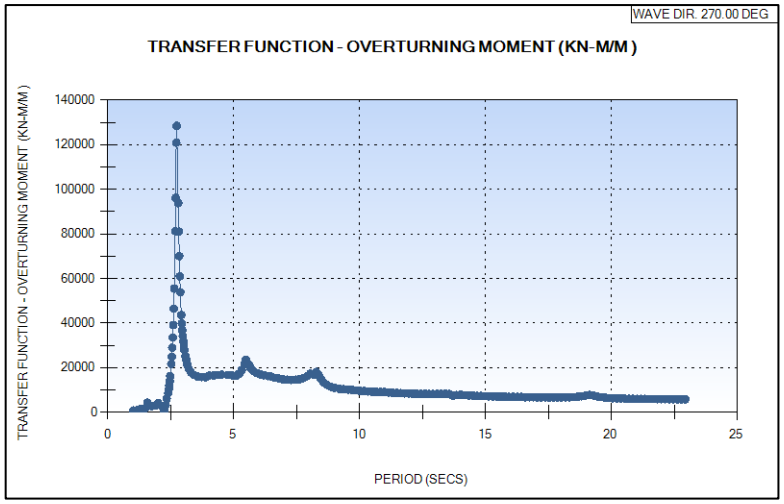
Gambar 6.25 Grafik Respon Gelombang pada Arah 180 derajat



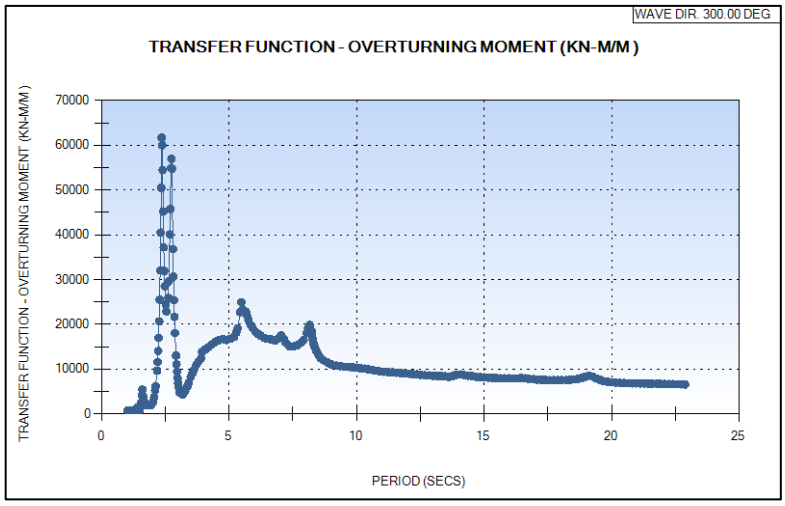
Gambar 6.26 Grafik Respon Gelombang pada Arah 210 derajat



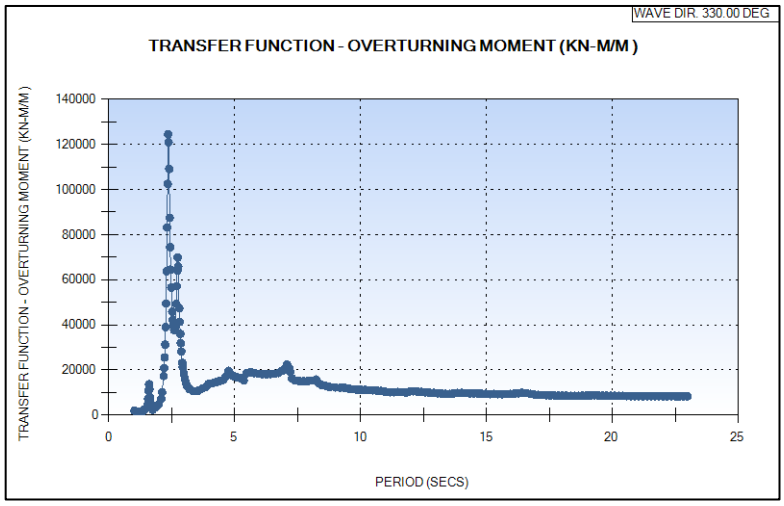
Gambar 6.27 Grafik Respon Gelombang pada Arah 240 derajat



Gambar 6.28 Grafik Respon Gelombang pada Arah 270 derajat



Gambar 6.29 Grafik Respon Gelombang pada Arah 300 derajat



Gambar 6.30 Grafik Respon Gelombang pada Arah 330 derajat

6.1.4. Analisis Spectral *Fatigue*

Analisis *spectral fatiigue* dilakukan untuk mengetahui umur kelelahan dari struktur. Analisis ini menggunakan data *design life* 15 tahun dengan *safety factor* sebesar 2 dan 5 untuk member pada elevasi *mudmat* berdasarkan API RP-2A WSD dan probabilitas kejadian gelombang setiap arah. Pada analisis ini digunakan grafik S-N kurva X dengan asumsi struktur tidak memiliki *weld profile control* dan perhitungan SCF dilakukan berdasarkan pendekatan Efthymiou. Pada analisis ini dibutuhkan 3 input file yakni, file input *fatigue* yang berisikan probabilitas kejadian gelombang pada setiap arah, *common solution file* dari analisis respon gelombang (saccsf.) serta input *seastate* (seainp.) yang digunakan pada analisis respon

gelombang. Analisis ini memiliki file keluaran berupa listing (ftglst.) dan file interaktif *fatigue* (ftgext.) untuk melihat *joint*/*member* yang umur kelelahannya masih tidak memenuhi kriteria. Berikut cuplikan dari input file *fatigue* dapat dilihat pada **Gambar 6.31.**

```
 9  * WAVE SCATTER
10  *0 degrees
11  FTCASE   10.07279563       1.0 SPC
12  SCATD Z     1.    1.    1.N    JS  1.42
13  SCWAV        0.984 2.953 5.249 6.889 8.858 10.83
14  SCPER   0.500.00050.0001
15  SCPER   1.500.03050.0002
16  SCPER   2.500.13410.00270.0001
17  SCPER   3.500.35070.01730.00040.0001
18  SCPER   4.500.21080.03390.00250.0001
19  SCPER   5.500.08950.02880.00410.00060.0001
20  SCPER   6.500.03550.01480.00280.00060.00010.0001
21  SCPER   7.500.01390.00650.00110.00030.00010.0001
22  SCPER   8.500.00580.00280.00040.00010.0001
23  SCPER   9.500.00260.00120.00020.0001
24  SCPER  10.500.00120.00050.00010.0001
25  SCPER  11.500.00050.00020.0001
26  SCPER  12.500.00020.00010.0001
27  SCPER  13.500.00010.0001
28  SCPER  14.500.00010.0001
29  SCPER  15.500.0001
30  SCPER  16.500.0001
```

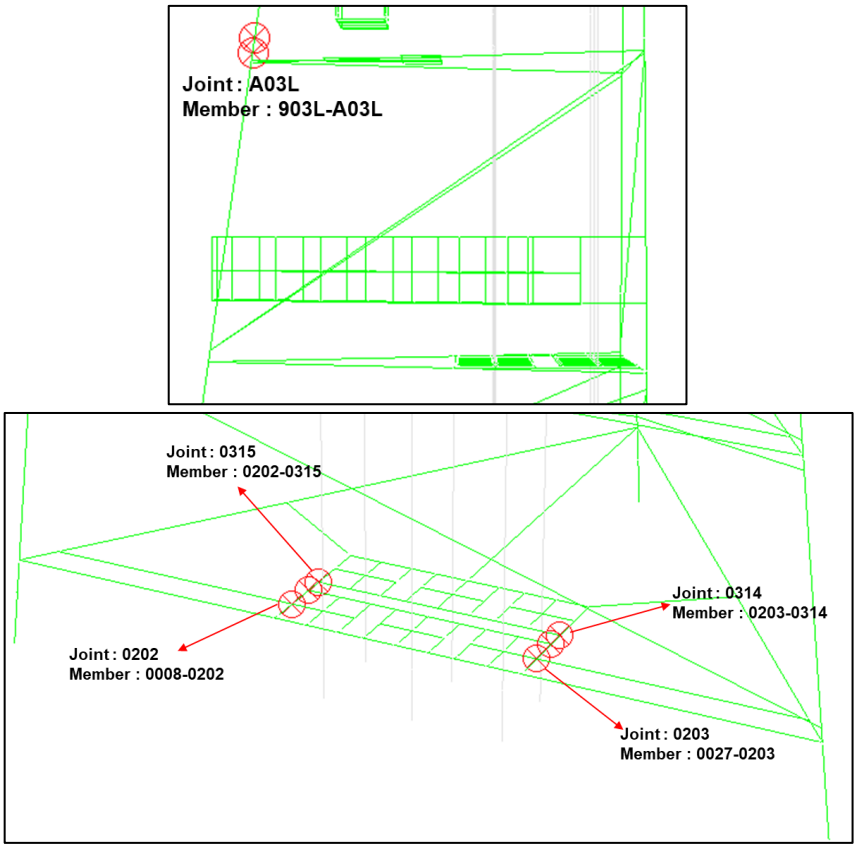
Gambar 6.31 Cuplikan Input file *fatigue*

6.2. Hasil Analisis Spektral *Fatigue*

Hasil analisis *spectral fatigue* adalah nilai *fatigue damage* dan *service life* dari setiap *joint* pada struktur. Berikut 5 *joint* dengan nilai *service life* paling kecil dapat dilihat pada **Tabel 6.1** dan visualisasi dari *joint* dengan nilai *service life* terkecil dapat dilihat pada **Gambar 6.32.**

Tabel 6.1 5 *joint* dengan nilai *service life* terkecil

Joint	***Member***	***Member Group***	***Damage***	***Service life* (tahun)**	***Safety Factor***
A03L	903L-A03L	LG9	0.326	45.99	2
0202	0008-0202	MDM	0.638	23.49	5
0315	0202-0315	MDM	0.628	23.88	5
0203	0027-0203	MDM	0.623	24.07	5
0314	0203-0314	MDM	0.593	25.29	5



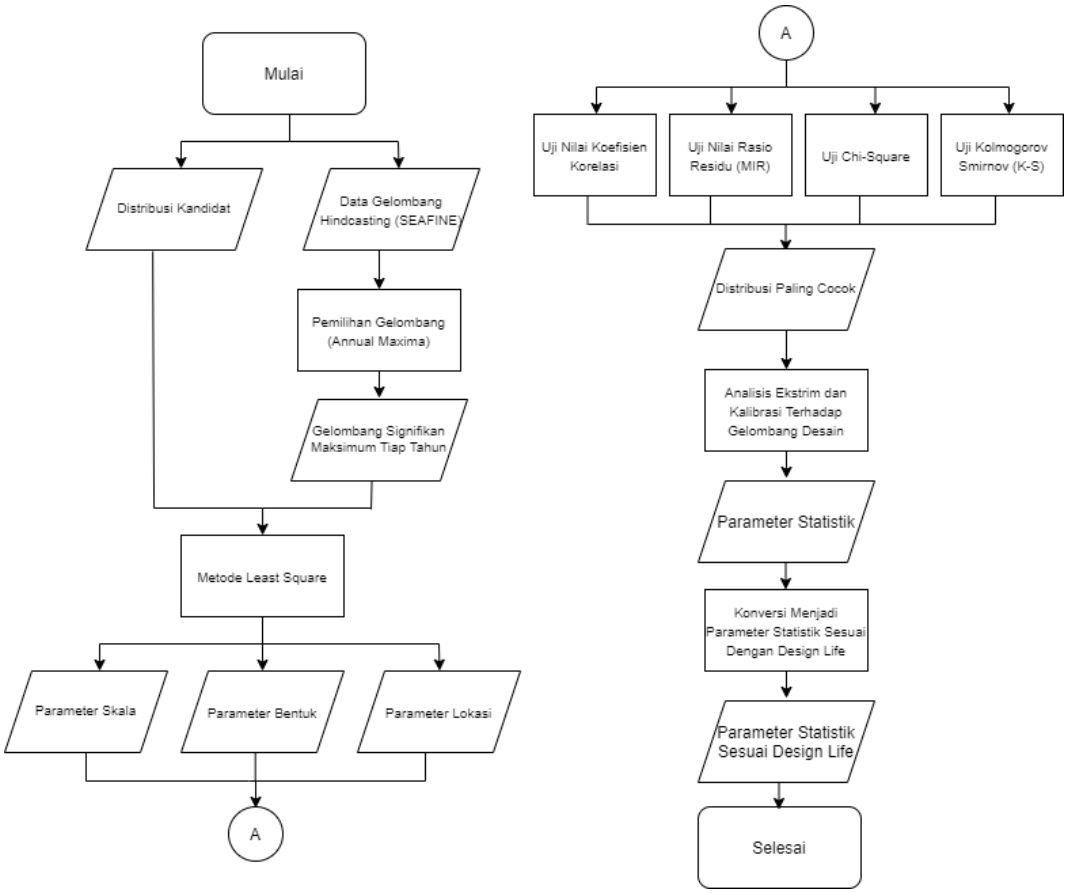
Gambar 6.32 Visualisasi *joint* dengan *service life* terkecil

BAB 7 ANALISIS GELOMBANG

7.1. Deskripsi Umum

Pada Tugas Akhir ini, dilakukan analisis gelombang untuk mengetahui distribusi yang paling cocok untuk gelombang acak yang tersedia dan mengetahui parameter statistik dari gelombang acak. Distribusi yang paling cocok dan parameter statistik akan digunakan pada analisis kehandalan.

Data gelombang yang digunakan berasal dari *hindcasting* yang didapatkan dari SEAFINE (*SEAMOS-South Fine Grid Hindcast*). Data yang digunakan adalah data gelombang acak selama 60 tahun yang terjadi di lokasi anjungan lepas pantai. Diagram alir analisis gelombang pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 7.1**.



Gambar 7.1 Diagram Alir Analisis Gelombang

7.2. Pemilihan Gelombang

Pemilihan data gelombang dilakukan dengam metode *annual maxima* dimana gelombang signifikan maksimum setiap tahun dipilih untuk diuji kecocokan distribusinya. Berikut gelombang terpilih berdasarkan metode *annual maxima* dapat dilihat pada **Tabel 7.1**.

Tabel 7.1 Gelombang Signifikan Maksimum Selama 60 Tahun

Tahun	Hs (m)	Tahun	Hs (m)	Tahun	Hs (m)
1956	2.462	1976	2.486	1996	1.786
1957	2.766	1977	2.648	1997	2.405
1958	1.636	1978	2.151	1998	1.635
1959	2.455	1979	2.458	1999	3.072
1960	3.505	1980	2.018	2000	1.974
1961	2.958	1981	2.496	2001	2.087
1962	3.119	1982	2.594	2002	1.732
1963	2.735	1983	2.861	2003	1.715
1964	2.268	1984	2.819	2004	2.203
1965	2.765	1985	2.652	2005	1.836
1966	2.897	1986	2.800	2006	2.188
1967	2.869	1987	2.618	2007	2.272
1968	2.897	1988	2.818	2008	2.377
1969	3.302	1989	2.512	2009	2.266
1970	2.714	1990	3.004	2010	1.833
1971	2.349	1991	2.694	2011	2.744
1972	3.03	1992	1.959	2012	2.555
1973	3.079	1993	2.625	2013	2.629
1974	2.778	1994	2.642	2014	2.7
1975	2.207	1995	2.55	2015	1.796

7.3. Pemilihan Distribusi Gelombang

Data gelombang bersifat acak, oleh karena itu keacakan data gelombang harus dicocokkan dengan teori distribusi tertentu. Pada tugas akhir ini digunakan berbagai macam kandidat dengan berbagai parameter bentuk. Kandidat distribusi diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Distribusi FT-I atau Gumbel;
2. Distribusi FT-II atau frechet;
3. Distribusi Weibull; dan
4. Distribusi Lognormal.

Distribusi FT-I atau gumbel memiliki nilai $k = \infty$, sedangkan distribusi FT-II yang dijadikan kandidat distribusi adalah dengan $k = 2.5,5,10$. Distribusi Weibull yang dijadikan kandidat distribusi adalah dengan $k = 0.75,1,1.4,2$ dimana distribusi weibull dengan $k = 2$ memiliki sifat yang sama dengan distribusi lognormal (Goda, 2000).

7.3.1. *Least Square Method*

Least Square Method adalah salah satu cara untuk menentukan sebuah fungsi yang paling mendekati sejumlah data acak. Metode ini digunakan untuk menentukan parameter bentuk dan lokasi dari setiap fungsi distribusi yang menjadi kandidat, Agar metode ini memenuhi kondisi yang tidak bias maka digunakan persamaan posisi plot. Berikut konstanta formula *unbiased plotting position* dapat dilihat pada **Tabel 7.2**.

Tabel 7.2 α dan β Setiap Kandidat Distribusi

Kandidat Distribusi		α	β
FT-I		0.440	0.120
FT-II	2.5	0.648	0.076
	3.33	0.596	0.087
	5	0.544	0.098
	10	0.492	0.109
Weibull	0.75	0.512	0.466
	1	0.470	0.430
	1.4	0.428	0.394
	2	0.391	0.363

Untuk melakukan metode ini, data gelombang diurutkan mulai dari yang terbesar sampai yang terkecil. *Least Square Method* dilakukan berdasarkan persamaan variabel tereduksi dan persamaan posisi plot tidak bias. Berikut hasil perhitungan dengam *least square method* dapat dilihat pada **Tabel 7.3** dan **Tabel 7.4**.

Tabel 7.3 *Least Square Method* Distribusi gumbel dan Frechet

Observed		FT-I		FT-II (k=2.5)		FT-II (k=3.3)		FT-II (k=5)		FT-II (k=10)	
m	Hs	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)
1	3.505	0.991	4.671	0.994	17.012	0.993	11.613	0.992	8.262	0.992	6.111
2	3.302	0.974	3.639	0.977	8.852	0.977	6.923	0.976	5.497	0.975	4.438
3	3.119	0.957	3.135	0.961	6.565	0.960	5.371	0.959	4.438	0.958	3.710
4	3.079	0.941	2.796	0.944	5.340	0.943	4.488	0.942	3.800	0.942	3.246
5	3.072	0.924	2.540	0.928	4.538	0.927	3.887	0.926	3.349	0.925	2.907

Observed		FT-I		FT-II (k=2.5)		FT-II (k=3.3)		FT-II (k=5)		FT-II (k=10)	
m	Hs	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)
6	3.03	0.908	2.333	0.911	3.956	0.910	3.438	0.909	3.003	0.908	2.639
7	3.004	0.891	2.158	0.894	3.507	0.893	3.084	0.893	2.724	0.892	2.419
8	2.958	0.874	2.007	0.878	3.145	0.877	2.794	0.876	2.491	0.875	2.231
9	2.897	0.858	1.873	0.861	2.844	0.860	2.549	0.859	2.291	0.858	2.068
10	2.897	0.841	1.753	0.844	2.588	0.843	2.337	0.843	2.117	0.842	1.923
11	2.869	0.824	1.644	0.828	2.367	0.827	2.152	0.826	1.961	0.825	1.793
12	2.861	0.808	1.544	0.811	2.172	0.810	1.987	0.809	1.822	0.809	1.675
13	2.819	0.791	1.451	0.794	1.999	0.794	1.839	0.793	1.695	0.792	1.567
14	2.818	0.774	1.364	0.778	1.843	0.777	1.705	0.776	1.579	0.775	1.466
15	2.8	0.758	1.283	0.761	1.702	0.760	1.582	0.759	1.472	0.759	1.373
16	2.778	0.741	1.206	0.744	1.573	0.744	1.469	0.743	1.373	0.742	1.285
17	2.766	0.725	1.133	0.728	1.455	0.727	1.364	0.726	1.280	0.725	1.203
18	2.765	0.708	1.063	0.711	1.345	0.710	1.266	0.710	1.193	0.709	1.125
19	2.744	0.691	0.996	0.695	1.243	0.694	1.174	0.693	1.110	0.692	1.051
20	2.735	0.675	0.933	0.678	1.148	0.677	1.088	0.676	1.032	0.675	0.981
21	2.714	0.658	0.871	0.661	1.059	0.660	1.007	0.660	0.958	0.659	0.913
22	2.7	0.641	0.812	0.645	0.975	0.644	0.930	0.643	0.888	0.642	0.849
23	2.694	0.625	0.754	0.628	0.895	0.627	0.857	0.626	0.820	0.626	0.786
24	2.652	0.608	0.698	0.611	0.820	0.611	0.787	0.610	0.756	0.609	0.726
25	2.648	0.591	0.644	0.595	0.748	0.594	0.720	0.593	0.693	0.592	0.668
26	2.642	0.575	0.591	0.578	0.680	0.577	0.656	0.576	0.633	0.576	0.612
27	2.629	0.558	0.540	0.561	0.614	0.561	0.594	0.560	0.575	0.559	0.557
28	2.625	0.542	0.489	0.545	0.552	0.544	0.535	0.543	0.519	0.542	0.504
29	2.618	0.525	0.439	0.528	0.491	0.527	0.478	0.527	0.464	0.526	0.452
30	2.594	0.508	0.391	0.511	0.433	0.511	0.422	0.510	0.411	0.509	0.401
31	2.555	0.492	0.343	0.495	0.377	0.494	0.368	0.493	0.359	0.492	0.351
32	2.55	0.475	0.295	0.478	0.323	0.477	0.316	0.477	0.309	0.476	0.302
33	2.512	0.458	0.248	0.461	0.271	0.461	0.265	0.460	0.259	0.459	0.254
34	2.496	0.442	0.202	0.445	0.220	0.444	0.215	0.443	0.211	0.443	0.206
35	2.486	0.425	0.156	0.428	0.170	0.427	0.167	0.427	0.163	0.426	0.160
36	2.462	0.409	0.111	0.412	0.122	0.411	0.119	0.410	0.116	0.409	0.113
37	2.458	0.392	0.065	0.395	0.075	0.394	0.072	0.393	0.070	0.393	0.068
38	2.455	0.375	0.020	0.378	0.028	0.378	0.026	0.377	0.024	0.376	0.022
39	2.405	0.359	-0.025	0.362	-0.017	0.361	-0.019	0.360	-0.021	0.359	-0.023
40	2.377	0.342	-0.070	0.345	-0.062	0.344	-0.064	0.343	-0.066	0.343	-0.068
41	2.349	0.325	-0.116	0.328	-0.105	0.328	-0.108	0.327	-0.111	0.326	-0.113
42	2.272	0.309	-0.162	0.312	-0.149	0.311	-0.152	0.310	-0.155	0.309	-0.158
43	2.268	0.292	-0.208	0.295	-0.192	0.294	-0.195	0.294	-0.199	0.293	-0.203
44	2.266	0.275	-0.254	0.278	-0.234	0.278	-0.239	0.277	-0.244	0.276	-0.249
45	2.207	0.259	-0.301	0.262	-0.276	0.261	-0.282	0.260	-0.288	0.260	-0.295
46	2.203	0.242	-0.349	0.245	-0.319	0.244	-0.326	0.244	-0.333	0.243	-0.341

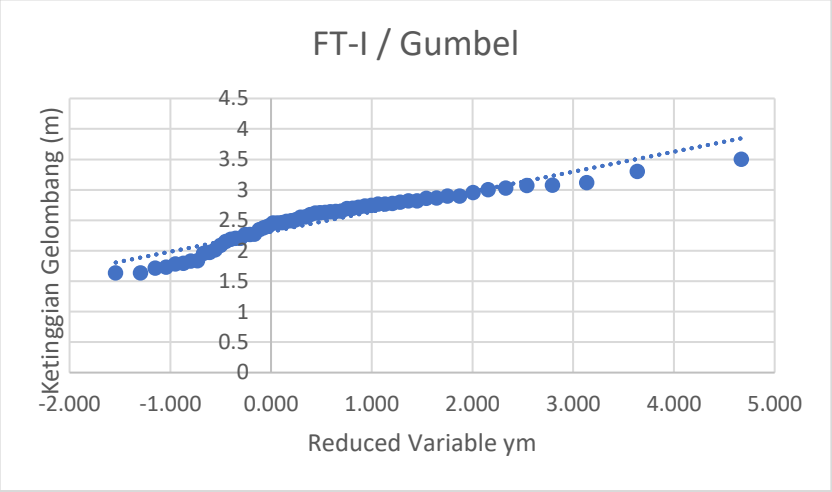
Observed		FT-I		FT-II (k=2.5)		FT-II (k=3.3)		FT-II (k=5)		FT-II (k=10)	
m	Hs	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)
47	2.188	0.226	-0.398	0.228	-0.361	0.228	-0.370	0.227	-0.379	0.226	-0.388
48	2.151	0.209	-0.448	0.212	-0.403	0.211	-0.414	0.210	-0.425	0.210	-0.436
49	2.087	0.192	-0.500	0.195	-0.446	0.194	-0.458	0.194	-0.472	0.193	-0.486
50	2.018	0.176	-0.553	0.179	-0.489	0.178	-0.504	0.177	-0.520	0.176	-0.536
51	1.974	0.159	-0.609	0.162	-0.533	0.161	-0.551	0.160	-0.569	0.160	-0.589
52	1.959	0.142	-0.667	0.145	-0.578	0.145	-0.599	0.144	-0.620	0.143	-0.643
53	1.836	0.126	-0.729	0.129	-0.624	0.128	-0.648	0.127	-0.674	0.126	-0.701
54	1.833	0.109	-0.795	0.112	-0.673	0.111	-0.701	0.111	-0.730	0.110	-0.762
55	1.796	0.092	-0.867	0.095	-0.724	0.095	-0.756	0.094	-0.791	0.093	-0.828
56	1.786	0.076	-0.947	0.079	-0.779	0.078	-0.817	0.077	-0.857	0.077	-0.901
57	1.732	0.059	-1.039	0.062	-0.839	0.061	-0.884	0.061	-0.932	0.060	-0.983
58	1.715	0.043	-1.149	0.045	-0.909	0.045	-0.961	0.044	-1.019	0.043	-1.081
59	1.636	0.026	-1.295	0.029	-0.994	0.028	-1.059	0.027	-1.130	0.027	-1.209
60	1.635	0.009	-1.542	0.012	-1.120	0.011	-1.207	0.011	-1.305	0.010	-1.416

Tabel 7.4 Least Square Method Distribusi Weibull

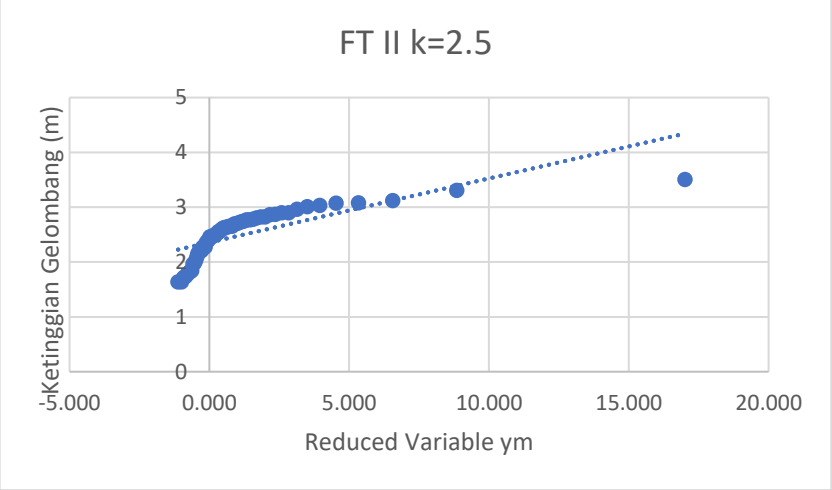
Observed		Weibull (k=0.75)		Weibull (k=1.00)		Weibull (k=1.40)		Weibull (k=2.00)	
m	Hs	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)
1	3.505	0.992	8.140	0.991	4.736	0.991	3.002	0.990	2.144
2	3.302	0.975	5.732	0.975	3.676	0.974	2.521	0.973	1.904
3	3.119	0.959	4.697	0.958	3.173	0.957	2.273	0.957	1.772
4	3.079	0.942	4.046	0.942	2.840	0.941	2.101	0.940	1.678
5	3.072	0.926	3.576	0.925	2.591	0.924	1.968	0.924	1.604
6	3.03	0.909	3.212	0.908	2.391	0.908	1.860	0.907	1.541
7	3.004	0.893	2.917	0.892	2.225	0.891	1.767	0.891	1.487
8	2.958	0.876	2.670	0.875	2.083	0.875	1.685	0.874	1.439
9	2.897	0.860	2.459	0.859	1.958	0.858	1.613	0.857	1.396
10	2.897	0.843	2.274	0.842	1.847	0.842	1.547	0.841	1.356
11	2.869	0.827	2.112	0.826	1.747	0.825	1.487	0.824	1.319
12	2.861	0.810	1.967	0.809	1.657	0.808	1.431	0.808	1.284
13	2.819	0.793	1.836	0.793	1.573	0.792	1.380	0.791	1.251
14	2.818	0.777	1.717	0.776	1.497	0.775	1.331	0.775	1.221
15	2.8	0.760	1.609	0.760	1.425	0.759	1.286	0.758	1.191
16	2.778	0.744	1.510	0.743	1.359	0.742	1.243	0.741	1.163
17	2.766	0.727	1.418	0.726	1.296	0.726	1.202	0.725	1.136
18	2.765	0.711	1.333	0.710	1.238	0.709	1.162	0.708	1.110
19	2.744	0.694	1.254	0.693	1.182	0.692	1.125	0.692	1.085
20	2.735	0.678	1.180	0.677	1.130	0.676	1.089	0.675	1.060
21	2.714	0.661	1.111	0.660	1.080	0.659	1.054	0.659	1.037
22	2.7	0.645	1.046	0.644	1.032	0.643	1.021	0.642	1.014

Observed		Weibull (k=0.75)		Weibull (k=1.00)		Weibull (k=1.40)		Weibull (k=2.00)	
m	Hs	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)	F(m)	y(m)
23	2.694	0.628	0.985	0.627	0.987	0.626	0.989	0.625	0.991
24	2.652	0.612	0.928	0.611	0.943	0.610	0.957	0.609	0.969
25	2.648	0.595	0.874	0.594	0.902	0.593	0.927	0.592	0.947
26	2.642	0.578	0.823	0.578	0.862	0.577	0.897	0.576	0.926
27	2.629	0.562	0.774	0.561	0.823	0.560	0.869	0.559	0.905
28	2.625	0.545	0.728	0.544	0.786	0.543	0.841	0.543	0.884
29	2.618	0.529	0.685	0.528	0.751	0.527	0.813	0.526	0.864
30	2.594	0.512	0.643	0.511	0.716	0.510	0.786	0.509	0.844
31	2.555	0.496	0.604	0.495	0.683	0.494	0.760	0.493	0.824
32	2.55	0.479	0.566	0.478	0.651	0.477	0.734	0.476	0.804
33	2.512	0.463	0.530	0.462	0.619	0.461	0.709	0.460	0.785
34	2.496	0.446	0.496	0.445	0.589	0.444	0.684	0.443	0.765
35	2.486	0.430	0.463	0.429	0.560	0.428	0.659	0.427	0.746
36	2.462	0.413	0.432	0.412	0.531	0.411	0.635	0.410	0.726
37	2.458	0.397	0.402	0.395	0.503	0.394	0.611	0.394	0.707
38	2.455	0.380	0.374	0.379	0.476	0.378	0.587	0.377	0.688
39	2.405	0.363	0.347	0.362	0.450	0.361	0.564	0.360	0.668
40	2.377	0.347	0.321	0.346	0.424	0.345	0.541	0.344	0.649
41	2.349	0.330	0.296	0.329	0.399	0.328	0.518	0.327	0.630
42	2.272	0.314	0.272	0.313	0.375	0.312	0.495	0.311	0.610
43	2.268	0.297	0.249	0.296	0.351	0.295	0.472	0.294	0.590
44	2.266	0.281	0.228	0.280	0.328	0.279	0.450	0.278	0.570
45	2.207	0.264	0.207	0.263	0.305	0.262	0.427	0.261	0.550
46	2.203	0.248	0.187	0.247	0.283	0.245	0.404	0.244	0.529
47	2.188	0.231	0.168	0.230	0.261	0.229	0.382	0.228	0.509
48	2.151	0.215	0.150	0.213	0.240	0.212	0.359	0.211	0.487
49	2.087	0.198	0.133	0.197	0.219	0.196	0.337	0.195	0.465
50	2.018	0.182	0.117	0.180	0.199	0.179	0.314	0.178	0.443
51	1.974	0.165	0.102	0.164	0.179	0.163	0.291	0.162	0.420
52	1.959	0.148	0.087	0.147	0.159	0.146	0.268	0.145	0.396
53	1.836	0.132	0.074	0.131	0.140	0.130	0.244	0.128	0.371
54	1.833	0.115	0.061	0.114	0.121	0.113	0.220	0.112	0.344
55	1.796	0.099	0.049	0.098	0.103	0.096	0.195	0.095	0.316
56	1.786	0.082	0.038	0.081	0.085	0.080	0.169	0.079	0.286
57	1.732	0.066	0.028	0.065	0.067	0.063	0.143	0.062	0.253
58	1.715	0.049	0.019	0.048	0.049	0.047	0.114	0.046	0.216
59	1.636	0.033	0.011	0.031	0.032	0.030	0.083	0.029	0.172
60	1.635	0.016	0.004	0.015	0.015	0.014	0.047	0.012	0.112

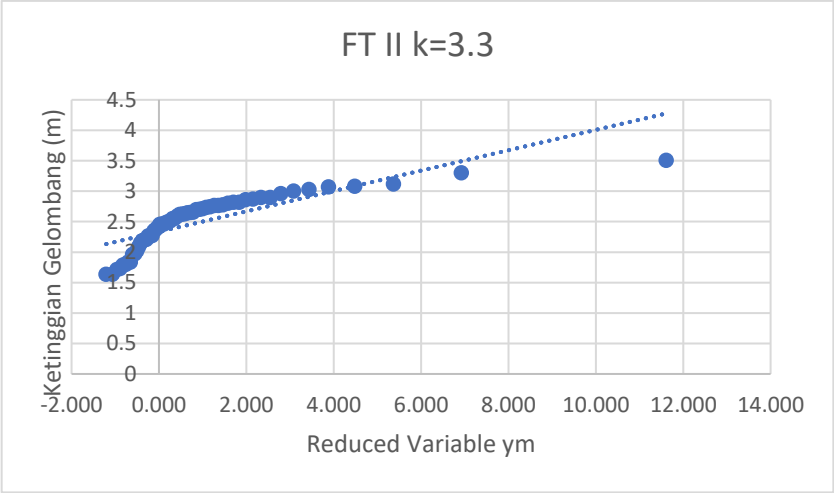
Berikut adalah plot grafik hubungan antara ketinggian gelombang dan variabel tereduksi setiap kandidat distribusi dapat dilihat pada **Gambar 7.2** sampai **Gambar 7.10**.



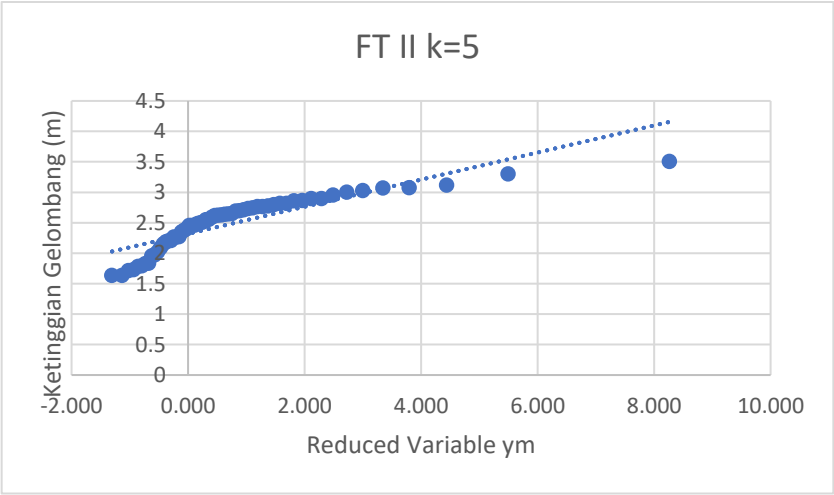
Gambar 7.2 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi gumbel



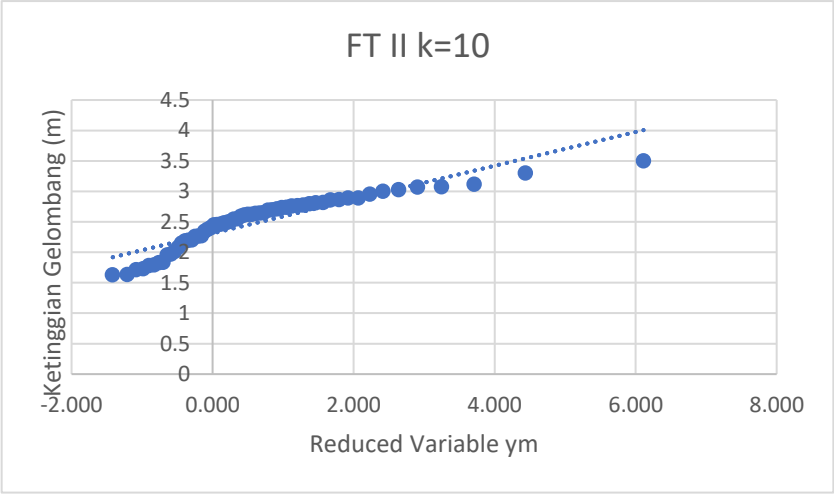
Gambar 7.3 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Frechet k=2.5



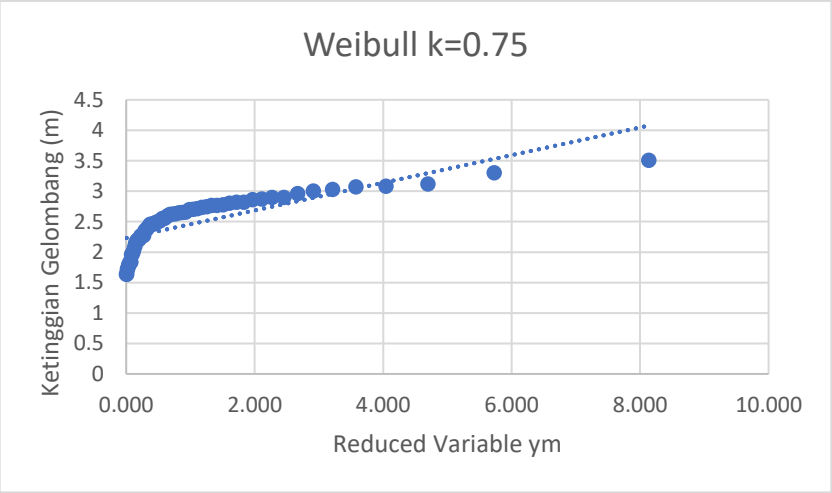
Gambar 7.4 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Frechet k=3.3



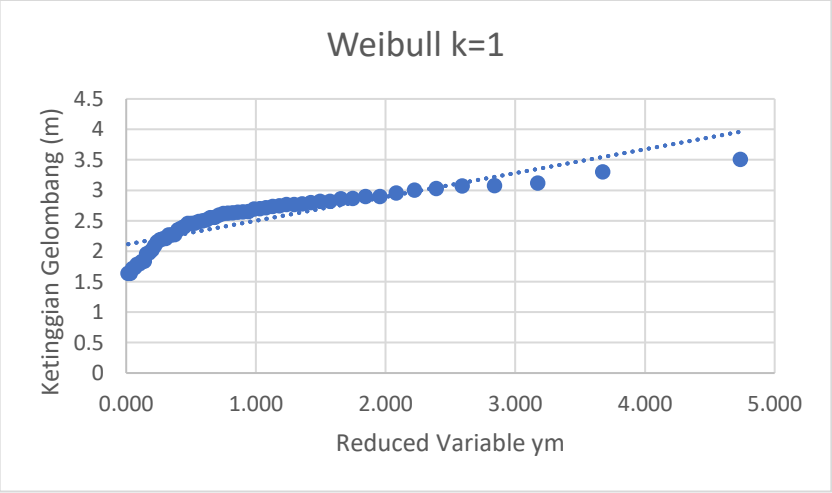
Gambar 7.5 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Frechet k=5



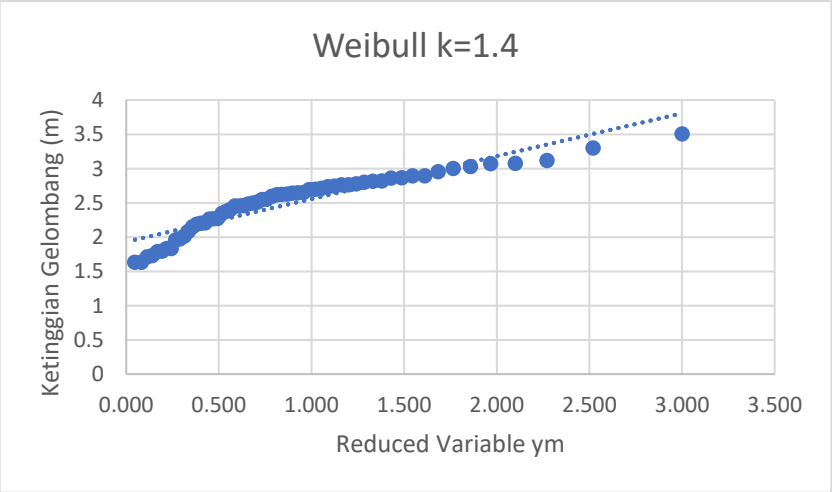
Gambar 7.6 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Frechet k=10



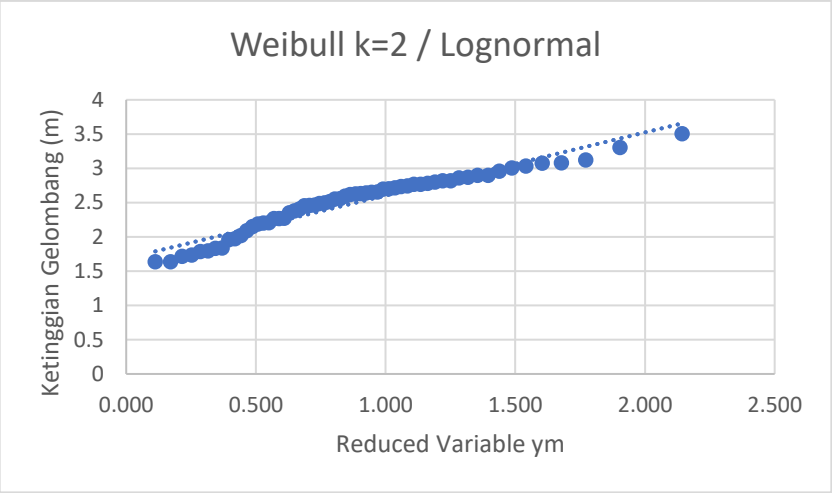
Gambar 7.7 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Weibull k=0.75



Gambar 7.8 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Weibull k=1



Gambar 7.9 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Weibull k=1.4



Gambar 7.10 Hubungan y_m Dengan H_s Distribusi Weibull k=2

Berdasarkan grafik diatas, dapat dicari parameter skala dan lokasi dari setiap kandidat distribusi. Parameter tersebut dapat dilihat pada **Tabel 7.5**.

Tabel 7.5 Parameter Skala dan Lokasi Setiap Distribusi

Distribusi		A	B
FT-I		0.328	2.3132
FT-II	2.5	0.1167	2.3576
	3.33	0.1672	2.3346
	5	0.2223	2.3189
	10	0.2771	2.3138
Weibull	0.75	0.227	2.2304
	1	0.3909	2.1097
	1.4	0.6251	1.9307
	2	0.9196	1.6853

7.3.2. Uji Nilai Korelasi

Distribusi dengan koefisien korelasi yang semakin mendekati satu adalah yang paling cocok dengan data acak gelombang. Berikut adalah nilai korelasi dari setiap kandidat distribusi dapat dilihat pada **Tabel 7.6**.

Tabel 7.6 Nilai Korelasi Setiap Distribusi Kandidat

Distribusi		Korelasi
FT-I		0.949
FT-II	2.5	0.758
	3.33	0.824
	5	0.878
	10	0.919

Distribusi		Korelasi
Weibull	0.75	0.805
	1	0.877
	1.4	0.934
	2	0.969

Berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa berdasarkan uji nilai korelasi, distribusi yang paling cocok adalah distribusi Weibull k=2 atau Lognormal.

7.3.3. *Minimum Ratio of Residual Correlation Coefficient*

Setelah dilakukan uji nilai korelasi, disarankan oleh Goda untuk dilakikan uji rasio residu koefisien korelasi. Rasio yang paling kecil menandakan bahwa distribusi tersebut yang paling cocok dengan data gelombang yang tersedia. Dengan menggunakan nilai rata-rata residu koefisien korelasi, didapat nilai rasio residu setiap kandidat distribusi yang dapat dilihat pada **Tabel 7.7**.

Tabel 7.7 MIR Setiap Distribusi Kandidat

Distribusi		r	Δr	Δrmean	Δr/Δrmean
FT-I		0.949	0.051	0.0234	2.1802257
FT-II	2.5	0.758	0.242	0.0449	5.3865643
	3.33	0.824	0.176	0.0335	5.2470195
	5	0.878	0.122	0.0247	4.9298959
	10	0.919	0.081	0.0180	4.5052143
Weibull	0.75	0.805	0.195	0.0223	8.7517663
	1	0.877	0.123	0.0158	7.7656421
	1.4	0.933809	0.066191	0.0116	5.7269875
	2	0.969	0.031	0.0094	3.2947027

7.3.4. Uji Chi-Square

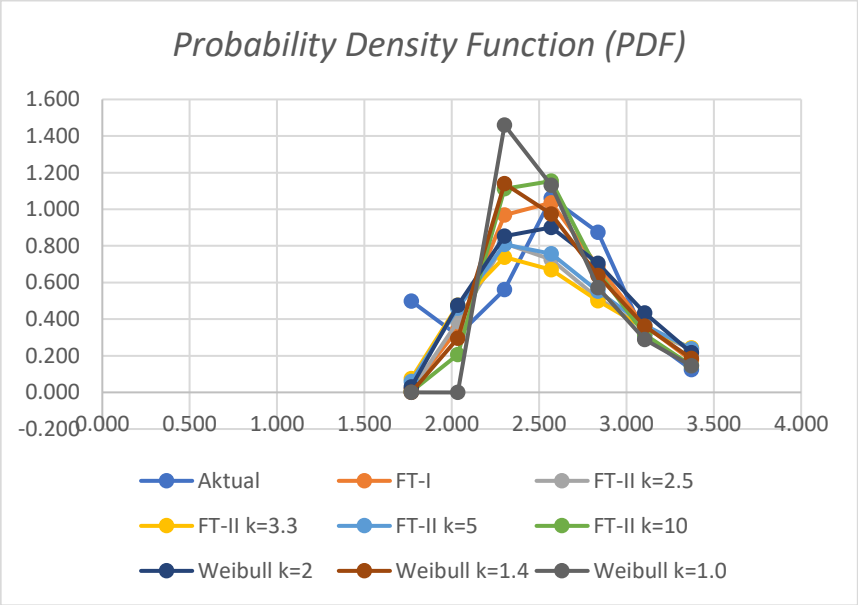
Untuk menguji kecocokan distribusi terhadap data gelombang acak, dilakukan juga uji *Chi-Square*. Pada uji chi-square data gelombang acak hasil dari pemilihan dengan metode *annual maxima*, dibagi menjadi beberapa kelas. Pada uji ini, dilakukan perhitungan nilai error yang berdasarkan jumlah selisih frekuensi teori distribusi kandidat dan frekuensi aktual. Terdapat batasan error yang diperbolehkan pada uji *chi-square*, batasan tersebut ditunjukkan dengan $c_{i-a,f}$ dimana f merupakan derajat kebebasan. Dengan tingkat kepercayaan sebesar 95%, hasil uji chi-square dapat dilihat pada **Tabel 7.8**.

$$f = m - k - 1 = 7 - 2 - 1 = 4$$

$$c_{0.95,4} = 9.48773$$

Tabel 7.8 Hasil Uji Chi-Square

Distribusi		Chi-Error	Status
FT-I		11.891	NOT OK
FT-II	2.5	26.380	NOT OK
	3.33	12.334	NOT OK
	5	9.256	OK
	10	65.720	NOT OK
Weibull	0.75	63618.545	NOT OK
	1	3369.382	NOT OK
	1.4	664.996	NOT OK
	2	8.745	OK



Gambar 7.11 PDF Setiap Distribusi Kandidat

Berdasarkan hasil pengujian *chi-square* diatas, dapat dilihat bahwa distribusi yang memenuhi sekaligus memiliki error paling kecil adalah distribusi Weibull dengan k=2 atau distribusi lognormal.

7.3.5. Uji Kolmogorov Smirnov

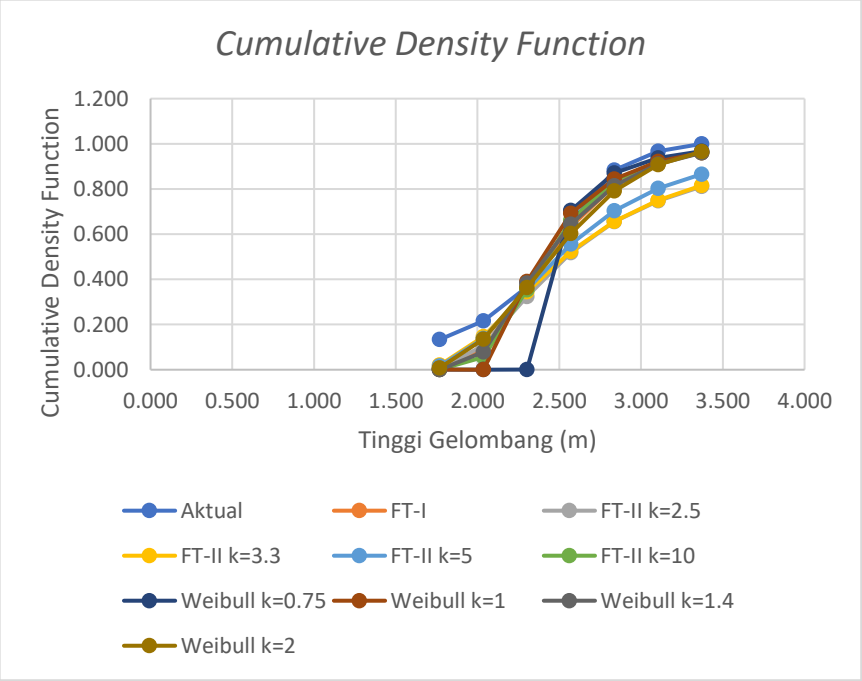
Berbeda dengan uji chi-square, uji kolmogorov smirnov dilakukan perhitungan nilai error yang berdasarkan selisih CDF (*Cumulative Density Function*) teoritis distribusi kandidat dan aktual. Nilai error pada uji kolmogorov smirnov adalah error

maksimum dari sekian data gelombang acak yang digunakan. Terdapat batasan error yang diperbolehkan pada uji kolmogorov smirnov, batasan tersebut ditunjukkan dengan D_n^α dimana α merupakan tingkat kepercayaan dan n merupakan jumlah data yang digunakan. Dengan tingkat kepercayaan sebesar 95%, hasil uji kolmogorov smirnov dapat dilihat pada **Tabel 7.9**.

$$D_n^\alpha = D_x^{0.05} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = \frac{1.36}{\sqrt{60}} = 0.176$$

Tabel 7.9 Hasil Uji Kolmogorov Smirnov

Distribusi		KS-Error	Status
FT-I		0.128	OK
FT-II	2.5	0.212	NOT OK
	3.33	0.210	NOT OK
	5	0.162	OK
	10	0.160	OK
Weibull	0.75	0.367	NOT OK
	1	0.217	NOT OK
	1.4	0.138	OK
	2	0.125	OK

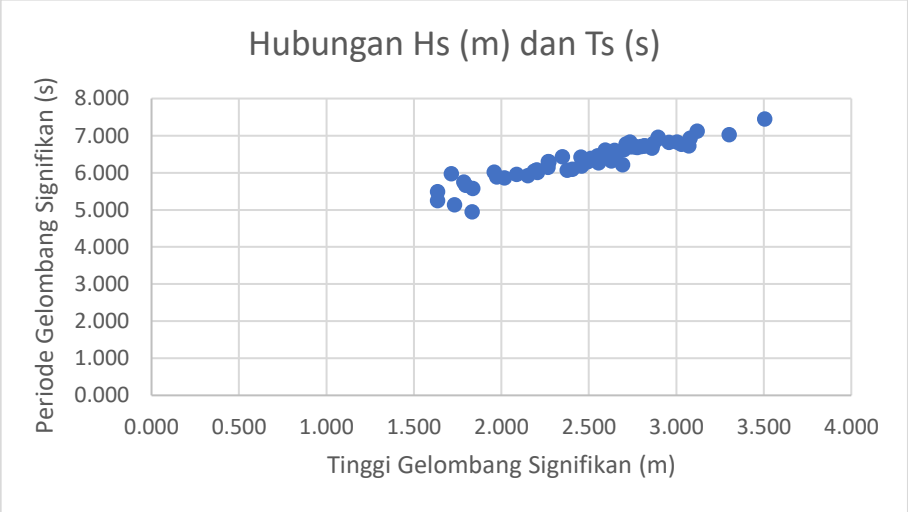


Gambar 7.12 CDF Setiap Distribusi Kandidat

Berdasarkan hasil uji kolmogorov-smirnov dapat dilihat bahwa distribusi yang memiliki nilai error paling kecil adalah distribusi Weibull dengan k=2 atau distribusi lognormal sehingga berdasarkan seluruh uji kecocokan distribusi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa gelombang mengikuti distribusi Log Normal.

7.4. Hubungan Periode dengan Tinggi Gelombang

Selain tinggi gelombang signifikan, diperlukan juga nilai dari periode gelombang daripada tinggi gelombang yang sudah dipilih dengan metode *annual maxima*. Akan dicari hubungan antara nilai tinggi gelombang signifikan dengan periodenya. Berikut hasil pendekatan nilai tinggi gelombang dan periode dapat dilihat pada **Gambar 7.13.**



Gambar 7.13 Hubungan Antara Tinggi Gelombang Signifikan dan Periode

Berdasarkan grafik diatas, dapat diplot persamaan sebagai berikut:

$$T = 4.3811 H_s^{0.4089}$$

$$R = 0.8805$$

Dimana;

- H_s = Tinggi Gelombang (m);
- T = Periode Gelombang (s); dan
- R = Koefisien Korelasi.

7.5. Analisis Ekstrim Gelombang

Analisis ekstrim gelombang digunakan untuk menghitung gelombang dengan periode ulang tertentu. Untuk analisis kehandalan, diperlukan tinggi gelombang dengan periode ulang 100 tahun yang akan disesuaikan lagi parameter statistiknya sesuai dengan umur layan struktur. Perhitungan gelombang periode ulang 100 tahun dapat dilihat sebagai berikut.

$$y_R = [\ln(\lambda R)]^{\frac{1}{k}} = [\ln(100)]^{\frac{1}{2}} = 2.146$$

$$x_R = \hat{B} + \hat{A} y_R$$

$$x_R = 1.6853 + 0.9196(2.146)$$

$$x_R = 3.65873\ meter$$

Dimana A dan B merupakan parameter yang didapat dari *least square method* dan x_R adalah tinggi gelombang dengan periode ulang tertentu. Gelombang dengan periode 100 tahunan dengan distribusi weibull k=2 atau distribusi lognormal adalah 3.65873 meter.

7.6. Parameter Statistik Gelombang

Untuk mencari nilai H_{max} maka diperlukan koefisien pengali terhadap H_{100}, jika disesuaikan dengan tinggi gelombang desain maka didapat hubungan sebagai berikut:

$$\frac{H_{desain}}{H_{100}} = 1.695$$

Sehingga gelombang acak yang sudah dipilih menggunakan *annual maxima*, dikalibrasi menjadi tinggi gelombang maksimum yang dapat dilihat pada **Tabel 7.10**.

Tabel 7.10 Tinggi dan Periode Gelombang Kalibrasi

H (m)	Ts (s)	H (m)	Ts (s)	H (m)	Ts (s)
5.939	9.078	4.599	8.176	3.981	7.707
5.595	8.859	4.575	8.159	3.850	7.603
5.285	8.655	4.565	8.151	3.843	7.597
5.218	8.609	4.494	8.099	3.840	7.595
5.206	8.601	4.487	8.094	3.740	7.513
5.135	8.553	4.477	8.087	3.733	7.508
5.091	8.523	4.455	8.070	3.708	7.487
5.013	8.469	4.448	8.065	3.645	7.435

H (m)	Ts (s)	H (m)	Ts (s)	H (m)	Ts (s)
4.909	8.397	4.436	8.057	3.537	7.343
4.909	8.397	4.396	8.026	3.420	7.243
4.862	8.364	4.330	7.977	3.345	7.178
4.848	8.354	4.321	7.970	3.320	7.156
4.777	8.304	4.257	7.922	3.111	6.969
4.775	8.303	4.230	7.901	3.106	6.964
4.745	8.281	4.213	7.888	3.043	6.906
4.708	8.254	4.172	7.857	3.027	6.890
4.687	8.240	4.165	7.852	2.935	6.804
4.686	8.239	4.160	7.848	2.906	6.777
4.650	8.213	4.075	7.782	2.772	6.648
4.635	8.202	4.028	7.745	2.771	6.646

Dengan parameter statistik sesuai dengan **Tabel 7.11**.

Tabel 7.11 Parameter Statistik Gelombang

Parameter Statistik	
$Rerata\ (\mu)$	4.236 meter
$Standar\ Deviasi\ (\sigma)$	0.734 meter
$Varian\ (Var)$	0.539 meter

7.7. Parameter Statistik Gelombang Sesuai Dengan *Design Life*

Karena gelombang acak yang sudah dianalisis mengikuti distribusi lognormal maka harus dihitung parameter statistik untuk distribusi lognormal terlebih dahulu. Perhitungan parameter statistik distribusi lognormal dapat dilihat dengan persamaan sebagai berikut.

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{0.734}{4.236} = 0.1733$$

$$\zeta^2 = \ln(1+\delta) = \ln(1+0.1733) = 0.02958$$

$$\zeta = \sqrt{\zeta^2} = \sqrt{0.02958} = 0.172$$

$$\lambda = \ln(\mu) - \frac{1}{2}\zeta = \ln(5.000) - \frac{1}{2}(0.172) = 1.595$$

Berikut perhitungan parameter statistik gelombang sesuai dengan umur layan struktur dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

CDF dan PDF Lognormal:

$$f(x) = \frac{1}{\zeta . x . \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{ln(x) - \lambda}{\zeta}\right)^2\right)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{\ln(x)-\lambda}{\zeta}} \exp\left(\frac{-t^2}{2}\right) dt$$

PDF dan CDF dengan umur layan tertentu:

$$F_{designlife}(x) = F(x)^n$$

$$f_{designlife}(x) = \frac{d}{dx} F_{designlife}(x)$$

Parameter statistik baru sesuai dengan design life:

- Rerata

$$\mu_{designlife} = \int_0^\infty x . f_{designlife}(x) dx = 5.651$$

$$\mu_{designlife} = 5.651\, meter$$

- Varian

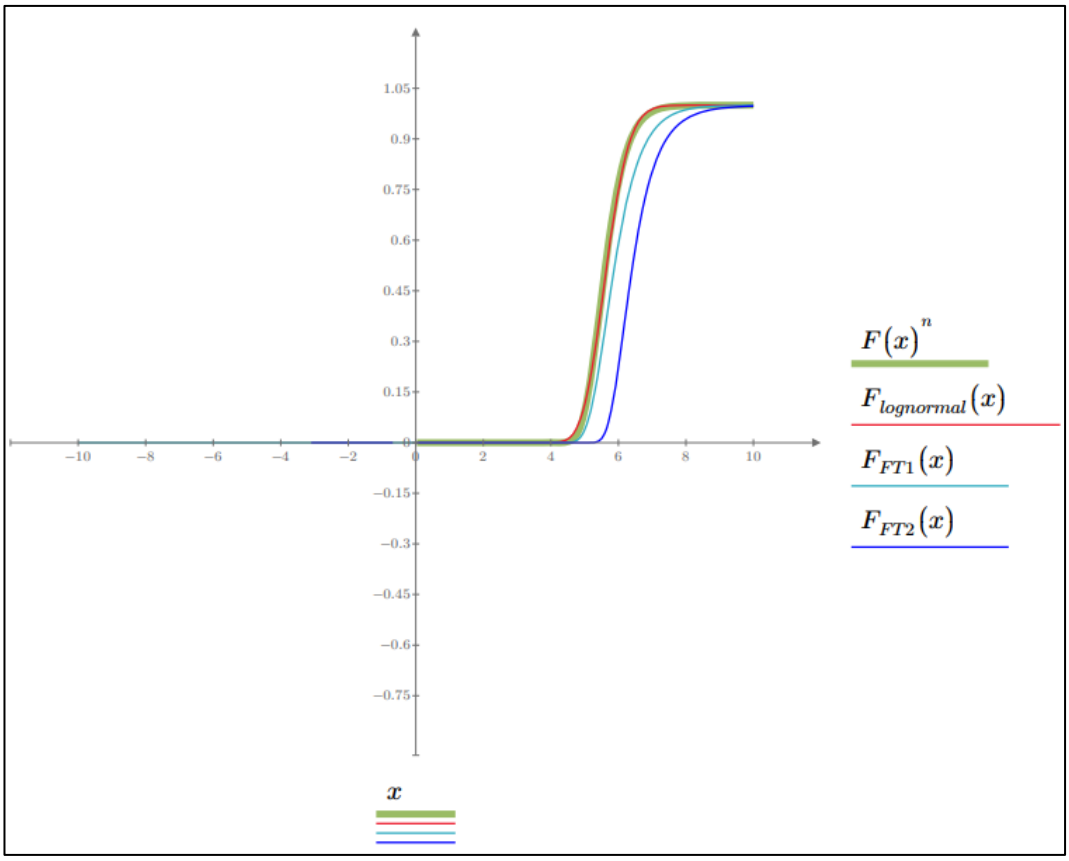
$$Var_{designlife} = \int_0^\infty x^2 . f_{designlife}(x) dx - \left(\int_0^\infty x . f_{designlife}(x) dx\right)^2$$

$$Var_{designlife} = 0.299\, meter$$

- Standar Deviasi

$$\sigma_{designlife} = \sqrt{Var_{designlife}} = 0.546\, meter$$

Setelah didapat parameter statistik sesuai dengan umur layan, harus diteliti lebih lanjut mengenai distribusi gelombang sesuai dengan umur layan apakah tetap mengikuti distribusi lognormal atau tidak. Oleh karena itu dilakukan pengecekan kecocokan distribusi secara visual yakni melihat grafik CDF dari masing-masing distribusi teoritis. Berikut adalah grafik CDF dari masing-masing distribusi dapat dilihat pada **Gambar 7.14**.



Gambar 7.14 Pengecekan CDF

Berdasarkan Grafik CDF diatas, dapat dilihat bahwa distribusi $F(x)^n$ lebih dekat dengan fungsi distribusi lognormal, sehingga akan tetap digunakan distribusi lognormal untuk perhitungan analisis kehandalan.

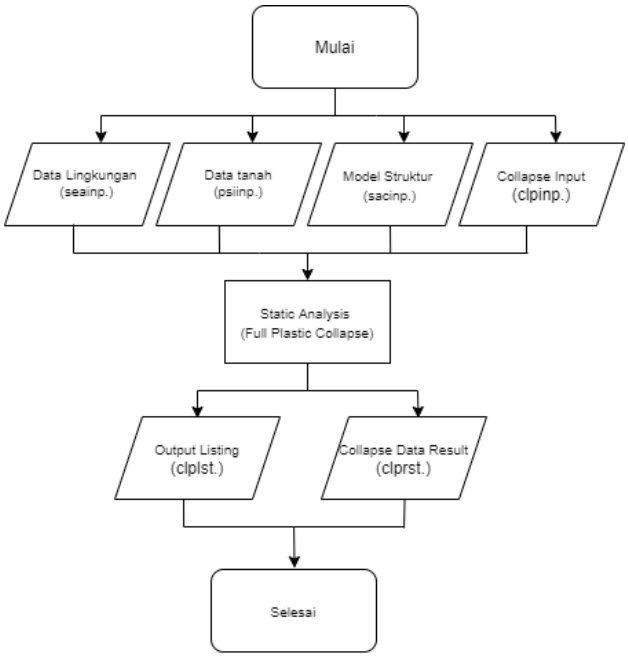
Untuk variabel acak kecepatan arus, dikarenakan tidak terdapat data acak kecepatan arus, maka diasumsikan parameter statistik arus mengikuti parameter statistik gelombang sehingga didapat rerata sebesar 1.732 m/s dan standar deviasi sebesar 0.168.

BAB 8 ANALISIS *PUSHOVER*

8.1. Deskripsi Umum

Analisis *pushover* digunakan untuk mendapatkan nilai *collapse base shear* yang akan digunakan pada analisis kehandalan. Analisis pushover dijalankan dengan menggunakan kombinasi beban arah vertikal dan beban lingkungan yang ditambahkan secara bertahap hingga struktur mengalami *collapse*.

Digunakan tinggi gelombang dan periode gelombang desain (periode 100 tahunan) untuk mengetahui arah ekstrim dari 12 arah pembebanan lingkungan. Setelah itu dilakukan *running* pushover menggunakan gelombang acak dengan periode dan *yield strength* tertentu untuk mendapatkan hubungan antara *collapse base shear* dan *yield strength*, diagram alir dari analisis ini dapat dilihat pada **Gambar 8.1**.



Gambar 8.1 Diagram Alir Analisis *Pushover*

8.2. Tegangan Leleh Acak

Berdasarkan referensi jurnal Hess, et al (2002), dinyatakan bahwa nilai tegangan leleh baja memiliki distribusi lognormal dan berdasarkan ASTM A36 parameter statistik tegangan leleh adalah sebagai berikut:

$$\mu_{F_y} = 27.14 \frac{kN}{cm^2}$$

$$cov = 0.078$$

Berdasarkan kedua parameter statistik tersebut dapat dihitung standar deviasi. Perhitungan standar deviasi adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{F_y} = cov.\mu_{F_y}$$

$$\sigma_{F_y} = (0.078)(27.14)$$

$$\sigma_{F_y} = 2.117\frac{kN}{cm^2}$$

Dimana;

- μ_{F_y} = Rerata Tegangan Leleh;
- cov = Koefisien Varian Tegangan Leleh; dan
- σ_{F_y} = Standar Deviasi Tegangan Leleh.

8.3. Penentuan Arah Ekstrim

Sebuah arah dapat dikatakan ekstrim ketika bagian struktur yang paling lemah menerima beban lingkungan pada analisis *pushover* ini. Dilakukan analisis pushover pada 12 arah pembebanan lingkungan untuk mengetahui arah mana yang paling ekstrim.

Penentuan arah ekstrim ini dilakukan agar proses *running* dengan *yield strength* acak tidak menggunakan seluruh arah dari pembebanan lingkungan sehingga hanya dari arah ekstrim saja.

Pada penentuan arah ekstrim akan dicari nilai *base shear* akibat gelombang ekstrim (periode 100 tahunan) dan *collapse base shear* untuk mencari nilai RSR. Arah ekstrim ditentukan melalui nilai RSR, dimana arah dengan nilai RSR terkecil merupakan arah ekstrim dari pembebanan yang diberikan.

Berikut adalah hasil dari penentuan arah ekstrim dari struktur anjungan lepas pantai yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 8.1**. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa arah ekstrim terjadi pada arah 270^0.

Tabel 8.1 Penentuan Arah Ekstrim

Nomor	Derajat	H design, T design		
		Wave Base Shear	Collapse Base Shear	RSR
1	0	3510.622	13160.340	3.749
2	30	3323.873	12913.450	3.885
3	60	3382.292	9871.050	2.918
4	90	3482.411	9016.290	2.589
5	120	3391.508	10145.710	2.992
6	150	3285.158	12563.410	3.824
7	180	3136.626	13129.620	4.186
8	210	2875.085	7818.240	2.719
9	240	3030.549	7515.490	2.480
10	270	3317.160	6942.540	2.093
11	300	3411.026	7818.240	2.292
12	330	3482.290	9724.430	2.793

8.4. *Running* dengan *Yield Strength* dan Tinggi Gelommbang Acak

Running analisis *pushover* dengan *yield strength* acak dilakuakan hanya terhadap arah ekstrim yang telah ditentuan pada subbab sebelumnya. *Running pushover* ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara *collapse base shear* dan *yield strength* yang dapat diimplementasikan dalam bentuk grafik.

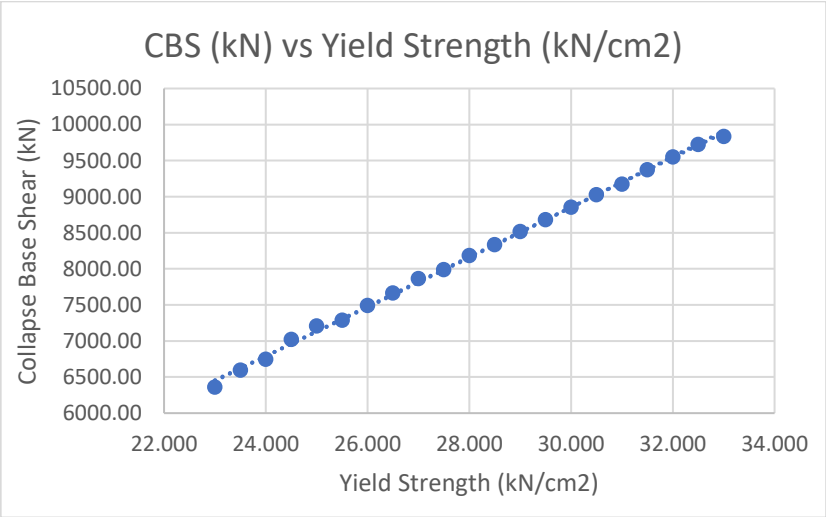
Berikut hasil *running pushover* pada anjungan lepas pantai yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 8.2**.

Tabel 8.2 Hasil *Running Pushover*

No	Fy (kN/cm2)	CBS (kN)
1	33.000	9834.51
2	32.500	9722.19
3	32.000	9548.58
4	31.500	9374.90
5	31.000	9172.68
6	30.500	9027.70
7	30.000	8854.08
8	29.500	8680.44
9	29.000	8517.47
10	28.500	8334.65
11	28.000	8183.80

No	Fy (kN/cm2)	CBS (kN)
12	27.500	7987.49
13	27.000	7862.28
14	26.500	7663.06
15	26.000	7489.54
16	25.500	7289.61
17	25.000	7207.15
18	24.500	7019.89
19	24.000	6746.20
20	23.500	6595.27
21	23.000	6361.93

Berikut tabel diatas diplot menjadi seperti pada **Gambar 8.2**.



Gambar 8.2 Hubungan Antara Tegangan Leleh dengan CBS

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa *collapse base shear* memiliki hubungan dengan tegangan leleh dimana semakin besar tegangan leleh maka semakin besar juga nilai *collapse base shear*. Grafik diatas memiliki persamaan sebagai berikut:

$$CBS = 156.19F_y^{1.187}$$

$$R = 0.9986$$

Dimana;

- CBS = *Collapse Base Shear* (kN);
- F_y = *Yield Strength* (kN/cm^2); dan
- R = Koefisien Korelasi.

BAB 9 ANALISIS KEHANDALAN

9.1. Deskripsi Umum

Struktur anjungan lepas pantai didesain mempertimbangkan cadangan kekuatan dan beban-beban yang akan terjadi dimana cadangan kekuatan harus kuat menerima beban-beban yang terjadi secara acak. Dalam pengerjaan analisis kehandalan terdapat beberapa kondisi batas yang digunakan sebagai acuan kegagalan dalam analisis kehandalan struktur adalah sebagai berikut:

1. *Ultimate Limit State* (ULS)

   Kondisi ini terjadi ketika struktur mengalami kerusakan yang dikarenakan oleh tekanan, *base shear*, *buckling*, dan lain-lain. Pada struktur jacket biasanya kegagalan yang terjadi berhubungan dengan tegangan leleh dan *buckling*.

2. *Serviceability Limit State* (SLS)

   Seriviceability berhubungan dengan defleksi dan deformasi. Untuk kasus *Serviceability Limit State* (SLS) yang terjadi biasanya defleksi yang melebihi dari batasnya dan deformasi permanen yang akan berpengaruh pada aktivitas di anjungan.

3. *Progressive Limit State* (PLS)

   Progressive Limit State (PLS) mempertimbangkan kegagalan struktur akibat beban-beban atau kejadian yang tidak lazim.

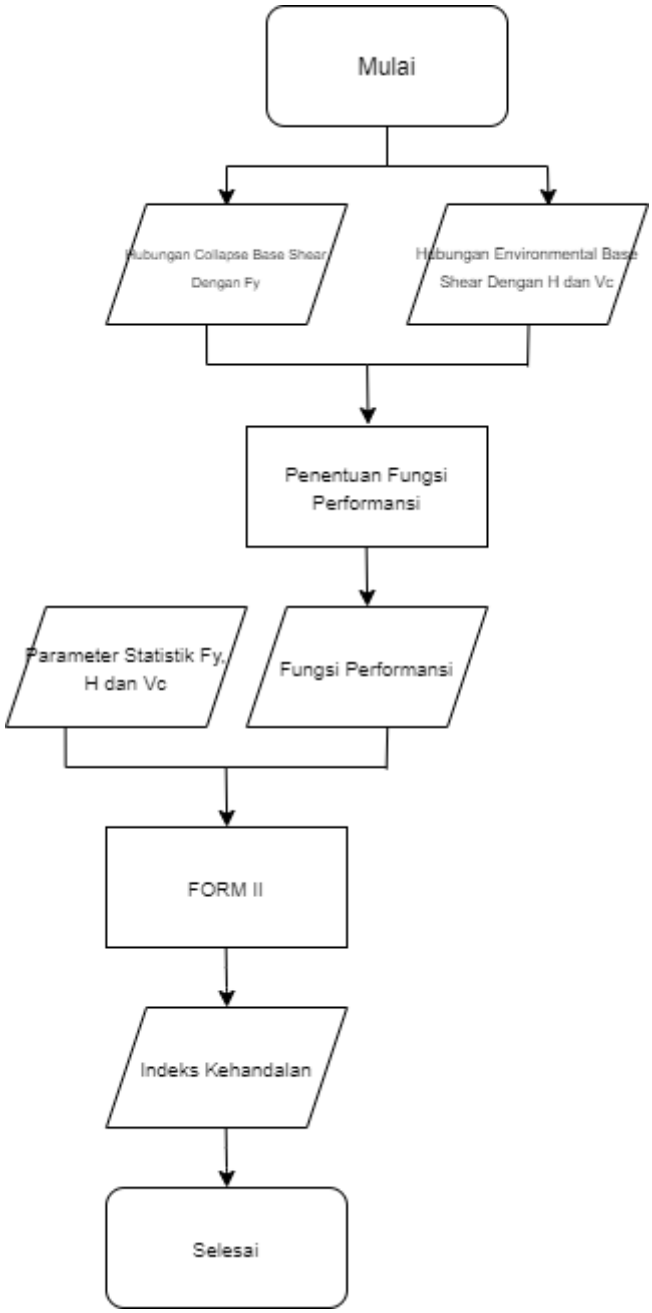
4. *Fatigue Limit State* (FLS)

   Analisis fatigue mempertimbangkan kerusakan struktur akibat beban siklik dari gelombang yang terjadi. Akibat dari beban siklik, terdapat kemungkinan bahwa struktur mengalami kegagalan.

Pada Tugas Akhir ini, analisis kehandalan yang dilakukan berdasarkan *Ultimate Limit State* (ULS) dimana dilakukan analisis *pushover* seperti pada bab sebelumnya untuk mengetahui plastisitas dari struktur yang dianalisis. Analisis kehandalan yang dikerjakan menggunakan data acak tegangan leleh untuk mendapatkan gaya geser saat struktur *collapse* dan keacakan tinggi gelombang untuk mendapatkan gaya geser akibat beban lingkungan ekstrim (perioda ulang 100 tahunan).

Pada analisis kehandalan yang dikerjakan, outputnya berupa indeks kehandalan yang proses pengerjaannya dilakukan berdasarkan FORM II (*First Order Reliability Method II*).

Berikut diagram alir analisis kehandalan dapat dilihat pada **Gambar 9.1**.



Gambar 9.1 Diagram Alir Analisis Kehandalan

9.2. *Running* Simulasi *In-Place*

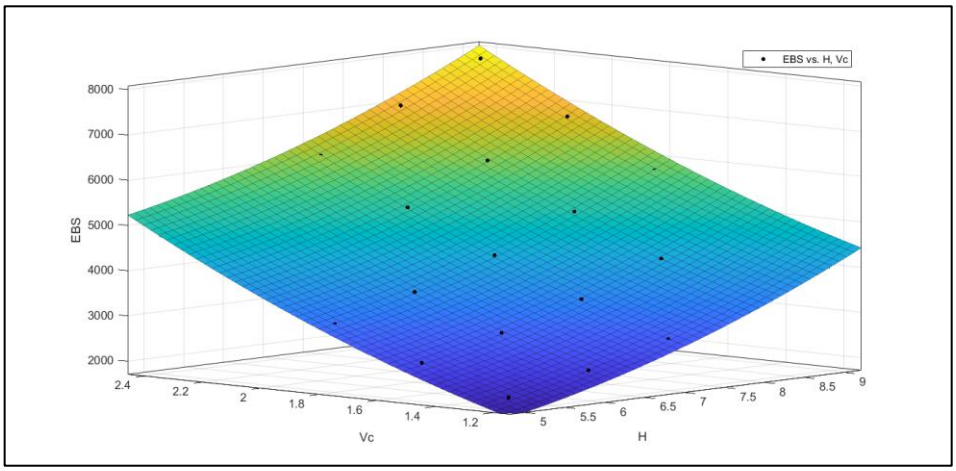
Running simulai analisis *in-place* dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara *environmental base shear* dan tinggi gelombang signifikan yang akan digunakan menjadi salah satu parameter untuk fungsi performansi. *Running* analisis *in-place* dilakukan sebanyak 25 kali dengan ketinggian gelombang dan kecepatan arus yang bervariasi. Berikut hasil *running* sebanyak 25 kali dapat dilihat pada **Tabel 9.1**.

Tabel 9.1 Hasil *Running In-Place* Sebanyak 25 Kali

No	H (m)	T (s)	Vc (m/s)	EBS (kN)
1	9.000	10.759	2.400	7799.57
2	9.000	10.759	2.100	6720.27
3	9.000	10.759	1.800	5727.16
4	9.000	10.759	1.500	4828.64
5	9.000	10.759	1.200	4016.02
6	8.000	10.253	2.400	6981.63
7	8.000	10.253	2.100	5971.40
8	8.000	10.253	1.800	5046.77
9	8.000	10.253	1.500	4207.72
10	8.000	10.253	1.200	3454.26
11	7.000	9.708	2.400	6092.87
12	7.000	9.708	2.100	5156.30
13	7.000	9.708	1.800	4304.09
14	7.000	9.708	1.500	3536.25
15	7.000	9.708	1.200	2852.85
16	6.000	9.115	2.400	5388.32
17	6.000	9.115	2.100	4509.54
18	6.000	9.115	1.800	3714.80
19	6.000	9.115	1.500	3009.33
20	6.000	9.115	1.200	2389.35
21	5.000	8.460	2.400	4784.52
22	5.000	8.460	2.100	3962.13
23	5.000	8.460	1.800	3223.41
24	5.000	8.460	1.500	2570.78
25	5.000	8.460	1.200	2005.43

Berdasarkan hasil analisis yang didapat, akan dicocokkan dengan persamaan yang sesuai sehingga antara grafik dan data memiliki nilai korelasi yang tinggi. Berikut hubungan antara *environmental base shear* dengan tinggi gelombang dan kecepatan

arus dapat dilihat pada **Gambar 9.2** berdasarkan hasil *surface fitting* menggunakan MATLAB.



Gambar 9.2 Hubungan Antara EBS dengan H (m) dan Vc (m/s)

Kurva pada gambar diatas, memiliki persamaaan sebagai berikut:

$$EBS(H, V_c) = 59.836H^2 + 648.98V_c^2 - 207.26H + 372.817V_c$$

$$R = 0.9992$$

Dimana;

- EBS = *Environmental Base Shear* (kN);
- H = Tinggi Gelombang (m);
- V_c = Kecepatan Arus (m/s); dan
- R = Koefisien Korelasi.

9.3. Penentuan Fungsi Performansi

Fungsi performansi dibentuk berdasarkan hubungan antara tinggi gelombang dan kecepatan arus dengan *environmental base shear* dan hubungan antara *collapse base shear* dengan tegangan leleh. Berikut adalah fungsi performansi :

$$g(\quad) = CBS(F_y) - EBS(H, V_c)$$

$$g(\quad) = \left(156.19F_y^{1.187}\right) - (59.836H^2 + 648.98V_c^2 - 207.26H + 372.817V_c)$$

$$g(\quad) = 156.19F_y^{1.187} - 59.836H^2 - 648.98V_c^2 + 207.26H - 372.817V_c$$

Dimana;

- CBS = *Collapse Base Shear* (kN);
- EBS = *Environmental Base Shear* (kN);
- V_c = Kecepatan Arus (m/s)

- H = Tinggi Gelombang (m); dan
- F_y = Tegangan leleh (kN/cm2).

Struktur akan gagal apabila $g(\quad)$bernilai negatif. Probabilitas kegagalan dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$PoF = 1 - \phi(\beta)$$

Dimana;

- $PoF = Probability\ of\ Failure$; dan
- β = Nilai/Indeks Kehandalan.

Digunakan parameter statistik gelombang (distribusi lognormal) dengan nilai rerata sebesar 5.651 dan standar deviasi sebesar 0.547, tegangan leleh (distribusi lognormal) dengan nilai rerata sebesar 27.14 dan standar deviasi sebesar 2.117 dan kecepatan arus dengan nilai rerata sebesar 1.732 dan standar deviasi sebesar 0.168.

9.4. FORM II

9.4.1. Tahapan FORM II

Tahapan dari FORM II (*First Order Reliability Method II*) adalah sebagai berikut:

1. Fungsi performansi didefinisikan sebagai pada perhitungan sebelumnya sebagai berikut.

$$g(\quad) = 156.19F_y^{1.187} - 59.836H^2 - 648.98V_c^2 + 207.26H - 372.817V_c$$

2. Ditentukan nilai awal poin desain (asumsi). Pada analisis kehandalan yang dikerjakan, nilai awal poin desain yang digunakan adalah rerata dari variabel acak yang digunakan (tegangan leleh dan tinggi gelombang) dan dhitung nilai fungsi performansi sebagai berikut.

$$H^* = 5.651\ m$$

$$F_y^* = 27.14\ kN/cm^2$$

$$V_c^* = 1.732\ m/s$$

$$g(F_y, H, V_c) = 4527.457$$

3. Dihitung nilai rata-rata dan standar devbvisai pada poin desain yang setara pada distribusi normal untuk variabel-variabel acak yang tidak terdistribusi normal.

- Tinggi Gelombang

$$\delta_H = \frac{\sigma_H}{\mu_H} = \frac{0.547}{5.651} = 0.097$$

$$\zeta_H^2 = \ln(1 + \delta_H^2)$$

$$\zeta_H = \sqrt{\ln(1 + 0.097^2)} = 0.097$$

$$\lambda_H = ln\mu_H - \frac{1}{2}\zeta_H^2 = \ln(5.651) - \frac{1}{2}(0.097)^2 = 1.727$$

$$PDF_{ENV} = PDF_{tidaknormal}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}.\sigma_H^N}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H^* - \mu_H^N}{\sigma_H^N}\right)^2\right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}.\zeta_H.H^*}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{lnH^* - \lambda_H}{\zeta_H}\right)^2\right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}.\sigma_H^N} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}.\zeta_H.H^*}$$

$$\sigma_H^N = \zeta_H.H^* = 0.097 * 5.651 = 0.546$$

$$CDF_{ENV} = CDF_{tidaknormal}$$

$$\phi\left(\frac{H^* - \mu_H^N}{\sigma_H^N}\right) = \phi\left(\frac{lnH^* - \lambda_H}{\zeta_H}\right)$$

$$\frac{H^* - \mu_H^N}{\sigma_H^N} = \frac{lnH^* - \lambda_H}{\zeta_H}$$

$$\mu_H^N = H^* - \left(\frac{lnH^* - \lambda_H}{\zeta_H}\right)\sigma_H^N$$

$$\mu_H^N = 6.156 - \left(\frac{\ln(5.651) - 1.727}{0.097}\right)(0.546)$$

$$\mu_H^N = 5.625$$

- Tegangan Leleh

$$\delta_{F_y} = \frac{\sigma_{F_y}}{\mu_{F_y}} = \frac{2.117}{27.14} = 0.078$$

$$\zeta_{F_y}^2 = \ln\left(1 + \delta_{F_y}^2\right)$$

$$\zeta_{F_y} = \sqrt{\ln(1 + 0.078^2)} = 0.078$$

$$\lambda_{F_y} = ln\mu_{F_y} - \frac{1}{2}\zeta_{F_y}^2 = \ln(27.14) - \frac{1}{2}(0.078)^2 = 3.298$$

$$PDF_{ENV} = PDF_{tidaknormal}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}.\sigma_{F_y}^N}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{F_y^* - \mu_{F_y}^N}{\sigma_{F_y}^N}\right)^2\right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}.\zeta_H.F_y^*}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{lnF_y^* - \lambda_{F_y}}{\zeta_{F_y}}\right)^2\right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}.\sigma_{F_y}^N} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}.\zeta_{F_y}.F_y^*}$$

$$\sigma_{F_y}^N = \zeta_{F_y}.F_y^* = 0.078 * 27.14 = 2.114$$

$$CDF_{ENV} = CDF_{tidaknormal}$$

$$\phi\left(\frac{F_y^* - \mu_{F_y}^N}{\sigma_{F_y}^N}\right) = \phi\left(\frac{lnF_y^* - \lambda_{F_y}}{\zeta_{F_y}}\right)$$

$$\frac{F_y^* - \mu_{F_y}^N}{\sigma_{F_y}^N} = \frac{lnF_y^* - \lambda_{F_y}}{\zeta_{F_y}}$$

$$\mu_{F_y}^N = F_y^* - \left(\frac{lnF_y^* - \lambda_{F_y}}{\zeta_{F_y}}\right)\sigma_{F_y}^N$$

$$\mu_{F_y}^N = 27.14 - \left(\frac{\ln(27.14) - 3.298}{0.078}\right)(2.114)$$

$$\mu_{F_y}^N = 27.058$$

- Kecepatan Arus

$$\delta_{V_c} = \frac{\sigma_{V_c}}{\mu_{V_c}} = \frac{0.168}{1.732} = 0.097$$

$$\zeta_{V_c}^2 = \ln\left(1 + \delta_{V_c}^2\right)$$

$$\zeta_{V_c} = \sqrt{\ln(1 + 0.097^2)} = 0.097$$

$$\lambda_{V_c} = ln\mu_{V_c} - \frac{1}{2}\zeta_{V_c}^2 = \ln(1.732) - \frac{1}{2}(0.097)^2 = 0.544$$

$$PDF_{ENV} = PDF_{tidaknormal}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}.\sigma_{V_c}^N}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{V_c^* - \mu_{V_c}^N}{\sigma_{V_c}^N}\right)^2\right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}.\zeta_{V_c}.V_c^*}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{lnV_c^* - \lambda_{V_c}}{\zeta_{V_c}}\right)^2\right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}.\sigma_{V_C}^N} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}.\zeta_{V_c}.V_c^*}$$

$$\sigma_{V_c}^N = \zeta_{V_c}.V_c^* = 0.097 * 1.732 = 0.167$$

$$CDF_{ENV} = CDF_{tidaknormal}$$

$$\phi\left(\frac{V_c^* - \mu_{V_c}^N}{\sigma_{V_c}^N}\right) = \phi\left(\frac{lnV_c^* - \lambda_{V_c}}{\zeta_{V_c}}\right)$$

$$\frac{V_c^* - \mu_{V_c}^N}{\sigma_{V_c}^N} = \frac{lnV_c^* - \lambda_{V_c}}{\zeta_{V_c}}$$

$$\mu_{V_c}^N = V_c^* - \left(\frac{lnV_c^* - \lambda_{V_c}}{\zeta_{V_c}}\right)\sigma_{V_c}^N$$

$$\mu_{V_c}^N = 27.14 - \left(\frac{\ln(1.732) - 0.544}{0.096}\right)(0.168)$$

$$\mu_{V_c}^N = 1.724$$

Setelah itu, ditentukan koordinat desain poin yang ekuivalen *standard normal* pada masing-masing variabel acak.

$$H'^* = \frac{H^* - \mu_H^N}{\sigma_H^N}$$

$$H'^* = \frac{5.651 - 5.625}{0.546} = 0.048$$

$$F_y'^* = \frac{F_y^* - \mu_{F_y}^N}{\sigma_{F_y}^N}$$

$$F_y'^* = \frac{27.14 - 27.058}{2.114} = 0.039$$

$$V_c'^* = \frac{V_c^* - \mu_{V_c}^N}{\sigma_{V_c}^N}$$

$$V_c'^* = \frac{1.732 - 1.724}{0.167} = 0.048$$

4. Dihitung turunan parsial fungsi performansi terhadap masing-masing variabel acak.

$$\left(\frac{\partial g}{\partial H}\right)^* = \frac{\partial(156.19F_y^{1.187} - 59.836H^2 - 648.98V_c^2 + 207.26H - 372.817V_c)}{\partial H}$$

$$\left(\frac{\partial g}{\partial H}\right)^* = -119.672H + 207.26 = -469.006$$

$$\left(\frac{\partial g}{\partial F_y}\right)^* = \frac{\partial(156.19F_y^{1.187} - 59.836H^2 - 648.98V_c^2 + 207.26H - 372.817V_c)}{\partial F_y}$$

$$\left(\frac{\partial g}{\partial F_y}\right)^* = 185.398F_y^{0.187} = 343.709$$

$$\left(\frac{\partial g}{\partial V_c}\right)^* = \frac{\partial(156.19F_y^{1.187} - 59.836H^2 - 648.98V_c^2 + 207.26H - 372.817V_c)}{\partial V_c}$$

$$\left(\frac{\partial g}{\partial V_c}\right)^* = -1297.96V_c - 372.81 = -2620.563$$

5. Dihitung turunan pasial fungsi performansi yang ekuivalen dengan *standard normal*.

$$\left(\frac{\partial g}{\partial H'}\right)^* = \left(\frac{\partial g}{\partial H}\right)^* \sigma_H^N = -469.006 * 0.546 = -225.949$$

$$\left(\frac{\partial g}{\partial F_y'}\right)^* = \left(\frac{\partial g}{\partial F_y}\right)^* \sigma_{F_y}^N = 343.709 * 2.114 = 726.530$$

$$\left(\frac{\partial g}{\partial V_c'}\right)^* = \left(\frac{\partial g}{\partial V_c}\right)^* \sigma_{V_c}^N = -2838.934 * 0.183 = -438.259$$

6. Dihitung koordinat poin desain baru yang ekuivalen dengan *standard normal*.

$$x_{k+1}'^* = \frac{1}{|\nabla g(x_k'^*)|^2}[\nabla g(x_k'^*)^t x_k'^* - g(x_k'^*)]\nabla g(x_k'^*)$$

Dimana;

$$\frac{1}{|\nabla g(x_k'^*)|^2} = \frac{1}{\left[\left(\left(\frac{\partial g}{\partial F_y'}\right)^*\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial g}{\partial H'}\right)^*\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial g}{\partial V_c'}\right)^*\right)^2\right]}$$

$$\frac{1}{|\nabla g(x_k'^*)|^2} = \frac{1}{[726.530^2 + -225.949^2 + -438.259^2]} = 1.273E - 06$$

$$[\nabla g(x_k'^*)^t x_k'^* - g(x_k'^*)] = \left(\frac{\partial g}{\partial F_y'}\right)^* F_y'^* + \left(\frac{\partial g}{\partial H'}\right)^* H'^* + \left(\frac{\partial g}{\partial V_c'}\right)^* V_c'^* - g(F_y, H, V_c)$$

$$[\nabla g(x_k'^*)^t x_k'^* - g(x_k'^*)] = 726.530 * 0.039 - 225.949 * 0.048 - 438.259 * 0.048 - 4527.457$$

$$[\nabla g(x_k'^*)^t x_k'^* - g(x_k'^*)] = -4532.69$$

$$x_{k+1}'^* = \frac{1}{|\nabla g(x_k'^*)|^2}[\nabla g(x_k'^*)^t x_k'^* - g(x_k'^*)]\begin{bmatrix}\frac{\partial g}{\partial F_y'^*}\\ \frac{\partial g}{\partial V_c'^*}\\ \frac{\partial g}{\partial H'^*}\end{bmatrix}$$

$$x_{k+1}'^* = (1.273E - 06) * (-4532.69) * \begin{bmatrix}726.530\\ -225.949\\ -438.259\end{bmatrix}$$

$$x_{k+1}'^* = \begin{bmatrix}-4.193\\ 2.529\\ 1.477\end{bmatrix}$$

7. Dihitung nilai indeks kehandalan sebagai berikut.

$$\beta = \sqrt{-4.193^2 + 2.529^2 + 1.477^2}$$

$$\beta = 5.114$$

8. Ditentukan koordinat poin desain baru untuk titik iterasi selanjutnya. Setelah itu dihitung nilai fungsi performansi dengan titik koordinat poin desain baru.

$$H_{i+1}^{*} = \mu_H^N + \sigma_H^N . H'^{*} = 5.625 + 0.546 * 1.477 = 6.431$$

$$F_{y,i+1}^{*} = \mu_{F_y}^N + \sigma_{F_y}^N . F_y'^{*} = 27.058 + 2.114 * -4.193 = 18.196$$

$$Vc_{i+1}^{*} = \mu_{V_c}^N + \sigma_{V_c}^N . V_c'^{*} = 1.724 + 0.167 * 2.529 = 2.147$$

$$g\left(F_{y,i+1}, H_{i+1}, Vc_{i+1}\right) = -43.3239$$

Dilakukan iterasi perhitungan nilai β hingga nilai dari g dan Δβ kurang dari 0.001 (Haldar, 2000).

9.4.2. Hasil Analisis Kehandalan

Berikut hasil analisis kehandalan dapat dilihat pada **Tabel 9.2** dan **Tabel 9.3**.

Tabel 9.2 FORM 2 Iterasi 1-3

FORM II		Iterasi 1	Iterasi 2	Iterasi 3
Step 1	$g(\ ) = 156.19F_y^{1.187} - 59.836H^2 - 648.98V_c^2 + 207.26H - 372.817V_c$			
Step 2	Fy^*	27.141		
	H^*	5.651		
	V_c^*	1.732		
	$g(F_y, H, V_c)$	4527.457		
Step 3	μ_{Fy}^N	27.058	25.416	26.517
	σ_{Fy}^N	2.114	1.417	1.700
	μ_H^N	5.625	5.570	5.513
	σ_H^N	0.546	0.621	0.655
	$\mu_{V_c}^N$	1.724	1.676	1.593
	$\sigma_{V_c}^N$	0.167	0.207	0.235
	$V_c'^*$	0.048	2.272	3.584
	$F_y'^*$	0.039	-5.095	-2.759
	H'^*	0.048	1.387	1.942
Step 4	$\left(\frac{\partial g}{\partial F_y}\right)^*$	343.709	318.947	329.985
	$\left(\frac{\partial g}{\partial V_c}\right)^*$	-2620.563	-3159.089	-3535.234
	$\left(\frac{\partial g}{\partial H}\right)^*$	-469.006	-562.318	-604.706
Step 5	$\left(\frac{\partial g}{\partial F_y'}\right)^*$	726.530	451.990	560.940
	$\left(\frac{\partial g}{\partial V_c'}\right)^*$	-438.259	-654.898	-831.813
	$\left(\frac{\partial g}{\partial H'}\right)^*$	-255.949	-349.213	-396.222
Step 6	$New\ Fy'^*$	-4.193	-2.533	-2.534
	$New\ V_c'^*$	2.529	3.670	3.758
	$New\ H'^*$	1.477	1.957	1.790
Step 7	$New\ \beta$	5.114	4.870	4.873
	$\Delta\beta$		2.E-01	3.E-03
Step 8	$New\ Fy^*$	18.196	21.826	22.209
	$New\ V_c^*$	2.147	2.436	2.477
	$New\ H^*$	6.431	6.785	6.685
$New\ g(F_y, H, V_c)$		-4.E+01	-4.E+01	-1.E+00
$g(F_y, H, V_c) < 0.001$?		NOT OK	NOT OK	NOT OK
$\Delta\beta < 0.001$?		-	NOT OK	NOT OK

Tabel 9.3 FORM 2 Iterasi 4-7

FORM II		Iterasi 4	Iterasi 5	Iterasi 6	Iterasi 7
Step 1	$g(\ ) = 156.19F_y^{1.187} - 59.836H^2 - 648.98V_c^2 + 207.26H - 372.817V_c$				
Step 2	Fy^*	27.141			
	H^*	5.651			
	V_c^*	1.732			
	$g(F_y, H, V_c)$	4527.457			
Step 3	μ_{Fy}^N	26.595	26.596	26.598	26.599
	σ_{Fy}^N	1.730	1.730	1.731	1.731
	μ_H^N	5.530	5.541	5.545	5.547
	σ_H^N	0.646	0.640	0.637	0.636
	$\mu_{V_c}^N$	1.579	1.575	1.573	1.572
	$\sigma_{V_c}^N$	0.239	0.240	0.241	0.241
	$V_c'^*$	3.756	3.799	3.819	3.828
	$F_y'^*$	-2.536	-2.534	-2.528	-2.526
	H'^*	1.789	1.693	1.653	1.636
Step 4	$\left(\frac{\partial g}{\partial F_y}\right)^*$	331.058	331.070	331.096	331.107
	$\left(\frac{\partial g}{\partial V_c}\right)^*$	-3588.440	-3601.609	-3608.023	-3610.799
	$\left(\frac{\partial g}{\partial H}\right)^*$	-592.791	-585.416	-582.356	-581.039
Step 5	$\left(\frac{\partial g}{\partial F_y'}\right)^*$	572.625	572.750	573.039	573.165
	$\left(\frac{\partial g}{\partial V_c'}\right)^*$	-858.537	-865.217	-868.479	-869.894
	$\left(\frac{\partial g}{\partial H'}\right)^*$	-382.715	-374.469	-371.075	-369.618
Step 6	$New\ Fy'^*$	-2.534	-2.528	-2.526	-2.525
	$New\ V_c'^*$	3.799	3.819	3.828	3.832
	$New\ H'^*$	1.693	1.653	1.636	1.628
Step 7	$New\ \beta$	4.870	4.869	4.869	4.869
	$\Delta\beta$	3.E-03	7.E-04	1.E-04	2.E-05
Step 8	$New\ Fy^*$	22.213	22.222	22.227	22.228
	$New\ V_c^*$	2.488	2.493	2.495	2.496
	$New\ H^*$	6.624	6.598	6.587	6.582
$New\ g(F_y, H, V_c)$		-3.E-01	-5.E-02	-1.E-02	-9.E-04
$g(F_y, H, V_c) < 0.001?$		NOT OK	NOT OK	NOT OK	OK
$\Delta\beta < 0.001?$		NOT OK	OK	OK	OK

Berdasarkan hasil analisis diatas didapat nilai indeks kehandalan struktur sebesar 4.869. Apabila mengacu pada Bai dan Jin, target indeks kehandalan dengan tingkat keselamatan tinggi adalah sebesar 3.72 sehingga Indeks kehandalan sebesar 4.869 sudah memenuhi target tingkat keselamatan tinggi dimana kegagalan dapat mengakibatkan resiko terhadap seluruh struktur, juga tehadap keselamatan manusia dan kerusakan lingkungan hingga kerugian ekonomi yang besar.

Berdasarkan Haldar, 2000 probabilitas kegagalan struktur dapat dihitung berdasarkan indeks kehandalan yang telah dihitung. Berikut probabilitas kegagalan dapat dihitung menggunakan persaamaan sebagai berikut.

$$PoF = 1 - \phi(\beta)$$

$$PoF = 1 - \phi(4.869)$$

$$PoF = 0.000000566$$

Didapat nilai probabilitas kegagalan sebesar 0.000000566, dimana $\phi(\ )$ merupakan CDF distribusi normal standar yang didapat dari *appendix* buku Haldar.

BAB 10 PENUTUP

10.1. Kesimpulan

Model anjungan lepas pantai yang didesain memenuhi kriteria analisis *in-place* dengan kode standar API RP-2A WSD yang dapat diurai sebagai berikut:

1. Tegangan member dengan nilai *unity check* terbesar yakni 0.96 pada kondisi operasi dengan kedalaman minimum, 0.95 pada kondisi operasional dengan kedalaman maksimum, 0.88 pada kondisi badai dengan kedalaman minimum dan 0.93 pada kondisi badai dengan kedalaman maksimum.
2. Nilai defleksi horizontal terbesar yakni 36.15 cm pada kondisi badai dengan kedalaman maksimum, nilai defleksi vertikal terbesar yakni 0.7686 cm pada kondisi badai dengan kedalaman minimum.
3. Untuk *joint punching shear* dengan nilai *unity check* terbesar yakni 0.954 pada kondisi operasi dengan kedalaman minimum, 0.953 pada kondisi operasional dengan kedalaman maksimum, 0.981 pada kondisi badai dengan kedalaman minimum dan 0.985 pada kondisi badai dengan kedalaman maksimum.
4. Nilai *safety factor* kapasitas tiang pancang terkecil yakni 2.22 pada kondisi operasi dengan kedalaman minimum, 2.26 pada kondisi operasional dengan kedalaman maksimum, 1.55 pada kondisi badai dengan kedalaman minimum dan 1.60 pada kondisi badai dengan kedalaman maksimum.

Model anjungan lepas pantai yang didesain memenuhi kriteria analisis seismik dengan kode standar API RP-2A WSD yang dapat diurai sebagai berikut:

1. Setelah diiterasi, didapat faktor beban gempa pada struktur sebesar 0.0195 untuk sumbu x, 0.0173 untuk sumbu y pada kondisi gempa SLE dan 0.0645 untuk sumbu x, 0.058 untuk sumbu y pada kondisi gempa RIE.
2. Berdasarkan *extract mode shapes*, didapat periode natural struktur sebesar 2.616 detik untuk kondisi gempa SLE dan RIE.
3. Tegangan member dengan nilai *unity check* terbesar yakni 0.69 pada kondisi gempa SLE dan 0.69 pada kondisi gempa RIE.

4. Untuk *joint punching shear* dengan nilai *unity check* terbesar yakni 0.883 pada kondisi gempa SLE dan 0.886 pada kondisi gempa RIE.
5. Nilai *safety factor* kapasitas tiang pancang terkecil yakni 5.31 pada kondisi gempa SLE dan 6.55 pada kondisi gempa RIE.

Model anjungan lepas pantai yang didesain memenuhi kriteria analisis *spectral fatigue* dengan kode standar API RP-2A WSD yang dapat diurai sebagai berikut:

1. Untuk kriteria *service life* (*safety factor* = 5) dengan nilai *service life* terkecil terdapat pada joint 0202 dengan member 0008-0202 yang termasuk kedalaman member grup MDM memiliki *service life* sebesar 23.49 tahun dengan *damage* sebesar 0.638.
2. Untuk kriteria *service life* (*safety factor* = 2) dengan nilai *service life* terkecil terdapat pada joint A03L dengan member 903L-A03L yang termasuk kedalaman member grup LG9 memiliki *service life* sebesar 45.99 tahun dengan *damage* sebesar 0.326.

Model anjungan lepas pantai yang didesain memenuhi kriteria Analisis Kehandalan dan terdapat kesimpulan yang diurai menjadi beberapa poin sebagai berikut:

1. Berdasarkan uji kecocokkan distribusi gelombang, dapat ditentukan bahwa data gelombang acak paling cocok digunakan distribusi Lognormal
2. Berdasarkan analisis *pushover*, didapat persamaan hubungan antara *collapse base shear* dengan tegangan leleh sebagai berikut.
$$CBS = 156.19F_y^{1.187}$$
3. Berdasarkan simulasi *inplace*, didapat persamaan hubungan antara *Environmental Base Shear* dengan tinggi gelombang dan kecepatan arus sebagai berikut.
$$EBS(H, V_c) = 59.836H^2 + 648.98V_c^2 - 207.26H + 372.817V_c$$
4. Berdasarkan analisis kehandalan, didapat indeks kehandalan sebesar 4.869 dengan probabilitas kegagalan sebesar 0.000000566. Indeks kehandalan ini memenuhi target apabila diambil target kelas keselamatan tinggi menurut Bai dan Jin yakni 3.72.

10.2. Saran

Berdasarkan Tugas Akhir yang dikerjakan, terdapat saran yang diurai menjadi beberapa poin sebagai berikut.

1. Sebaiknya pembebanan dilakukan lebih mendetail sehingga menyerupai kondisi *platform* sebenarnya.
2. Lokasi struktur berada harus benar-benar sama dengan lokasi pengambilan data gelombang acak sehingga tidak perlu dilakukan kalibrasi terhadap gelombang desain.
3. Diambil data pasang surut sehingga tidak dilakukan asumsi untuk parameter statistik dari kecepatan arus.

Daftar Pustaka

American Petroleum Institute. (2007). Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform - Working Stress Design 21st edition. Washington DC: API Publishing Services.

Goda. (2000). Advanced Series on Ocean Engineering - Volume 15 : Randoms Seas and Design of Maritime Structures. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Chakrabarti, S. (1994). Offshore Structure Modeling. Singapore: World Scientific.

Haldar, A., dan Mahadevan, S. (2000): Probability, Reliability and Statistical Methods in Engineering Design, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Bai, Y., dan Jin, W.-L. (2016): Marine Structural Design, Elsevier.

Tawekal, R., Baskara, A., & Adriadi, R. (2004): Studi Kehandalan Struktur Anjungan Lepas Pantai Tipe Brace Monopod. Jurnal Teknik Sipil, 11 (4).

Hess, P. E., Bruchman, D., Assakkaf, I. A., dan Ayyub, B. M. (t.t.): Uncertainties in Material Strength, Geometric, and Load Variables, 54.

Hermanto, M.F. (2020). Tesis Program Magister. Penentuan Faktor Beban Lingkungan LRFD Anjungan Lepas Pantai di Perairan Makassar dengan Metode Analisis Kehandalan. Bandung : Program Studi Teknik Kelautan ITB.