



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISIS KEKUATAN *ULTIMATE* BERBASIS
RESIKO PADA STRUKTUR *JACKET WELLHEAD*
TRIPOD PLATFORM AKIBAT TERJADINYA
*SCOURING***

Bunga Septya Winata Sari

NRP. 4311 100 031

Dosen Pembimbing:

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

Ir. Handyanu, M.Sc. Ph.D

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015



FINAL PROJECT - MO 141326

**RISK BASED ULTIMATE STRENGTH ANALYSIS ON
TRIPOD JACKET WELLHEAD PLATFORM
STRUCTURE DUE TO THE OCCURANCE OF
SCOURING**

Bunga Septya Winata Sari

NRP. 4311 100 031

Supervisors :

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

Ir. Handayanu, M.Sc. Ph.D

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2015

**ANALISIS KEKUATAN *ULTIMATE* BERBASIS RESIKO PADA
STRUKTUR *JACKET WELLHEAD TRIPOD PLATFORM* AKIBAT
TERJADINYA *SCOURING***

TUGAS AKHIR

Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Bunga Septya Winata Sari

Nrp. 4311100031

Disetujui oleh pembimbing tugas akhir :

1. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Ir. Handayanu M.Sc, Ph.D. (Pembimbing 2)

SURABAYA, AGUSTUS 2015

**ANALISIS KEKUATAN *ULTIMATE* BERBASIS RESIKO PADA
STRUKTUR *JACKET WELLHEAD TRIPOD PLATFORM* AKIBAT
TERJADINYA *SCOURING***

Nama : Bunga Septya Winata Sari
NRP : 4311 100 031
Jursan : Ocean Engineering
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D
Ir. Handaynu, M.Sc, Ph.D

ABSTRAK

Banyak struktur lepas pantai terpancang yang mengalami keruntuhan akibat *scouring* yang sangat ekstrim terletak di bagian pondasinya. *Scouring* yang terjadi seringkali mempengaruhi integritas struktur yang mengakibatkan kegagalan konstruksi karena gaya yang diterima *jacket leg* semakin besar. Oleh karena itu, analisis dampak *scouring* yang berakibat penurunan kekuatan struktur secara keseluruhan hingga keruntuhan perlu dilakukan, kerana struktur sudah berbeda dari rancangan awal. Pada tugas akhir ini dilakukan analisis resiko pada *jacket wellhead tripod platform* UL A PHE ONWJ dalam kondisi *ultimate* dengan variasi kedalaman *scouring*. Analisis *ultimate* dilakukan dengan meningkatkan beban lingkungan kondisi badai secara bertahap hingga struktur mengalami keruntuhan karena terbentuknya member-member pada keadaan plastis. Member dengan plastisitas 100% digunakan dalam analisis keandalan, dimana peluang kegagalannya diperoleh dengan simulasi *Monte Carlo* yang menggunakan *Random Number Generator* (RNG). Sedangkan, keandalan sistem diperoleh dengan metode *Reliability Block Diagram* (RBD) yang selanjutnya digunakan dalam analisis resiko. Berdasarkan analisis kekuatan struktur diperoleh kedalaman *scouring* maksimum agar tetap memenuhi ISO 19902 adalah kedalaman *scouring* 15 ft dengan *unity check of member* terbesar mencapai 0.9752. Pada analisis keruntuhan diperoleh hasil *Reserve Strength Ratio* (RSR) terkecil 5,474 dengan kondisi *scouring* 17,5 ft akibat arah pembebanan 30⁰. Analisis keandalan sistem dilakukan untuk kondisi *non scouring* hingga kondisi *scouring* 10 ft dengan keandalan terkecil mencapai 0,99998 dan PoF terbesar 1,74485x10⁻⁵. Berdasarkan matriks resiko didapatkan hasil bahwa *platform* UL A PHE ONWJ saat kondisi *scouring* 10 ft memiliki resiko rendah untuk konsekuensi *safety*, sedangkan konsekuensi *environment* memiliki resiko tinggi, serta konsekuensi *business* berada di area *medium risk* yang merupakan daerah *as low as reasonably practicable* (ALARP).

Kata Kunci : ALARP, *Monte Carlo*, *Reliability Block Diagram*, *Scouring*, *Ultimate*.

RISK BASED ULTIMATE STRENGTH ANALYSIS ON TRIPOD JACKET WELLHEAD PLATFORM STRUCTURE DUE TO THE OCCURANCE OF SCOURING

Name : Bunga Septya Winata Sari
NRP : 4311 100 031
Departement : Ocean Engineering
Supervisor : Prof. Ir. Daniel M.Rosyid, Ph.D
Ir. Handaynu, M.Sc, Ph.D

ABSTRACT

Many fixed offshore structures collapses due to extreme scouring located at the foundation. Mostly the scour make an impact to the integrity of structures that lead to the failure of construction due the received force to jacket leg. Therefore, scouring analysis that a commodates scouring, collapse analysis need to be done, because the structure is different from initial design. Risk analysis in this final project will be done on UL A PHE ONWJ tripod jacket wellhead platform in the ultimate conditions with scouring depth variations. Ultimate analysis is done by increasing gradually the environmental storm condition until structure collapse due to the deformation of the members in to plastic condition. Member with 100% plasticity is used in the system reliability analysis, where the probabily of failure are obtained using Monte Carlo simulations. Whereas, the reliability of the system obtained by the Reliabilty Block Diagram (RBD) method, are then used in the risk analysis. Based on structural strength analysis, the result of maximum scouring depth in order to comply with ISO 19902 standard is 15 ft depth of scouring, with the largest unity check of member reaches 0,9752. On the collapse analysis, the result of smallest RSR is 5,474 with the scouring condition 17,5 ft due to loading direction 30^0 . The system reliability analysis was done for non-scouring condition until 10 ft scouring condition with the smallest reliability reaches 0,99998 and the largest probability of failure is $1,74485 \times 10^{-5}$. Based on the risk matrix the result of UL A PHE ONWJ Platform, scouring condition 10 ft has a low risk for the safety consequence. Whereas, the consequence of environment has a high risk, and then the consequence of business are at medium risk area which is in the area of as low as reasonably practicable (ALARP).

Keywords: ALARP, Monte Carlo, Reliabilty Block Diagram, Scouring, Ultimate.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia – Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Kekuatan *Ultimate* Berbasis Resiko Pada Struktur *Jacket Wellhead Tripod Platform* Akibat Terjadinya *Scouring*”** ini dengan lancar dan baik. Buku Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Buku laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai bekal keahlian ataupun sebagai sebuah karya nyata seorang mahasiswa, sehingga nantinya mampu untuk terjun dan bersaing di dunia kerja. Tugas Akhir ini membahas mengenai analisis resiko pada *jacket wellhead tripod platform* UL A PHE ONWJ dalam kondisi *ultimate* dengan variasi kedalaman *scouring*. Terjadinya *scouring* dapat berakibat pada penurunan kekuatan struktur secara keseluruhan hingga keruntuhan kerana struktur sudah berbeda dari rancangan awal.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan buku laporan Tugas Akhir ini tidak luput dari kesalahan dan kekurangan karena keterbatasan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk evaluasi dan perbaikan laporan selanjutnya.

Demikian buku laporan ini penulis susun dengan sebaik – baiknya. Penulis berharap buku laporan ini dapat menjadi panduan dan acuan dalam pembuatan laporan lainnya di bidang analisis struktur terpancang rekayasa kelautan serta bermanfaat bagi penulis khususnya, bagi pembaca pada umumnya. Atas perhatian pembaca, penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, Agustus 2015

Bunga Septya Winata Sari

NRP. 4311 100 031

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Manfaat	4
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Sistematika Laporan / Buku Tugas Akhir	5
2. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2. Dasar Teori	9
2.2.1. Gambaran Umum <i>Offshore Structure</i>	9
2.2.2. Anjungan Lepas Pantai Terpancang	11
2.2.3. Teori Perencanaan Beban	12
2.2.4. Analisis <i>Inplace</i>	13
2.2.5. Kriteria Penilaian <i>Platform (Platform Assessment)</i>	15
2.2.6. Konsep Tegangan	16
2.2.6.1. Konsep Tegangan Normal	16

2.2.6.2. Tegangan Tarik Aksial	17
2.2.6.3. Tegangan Tekan Aksial	17
2.2.6.4. Tegangan Lentur	17
2.2.6.5. Kombinasi Tegangan Tarik Aksial dan <i>Bending</i>	18
2.2.6.6. Kombinasi Tegangan Tekan Aksial dan <i>Bending</i>	18
2.2.7. Analisis Kekuatan <i>Ultimate</i>	18
2.2.8. Analisis Batas Tegangan <i>Ultimate (Ultimate Limit State)</i>	19
2.2.9. <i>Reserve Strength Ratio (RSR)</i> dan <i>System Redundancy</i>	21
2.2.10. Keandalan Pada Sistem Reayasa	21
2.2.11. Indeks Keandalan.....	22
2.2.12. Metode Simulasi <i>Monte Carlo</i>	23
2.2.13. Keandalan Sistem	25
2.2.13.1. Keandalan Sistem Seri.....	25
2.2.13.2. Keandalan Sistem Paralel	26
2.2.14. Penilaian Resiko (<i>Risk Assessment</i>).....	26
2.2.15. Matriks Resiko.....	29
3. METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1. Metodologi Penelitian	31
3.2. Prosedur Penelitian.....	32
3.3. Pengumpulan Data	34
3.3.1. Data Struktur.....	34
3.3.2. Data Lingkungan	37
3.3.2.1. Data Angin.....	37
3.3.2.2. Data Arus.....	38
3.3.2.3. Data Gelombang.....	38
3.3.2.4. Data Kedalaman Perairan	39
3.3.2.5. <i>Current Blockage Factor</i>	39
3.3.2.6. Faktor Kinematik Gelombang	39
3.3.3. Data Pembebanan	39
3.3.4. Data Tanah.....	40
3.4. Moda Kegagalan.....	42

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1. Validasi Pemodelan Struktur.....	45
4.2. Analisis Statis <i>Inplace</i>	47
4.2.1 Faktor Pembebanan Struktur.....	48
4.2.2. Analisis <i>Unity Check of Member</i>	49
4.2.3. Analisis <i>Joint Punching Shear Check</i>	51
4.2.4. Analisis <i>Safety Factor of Pile</i>	53
4.3. Analisis Kekuatan <i>Ultimate</i>	54
4.4. Analisis Keandalan Struktur.....	61
4.4.1. Moda Kegagalan.....	61
4.4.2. Simulasi <i>Monte Carlo</i>	62
4.4.3. Peluang Kegagalan.....	62
4.5. Matriks Resiko.....	69
4.5.1. Konsekuensi Kegagalan.....	69
4.5.2. Analisis Resiko.....	71
5. PENUTUP.....	77
5.1. Kesimpulan.....	77
5.2. Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. (a) Sebelum Terjadinya <i>Scouring</i> dan (b) Sesudah Terjadinya <i>Scouring</i>	2
Gambar 1.2. Lokasi UL A <i>Wellhead Platform</i> di Indonesia (www.googleearth)	3
Gambar 1.3. <i>Wellhead Platform</i> UL A PHE ONWJ (PT. BKI (Persero))	3
Gambar 2.1. <i>Offshore Structure</i> (Murdjito, 2014)	10
Gambar 2.2. Pembebanan Aksial Pada Batang Tubular (Popov, 1993)	16
Gambar 2.3. Hubungan Tegangan Regangan	19
Gambar 2.4. Fungsi Kerapatan Peluang Kapasitas X dan Tuntutan Y (Rosyid, 2007)	21
Gambar 2.5. Representasi Grafis Sebuah Sistem Seri Dengan n-komponen (Rosyid, 2007)	25
Gambar 2.6. RBD Sistem Pararel Aktif Dengan n-komponen (Rosyid, 2007) ..	26
Gambar 2.7. Matriks Resiko (DNV RP G – 101)	29
Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	31
Gambar 3.2. Lokasi UL A <i>Wellhead Platform</i> di Indonesia (www.googleearth)	34
Gambar 3.3. Lokasi UL A <i>Wellhead Platform</i> (PT. BKI (Persero))	34
Gambar 3.4. <i>Wellhead Platform</i> UL A PHE ONWJ (PT. BKI (Persero))	35
Gambar 3.5. Konfigurasi <i>Wellhead Platform</i> UL A PHE ONWJ (PT. BKI (Persero))	37
Gambar 3.6. Arah Beban Lingkungan	37
Gambar 3.7. Data Tanah P-Y (PT. BKI (Persero))	41
Gambar 3.8. Data Tanah T-Z (PT. BKI (Persero))	41
Gambar 3.9. Data Tanah Q-Z (PT. BKI (Persero)).....	42
Gambar 4.1. Pemodelan <i>Main Deck Platform</i> UL A PHE ONWJ	45
Gambar 4.2. Pemodelan <i>Mezzanine Deck Platform</i> UL A PHE ONWJ.....	46
Gambar 4.3. Pemodelan <i>Cellar Deck Platform</i> UL A PHE ONWJ.....	46
Gambar 4.4. Pemodelan <i>Sub Cellar Deck Platform</i> UL A PHE ONWJ.....	46
Gambar 4.5. Pemodelan Struktur <i>Jacket Wellhead Tripod Platform</i> UL A	

PHE ONWJ.....	47
Gambar 4.6. Grafik <i>Unity Check of Member</i> Kondisi Badai	51
Gambar 4.7. Grafik <i>Joint Punching Shear Check</i> Kondisi Badai.....	52
Gambar 4.8. Grafik Analisis Daya Dukung <i>Pile</i> Kondisi Badai	54
Gambar 4.9. Grafik Hubungan RSR dengan Kedalaman <i>Scouring</i> pada arah 60 ⁰	55
Gambar 4.10. Grafik Hubungan RSR dengan Kedalaman <i>Scouring</i> pada arah 30 ⁰	59
Gambar 4.11. Hasil Analisis <i>Collapse</i> Arah 30 ⁰ Kondisi <i>Scouring</i> 17,5	60
Gambar 4.12. <i>Collapse View</i> Arah Pembebanan 30 ⁰ Pada Kondisi <i>Scouring</i> 17,5ft	60
Gambar 4.13. Grafik Hubungan <i>Load Step</i> Dengan <i>Axial Stress</i> pada <i>Member</i> 102L-201L.....	61
Gambar 4.14. Grafik Simulasi Monte Carlo Pada <i>Member</i> 102L-201L Kondisi <i>Scouring</i> 10 ft.....	63
Gambar 4.15. Grafik Hubungan antara β dengan Kedalaman <i>Scouring</i>	67
Gambar 4.16. <i>Reliability Block Diagram</i> (RBD) Kondisi <i>Scouring</i> 10 ft	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kriteria <i>Exposure Level</i> (ISO 19902)	16
Tabel 2.2. RSR Kondisi Lingkungan <i>North Sea</i> (ISO, 19920).....	16
Tabel 2.3. Kategori <i>Probabilty of Failure</i> (DNV RP G – 101)	28
Tabel 2.4. Kategori <i>Conseuqance of Failure</i> (DNV RP G – 101).....	28
Tabel 3.1. Data Lokasi <i>Wellhead Platform</i> UL A PHE ONWJ (PT. BKI (<i>Persero</i>))	35
Tabel 3.2. Deskripsi <i>Wellhead Platform</i> UL A PHE ONWJ (PT. BKI (<i>Persero</i>))	36
Tabel 3.3. Kecepatan Angin Saat Kondisi Operasi dan Badai (PT. BKI (<i>Persero</i>))	38
Tabel 3.4. Data Kecepatan Arus Berdasarkan Kedalaman (PT. BKI (<i>Persero</i>))	38
Tabel 3.5. Data Gelombang (PT. BKI (<i>Persero</i>))	38
Tabel 3.6. Kedalaman Perairan (PT. BKI (<i>Persero</i>))	39
Tabel 3.7. <i>Current Blockage Factor</i> (PT. BKI (<i>Persero</i>))	39
Tabel 3.8. Faktor Kinematik Gelombang (PT. BKI (<i>Persero</i>)).....	39
Tabel 3.9. Beban Vertikal Pada <i>Platform</i> UL A PHE ONWJ (PT. BKI (<i>Persero</i>))	40
Tabel 3.10. Parameter Moda Kegagalan	43
Tabel 4.1 Validasi Pemodelan Struktur	45
Tabel 4.2. Faktor Pembebanan Kondisi Badai	48
Tabel 4.3. Hasil <i>Unity Check of Member</i> Kondisi Badai	50
Tabel 4.4. Hasil <i>Joint Punching Shear Check</i> Kondisi Badai	52
Tabel 4.5. Hasil Analisis <i>Safety Factor of Pile</i> Kondisi Badai	53
Tabel 4.6. Hasil RSR dan SR Analisis <i>Pushover</i>	55
Tabel 4.7. Hasil Analisis <i>Pushover</i> Setiap Arah Pembebanan Kondisi <i>Non Scouring</i>	56
Tabel 4.8. Hasil Analisis <i>Pushover</i> Setiap Arah Pembebanan Kondisi <i>Scouring</i> 2,5 ft.....	57
Tabel 4.9. Hasil Analisis <i>Pushover</i> Arah Pembebanan 30 ⁰	58
Tabel 4.10. Keandalan Member Plastis 100 % Kondisi <i>Non Scouring</i>	63

Tabel 4.11. Keandalan Member Plastis 100 % Kondisi <i>Scouring</i> 2,5 ft.....	64
Tabel 4.12. Keandalan Member Plastis 100 % Kondisi <i>Scouring</i> 5 ft.....	65
Tabel 4.13. Keandalan Member Plastis 100 % Kondisi <i>Scouring</i> 7,5 ft.....	65
Tabel 4.14. Keandalan Member Plastis 100 % Kondisi <i>Scouring</i> 10 ft.....	66
Tabel 4.15. Indeks Keandalan Member Pada Setiap Keadalaman <i>Scouring</i>	67
Tabel 4.16. Keandalan Sistem <i>Platform</i> UL A PHE ONWJ	69
Tabel 4.17. Kategori <i>Probabilty of Failure</i> (DNV RP G – 101)	70
Tabel 4.18. Kategori <i>Consequance of Failure</i> (DNV RP G – 101).....	70
Tabel 4.19. Matriks Resiko (DNV RP G – 101)	71
Tabel 4.20. Matriks Resiko Struktur Kondisi <i>Scouring</i> 10 ft	73
Tabel 4.21. Matriks Resiko Struktur Kondisi <i>Scouring</i> 7,5 ft hingga Kondisi <i>Non Scouring</i>	74
Tabel 4.22. Matriks Resiko Kategori Konsekuensi <i>Safety</i>	74
Tabel 4.23. Matriks Resiko Konsekuensi <i>Environment</i>	75
Tabel 4.24. Matriks Resiko Konsekuensi <i>Business</i>	75

DAFTAR NOTASI

$\gamma_{R,b}$	Faktor ketahanan untuk tegangan <i>bending</i>
$\gamma_{R,c}$	Faktor ketahanan untuk tegangan tekan aksial
$\gamma_{R,t}$	Faktor ketahanan untuk tegangan tarik aksial
μ	<i>Mean</i>
σ	<i>Standard deviasi</i>
σ_{act}	Tegangan yang terjadi (ksi)
σ_{all}	Tegangan izin (ksi)
σ_b	Tegangan <i>bending</i> akibat gaya yang terfaktor (ksi)
σ_{by}	Tegangan <i>bending</i> arah y (<i>inplane</i>) akibat gaya terfaktor (ksi)
σ_{bz}	Tegangan <i>bending</i> arah z (<i>out of plane</i>) akibat gaya terfaktor (ksi)
σ_c	Tegangan tekan aksial akibat gaya yang terfaktor
σ_t	Tegangan tarik aksial akibat gaya yang terfaktor
σ_y	Titik leleh bawah (<i>lower yield point</i>)
σ_{yu}	Titik leleh atas (<i>upper yield point</i>)
A	Luas penampang
D	<i>Outside</i> diameter
F	Tegangan
f_b	Kekuatan <i>bending</i> (ksi)
f_c	Kekuatan tekan aksial (ksi)
f_t	Kekuatan tarik aksial (ksi)
M	Tegangan tarik <i>ultimate</i> (<i>ultimate tensile strength</i>)
M_y	Bending moment pada elemen member arah sumbu-y (Kips in)
M_z	Bending moment pada elemen member arah sumbu-z (Kips in)
M_p	<i>Plastic</i> bending moment pada elemen member (Kips in)
P	<i>Axial load</i> pada elemen member (Kips)
P_n	<i>Ultimate axial capacity</i> (Kips)
Sx	Pembebanan aksial
t	<i>Thickness</i>
UC	<i>Unity check of member</i>
V	<i>Coefficient of Varians</i>

Z_p	Modulus plastis
Z_e	Modulus elastis

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	<i>Input Data Tanah</i>
LAMPIRAN 2	<i>Input Analisis Keruntuhan</i>
LAMPIRAN 3	<i>Output Analisis Inplace dan Pushover</i>
LAMPIRAN 4	Perhitungan Keandalan <i>Member</i> Dengan Simulasi <i>Monte Carlo</i>
LAMPIRAN 5	<i>Reliability Block Diagram (RBD)</i>
LAMPIRAN 6	Perhitungan Keandalan Sistem

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring peradaban manusia yang semakin canggih menuntut pemenuhan energi yang besar, hal ini berarti bahwa kebutuhan energi berbanding lurus dengan kemajuan peradaban manusia. Salah satu energi yang banyak digunakan oleh manusia karena memiliki potensi yang sangat besar untuk kemajuan bangsa yakni energi minyak dan gas bumi. Hal tersebut, mendorong manusia untuk lebih kreatif dalam mengeksplorasi ladang minyak dan gas yang tersedia maupun yang belum ditemukan dengan teknologi – teknologi penunjang.

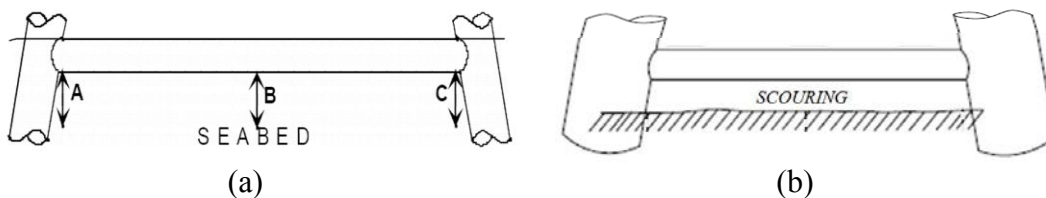
Di perairan Indonesia banyak sekali dimanfaatkan *fixed platform* berupa jacket untuk proses eksplorasi maupun produksi minyak dan gas bumi pada perairan dangkal 0 - 400 meter di lepas pantai. Setiap struktur selalu menerima beban, baik berat struktur sendiri, beban hidup, beban lingkungan, maupun beban akibat kecelakaan (Maharlika, 2012). Pada bangunan lepas pantai sebagai faktor alam akan terdapat beberapa masalah yang dapat mempengaruhi integritas struktur seperti adanya *marine growth* dan terjadinya *scouring* serta *land subsidence*.

Salah satu hal yang sangat penting dalam suatu analisis struktur bangunan lepas pantai adalah melakukan analisis atas kemampuan suatu struktur tersebut untuk memenuhi tujuan desain yang telah ditetapkan. Banyak struktur yang mengalami keruntuhan akibat *scouring* yang sangat ekstrim di bagian pondasinya. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis dampak *scouring* yang bisa mengakibatkan penurunan kekuatan struktur secara keseluruhan bahkan keruntuhan kerana struktur sudah berbeda dengan rancangan awal.

Scouring yang terjadi pada struktur *fixed platform* seringkali mempengaruhi integritas struktur hingga mengakibatkan kegagalan konstruksi karena gaya yang diterima *jacket leg* semakin besar (Prihantika, 2013). *Scouring* merupakan fenomena alam berupa pergerakan tanah dasar laut yang disebabkan oleh aliran laut yakni gelombang dan arus yang terjadi pada material lumpur atau endapan. Mekanisme terjadinya *scouring* akibat terbentuknya aliran vortex berupa pusaran yang membawa partikel sedimen seperti tornado ke bagian pusat pusaran

dan membawa partikel – partikel tersebut menjauh dari *pile* sehingga mengakibatkan *scouring* disekitar pile terus bertambah (Khwairakpam, dkk. 2009)

Kedalaman *scouring* yang tidak diprediksi dapat menyebabkan struktur mengalami keruntuhan tetapi apabila kedalaman *scouring* diprediksi terlalu berlebihan dapat mengakibatkan biaya konstruksi yang terlalu besar karena adanya konstruksi yang tidak perlu. Oleh karena itu, prediksi kedalaman *scouring* maksimum sangat penting dilakukan untuk memperoleh desain pondasi struktur yang tepat karena hal ini akan mempengaruhi beban lateral dan kapasitas lateral sebagai respon lateral *pile*. Sheng Huoo Ni (2012) melakukan penelitian bahwa terjadinya *scouring* menyebabkan kapaistas memikul beban lateral berkurang dan dengan demikian keruntuhan pondasi akan terjadi.



Gambar 1.1. (a) Sebelum Terjadinya *Scouring* dan (b) Sesudah Terjadinya *Scouring*

Prihantika (2013), telah melakukan analisis yang hampir sama tentang analisis dampak *scouring* pada integritas *jacket structure* pada platform APN – A milik PT PHE ONWJ. Prihantika meneliti tentang keandalan platform APN – A yang mengalami *scouring*. Sedangkan dalam tugas akhir ini, penulis akan melakukan analisis resiko dengan menggunakan data hasil analisis kekuatan *ultimate jacket structure* yang menggunakan data hasil asumsi kedalaman *scouring* pada *wellhead platform* UL A PHE ONWJ. Selain perbedaan data, pada penelitian ini peneliti melakukan analisis *inplace* untuk mendeteksi elemen kritis dari kondisi awal hingga mengalami peningkatan kedalaman *scouring* maksimum, analisis kekuatana *ultimate* untuk menghitung RSR member kritis, dan analisis resiko untuk mengetahui matriks resikonya.

Struktur yang digunakan sebagai obyek studi kasus tugas akhir ini adalah *wellhead tripod platform* UL A yang beroperasi di perairan laut Jawa. UL A berada sekitar 25,35 km barat daya dari Arco Ardjuna Platform dan 24,74 km barat laut Pemanukan, Kabupaten Subang. Tepatnya UL A berada pada koordinat

06° 05' 39.44" LS dan 107° 42' 29.07" BT. *Jacket wellhead platform* UL A dilengkapi oleh 4 deck yang terdiri atas *Main Deck* pada elevasi (+) 58 ft, *Mezzanine Deck* pada elevasi (+) 41,8 ft, *Cellar Deck* pada elevasi (+) 33 ft, dan *Sub Cellar Deck* pada elevasi (+) 23 ft.



Gambar 1.2. Lokasi UL A *Wellhead Platform* di Indonesia (www.googleearth)



Gambar 1.3. *Wellhead Platform* UL A PHE ONWJ (PT. BKI (Persero))

Pada tugas akhir ini dilakukan analisis *pushover* untuk mengetahui kekuatan ultimate struktur global dengan memberikan beban statis dalam arah lateral berupa beban gelombang dalam kondisi badai. Beban statis ini ditingkatkan secara bertahap (*incremental*) hingga mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Analisis *pushover* menunjukkan perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen – elemen strukturnya (Nurdianti, 2013).

Selanjutnya dilakukan analisis resiko untuk mengetahui bagaimana resiko struktur yang mengalami *scouring*. Analisis resiko ini berguna untuk mengetahui keandalan struktur dan konsekuensi yang terjadi pada struktur apabila mengalami kegagalan (Novanda, 2012). Apabila terjadi kegagalan pada member kritis tersebut maka struktur dapat mengalami berbagai kemungkinan gagal salah

satunya adalah berpotensi runtuh / collapse yang bisa menimbulkan bahaya seperti keselamatan awak pekerja, kondisi lingkungan sekitar, bahkan kerugian secara struktural hingga non struktural.

1.2. Perumusan Masalah

- a. Berapa besar kedalaman maksimum *scouring* yang diijinkan pada struktur *jacket platform* agar tetap memenuhi *codes*?
- b. Berapa besar *Reserve Strength Ratio* (RSR) pada struktur dengan variasi kedalaman *scouring* ?
- c. Bagaimana keandalan struktur akibat pengaruh kedalaman *scouring* dalam kondisi *ultimate* ?
- d. Bagaimana matriks resiko struktur akibat pengaruh kedalaman *scouring* dalam kondisi *ultimate*?

1.3. Tujuan

- a. Mengetahui besar kedalaman maksimum *scouring* yang diijinkan pada struktur *jacket platform* agar tetap memenuhi *codes*
- b. Menghitung besar *Reserve Strength Ratio* (RSR) pada struktur dengan variasi kedalaman *scouring*
- c. Menghitung keandalan struktur akibat pengaruh kedalaman *scouring* dalam kondisi *ultimate*
- d. Mengetahui matriks resiko struktur akibat pengaruh kedalaman *scouring* dalam kondisi *ultimate*

1.4. Manfaat

Melalui penelitian ini akan diketahui kedalaman *scouring* maksimum agar kekuatan struktur masih memenuhi *codes* sehingga masih layak beroperasi. Selain itu, analisis *pushover* juga dilakukan pada struktur yang mengalami *scouring* guna menghitung besar RSR. Analisis resiko pada penelitian ini juga diperlukan karena sangat efektif untuk menghitung peluang kegagalan dan mengetahui konsekuensi kegagalan akibat terjadinya *scouring* sehingga dapat diketahui matriks resiko *jacket platform*.

1.5. Batasan Masalah

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

- a. Analisis dilakukan pada *wellhead structure platform* UL A yang berjenis *jacket* 3 kaki yang beroperasi di perairan Jawa oleh PHE ONWJ
- b. Pemodelan dan analisis struktur menggunakan perangkat lunak berbasis *finite element*
- c. Data analisis berdasarkan data lingkungan, data perancangan, dan variasi kedalaman *scouring* yang diasumsikan berdasarkan kelipatan *design scouring*
- d. *Scouring* yang terjadi pada semua kaki *Jacket* dianggap sama.
- e. Beban dinamis diabaikan.
- f. *Settlement* dan *Land Subsidence* diabaikan.
- g. Moda kegagalan dalam analisis hanya disebabkan oleh beban *ultimate combine stress* akibat beban lingkungan
- h. Analisis struktur mengacu pada ketentuan dalam ISO 19902.
- i. Analisis keandalan dengan metode *Monte Carlo*.
- j. Analisis resiko yang dilakukan untuk mendapatkan matriks resiko dengan mengacu pada ketentuan dalam DnV RP G 101
- k. Tidak meninjau biaya pada struktur.

1.6. Sistematika Laporan / Buku Tugas Akhir

Sistematika penyusunan laporan tugas akhir ini meliputi :

Bab I pendahuluan menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang dilakukan, permasalahan, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang diperoleh, batasan- batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan tugas akhir.

Bab II tinjauan pustaka dan dasar teori berisi dasar teori dan tinjauan pustaka yang berpedoman pada beberapa penelitian terkait yang pernah dilakukan untuk referensi penelitian ini. Materi-materi yang dicantumkan pada bab ini antara lain: konsep pembebanan, konsep tegangan, konsep analisis statis *inplace*, konsep analisis kekuatan *ultimate*, konsep keandalan dengan metode *Monte Carlo*, dan konsep analisis resiko .

Bab III metodologi penelitian menjelaskan tentang langkah – langkah penyelesaian analisis dan melakukan validasi. Dalam hal ini meliputi langkah awal yang harus dilakukan, *study literatur* yang dapat menunjang penyelesaian dari pembahasan masalah, seperti halnya pengumpulan data – data pendukung.

Bab IV analisis dan pembahasan menjelaskan tentang beberapa hal penting tentang hasil yang telah diperoleh dari permodelan yang telah dilakukan dengan *software* struktur, analisis statis *inplace* struktur pada kondisi *scouring* dengan kedalaman yang bervariasi yang menghasilkan *output member stress check*, evaluasi terhadap *rule / code* yang dipakai. Selanjutnya melakukan analisis terhadap kekuatan *ultimate* struktur, perhitungan keandalan struktur dan matriks resiko, serta membahas hasil yang telah didapat.

Bab V kesimpulan dan saran menjelaskan tentang kesimpulan yang telah didapatkan dari hasil pembahasan bab yang sebelumnya dan saran-saran penulis sebagai pertimbangan dalam keperluan penelitian yang terkait.

Daftar pustaka yang berisi referensi-referensi yang dipakai selama penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Analisis *ultimate strength* atau *pushover analysis* merupakan analisis statis non linier untuk mengetahui besarnya kapasitas struktur dalam menerima beban maksimal hingga struktur mengalami keruntuhan (Robayasa, 2013). Metode yang dilakukan adalah dengan melakukan simulasi penambahan beban secara bertahap sampai struktur tersebut runtuh. Dari hasil tersebut akan diketahui *Reserve Strength Ratio (RSR)* atau rasio kekuatan cadangan struktur untuk mengetahui jacket memiliki cukup kekuatan dan stabilitas dalam menahan beban akibat *overstress* lokal yang melebihi tegangan ijin namun tidak sampai mengalami keruntuhan. Struktur dianalisis berdasarkan variasi kedalaman *scouring* guna mengetahui resiko apabila struktur mengalami perubahan dari desain perancangannya.

Analisis keruntuhan dengan penambahan beban pada struktur *fixed offshore platform* telah banyak dilakukan oleh mahasiswa Teknik Kelautan antara lain Ade Yusa Maharlika (2012) yang membahas “Analisis Keruntuhan *Jacket Platform* Akibat Beban Gempa Dengan Variasi Elevasi *Deck*”, Moch Ibnu Hardiansah (2012) yang membahas “Analisa Kekuatan *Ultimate* Pada Konstruksi *Deck Jacket Platform* Akibat *Slamming* Gelombang”, Fahmi Nuriman (2013) yang membahas “Analisis Kekuatan *Ultimate* Struktur *Jacket Wellhead Tripod Platform* Akibat Penambahan *Conductor* dan *Deck Extension*”, Nasta Ina Robayasa (2012) yang membahas “Analisa Kekuatan *Ultimate* Struktur *Jacket Well Tripod Platform* Berbasis Resiko”. Para peneliti tersebut melakukan analisis keruntuhan bangunan laut dengan metode penambahan beban secara bertahap sampai struktur mengalami keruntuhan.

Selain itu, analisis struktur karena mengalami kondisi perubahan fisik *seabed* seperti terjadinya *scouring* baru dilakukan oleh Edit Hasta Prihantika (2013) yang membahas “Analisis Dampak *Scouring* pada Integritas *Jacket* Struktur dengan Pendekatan Statis Berbasis Keandalan”. Berdasarkan penelitian di atas belum ada yang melakukan analisis resiko kekuatan *ultimate* struktur

berdasarkan perubahan fisik *seabed* yakni terjadinya *scouring*. Terjadinya *scouring* menyebabkan daya dukung tanah akan berkurang yang mengakibatkan kekuatan pada *jacket structure* karena penetrasi *pile* yang dibuat untuk menopang struktur tersebut juga berkurang. Pemancangan suatu struktur dapat mengganggu keseimbangan dinamis permukaan dasar laut. Gangguan tersebut yang menyebabkan adanya masalah *scouring* (penggerusan) di sekitar kaki jacket yang menyebabkan penurunan kapasitas pondasi yaitu tahanan pasif *seabed* terhadap gaya lateral dan momen. Sementara itu arus yang terus menerus mengalir di permukaan dasar laut akan menambah kedalaman *scouring* tersebut.

Pada banyak kejadian, gaya geser vertikal tiang pancang merupakan pendukung utama dari kapasitas total tiang pancang. Mekanisme yang menyebabkan terjadinya *scouring* menurut Bi Jaker (1980) dalam Prihantika (2013) adalah :

1. Peningkatan kecepatan air disekitar objek
2. Pusaran jejak vortex di sisi hilir objek
3. Sebuah komponen vertikal dari kecepatan air yang disebabkan oleh adanya objek

Sedangkan menurut Laursen (1952) dalam Sucipto (2004), sifat alami gerusan mempunyai fenomena sebagai berikut:

1. Besar gerusan akan sama selisihnya antara jumlah material yang diangkut keluar daerah gerusan dengan jumlah material yang diangkut masuk ke dalam daerah gerusan
2. Besar gerusan akan berkurang apabila penampang basah di daerah gerusan bertambah (misal karena erosi). Untuk kondisi aliran bergerak akan terjadi suatu keadaan gerusan yang disebut dengan gerusan batas, besarnya akan asimtotik terhadap waktu.

Penggerusan merupakan pengangkatan tanah dasar laut yang disebabkan oleh arus dan gelombang. Erosi tersebut dapat menjadi proses geologi alam atau sapat disebutkan oleh elemen struktur yang mengganggu aliran alami di dekat dasar laut. Dari pengamatan, penggerusan biasanya dapat dicirikan sebagai beberapa kombinasi dari berikut:

1. Gerusan lokal curam : penggerusan lubang disekitar elemen struktur sebagai kelompok tiang, umumnya seperti yang terlihat dalam model saluran air
2. Penggerusan global : cekungan dangkal menjelajahi sebagian besar dari sekitar struktur yang disebabkan karena efek struktur keseluruhan, beberapa struktur interaksi atau gelombang / tanah / interaksi struktur
3. Gerakan dasar laut secara keseluruhan : gerakan *sandwaves*, tonjolan yang akan terjadi tanpa adanya struktur yang disebabkan oleh penurunan / akumulasi

Hal yang sangat penting dalam analisis suatu struktur bangunan lepas pantai yang mengalami modifikasi/penambahan struktur yakni untuk mendapatkan kapasitas maksimal struktur dalam menerima beban (Nuriman, 2013). Analisis tersebut sangat penting dilakukan, selain untuk memenuhi target dan standard desain yang telah ditetapkan, juga untuk mengetahui kelayakan maupun keamanan suatu *platform* yang telah banyak digunakan oleh industri migas dalam eksplorasi migas.

Menurut Hardiansah (2012), pada analisa kekuatan *ultimate* dapat diketahui plastisitas dari struktur *jacket platform* yang terjadi apabila tegangan yang terjadi pada struktur melebihi tegangan yang diijinkan (*yield stress*) dan deformasi yang terjadi bersifat permanen (tidak dapat kembali ke bentuk semula). Tidak ada penambahan beban yang dapat melebihi kekuatan *ultimate*. Hal ini untuk mengurangi resiko terjadinya kegagalan dimana penyebab kegagalan bisa terjadi secara langsung ataupun berjalan perlahan seiring bertambahnya beban hingga mengalami *overload*.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Gambaran Umum *Offshore Structure*

Teknologi perancangan dan konstruksi anjungan lepas pantai telah berkembang yang dibuktikan dengan adanya berbagai jenis *offshore structure* di lepas pantai yang berfungsi sebagai *production platform*, *wellhead platform*, *service platform*, maupun fungsi yang lain. Munculnya struktur – struktur yang lebih memiliki teknologi yang lebih baik meningkatkan hasil eksplorasi yang lebih

berkualitas dan pengoperasiannya lebih ekonomis. Beberapa konsep struktur bangunan lepas pantai, antara lain :

a. *Fixed Offshore Structure*

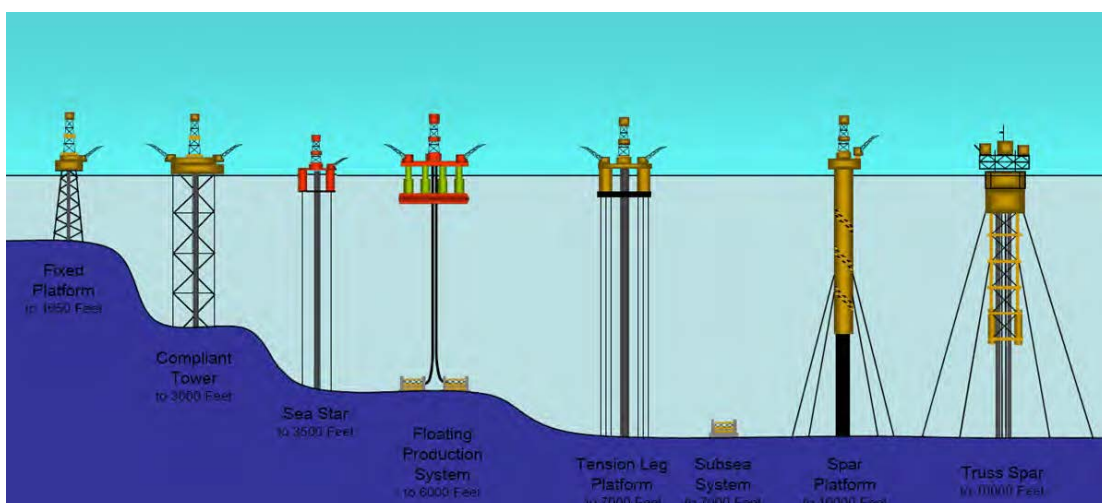
Anjungan lepas pantai terpancang dalam operasinya bersifat menahan gaya – gaya lingkungan tanpa mengalami *displacement* / deformasi yang berarti. Tipe ini merupakan tipe paling tua ydan paling banyak dibangun. Salah satu kelemahannya adalah biaya produksi dan biaya instalasi struktur baja akan naik secara eksponensial terhadap kedalaman. Contoh anjungan lepas pantai terpancang adalah *jacket, jack up platform*.

b. *Floating Production Structure*

Anjungan lepas pantai terapung mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang. Seringkali anjungan tipe ini dihubungkan dengan dasar laut menggunakan peralatan mekanik *mooring line* atau *dynamic positioning*. Untuk anjungan tipe ini yang utama adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut.

c. *Compliant Platform*

Anjungan struktur lentur bertujuan untuk memenuhi persyaratan fungsi – fungsi khusus seperti faktor ekonomi dan faktor teknis. Prinsip perencanaan umum anjungan struktur lentur adalah mendapatkan solusi optimal terhadap persyaratan – persyaratan fungsi - fungsi tersebut. Beberapa contoh dari tipe ini diantaranya *Tension Leg Platform*.



Gambar 2.1. *Offshore Structure* (Murdjito, 2014)

2.2.2. Anjungan Lepas Pantai Terpancang

Jacket dan *Jack Up Platform* yang merupakan anjungan lepas pantai terpancang yang mulai digunakan sejak awal industri lepas pantai, struktur ini dipancang dengan *pile* yang mempunyai *lateral stiffness* untuk menahan beban gelombang, arus, dan angin pada kedalaman air sekitar 0 – 400 m (Prihantika, 2013). Tipe anjungan ini memanfaatkan kekuatan dari kakinya yang didukung oleh konfigurasi *member (brace)* dan *pile* yang tertancap sangat dalam untuk menahan *payload* dan beban lateral dari angin, arus, gelombang, dan seismik yang bekerja pada struktur tersebut.

Struktur *jacket platform* merupakan bentuk struktur terpancang (*fixed structure*) yang terdiri atas beberapa komponen utama yaitu :

1. *Topside / Deck* berfungsi menyediakan bidang datar di atas permukaan air yang tidak terjangkau gelombang laut sebagai penunjang seluruh kegiatan, menyokong peralatan, pengeboran dan tempat fasilitas bekerja pada kru. Konstruksi *deck* terdiri atas beberapa kelompok jenis konstruksi yang jumlah dan fasilitas yang ada pada *deck* tergantung pada fungsi utama yang harus dilaksanakan oleh *jacket platform* itu sendiri.
2. *Template / Jacket* berupa konstruksi pipa (tubular) yang berfungsi sebagai penyokong *deck* yang meneruskan beban baik beban vertikal dari geladak maupun beban lateral dari angin, gelombang, arus, boat impact ke pondasi, serta melindungi *pile* agar tetap pada posisinya. Subkomponen dari *jacket* antara lain *braces*, *jacket leg*, *boat landings*, *barge bumpers*, *riser*, *deck leg*
3. *Foundation / Pile* diletakkan di dalam kaki *jacket* yang dipancang ke dasar laut yang karakteristiknya bergantung pada kondisi tanah yang ada (*soil mechanics*). Fungsi utama tiang pancang sebagai pondasi untuk meneruskan beban axial dan lateral yang ditransformasikan ke seabed. Antara *pile* dengan *jacket* terkadang dilakukan grouting untuk menambah kekakuan agar *pile* dan *jacket* menyatu.

Beberapa sistem *jacket* yang ada di dunia, mempunyai perbedaan utama mengenai jumlah kaki, konfigurasi sistem *bracing* serta fungsinya. Jumlah kaki pada setiap *jacket* bervariasi, dari 1 hingga 8 kaki dengan membentuk konfigurasi

tertentu. Demikian juga dengan sisten konfigurasi bracingnya dari yang sederhana sampai yang kompleks.

2.2.3. Teori Perencanaan Beban

Pada suatu proses perancangan bangunan lepas pantai untuk menentukan kemampuan kerja suatu struktur akan dipengaruhi oleh beban yang terjadi pada bangunan tersebut. Sehingga perancang harus mentukan akurasi atau ketepatan beban yang akan diterapkan dalam perancangan. Adapun beban – beban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bangunan lepas pantai, adalah sebagai berikut (Soedjono, J J, 1999) :

1. *Dead Load*

Beban mati adalah beban dari komponen - komponen kering serta beban – beban dari peralatan, perlengkapan dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada bangunan lepas pantai. Beban mati tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. Berat dari struktur bangunan lepas pantai seperti tiang pancang, *deck, jacket, railing*
- b. Berat peralatan permanen dan pelengkap yang termuat dalam *platform*
- c. Beban akibat gaya – gaya hidrodinamis yang bekerja pada struktur di bawah sarat air termasuk tekanan *eksternal* dan cadangan daya apung

2. *Live Load*

Beban hidup adalah beban yang terjadi pada *platform* atau bangunan lepas pantai selama dipakai / berfungsi dan berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain. Adapun yang termasuk beban hidup dapat dikategorikan sebagai berikut :

- a. Berat peralatan permanen pengeboran dan produksi
- b. Berat peralatan pendukung pengeboran dan produksi
- c. Berat fasilitas-fasilitas akomodasi, *heliport* dan fasilitas penunjang awak lainnya seperti peralatan selam, keselamatan dan sebagainya yang dapat ditambahkan atau dihilangkan dari *platform*.
- d. Berat cairan dan konsumsi logistik dalam tangki penyimpanan

- e. Beban akibat gaya-gaya yang disertakan dalam operasi struktur seperti alat dan material pengeboran, kapal angkut, penambatan kapal dan beban helikopter
- f. Beban akibat gaya-gaya yang disertakan dalam operasi struktur seperti *crane*. Gerakan *crane* terbatas dan dipengaruhi oleh *deadload*nya karena termasuk struktur tetap.

3. *Accidental Load*

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak dapat diduga sebelumnya yang mungkin terjadi pada suatu bangunan lepas pantai. Beban kecelakaan ini terjadi akibat :

- Tabrakan dengan kapal pemandu
- Putusnya tali katrol *crane*
- Putusnya tali tambat rantai jangkar, tali baja pengikat katrol
- Kebakaran, letusan, *blow out*
- Benda yang jatuh mengenai *deck*

4. *Environmental Load*

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh fenomena alam di lokasi suatu bangunan lepas pantai dioperasikan seperti angin, arus, gelombang, gempa, salju, es, dan gerakan bumi. Beban lingkungan juga termasuk variasi tekanan hidrostatik dan cadangan daya apung pada bagian struktur karena perubahan sarat air akibat gelombang dan pasang surut. Beban lingkungan harus diantisipasi dari segala arah meskipun kondisi spesifik lingkungan asli belum diketahui secara pasti .

2.2.4. Analisis *Inplace*

Mengingat beban statis merupakan acuan beban yang digunakan untuk analisis beban dinamis dan analisis lainnya pada struktur, maka dalam perencanaannya, diperlukan ketepatan desain, keakuratan perhitungan, dan juga ketelitian dalam memperhitungkan segala aspek yang berkaitan terhadap pembangunan struktur anjungan lepas pantai. Analisis *inplace* merupakan analisis statis struktur dengan mempertimbangkan *unity check* disyaratkan kurang dari 1 sebagai batas maksimum yang dapat diterima struktur berdasarkan pada 2 kondisi

pembebanan. Kondisi pembebanan tersebut antara lain :

- Kondisi Operasi

Pada kondisi ini, anjungan beroperasi secara normal sehingga struktur menerima seluruh beban kerja yang ada. Beban lingkungan yang terjadi pada stuktur seperti beban gelombang, angin dan arus diambil harga ekstrim untuk periode ulang 1 tahun.

- Kondisi Badai

Kondisi ini merupakan kondisi terjadinya badai pada lokasi struktur. Pada kondisi ini tidak akan ada beban *work over rig*, sedangkan beban hidup pada tiap level deck dianggap tereduksi sebesar 25%. Selain itu, *crane* dianggap tidak bekerja, akibatnya hanya ada beban *crane* vertikal saja.

Rasio tegangan (*unity check*) merupakan perbandingan antara tegangan aktual struktur dengan tegangan ijinnya seperti Persamaan 2.1 :

$$UC = \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{all}} \quad (2.1)$$

Dengan, UC = *Unity check member*

σ_{act} = Tegangan yang terjadi (ksi)

σ_{all} = Tegangan izin (ksi)

Platform harus didesain untuk kondisi pembebanan yang akan menghasilkan efek yang paling buruk terhadap struktur. Kondisi pembebanan harus meliputi kondisi lingkungan yang dikombinasikan dengan beban hidup dan beban mati yang sesuai melalui kondisi sebagai berikut :

- a. Kondisi beban lingkungan operasional dengan beban mati dan beban hidup maksimum berdasarkan kondisi operasi normal pada anjungan
- b. Kondisi beban lingkungan operasional dengan beban mati dan beban hidup minimum berdasarkan kondisi operasi normal pada anjungan
- c. Kondisi beban lingkungan ekstrim dengan beban mati dan beban hidup maksimum berdasarkan kondisi ekstrim pada anjungan
- d. Kondisi beban lingkungan ekstrim dengan beban mati dan beban hidup minimum berdasarkan kondisi ekstrim pada anjungan

2.2.5. Kriteria Penilaian *Platform* (*Platform Assessment*)

Dalam penilaian sebuah *platform* yang sudah ada, terdapat 6 komponen proses penilaian yaitu :

1. Pemilihan anjungan (*platform selection*)
2. Pengkategorian (*catgorization*)
3. Penilaian kondisi (*assessment condition*)
4. Cek basis desain (*design basis check*)
5. Analisis (*analysis check*)
6. Pertimbangan mitigasi (*consideration of mitigation*)

Kategori untuk keamanan dan keselamatan berdasarkan ISO 19902 adalah sebagai berikut:

- S -1 *High Consequence*, adanya personel tanpa evakuasi (*manned non evacuated*)

Konsekuensi kegagalan ini meliputi *platform drilling* dan atau produksi, *storage* atau *platform* tanpa unit fasilitas. Pada umumnya *platform* yang besar dan berada pada laut dalam yang menunjang fasilitas utama atau *pipeline* dengan *flowrate* yang tinggi.

- S -2 *Medium Consequence*, adanya personel dengan evakuasi (*manned evacuated*)

Kategori ini meliputi *platform drilling* dan atau produksi ukuran sedang, *living quarter*. Kategori ini secara umum banyak diterapkan pada *platform* yang menunjang fasilitas produksi secara penuh dengan *flowrate* yang sedang.

- S -3 *Low Consequence*, tidak ada personel (*unmanned*)

Pada umumnya yang termasuk kategori ini hanya *caisson* dan pelindung sumur. Kategori ini mempunyai potensi yang sangat kecil untuk kegagalan sumur karena terdapat *valve* pengaman yang ada di *sub – surface* dan sumur ditutup. Dan karena ukurannya yang kecil dan fasilitasnya terbatas, kerusakan yang dihasilkan dari kegagalan yang *platform* akan sangat rendah sekali.

Kategori untuk konsekuensi keandalan :

C -1 : kegagalan dengan konsekuensi tinggi (*high consequence of failure*)

C -2 : kegagalan dengan konsekuensi menengah (*medium consequence of failure*)

C -3 : kegagalan dengan konsekuensi rendah (*low consequence of failure*)

Tabel 2.1. Kriteria *Exposure Level* (ISO 19902)

<i>Life Safety Category</i>	<i>Consequence category</i>		
	<i>C1 High Consequence</i>	<i>C2 Medium Consequence</i>	<i>C3 Low Consequence</i>
<i>S1 Manned non evacuated</i>	LI	LI	LI
<i>S2 Manned evacuated</i>	LI	L2	L2
<i>S3 Unmanned</i>	LI	L2	L3

Tabel 2.2 Harga RSR Kondisi Lingkungan *North Sea* (ISO, 19902)

<i>Level</i>	<i>Exposure Category</i>	<i>Ultimate Strength Analysis</i>
L -1	<i>Manned Non evacuated</i>	<i>Reserve Strength Ratio</i> $\geq 1,92$
	<i>Unmanned</i>	<i>Reserve Strength Ratio</i> $\geq 1,85$
L -2	<i>Unmanned</i>	<i>Reserve Strength Ratio</i> $\geq 1,49$

2.2.6. Konsep Tegangan

2.2.6.1. Konsep Tegangan Normal

Apabila struktur mengalami pembebanan, maka pada elemen – elemen struktur akan timbul tegangan yang menyatakan aksi terbesar yang terjadi secara internal antara elemen – elemen yang berdekatan dengan struktur. Analisa tegangan dengan metode statis ini berdasarkan Hukum Hooke yang menganggap bahan bersifat elastis linier, sehingga prinsip superposisi bisa digunakan untuk menggabungkan tegangan akibat berbagai sistem pembebanan (Popov, 1993)

Gambar di bawah ini merupakan gambar batang tubular yang mengalami pembebanan aksial sebesar S_x dengan luas penampang A . Sehingga tegangan yang terjadi pada batang sesuai dengan Persamaan 2.2

$$F = \frac{S_x}{A} \quad (2.2)$$

Dengan, F = Tegangan

S_x = Pembebanan aksial

A = Luas penampang



Gambar 2.2. Pembebanan Aksial Pada Batang Tubular (Popov, 1993)

2.2.6.2. Tegangan Tarik Aksial

Tegangan tarik aksial yang diizinkan σ_t menurut ISO 19902, untuk member silinder yang mengalami beban tarik aksial dengan Persamaan 2.3:

$$\sigma_t \leq \frac{f_t}{\gamma_{R,t}} \quad (2.3)$$

Dengan, σ_t = Tegangan tarik aksial akibat gaya yang terfaktor

f_t = Kekuatan tarik aksial (ksi)

$\gamma_{R,t}$ = 1,05 ; Faktor ketahanan untuk tegangan tarik aksial

2.2.6.3. Tegangan Tekan Aksial

Tegangan tekan aksial yang diizinkan σ_c menurut ISO 19902, untuk member silinder yang mengalami beban tekan aksial dengan Persamaan 2.4:

$$\sigma_c \leq \frac{f_c}{\gamma_{R,c}} \quad (2.4)$$

Dengan, σ_c = Tegangan tekan aksial akibat gaya yang terfaktor

f_c = Kekuatan tekan aksial (ksi)

$\gamma_{R,c}$ = 1,18 ; Faktor ketahanan untuk tegangan tekan aksial

2.2.6.4. Tegangan Lentur

Tegangan izin *bending* σ_b menurut ISO 19902, untuk member silinder yang mengalami beban *bending* ditentukan dengan :

$$\sigma_b \leq \frac{f_b}{\gamma_{R,b}} \quad (2.5)$$

$$f_b = \left(\frac{Z_p}{Z_e}\right) f_y \quad , \text{ untuk } \frac{f_y D}{E t} \leq 0,0517 \quad (2.6)$$

$$f_b = \left[1,13 - 2,58 \left(\frac{f_y D}{E t}\right)\right] \left(\frac{Z_p}{Z_e}\right) f_y \quad , \text{ untuk } 0,0517 < \frac{f_y D}{E t} \leq 0,1034 \quad (2.7)$$

$$f_b = \left[0,94 - 0,76 \left(\frac{f_y D}{E t}\right)\right] \left(\frac{Z_p}{Z_e}\right) f_y \quad , \text{ untuk } 0,1034 < \frac{f_y D}{E t} \leq 120 \frac{f_y}{E} \quad (2.8)$$

$$Z_p = \frac{1}{6} [D^3 - (D - 2t)^3] \quad (2.9)$$

$$Z_e = \frac{\pi}{64} (D^4 - (D - 2t)^4) / \left(\frac{D}{2}\right) \quad (2.10)$$

Dengan, σ_b = Tegangan *bending* akibat gaya yang terfaktor

f_b = Kekuatan *bending* (ksi)

$\gamma_{R,b}$ = 1,05 ; Faktor ketahanan untuk tegangan *bending*

D = *Outside diameter*

t = *Thickness*

Z_p = Modulus plastis

Z_e = Modulus elastis

2.2.6.5. Kombinasi Tegangan Tarik Aksial dan *Bending*

Untuk *member* silinder yang mengalami kombinasi antara tegangan tarik aksial dan *bending* menurut ISO 19902 dengan Persamaan 2.11 :

$$\frac{\gamma_{Rt} \sigma_t}{f_t} + \frac{\gamma_{Rb} \sqrt{\sigma_{by}^2 + \sigma_{bz}^2}}{f_b} \leq 1,0 \quad (2.11)$$

Dengan, σ_{by} = Tegangan *bending* arah y (*inplane*) akibat gaya terfaktor (ksi)

σ_{bz} = Tegangan *bending* arah z (*out of plane*) akibat gaya terfaktor (ksi)

2.2.6.6. Kombinasi Tegangan Tekan Aksial dan *Bending*

Untuk *member* silinder yang mengalami kombinasi antara tegangan tekan aksial dan *bending* menurut ISO 19902 dengan Persamaan 2.12:

$$\frac{\gamma_{Rc} \sigma_c}{f_c} + \frac{\gamma_{Rb} \sqrt{\sigma_{by}^2 + \sigma_{bz}^2}}{f_b} \leq 1,0 \quad (2.12)$$

Dengan, σ_{by} = Tegangan *bending* arah y (*inplane*) akibat gaya terfaktor (ksi)

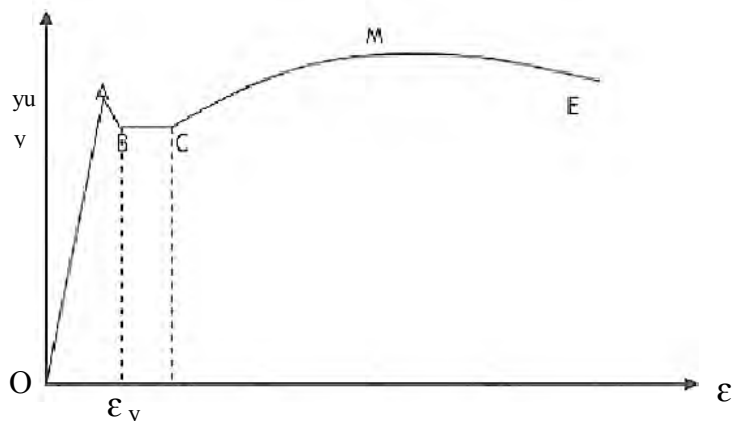
σ_{bz} = Tegangan *bending* arah z (*out of plane*) akibat gaya terfaktor (ksi)

2.2.7. Analisis Kekuatan *Ultimate*

Analisis kekuatan *ultimate* dilakukan untuk mengetahui kekuatan maksimum struktur dalam menahan beban yang terjadi. Pada analisis *ultimate*, elemen struktur dibiarkan untuk menerima beban yang melebihi kapasitasnya, elemen – elemen dapat meneruskan beban untuk mencapai kapasitasnya, tergantung pada kekakuan elemen dalam rentang *post elastic – plastis*. Analisis *ultimate strength* atau *pushover analysis* merupakan analisis statis non linier untuk mengetahui besarnya kapasitas struktur dalam menerima beban. Beban yang bekerja pada struktur akan ditambah secara bertahap hingga beban maksimal dan struktur mengalami keruntuhan. Ada dua jenis *load case* dalam pemodelan beban analisa *pushover*. *Load case* pertama yaitu beban vertikal yang bekerja pada struktur. Kemudian *load case* yang kedua adalah beban horizontal yang merupakan beban lingkungan dalam kondisi ekstrim (Hartanto, 2012).

2.2.8. Analisis Batas Tegangan *Ultimate (Ultimate Limit State)*

Analisis batas tegangan *ultimate* dilakukan untuk mengetahui kekuatan maksimum struktur menahan beban yang terjadi. Dalam analisis ini menggunakan metode *pushover* dengan cara penambahan beban lateral sampai struktur mengalami keruntuhan. Beberapa beban yang bekerja pada struktur mengakibatkan keruntuhan total dan ketidakmampuan struktur menahan beban lingkungan dan *topside*. Gambar 2.3 merupakan gambar diagram tegangan regangan struktur baja.



Gambar 2.3. Hubungan Tegangan – Regangan

Keterangan gambar :

OA : Garis *linier elastic*

σ_y : Titik leleh bawah (*lower yield point*)

σ_{yu} : Titik leleh atas (*upper yield point*)

BC : Daerah plastis (regangan bertambah , tetapi tegangan tetap)

M : Tegangan tarik *ultimate (ultimate tensile strength)*

E : Titik dimana kondisi material putus

CE : Dearah regangan tidak linier, dimana penambahan regangan akan diikuti dengan sedikit penambahan tegangan

Yield point (titik leleh) adalah batas dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Tegangan yang mengakibatkan material menunjukkan mekanisme leleh disebut dengan tegangan leleh (tegangan *yiled*). Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya *fracture*. Kekuatan tarik maksimum ditentukan dari beban maksimum dibagi luas

penampang. Tegangan luluh atas adalah tegangan maksimum sebelum material memasuki fase plastis, sedangkan tegangan luluh bawah adalah tegangan rata – rata daerah sebelum benar – benar memasuki daerah deformasi plastis.

Terdapat 3 hal yang menyebabkan struktur mengalami keruntuhan, yakni:

a. *Column Buckling*

Column buckling terjadi apabila tegangan yang terjadi melebihi *critical buckling stress*

b. *Joint Plastis*

Joint plastis terjadi karena *stress* yang berada pada keseluruhan *member* sudah mencapai plastisitas 100 %, sehingga *joint* sudah tidak mempunyai kekakuan untuk menahan beban yang terjadi pada *joint*

c. *Joint Failure*

Joint failure terjadi karena pengaruh dari interaksi antar *intrnal load* dan *moment* yang terjadi pada *chord* yang berada diantara *joint*, sehingga beban pada *brace* tidak bisa didistribusikan pada *chord*.

Ultimate Limit State secara formal didefinisikan sebagai suatu kondisi dimana struktur member tertentu atau seluruh struktur gagal untuk menjalankan fungsi yang diharapkan. Kriteria desain struktural untuk mencegah ULS didasarkan pada runtuhnya plastis atau kekuatan utama. *Ultimate Strength* atau kekuatan batas merupakan runtuhnya struktur akibat hilangnya kekuatan. Kerugian tersebut mungkin berhubungan dengan :

- Hilangnya keseimbangan sebagian atau seluruh struktur, sering dianggap sebagai benda tegar (misal *overtuning*)
- Pencapaian ketahanan maksimum daerah struktur, member atau sambungan oleh *gross yielding* dan *fracture*
- Ketidakstabilan di sebagian atau seluruh struktur akibat *buckling* dan *plactic collapse* plating, kaku panel dan anggota dukungan

2.2.9. Reserve Strength Ratio (RSR) dan System Redundancy

Struktur *jacket platfotm* mempunyai *Reserve Strength Ratio* (RSR) yang berbeda untuk setiap arah pembebanan dan RSR yang diambil adalah RSR yang paling kecil / minimum . Secara dasar analisa ini dilakukan dengan cara

menetapkan beban-beban yang akan digunakan, biasanya beban vertikal adalah beban yang dianggap tetap sedangkan beban lingkungan adalah beban yang dinaikkan (*incremental load*), beban lingkungan dalam kondisi ekstrim ini dinaikkan secara perlahan sampai batas kekuatan dari struktur tercapai. RSR dapat dihitung dengan Persamaan 2.13 :

$$RSR = \frac{\text{Beban struktur collapse}}{\text{Beban kondisi awal}} \quad (2.13)$$

Selain perhitungan RSR perhitungan *system redundancy* (SR) adalah salah satu aspek untuk kriteria *assessment* suatu anjungan lepas pantai terpancang. SR merupakan rasio beban saat struktur *collapse* dengan beban saat pertama kali terjadi kegagalan member (Bomel, 2003) dengan Persamaan 2.14:

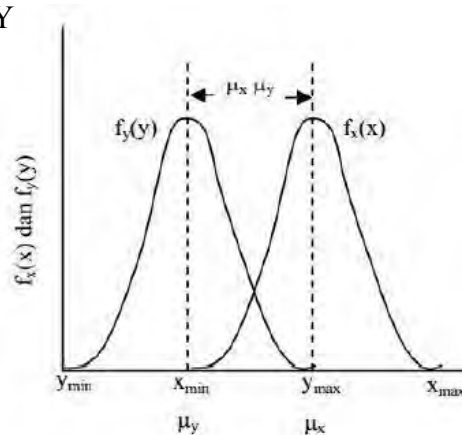
$$SR = \frac{\text{Beban pada saat struktur collapse}}{\text{Beban pada saat 1 member failure}} \quad (2.14)$$

2.2.10. Keandalan Pada Sistem Rekayasa

Sistem dari keandalan pada dasarnya dapat ditunjukkan sebagai problematika antara *demand* (tuntutan/beban) dan *capacity* (kapasitas /kekuatan). Secara tradisional didasarkan atas *safety factor* (angka kemandan) yang sesuai. Ukuran konvensional untuk angka kemandan adalah perbandingan antar asumsi harga nominal kapasitas X' dan beban Y' yang dirumuskan pada Persamaan 2.15:

$$Z' = \frac{X'}{Y'} \quad (2.15)$$

Mengingat harga nominal dari kapasitas X' dan beban Y' tidak dapat ditentukan dengan pasti, fungsi-fungsi kapasitas dan beban perlu dinyatakan sebagai peluang. Dengan demikian, angka kemandan dinyatakan dengan perbandingan $Z = X / Y$ dari 2 variabel acak X dan Y



Gambar 2.4. Fungsi Kerapatan Peluang apasitas X dan tuntutan Y (Rosyid, 2007)

Ketidakmampuan suatu sistem untuk memenuhi tuntutan dan tugasnya, yang diukur dengan peluang kegagalan dapat dihubungkan dengan bagian dari distribusi angka keamanan yang nilainya kurang dari satu, yaitu porsi dalam dimana $Z = X / Y$ kurang dari 1. Peluang Kegagalan sistem, P_f diberikan dengan persamaan 2.16:

$$P_f = P [Z \leq 1] = F_z (1) \quad (2.16)$$

Dengan F_z adalah fungsi distribusi kumulatif dari Z dengan pernyataan lain, peluang sistem untuk tidak gagal (keandalan) adalah :

$$K = 1 - P_f = P [Z > 1] = 1 - F_z (1) \quad (2.17)$$

Ketika distribusi peluang bersama (*joint probability distribution*) dari X dan Y diketahui, kenadalan sebuah sistem dapat dihitung berdasarkan fungsi distribusi kumulatif dari X/Y . Peluang kegagalan nol ($P_f = 0$) dan keandalan 100 ($K = 1$) hanya terjadi ketika tuntutan maksimum Y_{max} tidak melewati kapasitas minimum X_{min} , sehingga kedua distribusi tidak saling *overlap*.

2.2.11. Indeks Keandalan

Cara lain untuk mengukur keandalan adalah dengan cara menggunakan indeks keandalan β , yang didefinisikan sebagai perbandingan antara rata-rata dan simpangan baku dari margin keselamatan, S , yaitu:

$$\beta = \frac{\mu_s}{\sigma_s} \quad (2.18)$$

Jika menggunakan nilai kritis margin keselamatan, $S = 0$, dan jaraknya dengan rata-rata margin keamanan μ_s , maka indeks keandalan ini dapat diinterpretasikan sebagai jumlah kelipatan simpangan baku σ_s pada jarak ini. Artinya, jarak antara $S = 0$ dengan μ_s ini dapat dibagi menjadi beberapa simpangan baku. Semakin panjangnya, relatif terhadap simpangan baku, maka semakin besar indeks keandalannya. Selanjutnya, indeks keandalan juga berbanding terbalik dengan koefisien variasi margin keselamatan (V_s), atau dapat dituliskan $\beta = 1/V_s$ maka peluang kegagalan adalah:

$$P_f = 1 - \Phi(\beta) \quad (2.19)$$

$$K = \Phi(\beta) \quad (2.20)$$

2.2.12. Metode Simulasi *Monte Carlo*

Simulasi adalah teknik untuk mengetahui perilaku model yang menghasilkan simulasi data yang harus diperlakukan secara statistik untuk memprediksi perilaku sistem ke depannya. Dalam arti luas, simulasi memiliki ruang lingkup khusus, Menurut Rosyid (2007), ketika suatu sistem yang sedang dipelajari mengandung variabel atau parameter yang memiliki nilai random atau mengandung variabel acak, maka metode simulasi *Monte Carlo* dapat digunakan untuk memecahkan persoalan ini. Karakteristik pokok simulasi *Monte Carlo* adalah bahwa simulasi ini, suatu set nilai tiap – tiap variabel (satu nilai untuk setiap variabel) dari suatu sistem disimulasikan berdasarkan distribusi peluangnya, misalnya berdasarkan fungsi kerapatan peluang tiap – tiap variabel tersebut. Untuk setiap set ini, respon atau kinerja sistem dihitung berdasarkan fungsi kinerjadari sistem tersebut.

Perhitungan respon atau kinerja sistem ini bersifat deterministik untuk suatu set nilai dari setiap variabel. Prosedur ini diulang – ulang samapi diperoleh sekumpulan nilai dari respon atau kinerja sistem tersebut, sehinggalah pada akhir simulasi akan diperoleh sekumpulan data respon atau kinerja sistem. Sekumpulan data ini dapat dianggap sebagai sampel data. Dengan analisis statistik dapat dilakukan untuk menentukan rata – rata, simpangan baku, bahkan distribusi dari respon atau kinerja sistem tersebut,

Unsur pokok yang diperlukan didalam simulasi *Monte Carlo* adalah sebuah *random number generator*. Hal ini dikarenakan secara teknis, prinsip dasar metode simultan *Monte Carlo* sebenarnya adalah sampling numerik dengan bantuan *random number generator*, dimana simulasi dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dari perubahan acak berdasarkan distribusi peluang perubahan acak tersebut. Hal ini berarti simulasi *Monte Carlo* mensyaratkan bahwa distribusi peluang dari perubahan acak yang terlibat di dalam sistem yang sedang dipelajari telah diketahui atau dapat diasumsikan. Sampel yang telah diambil tersebut dipakai sebagai masukan ke dalam persamaan fungsi kinerja MK (x) dan harga MK (x) kemudian dihitung. Untuk suatu fungsi kinerja tertentu, misalnya setiap kali $MK(x) < 0$ maka sistem/komponen yang ditinjau dianggap gagal, jika jumlah sampel tersebut adalah N (atau replika sejumlah N) maka dapat dicatat kejadian

$MK(x) < 0$ sejumlah n kali. Dengan demikian, peluang kegagalan sistem / komponen yang sedang ditinjau adalah rasio antara kejadian jumlah gagal dengan jumlah sampel atau replikasi, $P_{\text{gagal}} = n / N$

Persoalan utama di dalam simulasi Monte Carlo adalah bagaimana mentransformasikan angka acak yang dikeluarkan oleh random number generator (RNG) menjadi besaran fisis yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluang (fkp)-nya. Ini disebabkan karena angka acak yang dikeluarkan oleh RNG memiliki fkp uniform, sedangkan perubah dasar dalam $MK(x)$ seringkali tidak demikian (misal terdistribusi secara normal, lognormal, dan sebagainya). RNG biasanya ada dalam CPU komputer sebagai built-in computer program dalam bagian ROM-nya. RNG yang disediakan ini hampir selalu berbentuk linear congruential generator yang mengeluarkan suatu deretan bilangan cacah (integer) I_1, I_2, I_3, \dots , masing-masing antara 0 dan $m-1$ (m sebuah bilangan yang besar sekali) dengan menggunakan sebuah relasi rekurens Persamaan 2.21:

$$I_{j+1} = aI_j + C \pmod{m} \quad (2.21)$$

Dengan m disebut modulus, dan a serta c adalah bilangan cacah (integer) yang berturut-turut disebut sebagai pengganda dan inkremen. Relasi rekurens di atas akan berulang dengan periode yang lebih kecil dari m . Jika m, a, c , dipilih secara seksama, maka periode ulang yang terjadi akan memiliki panjang maksimum, yaitu m . Dalam hal itu, semua bilangan cacah (integer) antara 0 dan $m-1$ akan muncul, sehingga setiap pilihan "biji I_0 " akan menghasilkan deret yang secara statistik sama baiknya.

Semua angka acak $a_p, P = 1, 2, \dots, M$, dengan fkp uniform akan dikeluarkan oleh RNG untuk kemudian ditransformasikan menjadi $XP, P = 1, 2, \dots, M$. Transformasi a_p (bilangan acak) menjadi XP (perubah acak ke P) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan distribusi komulatif dari masing-masing perubah acak. Ini berarti untuk setiap perubah acak dihitung sendiri-sendiri sesuai dengan distribusi peluangnya (atau fkp-nya). Jika bilangan acak telah ditransformasikan menjadi perubah acak, $MK(x)$ kemudian dihitung, ini adalah kondisi sukses (tidak gagal) dan eksperimen dilanjutkan; sedang apabila $MK(x) \geq 0$, maka ini adalah kondisi sukses (tidak gagal) dan eksperimen dilanjutkan; sedang apabila $MK(x) <$

0, maka ini dicatat dan disimpan dalam n. Eksperimen ke k dilanjutkan sampai K = N, sesudah itu peluang kegagalan sistem/komponen dihitung sebagai n/N.

2.2.13. Keandalan Sistem

2.2.13.1. Keandalan Sistem Seri

Dari aspek kegagalan, sebuah sistem dikatakan seri apabila kegagalan salah satu komponen penyusunnya sudah cukup untuk menyebabkan kegagalan sebagian atau keseluruhan sistem tersebut. Dari sudut keandalan, seluruh komponen harus berfungsi supaya sistem dapat berfungsi. Sistem seperti ini disebut juga *weakest-link system*. Sebuah mata rantai adalah contoh termudah dari sebuah sistem seri. Kegagalan satu mata rantai sudah cukup untuk menjadikan rantai tersebut tidak berfungsi sama sekali. Secara grafis, sistem seri dapat dilihat dalam Gambar 2.5 berikut ini :



Gambar 2.5. Representasi Grafis Sebuah Sistem Seri Dengan n-komponen
(Rosyid, 2007)

Untuk sistem dengan dua komponen seri masing-masing dengan peluang kesuksesan (keandalan) K_1 dan K_2 , keandalan system tersebut adalah $K_S = K_1 \cdot K_2$. Apabila sistem tersebut tersusun n-komponen secara seri, maka keandalan sistemnya adalah :

$$K_S = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n \quad (2.22)$$

Dengan memperhatikan persamaan diatas, maka dapat dipahami bahwa semakin banyak komponen dalam sebuah sistem seri, keandalan sistem itu menurun.

2.2.13.2. Keandalan Sistem Paralel

Dari aspek kegagalan, bila sebuah sistem memerlukan kegagalan seluruh komponen penyusunnya untuk tidak berfungsi sama sekali, maka sistem ini disebut sistem paralel. Dari segi keandalan, maka sistem seperti ini hanya memerlukan satu komponen penyusunnya yang berfungsi agar sistem keseluruhan tetap berfungsi. *Reliability Block Diagram* (RBD). Bila kegagalan komponen dapat dianggap s-independent, maka peluang kegagalan sistem paralel ini adalah:

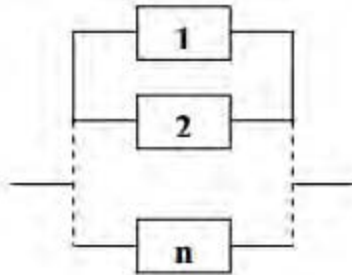
$$F_S = F_1 \cdot F_2 \cdot \dots \cdot F_n \quad (2.23)$$

Atau, bila dinyatakan dalam keandalan komponennya

$$F_s = (1 - K_1) \cdot (1 - K_2) \cdot \dots \cdot (1 - K_n) \quad (2.24)$$

Maka keandalan sistemnya adalah:

$$K_s = 1 - [(1 - K_1) \cdot (1 - K_2) \cdot \dots \cdot (1 - K_n)] \quad (2.25)$$



Gambar 2.6. RBD Sistem Pararel Aktif Dengan n-komponen (Rosyid, 2007)

Agaknya lebih mudah untuk dipahami bahwa secara prinsip paralelisasi akan meningkatkan keandalan sistem. Namun demikian dapat dilihat pada strategi paralelisasi, bahwa peningkatan keandalan paling tinggi diperoleh pada penambahan satu komponen pertama. Sesudah itu, penambahan komponen ketiga dan selanjutnya tidak akan meningkatkan keandalan sistem secara mencolok sebagaimana pada penambahan pertama

2.2.14. Penilaian Resiko (*Risk Assessment*)

Disamping mempertimbangkan beban yang bekerja pada struktur, kriteria terpenting yang juga perlu dipertimbangkan dalam mendesain suatu anjungan lepas pantai adalah keandalan struktur yang juga mempengaruhi seluruh subsistem yang ada pada struktur terkait kinerja dan efisiensi operasional struktur. Namun adanya ketidakpastian menimbulkan persoalan keandalan atau ketidakandalan. Karena terjadinya kegagalan mengakibatkan munculnya berbagai bahaya yang terjadi akibat kelalaian manusia dan pengaruh dari luar seperti pada saat instalasi ataupun proses operasional lainnya antara lain :

- Ledakan sumur (*blowouts*)
- Kebakaran (*fires*)
- Benda jatuh (*falling objects*)
- Tubrukan kapal dan helikopter (*ship and helicopter collision*)
- Gempa (*earthquakes*)
- Cuaca yang buruk (*extreme weather*)

- Kombinasi dari kejadian – kejadian tersebut

Terjadinya kegagalan mengakibatkan berbagai konsekuensi teknis dan ekonomis, maka ketidakandalan menimbulkan resiko. Resiko adalah hasil dari frekuensi dengan kejadian tidak diinginkan yang diantisipasi untuk terjadi dengan konsekuensi dari hasil kejadian. Analisis resiko adalah proses pemahaman sesuatu yang tidak diinginkan dapat terjadi, bagaimana kemungkinannya untuk terjadi, dan separah apa akibatnya apabila terjadi. Penilaian resiko termasuk analisis resiko tetapi juga termasuk proses dengan hasil dari analisis resiko yang dipertimbangkan terhadap keputusan, standard atau kriteria. Analisis resiko dapat disusun berdasarkan 4 langkah dasar antar lain :

- Mengidentifikasi potensial bahaya yang terjadi
- Menghitung peluang terjadinya kegagalan
- Menentukan konsekuensi yang akan terjadi
- Melakukan evaluasi resiko

Dasar penilaian resiko dapat dilakukan pada awal tahap desain, seperti konsep desain, atau sesudahnya. Penilaian resiko untuk konsep desain berpeluang untuk memberikan pandangan pada tipe, jumlah dan besar resiko digabungkan dengan konsep desain. Informasi ini akan memperkenankan investigasi pilihan desain resiko yang lebih rendah sebelum banyak usaha yang telah ditujukan untuk menyempurnakan desain. Dalam beberapa kasus pengujian desain yang telah lolos penilaian resiko dalam tahap konsep akan memerlukan penilaian resiko yang lain hingga pada tahap desain yang rumit dan lengkap.

Resiko didefinisikan sebagai hasil dengan kejadian yang diantisipasi terjadi dan konsekuensi dari kejadian. Dalam lingkup matematika, resiko dapat dihitung dengan menggunakan matriks resiko. Adapun hubungan antara keandalan, peluang terjadinya kegagalan, resiko, dan konsekuensi kegagalan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Reliability = 1 - probability\ of\ failure \quad (2.26)$$

$$Risk = probability\ of\ failure \times consequence\ of\ failure \quad (2.27)$$

Kedua fungsi resiko tersebut diperlukan untuk identifikasi terhadap bobot kontribusi atau peranan masing – masing guna mengetahui batasan – batasan dan

penilaiannya. Pada umumnya perhitungan dengan metode *Risk Based Inspection* dibagi dalam tiga jenis :

- a. Kualitatif
- b. Semi – quantitative
- c. Quantitative

Tabel 2.3. Kategori *Probabilty of Failure* (DNV RP G – 101)

Cate- gory	Annual Failure Probability		Description
	Quantitative	Qualitative	
5	$> 10^{-2}$	Failure Expected	(1) In a small population*, one or more failures can be expected annually (2) Failure has occurred several times a year in location
4	$10^{-3} - 10^{-2}$	High	(1) In a large population**, one or more failures can be expected annually (2) Failure has occurred several times a year in operating company
3	$10^{-4} - 10^{-3}$	Medium	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a small number of components (2) Failure has occurred in operating company
2	$10^{-5} - 10^{-4}$	Low	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components (2) Failure has occurred in industry
1	$< 10^{-5}$	Negligible	(1) Failure is not epected (2) Failure has not occurred in industry
Notes :			
* Small population = 20 to 50 components			
** Large population = more than 50 components			

Tabel 2.4. Kategori *Consequence of Failure* (DNV RP G – 101)

Tingkat	Consequence of failure		
	Keselamatan Personil	Dampak Lingkungan	Dampak Finansial
A	Diabaikan	Diabaikan	Diabaikan
B	Luka ringan	Ringan	Ringan
C	Luka berat	Lokal	Lokal
D	Kematian	Besar	Besar
E	Banyak kematian	Sangat Besar	Sangat Besar

2.2.15. Matriks Resiko

Kriteria penerimaan untuk memutuskan persamaan dari tujuan desain harus diadakan. Kriteria penerimaan harus dapat diaplikasikan pada evaluasi matriks yang telah dipilih. Jika ukuran digunakan untuk evaluasi matriks, pada tahap ini matriks resiko dengan kriteria penerimaan yang akan digunakan. Dengan pilihan, untuk perbandingan penilaian, kriteria penerimaan dapat didasarkan pada konsekuensi atau hanya pada frekuensi saja. Gambar 2.7 merupakan gambar matriks resiko yang digunakan untuk menentukan kriteria penerimaan

PoF Ranking	PoF Description	A	B	C	D	E
5	(1) In a small population, one or more failures can be expected annually. (2) Failure has occurred several times a year in the location.	YELLOW	RED	RED	RED	RED
4	(1) In a large population, one or more failures can be expected annually. (2) Failure has occurred several times a year in operating company.	YELLOW	YELLOW	RED	RED	RED
3	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a small number of components. (2) Failure has occurred in the operating company.	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED	RED
2	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components. (2) Failure has occurred in industry.	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED
1	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components. (2) Failure has occurred in industry.	GREEN	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW
CoF Types	Safety	No Injury	Minor Injury Absence < 2 days	Major Injury Absence > 2 days	Single Fatality	Multiple Fatalities
	Environment	No pollution	Minor local effect. Can be cleaned up easily.	Significant local effect. Will take more than 1 man week to remove.	Pollution has significant effect upon the surrounding ecosystem (e.g. population of birds or fish).	Pollution that can cause massive and irreparable damage to ecosystem.
	Business	No downtime or asset damage	< € 10,000 damage or downtime < one shift	< € 100,000 damage or downtime < 4 shifts	< € 1,000,000 damage or downtime < one month	< € 10,000,000 damage or downtime one year
CoF Ranking		A	B	C	D	E

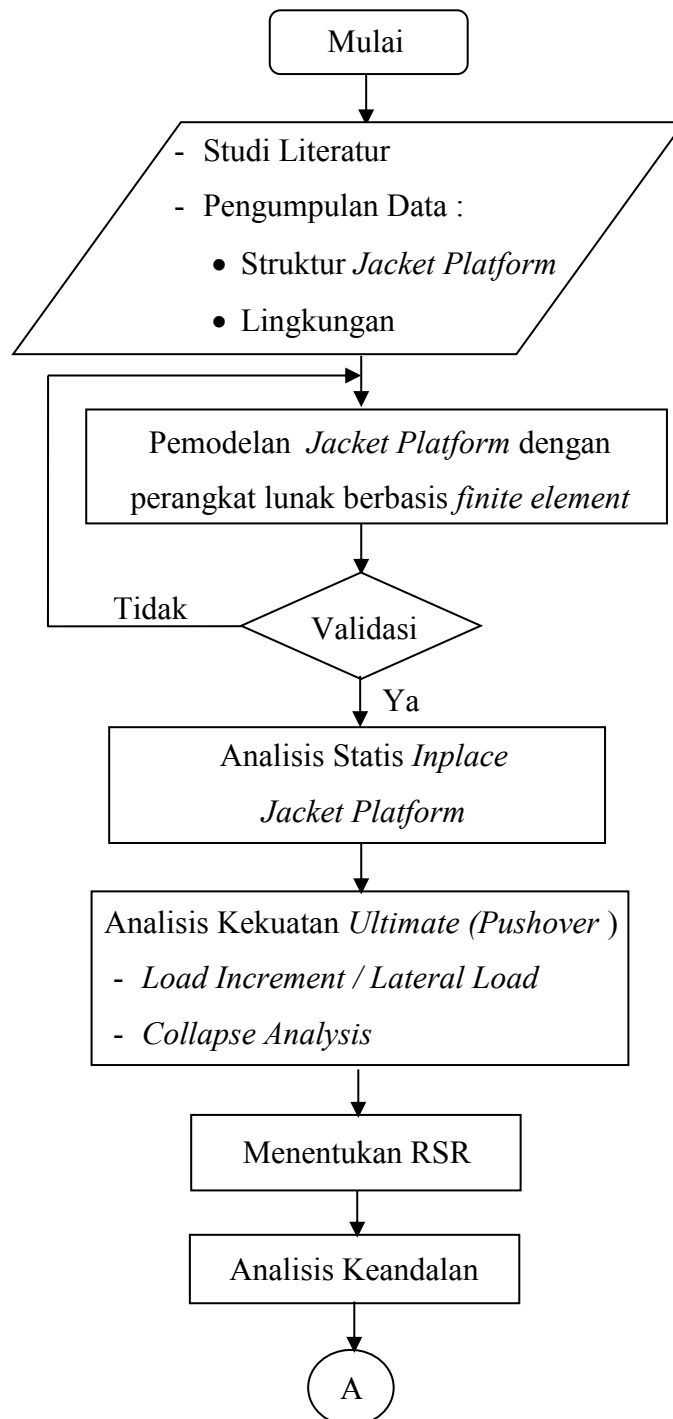
Gambar 2.7.. Matriks Resiko (DNV RP G – 101)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

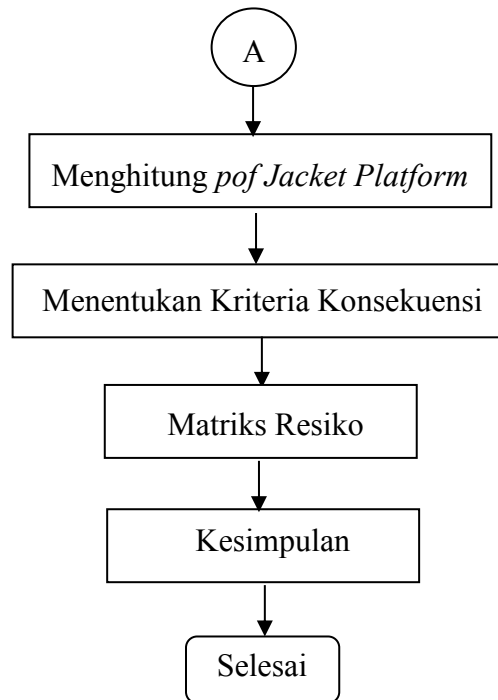
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian

Penjelasan mengenai tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 3.1:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

3.2. Prosedur Penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian diatas, adapun prosedur penelitian dan langkah – langkah penelitian dalam mencapai tujuan Tugas Akhir ini dijelaskan sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi dan pengumpulan literatur sebagai bahan – bahan referensi dan sumber teori – teori yang berkaitan dan diperlukan dalam penyelesaian Tugas Akhir kali ini.

2. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan berupa data struktur, data lingkungan, data pembebanan dan data tanah pada struktur *Jacket Wellhead Platform* UL A milik PT. PHE ONWJ.

3. Pemodelan *Jacket Platform* dengan perangkat lunak berbasis *finite element*

Pemodelan *Jacket Platform* UL A beserta *appurtenance* berdasarkan desain struktur dengan perangkat lunak berbasis *finite element* dan memasukkan beban yang bekerja pada struktur seperti beban equipment, beban perpipaan, beban hidup, dan beban lingkungan.

4. Validasi

Pembuktian dengan menyamakan berat struktur *Jacket Wellhead Platform* UL A yang dimodelkan dengan berat struktur sesungguhnya. Validasi selalu dibutuhkan dalam tahap pemodelan. Hal ini bertujuan untuk membuktikan bahwa struktur yang dimodelkan sudah dapat mewakili struktur sesungguhnya.

5. Analisis Statis *Inplace Jacket Platform*

Melakukan analisis statis *inplace* pada struktur sebelum hingga setelah mengalami *scouring*. Analisis ini digunakan untuk mendapatkan UC (*Unity Check*) *Member* dan mengetahui kemampuan struktur *jacket platform* dalam menerima beban.

6. Analisis Kekuatan *Ultimate (Pushover)*

- Memasukkan data *input* model yang telah digunakan pada proses pembebanan statis *inplace* pada perangkat lunak berbasis *finite element*.
- Memasukkan data *input pushover analysis (vertical load dan lateral load)* pada model yang telah dibuat dengan memberikan *load case* pada *load sequence* (tahap penambahan beban) yang akan dibuat.
- *Input data* pada file *collapse input* untuk di *running full plastic collapse analysis*.

7. Menentukan RSR

Membandingkan RSR (*Reserve Strength Ratio*) pada struktur sebelum hingga setelah mengalami *scouring*

8. Analisis Keandalan

Menentukan moda kegagalan struktur *Jacket Wellhead Platform* UL A berdasarkan *ultimate combine stress* sebelum hingga setelah mengalami *scouring*. Analisis menggunakan simulasi *Monte Carlo* untuk mendapatkan PoF *member* struktur

9. Menentukan Kriteria Konsekuensi

Struktur dapat dikategorikan dengan variasi tingkatan yang ditentukan untuk desain anjungan yang baru dan penilaian anjungan yang sudah ada

berdasarkan *codes*. Kriteria konsekuensi kegagalan berdasarkan tingkatan konsekuensi tinggi, menengah, dan rendah dengan acuan RSR

10. Matriks Resiko

Membuat matriks resiko berdasarkan peluang kegagalan dan konsekuensi.

3.3. Pengumpulan Data

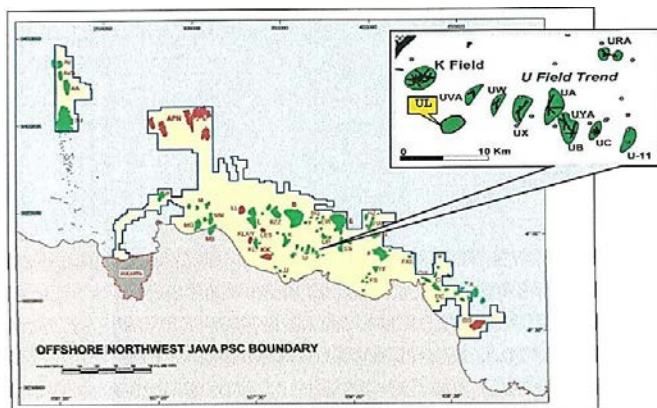
3.3.1. Data Struktur

Wellhead Platform UL A merupakan struktur bangunan lepas pantai jenis *fixed platform* (terpancang) yang berupa *jacket* milik Pertamina Hulu Energi *Offshore North West Java* yang berada di area UL. UL A berada sekitar 25,35 km barat daya dari Arco Ardjuna *Platform* dan 24,74 km barat laut Pemanukan, Kabupaten Subang. Tepatnya UL A berada pada koordinat $06^{\circ} 05' 39.44''$ LS dan $107^{\circ} 42' 29.07''$ BT.



Gambar 3.2. Lokasi UL A *Wellhead Platform* di Indonesia (www.googleearth)

UL A berada sekitar 6,1 km barat laut dari UW *Platform* dan 14 km barat UPRO *Platform* .



Gambar 3.3. Lokasi UL A *Wellhead Platform* (PT. BKI (Persero))

Jacket wellhead platform UL A dilengkapi oleh 4 deck yang terdiri atas *Main Deck* pada elevasi (+) 58 ft, *Mezzanine Deck* pada elevasi (+) 41,8 ft, *Cellar*

Deck pada elevasi (+) 33 ft, dan *Sub Cellar Deck* pada elevasi (+) 23 ft. Struktur *jacket* pada platform ini mempunyai 3 kaki dengan masing – masing kaki memiliki diameter sebesar 34 in dengan umur *fatigue* struktur mencapai 40 tahun. Struktur ini terdiri dari 3 kaki dengan 2 kaki – kaki *jack up platform* ini memiliki better 1 : 6 sedangkan satu kaki lainnya berbentuk tegak lurus.



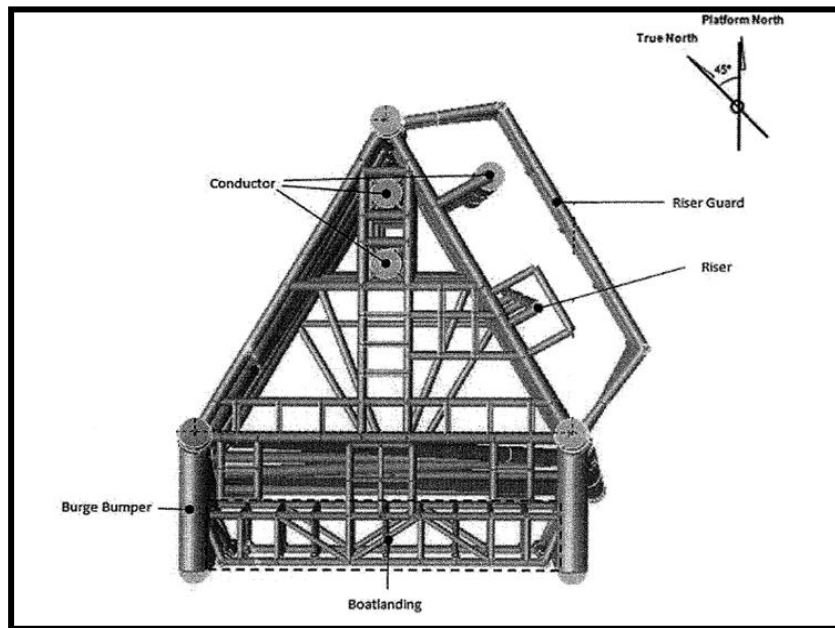
Gambar 3.4. *Wellhead Platform UL A PHE ONWJ (PT. BKI (Persero))*

Tabel 3.1. Data Lokasi *Wellhead Platform UL A PHE ONWJ (PT. BKI (Persero))*

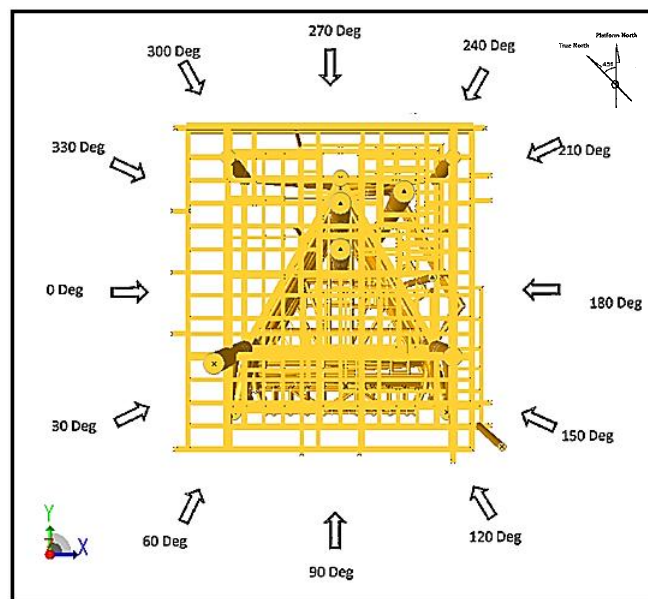
<i>LOCATION</i>	
<i>Latitude</i>	06° 05' 39.44" S
<i>Longitude</i>	107° 42' 29.07" E
<i>Easting</i>	357 053 mE
<i>Northing</i>	9 326 266 mN
<i>Water Depth</i>	74.875 ft w.r.t. MSL
<i>Orientation</i>	<i>The Platform North at 45° East of The True North</i>

Tabel 3.2 . Deskripsi *Wellhead Platform* UL A PHE ONWJ (PT. BKI (Persero))

JACKET	
Geometry	3 Legged (one vertical leg and two battered legs 1:6)
Leg Diameter	33 inches to 34 inches (varies)
Plan Level 1 (Top Level)	Elev (+) 12'-0"
Plan Level 2	Elev (-) 16'-0"
Plan Level 3	Elev (-) 46'-0"
Plan Level 4 (Bottom Level)	Elev (-) 74'-10,5"
DECK	
Number of Decks	4
Leg Spacing	30 ft x 30 ft
Deck Leg Diameter	30 inches
Main Deck Elevation	TOS Elev (+) 58'-0"
Wellhead Deck Elevation	TOS Elev (+) 41'-8"
Cellar Deck Elevation	TOS Elev (+) 33'-0"
Sub Cellar Deck Elevation	TOS Elev (+) 23'-0"
PILE AND CONDUCTOR	
Number and Type of Pile	3 x Main Leg Pile
Diameter of Piles	30 inches
Pile Installation	Driven in to seabed and no grouting
Diameter of Conductor	30 inches
Number of Conductor	3
APPURTUNANCES	
Boat Landing	One boat landing at Platform South
Barge Bumper	Two barge bumper
Riser	One – 12"
Riser Guard	One riser guard at Platform East



Gambar 3.5. Konfigurasi *Wellhead Platform* UL A PHE ONWJ (PT. BKI (Persero))



Gambar 3.6. Arah Beban Lingkungan

3.3.2. Data Lingkungan

3.3.2.1. Data Angin

Beban angin yang mengenai bagian *topside*, *deck leg*, dan *jacket leg* perlu dipertimbangkan dalam sebuah perencanaan dengan data sebagai berikut:

Tabel 3.3. Kecepatan Angin Saat Kondisi Operasi dan Badai (*PT. BKI (Persero)*)

<i>Description</i>	<i>Return Period</i>	
	<i>1 – Year Operating</i>	<i>100 – Year Storm</i>
<i>Wind Speed (Mph)</i>	38 Mph	63 ph

3.3.2.2.Data Arus

Data arus berupa data kecepatan arus berdasarkan kedalaman laut yaitu :

Tabel 3.4. Data Kecepatan Arus Berdasarkan Kedalaman (*PT. BKI (Persero)*)

<i>Percent of Depth (%)</i>	<i>Current Speed (ft / sec)</i>	
	<i>1 – Year Operating</i>	<i>100 – Year Storm</i>
0	3.0	4.0
10	2.8	3.7
20	2.6	3.4
30	2.4	3.2
40	2.2	2.9
50	2.0	2.6
60	1.8	2.4
70	1.6	2.2
80	1.4	2.0
90	1.2	1.7
100	0.8	1.0

3.3.2.3.Data Gelombang**Tabel 3.5.** Data Gelombang (*PT. BKI (Persero)*)

<i>Description</i>	<i>Return Period</i>	
	<i>1 – Year Operating</i>	<i>100 – Year Storm</i>
<i>Maximum Wave Height (ft)</i>	16.7 ft	28.3 ft
<i>Maximum Wave Period (sec)</i>	7.1 sec	9.4 sec

3.3.2.4.Data Kedalaman Perairan

Kedalaman perairan yang digunakan dalam analisa *platform* ini yaitu :

Tabel 3.6. Kedalaman Perairan (*PT. BKI (Persero)*)

<i>Description</i>	<i>Return Period</i>	
	<i>1 – Year Operating</i>	<i>100 – Year Strom</i>
<i>Storm Surge</i>	0.5 ft	0.8 ft
<i>Highest Astronomical Tide (HAT)</i>	3.8 ft	3.8 ft
<i>Lowest Astronomical Tide (LAT)</i>	-1.64 ft	-1.64 ft
<i>Max Water Depth (MSL + ½ HAT + Storm Surge)</i>	77.275 ft	77.575

3.3.2.5.Current Blockage Factor

Tabel 3.7. Current Blockage Factor (*PT. BKI (Persero)*)

<i>% of Legs</i>	<i>Heading</i>	<i>Factor</i>
3	<i>All (End On, Diagonal, Broadside)</i>	0.9

3.3.2.6.Faktor Kinematik Gelombang

Tabel 3.8. Faktor Kinematik Gelombang (*PT. BKI (Persero)*)

<i>Description</i>	<i>Return Period</i>	
	<i>1 – Year Operating</i>	<i>100 – Year Strom</i>
<i>Faktor Kinematik Gelombang</i>	0.9	1

3.3.3. Data Pembebanan

Pembebanan deck secara vertikal merupakan terdiri dari beban dek itu sendiri, ditambah dengan berat peralatan diatas dek tersebut termasuk beban perpipaan, beban electrical dan innstrumentation, beserta beban hidup yakni sebagai berikut :

Tabel 3.9. Beban Vertikal Pada *Platform* UL A PHE ONWJ (PT. BKI (Persero))

Description	Basic Weight (kips)
Structured Dead Load	
a. Topside	170,895
b. Jacket	187,283
c. Boatlanding	14,282
d. Burge Bumper	16,387
e. Riser Guard	9,896
f. Pile	91,047
g. Conductor	100,949
Equipment Load – Main Deck (Test Separator, Pig Launcher, CO ₂ Snuffing System, Chemical Injection Package, N ₂ Package)	80,068
Equipment Load – Cellar Deck (Gas Lift Separator, Instrument Gas Package, Instrument Gas Heater)	19,136
Equipment Load – Sub Cellar Deck (Slop Tank, Slop Pump)	9,161
Piping Load - Main Deck	43,064
Piping Load - Cellar Deck	34,144
Piping Load - Mezzanine Deck	26,680
Piping Load – Sub Cellar Deck	3,991
Electrical and Instrumentation – Main Deck	8,489
Electrical and Instrumentation – Cellar Deck	7,123
Live Load – Main Deck	153,410
Live Load – Cellar Deck	40,358
Live Load – Mezzanine Deck	16,850
Live Load – Sub Cellar Deck	8,815
Crane (Self Weight) Load	44,10
Crane Moment	28,36

3.3.4. Data Tanah

Data yang sangat penting dalam analisa struktur yang mengalami *scouring* adalah data tanah karena akan mempengaruhi kapasitas pile dalam meyokong struktur untuk tetap berdiri. Data tanah yang digunakan dalam bentuk kurva PY, QZ, dan TZ yang telah dikonversikan dalam bentuk tabel. Data tanah PY merupakan ketahanan tanah secara lateral. Data tanah TZ merupakan transfer

beban secara aksial. Data tanah QZ merupakan beban yang mengenai permukaan *pile / bearing*. Data tanah struktur *Wellhead Platform UL A PHE ONWJ* sebagai berikut:

CYCLIC P-Y DATA															
Pile Diameter =		762 mm													
Sands :		O'Neill and Murphinson Method (1983)													
Soft Clays :		Matlock Method (1970)													
Stiff Clays :		Reese Method (1975)													
$X_c =$		15.8 m													
P1/P6 =		mobilised soil resistance (kN/m)													
y1/y6 =		lateral pile deflection (mm)													
Scour Consideration : One pile diameter (m)															
Depth (m)	Soil Type	P1	Y1	P2	Y2	P3	Y3	P4	Y4	P5	Y5	P6	Y6	ϕ_u	ϕ_{90} /deg
0.8	CLAY	3.48	3.8	4.99	11.4	7.56	38.1	10.89	11.43	0.55	571.5	0.55	1143.0	2.0	2.0
1.0	CLAY	9.21	2.9	13.22	8.6	20.01	28.6	28.84	85.7	1.83	428.6	1.83	857.3	10.0	1.5
1.0	CLAY	28.44	2.9	40.80	8.6	61.82	28.6	89.02	85.7	5.63	428.6	5.63	857.3	40.0	1.5
2.0	CLAY	47.53	2.9	68.19	8.6	103.32	28.6	148.78	85.7	18.83	428.6	18.83	857.3	55.0	1.5
3.0	CLAY	70.07	2.9	100.53	8.6	152.32	28.6	219.34	85.7	41.65	428.6	41.65	857.3	70.0	1.5
4.0	CLAY	96.06	2.9	137.82	8.6	208.83	28.6	300.71	85.7	76.13	428.6	76.13	857.3	85.0	1.5
5.0	CLAY	96.75	2.9	138.82	8.6	210.33	28.6	210.33	85.7	66.56	428.6	66.56	857.3	100.0	1.5
5.0	SAND	652.30	3.2	652.30	3.2	652.30	3.2	1189.36	6.4	1799.15	12.7	2082.82	28.6		40.0
6.0	SAND	790.09	3.2	790.09	3.2	790.09	3.2	1475.43	6.4	2365.28	12.7	2922.08	28.6		40.0
7.0	SAND	927.26	3.2	927.26	3.2	927.26	3.2	1799.26	6.4	2946.59	12.7	3874.61	28.6		40.0
8.0	SAND	1063.99	3.2	1063.99	3.2	1063.99	3.2	2041.00	6.4	3528.70	12.7	4921.96	28.6		40.0
9.0	SAND	1200.39	3.2	1200.39	3.2	1200.39	3.2	2320.97	6.4	4113.20	12.7	6045.87	28.6		40.0
10.0	SAND	1336.54	3.2	1336.54	3.2	1336.54	3.2	2599.47	6.4	4695.93	12.7	7329.74	28.6		40.0
11.0	SAND	1472.50	3.2	1472.50	3.2	1472.50	3.2	2876.77	6.4	5275.94	12.7	8459.29	28.6		40.0

Gambar 3.7. Data Tanah P-Y (PT. BKI (Persero))

CONDUCTOR DIAMETER = 762mm										
COMPRESSION / TENSION (API 93)										
DEPTH (m)	SOIL TYPE	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	* T (kN/m)	Z (mm) *
0.0	CLAY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
		1.22	2.36	4.34	6.10	7.62	15.24	38.10		
1.0	CLAY	3.16	5.27	7.90	9.48	10.53	9.48	9.48		
		1.22	2.36	4.34	6.10	7.62	15.24	38.10		
1.0	CLAY	8.91	14.84	22.26	26.72	29.68	26.72	26.72		
		1.22	2.36	4.34	6.10	7.62	15.24	38.10		
5.0	CLAY	28.22	47.04	70.56	84.67	94.08	84.67	84.67		
		1.22	2.36	4.34	6.10	7.62	15.24	38.10		
5.0	SAND	50.99	50.99	50.99	50.99	50.99	50.99	50.99		
		2.54	5.08	12.70	25.40	50.80	127.00	254.00		
13.8	SAND	145.31	145.31	145.31	145.31	145.31	145.31	145.31		
		2.54	5.08	12.70	25.40	50.80	127.00	254.00		
13.8	CLAY	72.82	121.37	182.06	218.47	242.74	218.47	218.47		
		1.22	2.36	4.34	6.10	7.62	15.24	38.10		
16.4	CLAY	76.27	127.12	190.67	228.81	254.23	228.81	228.81		
		1.22	2.36	4.34	6.10	7.62	15.24	38.10		
16.4	SAND	67.03	67.03	67.03	67.03	67.03	67.03	67.03		
		2.54	5.08	12.70	25.40	50.80	127.00	254.00		
20.1	SAND	83.07	83.07	83.07	83.07	83.07	83.07	83.07		
		2.54	5.08	12.70	25.40	50.80	127.00	254.00		

Gambar 3.8. Data Tanah T-Z (PT. BKI (Persero))

CONDUCTOR DIAMETER = 762mm								
DEPTH (m)	Soil type	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
* Q (kN) Z (mm) *								
0.0	CLAY	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.1
1.0	CLAY	1.5	9.9	19.1	32.0	55.6	76.2	381.0
		1.3	2.6	3.5	4.0	4.8	5.3	5.3
1.0	CLAY	1.5	9.9	19.1	32.0	55.6	76.2	381.0
		5.3	10.6	14.2	15.9	19.0	21.2	21.2
5.0	CLAY	1.5	9.9	19.1	32.0	55.6	76.2	381.0
		13.2	26.5	35.4	39.7	47.6	52.9	52.9
5.0	SAND	1.5	9.9	19.1	32.0	55.6	76.2	381.0
		27.9	55.8	74.8	83.8	100.5	111.7	111.7
13.8	SAND	1.5	9.9	19.1	32.0	55.6	76.2	381.0
		79.6	159.3	213.4	238.9	286.7	318.6	318.6
13.8	CLAY	1.5	9.9	19.1	32.0	55.6	76.2	381.0
		33.1	66.1	88.6	99.2	119.0	132.3	132.3
16.4	CLAY	1.5	9.9	19.1	32.0	55.6	76.2	381.0
		256.5	513.0	687.5	769.6	923.5	1026.1	1026.1
16.4	SAND	1.5	9.9	19.1	32.0	55.6	76.2	381.0
		119.0	238.1	319.0	357.1	428.5	476.1	476.1
20.1	SAND	1.5	9.9	19.1	32.0	55.6	76.2	381.0
		147.8	295.5	396.0	443.3	531.9	591.0	591.0
		1.5	9.9	19.1	32.0	55.6	76.2	381.0

Gambar 3.9. Data Tanah Q-Z (PT. BKI (Persero))

3.4. Moda Kegagalan

Dalam analisis keandalan terdapat moda kegagalan yang menjadi parameter dalam menentukan kesuksesan maupun kegagalan struktur. Moda kegagalan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah kombinasi beban aksial dan bending moment. Kombinasi beban aksial dan *bending moment* yang terjadi pada struktur saat *collapse* dan pada *design level* kondisi badai. Persamaan untuk kegagalan berdasarkan perangkat lunak berbasis *finite element* yaitu berdasarkan API RP 2A LRFD yang ditulis sebagai berikut :

$$1 - \cos \left\{ \frac{\pi}{2} \left| \frac{P}{P_n} \right. \right\} + \frac{\sqrt{My^2 + Mz^2}}{M_p} \quad (3.1)$$

Dengan : P = Axial load pada elemen member (Kips)

P_n = Ultimate axial capacity (Kips)

My = Bending moment pada elemen member arah sumbu-y (Kips in)

Mz = Bending moment pada elemen member arah sumbu-z (Kips in)

M_p = Plastic bending moment pada elemen member (Kips in)

Berdasarkan persamaan diatas, terdapat beberapa variabel yang memiliki ketidaktentuan yang digunakan sebagai variabel acak. Variabel acak yang digunakan pada moda kegagalan *ultimate combine stress* terdiri dari 5 variabel acak. Variabel tersebut terdiri dari komponen P, My, Mz, P_n dan M_p yang disimulasikan menggunakan metode Monte Carlo dengan *men-generate Random*

Number Generator (RNG). Simulasi dilakukan dengan iterasi sebanyak 10, 100, 1000, 10000, hingga diperoleh hasil yang akurat.

Menurut Harinaldi (2005), pada umumnya struktur baja menggunakan distribusi lognormal untuk beban dan distribusi normal untuk kapasitas. Kapasitas struktur dan beban yang dimaksud diperoleh dari *force* dan momen yang bekerja pada member. *Coefficient of Varians* (CoV) untuk kondisi *ultimate* adalah $CoV=0.15$, sedangkan untuk design level $CoV=0.3$ menurut Moses (1986) dalam Robayasa (2012). Berikut ini persamaan *mean* dan standard deviasi untuk distribusi lognormal menurut Rosyid (2007) :

$$\mu_{\ln(x)} = \ln \mu_x - 1/2 \ln (1 + V_x^2) \quad (3.2)$$

$$\sigma_{\ln(x)}^2 = \ln (1 + V_x^2) \quad (3.3)$$

$$V_x = \sigma_x / \mu_x \quad (3.4)$$

Dengan : μ = *mean*

σ = *standard deviasi*

V = *Coefficient of Varians*

Tabel 3.10. Parameter Moda Kegagalan

Variabel	CoV	Distribusi
P	0,3	Lognormal
My	0,3	Lognormal
Mz	0,3	Lognormal
Pn	0,15	Normal
Mp	0,15	Normal

Mean pada setiap variabel acak diperoleh dari hasil *output inplace* dan *pushover*. Sedangkan untuk standard deviasi diperoleh dengan mengalikan *mean* dengan CoV sesuai dengan variabelnya. Perhitungan moda kegagalan dilakukan pada setiap member yang mengalami plastisitas 100%. Oleh karena itu, *mean* yang dihasilkan akan berbeda pada setiap member saat kondisi *non scouring*, *scouring* 2,5 ft, *scouring* 5 ft, *scouring* 7,5 ft, dan *scouring* 10 ft. Peluang kegagalan pada member-member plastis tersebut akan berguna dalam mengetahui peluang kegagalan struktur hingga mengalami keruntuhan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

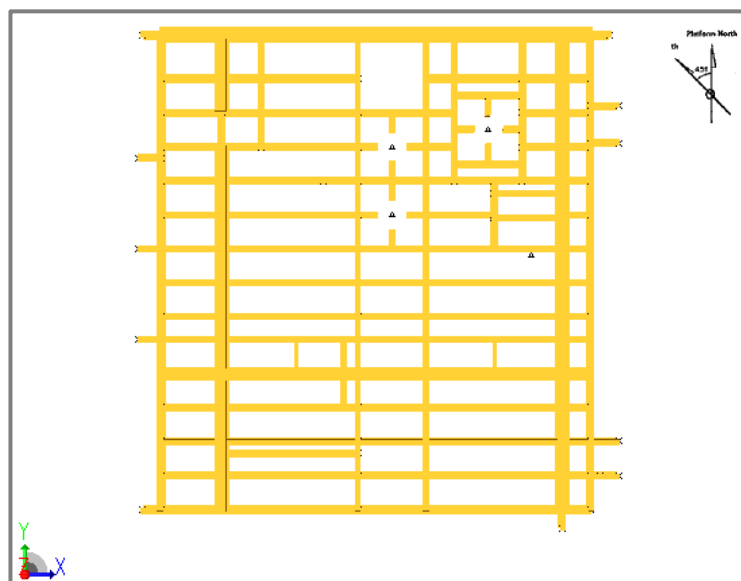
4.1 Validasi Pemodelan Struktur

Validasi selalu dibutuhkan dalam tahap pemodelan. Validasi berguna untuk membuktikan bahwa pemodelan yang dilakukan telah memberikan hasil yang kurang lebih dapat mewakili kondisi sebenarnya. Dalam penelitian ini, pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak berbasis *finite element*. Validasi terhadap pemodelan dilakukan berdasarkan berat struktur. Berat struktur hasil pemodelan diperoleh sebesar 596,490 kips. Sedangkan pada data *jacket wellhead tripod platform* UL A PHE ONWJ, diketahui berat struktur sebesar 590,739 kips.

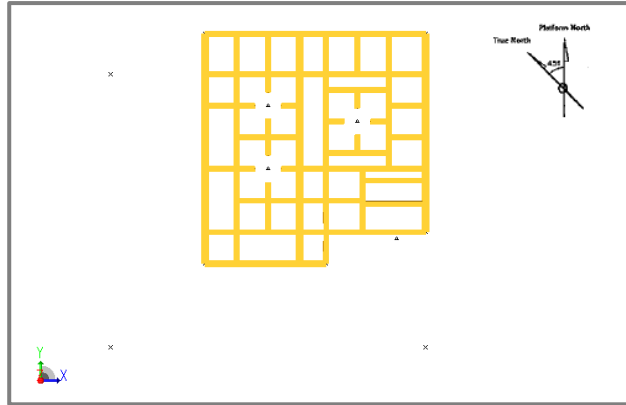
Tabel 4.1. Validasi Pemodelan Struktur

<i>Platform</i>	Berat Struktur (kips)		Koreksi (%)
	Data	Pemodelan	
UL A PHE ONWJ	590,739	596,490	0,974

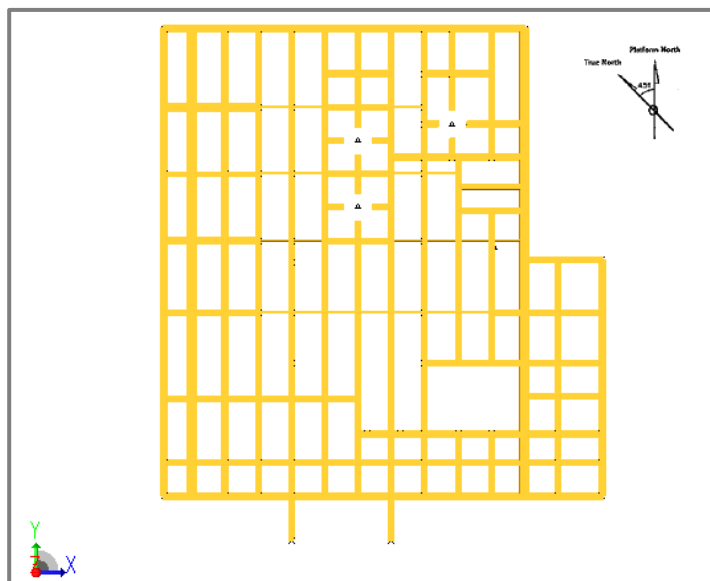
Berdasarkan Tabel 4.1 diperoleh koreksi berat struktur tidak melebihi 5%, maka model dapat dinyatakan valid dan sudah dapat mewakili struktur sesungguhnya. Koreksi diperoleh dengan menghitung selisih antara berat model dan berat data yang dibandingkan dengan berat data



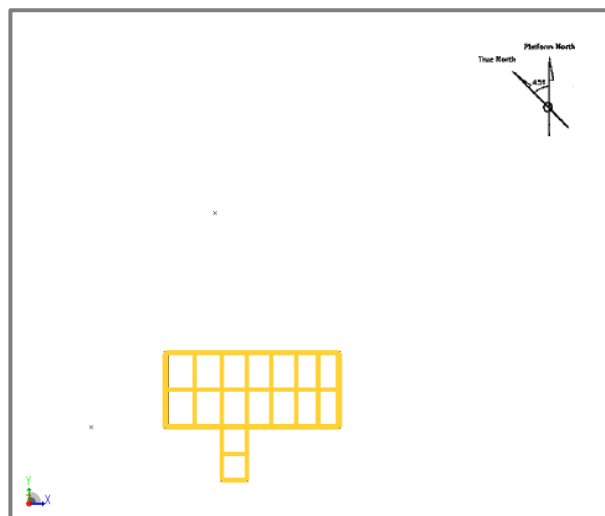
Gambar 4.1. Pemodelan *Main Deck Platform* UL A PHE ONWJ



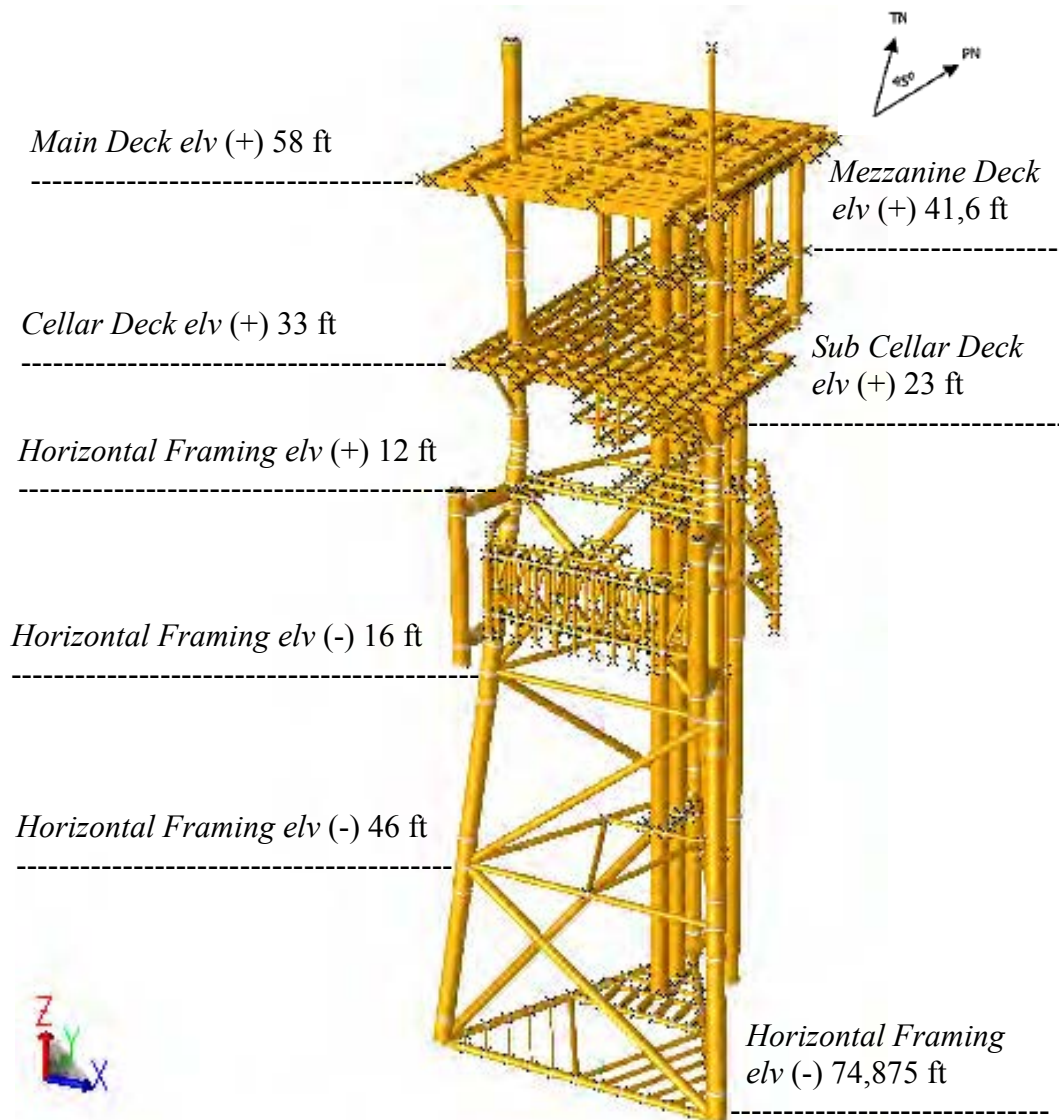
Gambar 4.2. Pemodelan *Mezzanine Deck Platform* UL A PHE ONWJ



Gambar 4.3. Pemodelan *Cellar Deck Platform* UL A PHE ONWJ



Gambar 4.4. Pemodelan *Sub Cellar Deck Platform* UL A PHE ONWJ



Gambar 4.5. Pemodelan Struktur *Jacket Wellhead Tripod Platform* UL A PHE ONWJ

4.2. Analisis Statis *Inplace*

Pada penelitian ini dilakukan analisis struktur kekuatan *ultimate* dengan variasi kedalaman *scouring*. Namun terlebih dahulu perlu dilakukan analisis statis *inplace* dengan variasi kedalaman *scouring* dalam kondisi badai. Dari analisis statis *inplace* akan diperoleh *member stress check* sehingga diketahui member kritis pada struktur *jacket wellhead tripod platform* UL A PHE ONWJ. *Member* dinyatakan aman apabila $UC \leq 1$, *unity check* merupakan parameter kekuatan struktur yang diperoleh berdasarkan perbandingan antara tegangan yang terjadi dengan tegangan yang diijinkan.

4.2.1. Faktor Pembebanan Struktur

Beban statis dan beban lingkungan yang bekerja pada struktur difaktorkan berdasarkan ISO 19902. Berikut ini adalah nama beban (*load condition*) dan faktor pembebanan dalam analisis statis *inplace* kondisi badai :

Tabel 4.2. Faktor Pembebanan Kondisi Badai

LO AD CN	Load Label	Faktor Pembebanan Kondisi Badai											
		ST 01	ST 02	ST 03	ST 04	ST 05	ST 06	ST 07	ST 08	ST 09	ST 10	ST 11	ST 12
1	Selfweight	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
2	Equipment Load	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
3	E&I Load	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
4	Safety Load	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
5	Piping Load	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
6	Plating Load	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
7	Live Load	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
8	Moment Crane	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST 0	Beban Lingkungan arah 0 ⁰	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST 30	Beban Lingkungan arah 30 ⁰	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST 60	Beban Lingkungan arah 60 ⁰	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST 90	Beban Lingkungan arah 90 ⁰	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-
ST 120	Beban Lingkungan arah 120 ⁰	-	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.2. Faktor Pembebanan Kondisi Badai (Lanjutan)

LO AD CN	Load Label	Faktor Pembebanan Kondisi Badai											
		ST 01	ST 02	ST 03	ST 04	ST 05	ST 06	ST 07	ST 08	ST 09	ST 10	ST 11	ST 12
ST 150	Beban Lingkungan arah 150 ⁰	-	-	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-
ST 180	Beban Lingkungan arah 180 ⁰	-	-	-	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-
ST 210	Beban Lingkungan arah 210 ⁰	-	-	-	-	-	-	-	1,35	-	-	-	-
ST 240	Beban Lingkungan arah 240 ⁰	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	-	-	-
ST 270	Beban Lingkungan arah 270 ⁰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	-	-
ST 300	Beban Lingkungan arah 300 ⁰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	-
ST 330	Beban Lingkungan arah 330 ⁰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35

4.2.2. Analisis *Unity Check of Member*

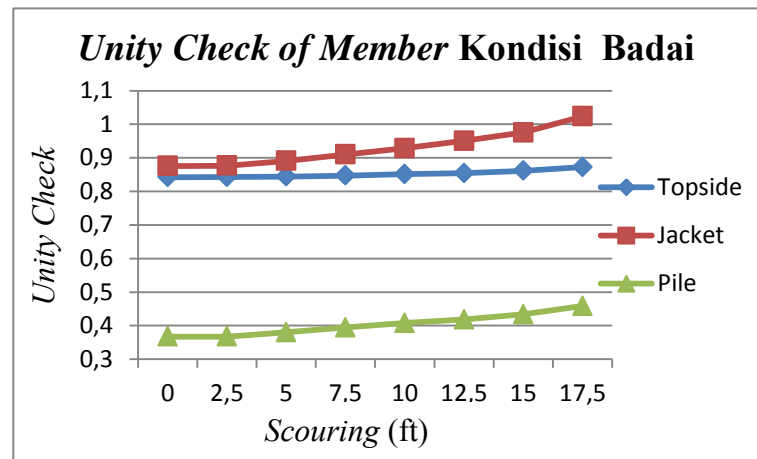
Pada penelitian ini *unity check of member* dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu *topside*, *jacket*, dan *pile*. *Member* yang menunjukkan *i stress* paling besar dibagian *topside* adalah *member* 0059-0060 yang terdapat di *wellhead mezzanine deck*. Pada bagian *jacket member* 0403-0438 yang terdapat di

horizontal brace menunjukkan *stress* paling besar, sedangkan pada *pile* adalah *member* 102P-0603.

Analisis statis *inplace* pada struktur kondisi *non scouring* dilakukan terhadap 12 arah pembebanan yakni pada arah 0^0 , 30^0 , 60^0 , 90^0 , 120^0 , 150^0 , 180^0 , 210^0 , 240^0 , 270^0 , 300^0 , dan 330^0 . Namun, analisis statis *inplace* pada struktur yang mengalami *scouring* hanya dilakukan terhadap satu arah pembebanan saja. Arah tersebut sesuai dengan arah pembebanan yang diterima *member* kritis struktur dalam kondisi *non scouring*. Oleh karena itu, hasil *unity check of member* kondisi badai untuk bagian *topside*, *jacket*, dan *pile* dapat dilihat di grafik dan tabel berikut :

Tabel 4.3. Hasil *Unity Check of Member* Kondisi Badai

<i>Description</i>	<i>Topside</i>	<i>Jacket</i>	<i>Pile</i>
<i>Member Kritis</i>	0059-0060	0403-0438	102P-0603
<i>Location</i>	<i>Wellhead mezzanine deck</i>	<i>Horizontal brace</i>	
<i>Properties</i>	UB 152x152	12,75" x 0,5"	30" x 1,5"
<i>Load Condition</i>	LC04	LC03	LC01
	<i>Unity Check</i>		
<i>Non Scour</i>	0,8421	0,8758	0,3674
<i>Scour 2,5 ft</i>	0,8429	0,8764	0,3675
<i>Scour 5 ft</i>	0,8442	0,8908	0,3803
<i>Scour 7,5 ft</i>	0,8472	0,9101	0,3945
<i>Scour 10 ft</i>	0,8513	0,9284	0,4078
<i>Scour 12,5 ft</i>	0,8543	0,9475	0,4181
<i>Scour 15 ft</i>	0,8614	0,9752	0,4336
<i>Scour 17,5 ft</i>	0,8725	1,0234	0,4584



Gambar 4.6 Grafik *Unity Check of Member Kondisi Badai*

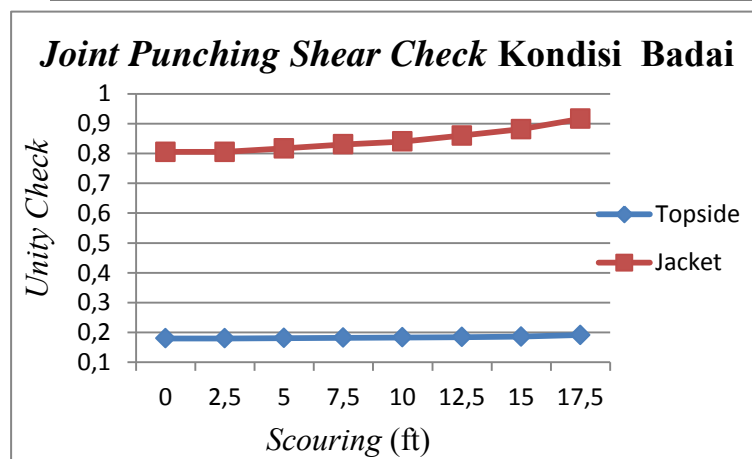
Berdasarkan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kedalaman *scouring* berpengaruh terhadap hasil *unity check of member*. Bagian *topside* dan *pile* menunjukkan kenaikan UC yang kurang signifikan. Sedangkan, UC *jacket* mengalami kenaikan hingga mencapai 1,0234 akibat arah pembebanan 60^0 . *Unity check* melebihi 1 ketika kedalaman *scouring* 17,5 ft atau tujuh kali lipat *design scouring*. Hal tersebut, disebabkan tegangan yang terjadi melebihi tegangan yang diizinkan sehingga *member* mengalami kegagalan.

4.2.3. Analisis *Joint Punching Shear Check*

Analisis untuk kekuatan struktur *jacket* yang berikutnya adalah *joint punching shear check*. Hasil dari analisis *joint punching shear check* dibedakan menjadi 2 bagian yakni pada bagian *topside* dan *jacket*. Hasil *joint punching shear check* dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini:

Tabel 4.4. Hasil *Joint Punching Shear Check* Kondisi Badai

<i>Description</i>	<i>Topside</i>	<i>Jacket</i>
<i>Joint Kritis</i>	0003	403L
<i>Chord</i>	0006	0612
<i>Brace</i>	0036 (T)	0403 (T)
<i>Properties</i>	14" x 0,5"	12,75" x 0,5"
<i>Load Condition</i>	LC 05	LC 01
	<i>Unity Check</i>	
<i>Non Scour</i>	0,180	0,805
<i>Scour 2,5 ft</i>	0,180	0,807
<i>Scour 5 ft</i>	0,181	0,817
<i>Scour 7,5 ft</i>	0,182	0,832
<i>Scour 10 ft</i>	0,183	0,846
<i>Scour 12,5 ft</i>	0,184	0,860
<i>Scour 15 ft</i>	0,186	0,881
<i>Scour 17,5 ft</i>	0,191	0,916



Gambar 4.7. Garfik *Joint Punching Shear Check* Kondisi Badai

Berdasarkan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa kedalaman *scouring* juga berpengaruh terhadap hasil *joint punching shear check*. Bagian jacket mengalami kenaikan UC yang lebih signifikan bila dibandingkan dengan kenaikan UC topside. *Joint punching shear check* pada kedalaman 17,5 ft belum melebihi

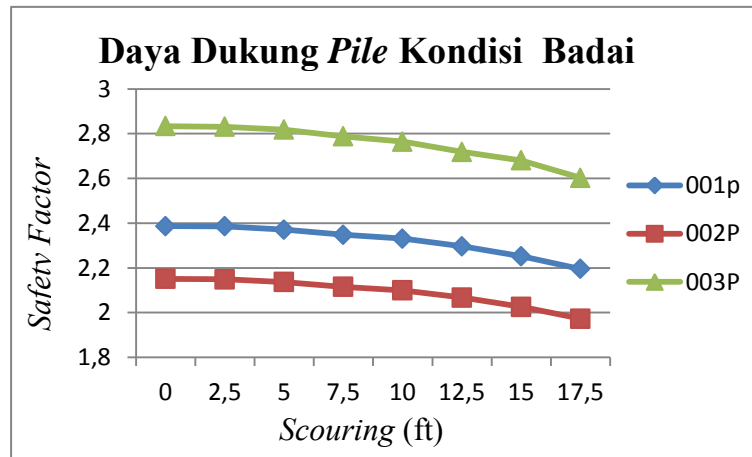
ketentuan yang diijinkan. Hal ini berbeda dengan *unity check member* yang sudah mengalami kegagalan saat *scouring* mencapai kedalaman 17,5 ft. Saat kedalaman *scouring* 17,5 ft atau tujuh kali lipat *design scouring*, joint 403L memiliki UC tertinggi yakni 0,916 akibat arah pembebanan 0⁰.

4.2.4 Analisis Safety Factor of Pile

Selain kekuatan *member* dan *joint*, analisis *pile* juga perlu dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan keamanan *pile*. Hasil analisis *pile* adalah *safety factor* yaitu perbandingan antara kapasitas *pile* dengan beban maksimum yang bekerja. Hasil *safety factor* dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini:

Tabel 4.5. Hasil Analisis *Safety Factor of Pile* Kondisi Badai

<i>Pile</i>	001P	002P	003P
<i>Properties</i>	30" x 1,5"	30" x 1,5"	30" x 1,5"
<i>Penetration</i>	145 ft	145 ft	175
<i>Load Condition</i>	LC08	LC12	LC04
	<i>Safety Factor</i>		
<i>Non Scour</i>	2,3869	2,1511	2,8336
<i>Scour 2,5 ft</i>	2,3857	2,1494	2,8312
<i>Scour 5 ft</i>	2,3712	2,1367	2,8180
<i>Scour 7,5 ft</i>	2,3478	2,1153	2,7879
<i>Scour 10 ft</i>	2,3309	2,0997	2,7642
<i>Scour 12,5 ft</i>	2,2966	2,0676	2,7185
<i>Scour 15 ft</i>	2,2518	2,0261	2,6807
<i>Scour 17,5 ft</i>	2,1957	1,9728	2,6027



Gambar 4.8. Grafik Analisis Daya Dukung *Pile* Kondisi Badai

Berdasarkan Gambar 4.8 menunjukkan bahwa ketiga *pile* mengalami penurunan yang hampir sama ketika mengalami perubahan kedalaman *scouring* dari 0 ft hingga 17,5 ft. *Pile* 001P mengalami penurunan *safety factor pile* hingga mencapai 2.1957 akibat arah pembebanan 210^0 . *Pile* 002P mengalami penurunan *safety factor pile* hingga mencapai 1.9728 akibat arah pembebanan 330^0 . *Pile* 003P mengalami penurunan *safety factor pile* hingga mencapai 2.6027 akibat arah pembebanan 60^0 . Hal tersebut menunjukkan bahwa *safety factor* ketiga *pile* masih layak dan memenuhi saat kedalaman *scouring* mencapai 7 kali *design scouring*

4.3. Analisis Kekuatan *Ultimate*

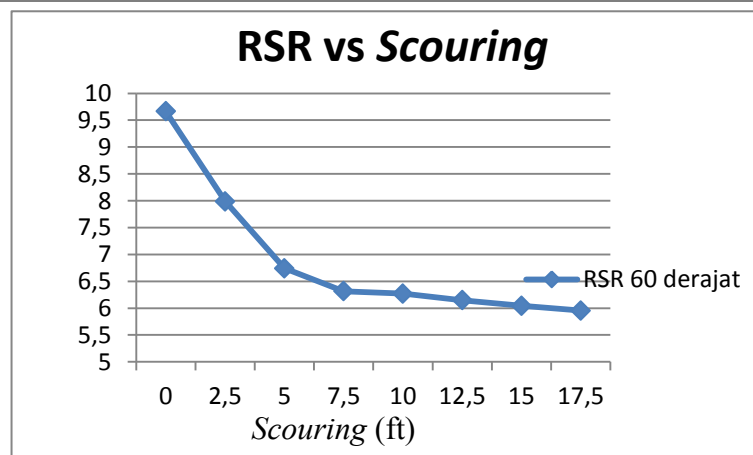
Analisis kekuatan *ultimate/pushover* adalah analisis statis non linier yang hasilnya diperoleh dengan memberikan beban secara *increment*. Struktur akan mengalami keruntuhan setelah adanya member yang plastis karena terbentuknya *plastic hinge*. Gaya yang semakin bertambah mengakibatkan *buckling* pada member karena gaya tekan yang melebihi kapasitasnya. Beban pada analisa *pushover* ini dibedakan menjadi dua jenis pembebanan, yaitu beban *payload* dan beban lateral. Beban *payload* merupakan beban konstan yang terdiri dari beban pada deck dan *self weight*. Sedangkan beban lateral terdiri dari beban gelombang, angin, dan arus yang akan dinaikkan secara bertahap.

Analisis *pushover* dilakukan berdasarkan arah pembebanan pada analisis *inplace* yang membuat member struktur paling kritis adalah arah 60^0 . Analisis *pushover* juga dilakukan untuk arah pembebanan 330^0 dalam 1 kondisi yakni kondisi *non scouring* sebagai pembanding. Untuk merepresentasikan gaya yang

terjadi pada struktur maka *output* analisis *pushover* yang digunakan adalah *base shear*. *Base shear* adalah gaya reaksi maksimum yang bekerja di permukaan tanah akibat beban lateral. *Output base shear* ini akan dijadikan parameter perhitungan RSR dan SR yang dtunjukkan pada tabel dan grafik berikut ini :

Tabel 4.6. Hasil RSR dan SR Analisis *Pushover*

Kondisi <i>scouring</i>	<i>Load step</i>	<i>Load factor</i>	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
Arah Pembebanan 60 ⁰							
<i>Non Scour</i>	23	7,80	301,63	1943,29	2915,19	9,665	1,500
<i>Scour 2,5 ft</i>	23	7,80	301,63	1943,29	2409,20	7,987	1,239
<i>Scour 5 ft</i>	22	7,46	301,63	1839,51	2033,48	6,742	1,105
<i>Scour 7,5 ft</i>	21	7,12	301,81	1828,22	1905,85	6,315	1,043
<i>Scour 10 ft</i>	20	6,78	301,86	1798,25	1892,29	6,269	1,052
<i>Scour 12,5 ft</i>	19	6,44	301,86	1765,89	1855,98	6,149	1,051
<i>Scour 15 ft</i>	18	6,10	301,86	1736,89	1823,81	6,042	1,050
<i>Scour 17,5 ft</i>	18	6,10	301,87	1724,99	1797,05	5,953	1,042
Arah Pembebanan 330 ⁰							
<i>Non Scour</i>	23	7,80	325,10	1862,52	2691,64	8,279	1,445



Gambar 4.9 Grafik Hubungan RSR dengan Kedalaman *Scouring* pada arah 60⁰

Berdasarkan Gambar 4.9, RSR mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kedalaman *scouring*. RSR saat arah pembebanan 60^0 dalam kondisi *non scouring* sebesar 9,665. Sedangkan RSR saat terjadi *scouring* 17,5 ft mengalami penurunan hingga 5,953. Struktur mengalami keruntuhan secara keseluruhan pada kondisi *non scouring* saat *increment* ke 23 dengan *load factor* 7,80. Sedangkan struktur dalam kondisi *scouring* 17,5 ft mengalami keruntuhan pada saat *increment* ke 18 dengan *load factor* 6,10.

Struktur dalam kondisi *non scouring* pada arah pembebanan 60^0 memiliki RSR yang lebih besar dibandingkan arah 330^0 . Hal tersebut berarti bahwa arah pembebanan 330^0 lebih cepat membuat struktur *collapse* dengan *base shear* 2691,64 kips. Sedangkan arah pembebanan 60^0 memiliki *base shear* yang lebih besar yaitu 2915,19 kips. Hal ini berarti arah pembebanan *member* kritis pada analisis *inplace* tidak berhubungan dengan arah pembebanan yang paling cepat menyebabkan struktur *collapse*.

Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis *pushover* untuk setiap arah pembebanan pada kondisi *non scouring* dan *scouring* 2,5 ft. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui arah pembebanan yang paling cepat membuat struktur *collapse*. Selain itu, untuk mengetahui apakah kedalaman *scouring* berpengaruh terhadap perubahan arah pembebanan yang menyebabkan struktur paling cepat mengalami keruntuhan. RSR dan SR sebagai *output* dari analisis ini akan ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.7. Hasil Analisis *Pushover* Setiap Arah Pembebanan Kondisi *Non Scouring*

Arah pembebanan	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
0^0	23	7,80	327,76	1771,83	2684,78	8,191	1,515
30^0	23	7,80	306,26	1765,56	2419,38	7,899	1,370
60^0	23	7,80	301,63	1943,29	2915,19	9,665	1,500
90^0	23	7,80	313,79	2007,15	2693,77	8,585	1,342
120^0	24	8,14	315,76	1929,68	3332,51	10,554	1,727

Tabel 4.7. Hasil *Analisis Pushover* Setiap Arah Pembebanan Kondisi *Non Scouring* (Lanjutan)

Arah pembebanan	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
150 ⁰	26	8,82	296,15	1999,43	2624,71	8,863	1,313
180 ⁰	25	8,48	254,69	1642,14	2095,79	8,229	1,276
210 ⁰	24	8,14	214,02	1606,29	2683,10	12,537	1,670
240 ⁰	25	8,48	202,07	1623,93	1711,23	8,469	1,054
270 ⁰	25	8,48	253,72	1860,07	2882,26	11,360	1,549
300 ⁰	25	8,48	294,90	2100,04	3220,59	10,921	1,534
330 ⁰	23	7,80	325,10	1862,52	2691,64	8,279	1,445

Tabel 4.8. Hasil *Analisis Pushover* Setiap Arah Pada Kondisi *Scouring 2,5 ft*

Arah pembebanan	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
0 ⁰	23	7,80	327,76	1771,82	2448,49	7,470	1,382
30 ⁰	22	7,46	306,26	1765,53	2271,79	7,418	1,287
60 ⁰	23	7,80	301,63	1943,29	2409,20	7,987	1,239
90 ⁰	23	7,80	313,79	2007,10	2409,20	7,678	1,200
120 ⁰	23	7,80	315,76	1929,68	3020,61	9,566	1,565
150 ⁰	25	8,48	296,15	1999,45	2518,77	8,505	1,259
180 ⁰	24	8,14	254,69	1642,14	1922,05	7,547	1,171
210 ⁰	24	8,14	214,03	1599,78	1741,65	8,137	1,089
240 ⁰	24	8,14	202,07	1583,13	1645,26	8,142	1,039
270 ⁰	25	8,48	253,72	1804,77	2785,66	10,979	1,544
300 ⁰	24	8,14	294,90	2100,04	2292,95	7,775	1,092

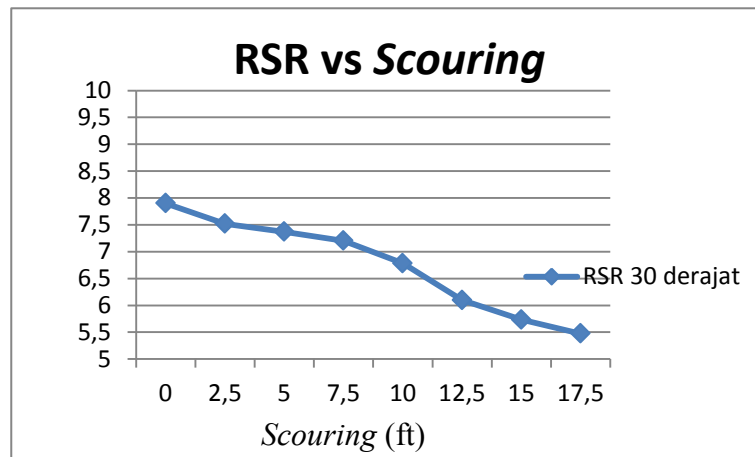
Tabel 4.8. Hasil Analisis Pushover Setiap Arah Pada Kondisi Scouring 2,5 ft
(Lanjutan)

Arah pembebanan	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
330 ⁰	23	7,80	325,11	1858,07	2427,78	7,468	1,307

Berdasarkan Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 diketahui bahwa arah pembebanan yang paling cepat menyebabkan struktur mengalami keruntuhan adalah arah 30⁰ baik dalam kondisi *non scouring* maupun saat *scouring* 2,5 ft. Hal tersebut diketahui berdasarkan RSR yang paling kecil dari semua arah pembebanan. RSR saat arah pembebanan 30⁰ dalam kondisi *non scouring* sebesar 7,899. Sedangkan RSR saat terjadi *scouring* 2,5 ft mengalami penurunan hingga 7,418. RSR merupakan kapasitas sisa yang dimiliki oleh struktur hingga mengalami keruntuhan. Oleh karena itu, saat arah pembebanan 30⁰ akan dilakukan analisis *pushover* pada semua kondisi *scouring* untuk mengetahui perubahan RSR

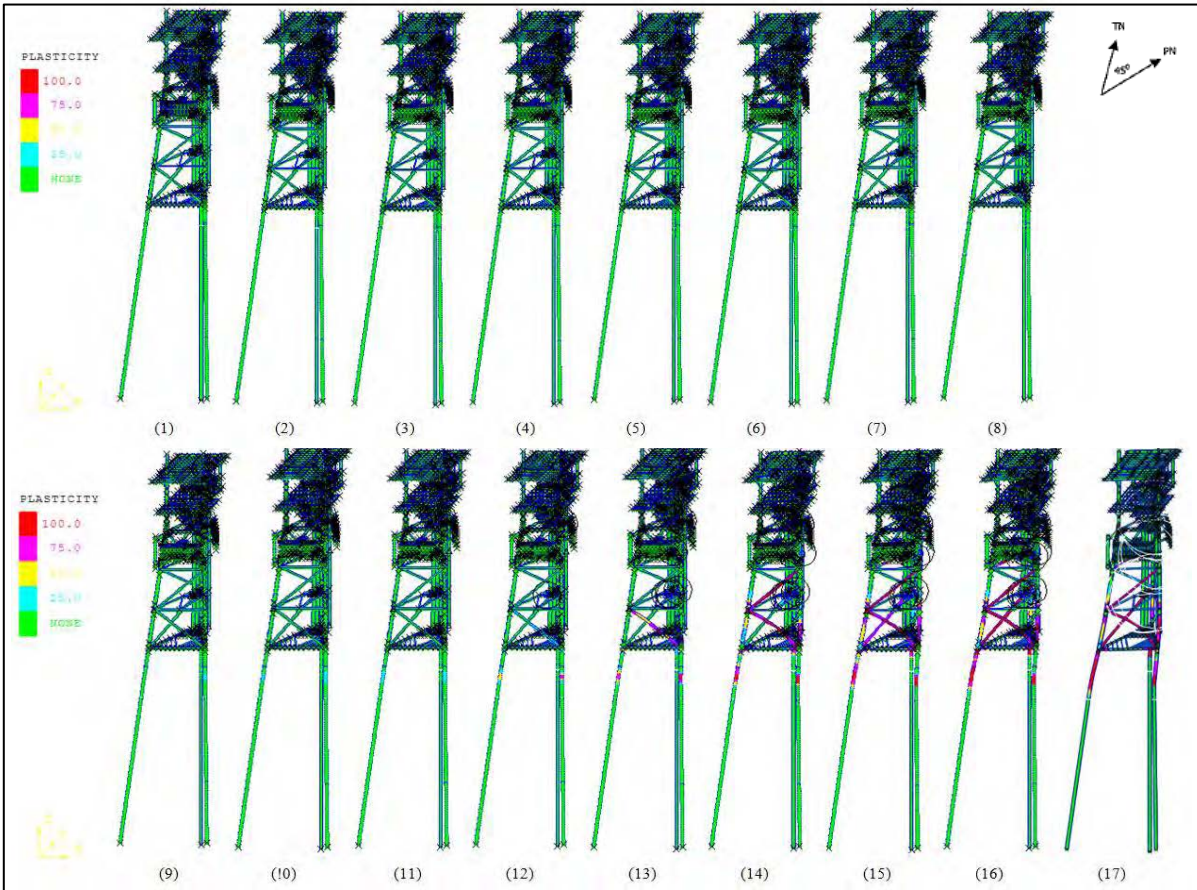
Tabel 4.9. Hasil Analisis Pushover Arah Pembebanan 30⁰

Kondisi scouring	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
Arah Pembebanan 30 ⁰							
<i>Non Scour</i>	23	7,80	306,26	1765,56	2419,38	7,899	1,370
<i>Scour 2,5 ft</i>	22	7,46	306,26	1765,53	2271,79	7,418	1,287
<i>Scour 5 ft</i>	22	7,46	306,32	1660,53	2257,86	7,371	1,359
<i>Scour 7,5 ft</i>	21	7,12	306,51	1656,26	2207,77	7,203	1,333
<i>Scour 10 ft</i>	20	6,78	306,54	1556,36	2079,48	6,784	1,336
<i>Scour 12,5 ft</i>	19	6,44	306,55	1553,71	1869,09	6,097	1,203
<i>Scour 15 ft</i>	18	6,10	306,55	1451,92	1758,03	5,735	1,211
<i>Scour 17,5 ft</i>	17	5,76	306,56	1446,49	1678,02	5,474	1,160

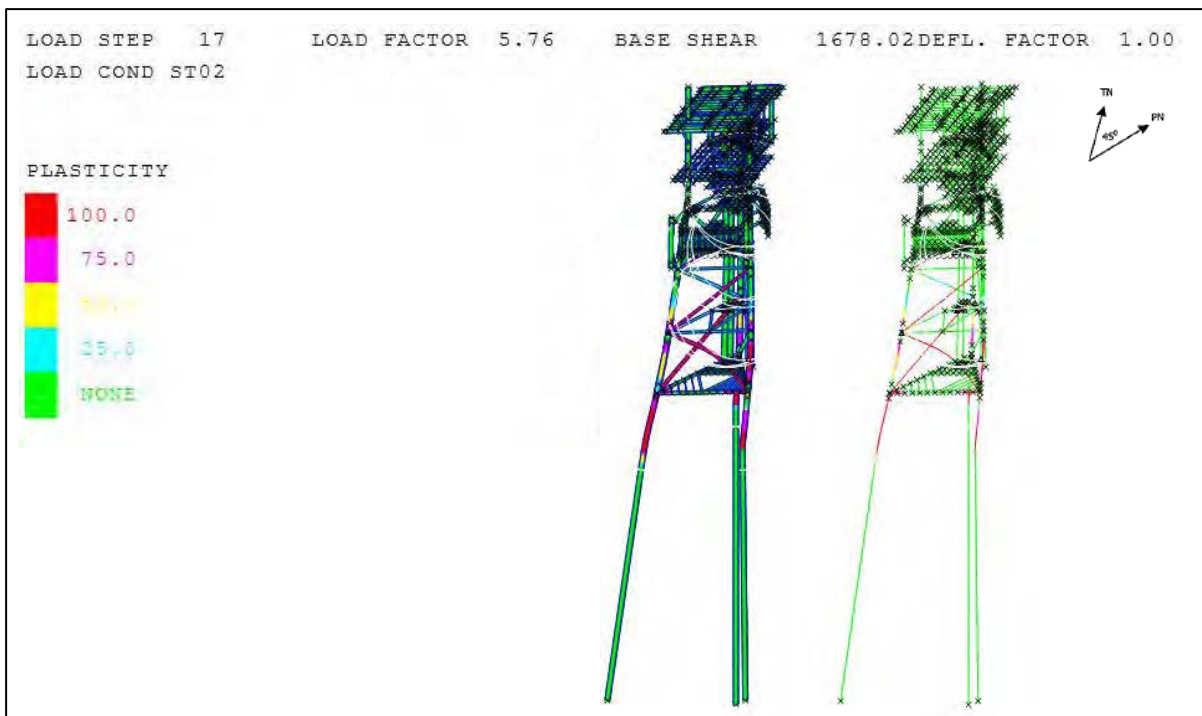


Gambar 4.10 Grafik Hubungan RSR dengan Kedalaman *Scouring* pada arah 30^0 Berdasarkan Gambar 4.10, RSR mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kedalaman *scouring*. RSR saat arah pembebanan 30^0 mengalami penurunan hingga 5,474 dalam kondisi *scouring* 17,5 ft. Saat kondisi *non scouring*, struktur mengalami keruntuhan secara keseluruhan saat *increment* ke 23 dengan *load factor* 7,80 dan *base shear* sebesar 2419,38 kips. Sedangkan saat kondisi *scouring* 17,5 ft, struktur mengalami *collapse* saat *increment* ke 17 dengan *load factor* 5,76 dan *base shear* sebesar 1678,02 kips. *Member* yang mengalami plastisitas 100% terlebih dahulu adalah *member* 102L-201L. Berikut adalah hasil analisis *collapse* pada arah pembebanan 30^0 dalam kondisi *scouring* 17,5 :

1. Pada *load factor* 1,68 (*increment* ke 5) belum terdapat *member* yang mulai menunjukkan plastisitas. Perbedaan rasio plastisitas ditunjukkan pada perbedaan warna *member*
2. Pada *load factor* 3,38 (*increment* ke 10) *member* 102L-201L mempunyai plastisitas 25%.
3. Pada *load factor* 4,40 (*increment* ke 13) *member* 102L-201L mempunyai plastisitas 50-75%
4. Pada *load factor* 5,08 (*increment* ke 15) *member* 102L-201L mempunyai plastisitas 100%. Lalu *member* lainnya mempunyai plastisitas 50-92%.
5. Analisis dengan *load factor* 5,76 (*increment* ke 17) menunjukkan bahwa sebagian besar *member* mengalami plastisitas 100% dan diikuti dengan *joint failure* dan *column buckling* hingga struktur mengalami keruntuhan

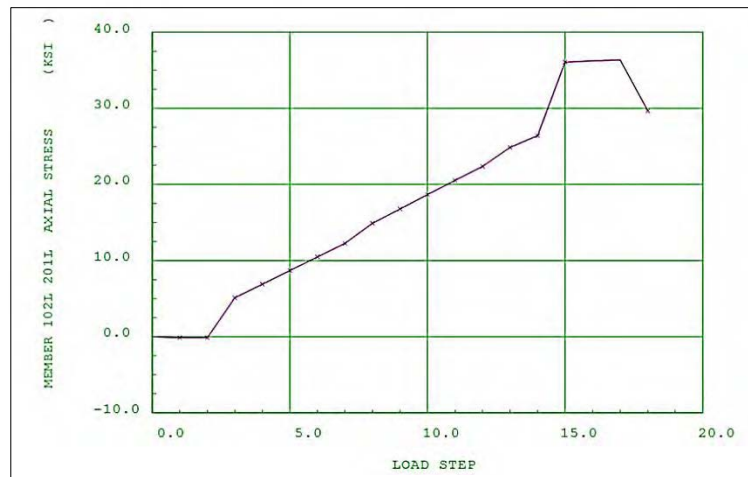


Gambar 4.11. Hasil Analisis *Collapse* Arah 30^0 Kondisi *Scouring* 17,5 ft



Gambar 4.12. *Collapse View* Arah Pemebebanan 30^0 Kondisi *Scouring* 17,5 ft

Grafik hubungan antara *load step* dengan *axial stress* pada *member* 102L-201L adalah sebagai berikut :



Gambar 4.13. Grafik Hubungan *Load Step* Dengan *Axial Stress* pada *Member* 102L-201L

Berdasarkan Gambar 4.13 hubungan *load step* dengan *axial stress* pada *member* 102L -201L terlihat bahwa *stress* yang terjadi semakin naik seiring dengan pertambahan *load step*. *Stress* pada *member* tersebut sudah melewati 36 ksi yang merupakan tegangan ijin *member*. Respon tegangan aksial *member* terus meningkat hingga mencapai 36,4 ksi yang kemudian diikuti tegangan aksial yang semakin menurun

4.4. Analisis Keandalan Struktur

4.4.1. Moda Kegagalan

Dalam analisis keandalan, diperlukan moda kegagalan yang menjadi parameter dalam penentuan kesuksesan ataupun kegagalan suatu obyek yang ditinjau. Moda kegagalan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah persamaan kombinasi beban aksial dan *bending moment*, seperti yang telah dijelaskan dalam BAB III.

$$MK = 1 - \cos \left\{ \frac{\pi}{2} \left| \frac{P}{P_n} \right| \right\} + \frac{\sqrt{My^2 + Mz^2}}{M_p} \quad (4.1)$$

Dalam tugas akhir ini, obyek yang menjadi tinjauan adalah *member* yang mengalami plastisitas 100% pada struktur *wellhead jacket tripod platform* UL A PHE ONWJ. *Member* yang mengalami plastisitas 100% dikatakan gagal apabila $MK < 0$ dan $MK > 0$. Dikatakan sukses apabila $0 < MK < 1$.

4.4.2. Simulasi *Monte Carlo*

Unsur pokok yang diperlukan didalam simulasi *Monte Carlo* adalah sebuah *random number generator* (RNG). Persoalan utama di dalam simulasi Monte Carlo adalah bagaimana mentransformasikan angka acak yang dikeluarkan oleh *random number generator* menjadi perubah acak yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluang (f_{kp})-nya. Hal ini disebabkan karena angka acak yang dikeluarkan oleh RNG memiliki f_{kp} uniform, sedangkan perubah dasar dalam MK(x) untuk variabel beban memiliki distribusi lognormal sedangkan variabel kapasitas memiliki distribusi normal.

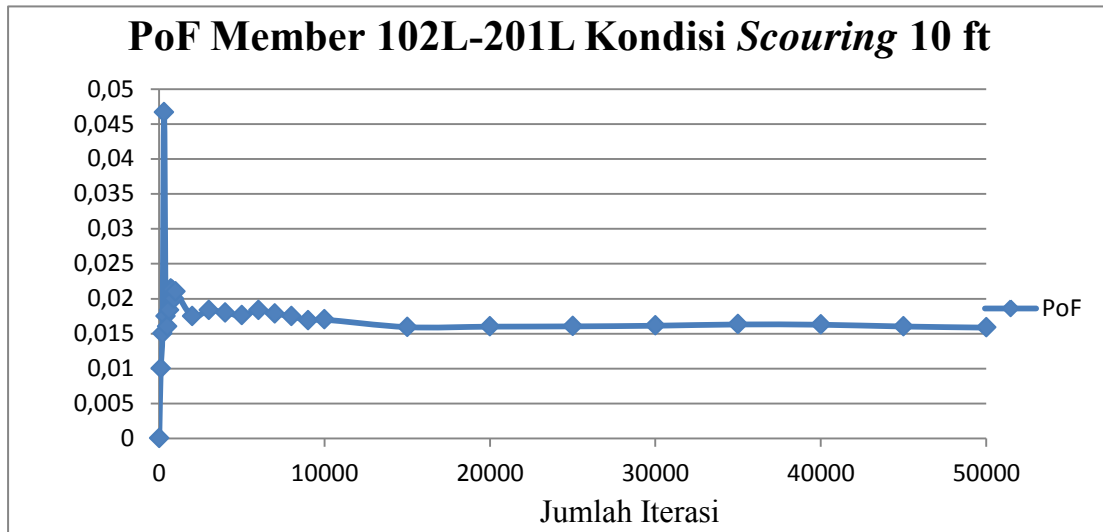
Transformasi bilangan acak menjadi perubah acak dalam MS. Excel dapat dilakukan dengan menggunakan dengan fungsi sebagai berikut :

- Distribusi Logonormal
=LOGNORM.INV(angka_acak; mean; standard_deviasi)
- Distribusi Normal
= NORMINV(angka_acak; mean; standard_deviasi)

Apabila angka acak telah ditransformasikan menjadi harga perubah acak, selanjutnya menghitung moda kegagalan MK(x). Peluang kegagalan adalah rasio antara kejadian jumlah gagal dengan jumlah sampel atau replikasi, $P_{gagal} = n / N$

4.4.3. Peluang Kegagalan

Peluang kegagalan diperoleh dari hasil simulasi Monte Carlo untuk setiap member yang mengalami plastisitas 100%. Analisis keandalan ini dilakukan pada arah pembebanan 30° sebagai arah yang paling cepat menyebabkan struktur mengalami keruntuhan. Selain itu, analisis ini juga dilakukan untuk kondisi struktur yang mengalami kondisi *non scouring*, *scouring* 2,5 ft, *scouring* 5 ft, *scouring* 7,5 ft, dan *scouring* 10 ft. Pengerjaan simulasi Monte Carlo dan penentuan *Random Number Generate* (RNG) sebanyak 50000 kali dengan menggunakan *software* MS. Excel.



Gambar 4.14. Grafik Simulasi Monte Carlo Member 102L-201L Kondisi *Scouring* 10 ft

Berdasarkan Gambar 4.14, PoF sudah mulai konstan pada simulasi dengan iterasi 10000 hingga iterasi 50000. Oleh karena itu analisis keandalan dengan simulasi Monte Carlo menggunakan iterasi sebanyak 50000 untuk semua member plastis 100% pada kondisi *non scouring*, *scouring* 2,5 ft, *scouring* 5 ft, *scouring* 7,5 ft, dan *scouring* 10 ft.

Tabel 4.10. Keandalan Member Plastis 100 % Kondisi *Non Scouring*

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K	β
18	6,1	102L-201L	JT5	0,00242	0,9976	2,82
20	6,78	0533-0534	JH2	0	1	3,59
20	6,78	0534-0535	JH2	0,00024	0,99976	3,49
21	7,12	0586-102L	JH4	0,3664	0,6336	0,3402
22	7,46	0529-0535	JH2	0,00002	0,99998	3,59
22	7,46	0530-0536	JH2	0	1	3,59
22	7,46	0533-201L	JH1	0,0023	0,9977	2,83
22	7,46	0535-0536	JH2	0	1	3,59
23	7,8	0470-402L	JH1	0,5803	0,4917	-0,2174

Tabel 4.10. Keandalan Member Plastis 100 % Kondisi *Non Scouring* (Lanjutan)

Increment	<i>Load Factor</i>	<i>Member</i>	Group	PoF	K	β
23	7,8	201L-0540	JH1	0,00052	0,99948	3,28
23	7,8	0587-0588	JH4	0,4029	0,5971	0,2459
23	7,8	201L-302L	JT4	0	1	3,59
23	7,8	502L-602L	PL6	0,0095	0,9905	2,345
23	7,8	602L-702L	PL7	0,0368	0,9632	1,7888

Berdasarkan Tabel 4.10 diketahui bahwa kondisi *non scouring* menyebabkan struktur mengalami keruntuhan progresif saat *increment* 23 dengan *load factor* sebesar 7,80 kali kenaikan beban lateral. Peluang kegagalan member terbesar terjadi pada member 0470-402L sebesar 0,5803. Oleh karena itu, member tersebut memiliki keandalan yang paling kecil untuk kondisi *non scouring* yakni 0,4917.

Tabel 4.11. Keandalan Member Plastis 100 % Kondisi *Scouring* 2,5 ft

Increment	<i>Load Factor</i>	<i>Member</i>	Group	PoF	K	β
17	5,76	102L-201L	JT5	0,0027	0,9973	2,78
19	6,44	0533-0534	JH2	0	1	3,59
19	6,44	0534-0535	JH2	0,0016	0,9989	3,0633
21	7,12	0529-0535	JH2	0,0002	0,9998	3,55
21	7,12	0530-0536	JH2	0	1	3,59
21	7,12	0535-0536	JH2	0	1	3,59
21	7,12	0586-102L	JH4	0,3988	0,6012	0,2564
22	7,46	0533-201L	JH1	0,0145	0,9855	2,1833
23	7,8	201L-302L	JT4	0,00036	0,99964	3,38

Berdasarkan Tabel 4.11 diketahui bahwa kondisi *scouring* 2,5 ft menyebabkan struktur mengalami keruntuhan progresif saat *increment* 23 dengan *load factor* sebesar 7,80 kali kenaikan beban lateral. Peluang kegagalan member terbesar

terjadi pada member 0586-102L sebesar 0,3988. Oleh karena itu, member tersebut memiliki keandalan yang paling kecil untuk kondisi *scouring* 2,5 ft yakni 0,6012.

Tabel 4.12. Keandalan Member Plastis 100 % Kondisi *Scouring* 5 ft

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K	β
16	5,42	102L-201L	JT5	0,0041	0,9959	2,64
18	6,1	201L-302L	JT4	0,0052	0,9948	2,56
19	6,44	0533-0534	JH2	0	1	3,59
19	6,44	0534-0535	JH2	0,0154	0,9846	2,16
19	6,44	0586-102L	JH4	0,5244	0,4756	-0,0788
20	6,78	0529-0535	JH2	0,00112	0,99888	3,0567
20	6,78	0530-0536	JH2	0	1	3,59
20	6,78	0535-0536	JH2	0	1	3,59
21	7,12	0533-201L	JH1	0,3337	0,6663	0,4297

Berdasarkan Tabel 4.12 diketahui bahwa kondisi *scouring* 5 ft menyebabkan struktur mengalami keruntuhan progresif saat *increment* 22 dengan *load factor* sebesar 7,46 kali kenaikan beban lateral. Peluang kegagalan member terbesar terjadi pada member 0586-102L sebesar 0,5244. Oleh karena itu, member tersebut memiliki keandalan yang paling kecil untuk kondisi *scouring* 5 ft yakni sebesar 0,4756

Tabel 4.13. Keandalan Member Plastis 100 % Kondisi *Scouring* 7,5 ft

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K	β
16	5,42	102L-201L	JT5	0,0078	0,9922	2,42
17	5,76	0529-0535	JH2	0,0021	0,9979	2,87
17	5,76	0535-0536	JH2	0	1	3,59
18	6,1	201L-302L	JT4	0,0124	0,9876	2,2433
19	6,44	0586-102L	JH4	0,5618	0,4382	-0,1645
19	6,44	0533-0534	JH2	0,00002	0,99998	3,59

Tabel 4.13. Keandalan Member Plastis 100 % Kondisi *Scouring* 7,5 ft (Lanjutan)

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K	β
19	6,44	0534-0535	JH2	0,0282	0,9718	1,8986
21	7,12	0533-201L	JH1	0,3671	0,6329	0,3395

Berdasarkan Tabel 4.13 diketahui bahwa kondisi *scouring* 7,5 ft menyebabkan struktur mengalami keruntuhan progresif saat *increment* 21 dengan *load factor* sebesar 7,12 kali kenaikan beban lateral. Peluang kegagalan member terbesar terjadi pada member 0586-102L sebesar 0,5618. Oleh karena itu, member tersebut memiliki keandalan yang paling kecil untuk kondisi *scouring* 7,5 ft yakni 0,4382.

Tabel 4.14. Keandalan Member Plastis 100 % Kondisi *Scouring* 10 ft

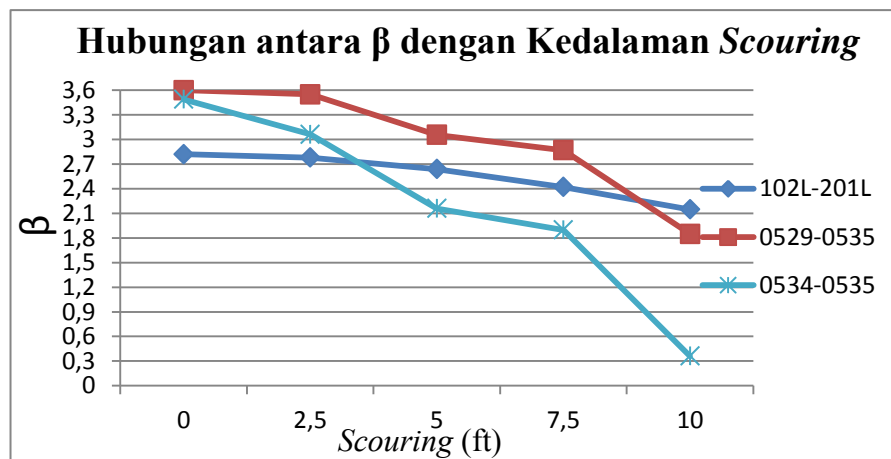
Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K	β
16	5,42	102L-201L	JT5	0,0159	0,9841	2,1467
17	5,76	0529-0535	JH2	0,2067	0,9678	1,85
17	5,76	0535-0536	JH2	0	1	3,59
18	6,1	201L-302L	JT4	0,6949	0,3051	-0,5103
19	6,44	0533-0534	JH2	0,00004	0,99996	3,59
19	6,44	0534-0535	JH2	0,3589	0,6411	0,3614
19	6,44	0586-102L	JH4	0,6634	0,3367	-0,4383
20	6,78	0533-201L	JH1	0,206	0,794	0,802

Berdasarkan Tabel 4.14 diketahui bahwa kondisi *scouring* 10 ft menyebabkan struktur mengalami keruntuhan progresif saat *increment* 20 dengan *load factor* sebesar 6,78 kali kenaikan beban lateral. Peluang kegagalan member terbesar terjadi pada member 201L-302L sebesar 0,6944. Oleh karena itu, member tersebut memiliki keandalan yang paling kecil untuk kondisi *scouring* 10 ft yakni 0,3051.

Harga β sebagai indeks keandalan juga digunakan sebagai parameter dalam menentukan keandalan struktur. Indeks keandalan merefleksikan pengaruh kombinasi antara 2 faktor yakni beban dan kapasitas.

Tabel 4.15. Indeks Keandalan Member Pada Setiap Kedalaman *Scouring*

Member	102L - 201L	0529 -0535	0534 -0535
<i>Scouring</i> (ft)	β	β	β
Non	2,82	3,59	3,49
2,5	2,78	3,55	3,0633
5	2,64	3,0567	2,16
7,5	2,42	2,87	1,8986
10	2,1467	1,85	0,3614

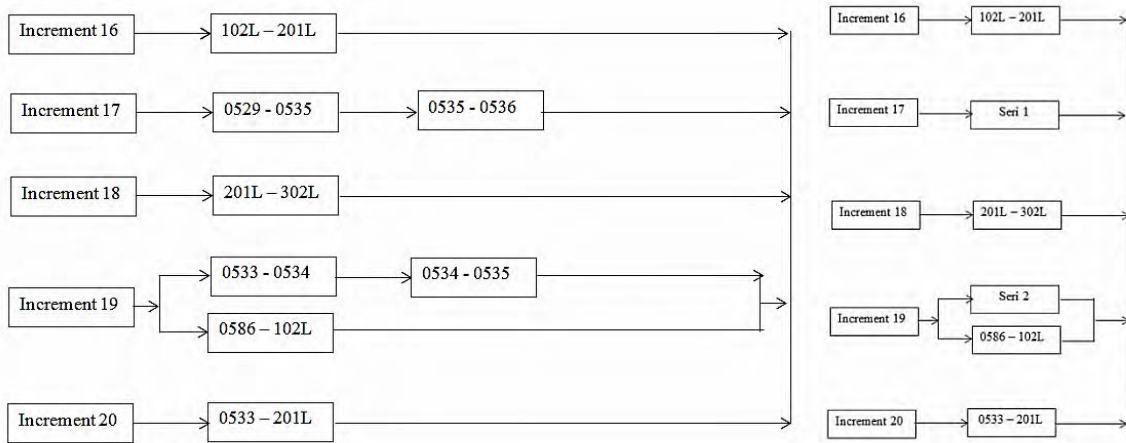


Gambar 4.15. Grafik Hubungan antara β dengan Kedalaman *Scouring*

Berdasarkan Garfik 4.15, dapat diketahui bahwa indeks keandalan struktur menurun seiring dengan penambahan kedalaman *scouring*. Hal ini terjadi karena rentang tegangan yang terjadi juga semakin besar. Penurunan indeks keandalan berbanding lurus dengan keandalan struktur sehingga dapat disimpulkan bahwa peluang kegagalan yang terjadi pada struktur semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kedalaman *scouring*.

Setelah dilakukan perhitungan keandalan tingkat member pada *jacket wellhead tripod platform* UL A PHE ONWJ, selanjutnya akan dilakukan perhitungan keandalan sistem menggunakan metode RBD (*Reliability Block Diagram*). Rangkaian seri digunakan pada member yang mengalami kegagalan pada *incremental load* yang sama dan joint yang saling berhubungan antar member. Sedangkan sistem paralel digunakan pada member yang mengalami

kegagalan pada kondisi *incremental load* yang berbeda. Setelah menentukan jenis sistemnya kemudian bisa dilakukan pengelompokkan member dengan RBD sehingga akan diketahui PoF sistem. Sebagai contoh perhitungan RBD digunakan struktur saat kondisi *scouring* 10 ft.



Gambar 4.16. Reliability Block Diagram (RBD) Kondisi Scouring 10 ft

Berikut ini adalah perhitungan keandalan sistem kondisi *scouring* 10 ft

- Keandalan Sistem Seri

$$\begin{aligned} \text{Seri 1} &= K(0529-0535) \times K(0535-0536) \\ &= 0,9678 \times 1 \\ &= 0,9678 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Seri 2} &= K(0533-0534) \times K(0534-0535) \\ &= 0,99996 \times 0,6411 \\ &= 0,64107 \end{aligned}$$

- Keandalan Sistem

$$\begin{aligned} K_S &= 1 - [(1-K(102L-201L)) \times (1- K(\text{Seri 1})) \times (1-K(201L-302L)) \\ &\quad \times (1-K(\text{Seri 2})) \times (1-K(0586-102L)) \times (1-K(0533-201L))] \\ &= 1 - [(1-0,9841) \times (1-0,9678) \times (1-0,3051) \times (1- 0,641074356) \\ &\quad \times (1-0,3367) \times (1-0,794)] \\ &= 1 - [1,74484564430139E-05] \\ &= 9,999836 \times 10^{-1} \end{aligned}$$

- Kegagalan Sistem

$$\begin{aligned} \text{PoF}_S &= 1 - K_S \\ &= 1 - 9,99982551543557E-01 \\ &= 1,7448456 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan analisis PoF sistem menggunakan RBD maka diperoleh PoF sistem pada masing–masing kondisi di arah pembebanan 30⁰ adalah:

Tabel 4.16. Keandalan Sistem *Platform UL A PHE ONWJ*

Kondisi	PoF	K
<i>Non Scouring</i>	0	1
<i>Scouring 2,5 ft</i>	$6,182721 \times 10^{-12}$	$9,99999999993817 \times 10^{-1}$
<i>Scouring 5 ft</i>	$6,434942 \times 10^{-11}$	$9,999999999935651 \times 10^{-1}$
<i>Scouring 7,5 ft</i>	$1,182089 \times 10^{-09}$	$9,99999998817911 \times 10^{-1}$
<i>Scouring 10 ft</i>	$1,744846 \times 10^{-05}$	$9,99982551543557 \times 10^{-1}$

Berdasarkan Tabel 4.16 diketahui bahwa peluang kegagalan sistem juga mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kedalaman *scouring*. PoF paling besar yakni pada kondisi *scouring* 10 ft sebesar $1,744846 \times 10^{-5}$.

4.5. Matriks Resiko

4.5.1. Konsekuensi Kegagalan

Matriks resiko yang digunakan merupakan matriks 5x5 dengan ketentuan PoF dan konsekuensi sesuai dengan *code* yang digunakan. Konsekuensi adalah salah satu variabel dalam menentukan besarnya resiko kegagalan suatu obyek seperti kegagalan member pada analisis *pushover*. *Probability of Failure* diambil dari PoF sistem hasil perhitungan untuk kondisi *non scouring*, *scouring* 2,5 ft, *scouring* 5 ft, *scouring* 7,5 ft, dan *scouring* 10 ft. Berikut ini kategori *probabilty of failure* :

Tabel 4.17. Kategori *Probability of Failure* (DNV RP G – 101)

Category	Annual Failure Probability		Description
	Quantitative	Qualitative	
5	$> 10^{-2}$	Failure Expected	(1) In a small population*, one or more failures can be expected annually (2) Failure has occurred several times a year in location
4	$10^{-3} - 10^{-2}$	High	(1) In a large population**, one or more failures can be expected annually (2) Failure has occurred several times a year in operating company
3	$10^{-4} - 10^{-3}$	Medium	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a small number of components (2) Failure has occurred in operating company
2	$10^{-5} - 10^{-4}$	Low	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components (2) Failure has occurred in industry
1	$< 10^{-5}$	Negligible	(1) Failure is not expected (2) Failure has not occurred in industry
Notes :			
* Small population = 20 to 50 components			
** Large population = more than 50 components			

Berdasarkan kategori yang telah dijelaskan pada Tabel 4.17, maka dilakukan analisis konsekuensi terhadap kegagalan struktur UL A PHE ONWJ akibat *incremental* beban lateral. Analisis ini dilakukan pada member dengan tingkat plastisitas 100 % yang bisa mengakibatkan kerusakan pada tubular. Apabila hal ini terjadi maka akan berdampak pada penurunan kekuatan global struktur hingga akhirnya mengalami keruntuhan. Berikut ini kategori *consequence of failure* yang dapat digambarkan :

Tabel 4.18. Kategori *Consequence of Failure* (DNV RP G – 101)

Tingkat	Consequence of failure		
	Keselamatan Personil	Dampak Lingkungan	Dampak Finansial
A	Diabaikan	Diabaikan	Diabaikan
B	Luka ringan	Ringan	Ringan
C	Luka berat	Lokal	Lokal
D	Kematian	Besar	Besar
E	Banyak kematian	Sangat Besar	Sangat Besar

Setelah melakukan penggolongan tingkatan peluang kegagalan dan konsekuensi kegagalan, maka selanjutnya melakukan analisis resiko sesuai dengan matriks resiko berikut ini:

Tabel 4.19. Matriks Resiko (DNV RP G – 101)

POF Rank	POF Rank ing	PoF Description	A	B	C	D	E
5	> 10 ⁻²	(1) In a small population*, one or more failures can be expected annually (2) Failure has occurred several times a year in location	YELLOW	RED	RED	RED	RED
4	10 ⁻³ - 10 ⁻²	(1) In a large population**, one or more failures can be expected annually (2) Failure has occurred several times a year in operating company	YELLOW	YELLOW	RED	RED	RED
3	10 ⁻⁴ - 10 ⁻³	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a small number of components (2) Failure has occurred in operating company	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED	RED
2	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁴	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components (2) Failure has occurred in industry	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED
1	< 10 ⁻⁵	(1) Failure is not expected (2) Failure has not occurred in industry	GREEN	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW
Co F Types	Safety		No Injury	Minor Injury	Major Injury	Single Fatality	Multiple Fatalities
	Environment		No Pollution	Minor local effect. Can be cleaned up easily	Significant local effect. Will take more than 1 man week to remove	Pollution has significant effect upon the surrounding ecosystem (e.g. population of birds or fish)	Pollution that can cause massive and irreparable damage to ecosystem
	Business		No downtime or asset damage	< € 10.000 damage or downtime < one shift	< € 100.000 damage or downtime < 4 shift	< € 1.000.000 damage or downtime < one month	< € 10.000.000 damage or downtime one year
	CoF Ranking		A	B	C	D	E

4.5.2. Analisis Resiko

Struktur *jacket platform* UL A PHE ONWJ merupakan *wellhead platform* yang berfungsi melakukan eksplotasi untuk memproduksi minyak bumi. *Wellhead platform* tidak dihuni oleh manusia (*unmanned*) sehingga tidak akan menimbulkan korban manusia. Walaupun demikian konsekuensi atas keruntuhan struktur akan berdampak pada proses produksi yang terganggu dan mengalami penghentian. Sehingga hal tersebut akan menyebabkan kerugian yang cukup signifikan baik pada segi produksi, waktu, biaya hingga lingkungan sekitar.

Keruntuhan struktur *jacket wellhead platform* UL A PHE ONWJ ini menyebabkan bocornya pipa-pipa minyak yang menyalurkan minyak dari *well* ke tempat proses produksi dan penyimpanan. Hal ini tentu saja berdampak pada lingkungan sekitar, karena menyebabkan polusi yang dapat mencemari ekosistem dan biota laut. Selain itu, gas hasil produksi ini juga memiliki kandungan methane sebesar 76,3193 % mole dan CO₂ sebesar 2,7718 % mole. Berdasarkan data ini maka *platform* UL A termasuk dalam kategori *pollution* apabila struktur

mengalami kegagalan. Gas methane memiliki dampak yang buruk bagi lingkungan dikarenakan gas methane merupakan gas dengan emisi gas rumah kaca 23x lebih ganas daripada gas karbondioksida. Secara tidak langsung, gas methane merupakan gas kontributor penyebab utama pemanasan global yang berdampak pada perubahan iklim. Oleh karena itu, pencemaran laut oleh gas methane ini dapat menyebabkan pemanasan global yang sangat parah sehingga mungkin dapat mematikan sebagian besar makhluk hidup yang ada di laut maupun darat. Serta, dampak finansial yang ditimbulkan juga besar karena kerugian akibat pencemaran ini.

Struktur UL A PHE ONWJ memproduksi minyak \pm 2200 bopd dan gas \pm 10000 mscfd dengan tekanan operasi 1600 psig, temperature hasil produksi 120 °F. Dengan hasil produksi yang cukup besar setiap harinya, resiko yang ditimbulkan akibat keruntuhan struktur akan berpengaruh besar pula dalam segi ekonomi. Seperti yang diketahui, sejak awal tahun 2015 ini harga minyak dunia terus mengalami penurunan. Namun penurunan ini, tetap membuat harga minyak dunia mahal. Apabila terjadi kegagalan dalam proses produksi, maka kerugian yang dialami oleh perusahaan juga akan tetap besar. Minyak mentah untuk bulan Juli ini diperkirakan mencapai \pm € 54,18 per barel atau mengalami penurunan sebesar 0,53 % dari bulan sebelumnya. Hal ini berarti apabila struktur UL A yang memproduksi minyak 2200 bopd apabila terjadi keruntuhan akan mengalami kerugian yang mencapai \pm € 119.200,-

Berdasarkan analisis konsekuensi diatas, konsekuensi *safety* untuk struktur yang mengalami *scouring* 10 ft diperoleh termasuk dalam kategori CoV ranking A, konsekuensi *environment* termasuk dalam kategori CoV ranking D, konsekuensi *business* termasuk dalam kategori CoV ranking E. PoF pada struktur kondisi *scouring* 10 ft ini yakni sebesar $E1,74484564430255E-05$ yang termasuk dalam kategori PoF Ranking 2. Kemudian dimasukkan dalam matriks resiko DnV RP G 101 sehingga diperoleh matriks resiko berikut ini :

Tabel 4.20. Matriks Resiko Struktur Kondisi *Scouring* 10 ft

POF Ranking	Quantitative	PoF Description	A	B	C	D	E
5	$> 10^{-2}$	(1) In a small population*, one or more failures can be expected annually (2) Failure has occurred several times a year in location	YELLOW	RED	RED	RED	RED
4	$10^{-3} - 10^{-2}$	(1) In a large population**, one or more failures can be expected annually (2) Failure has occurred several times a year in operating company	YELLOW	YELLOW	RED	RED	RED
3	$10^{-4} - 10^{-3}$	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a small number of components (2) Failure has occurred in operating company	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED	RED
2	$10^{-5} - 10^{-4}$	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components (2) Failure has occurred in industry	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED
1	$< 10^{-5}$	(1) Failure is not expected (2) Failure has not occurred in industry	GREEN	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW
CoF Types	Safety		No Injury	Minor Injury	Major Injury	Single Fatality	Multiple Fatalities
	Environment		No Pollution	Minor local effect. Can be cleaned up easily	Significant local effect. Will take more than 1 man week to remove	Pollution has significant effect upon the surrounding ecosystem (e.g. population of birds or fish)	Pollution that can cause massive and irreparable damage to ecosystem
	Business		No downtime or asset damage	< € 10.000 damage or downtime < one shift	< € 100.000 damage or downtime < 4 shift	< € 1.000.000 damage or downtime < one month	< € 10.000.000 damage or downtime one year
CoF Ranking			A	B	C	D	E

Perhitungan peluang kegagalan sistem pada kondisi *scouring* 7,5 ft, *scouring* 5 ft, *scouring* 2,5 ft, dan *non scouring* berada pada rentang $1 - 1,18208864918756E-09$. Harga tersebut sangat kecil, namun begitu tetap memiliki kemungkinan untuk terjadi. Dengan rentang nilai yang berada di bawah 10^{-6} , hal ini berarti bahwa peluang kegagalan yang terjadi sama – sama berada pada ranking 1. Oleh karena itu, pemilihan konsekuensi dan matriks resiko juga dapat dikategorikan sama. Kategori konsekuensi yang diperoleh yakni konsekuensi *safety* termasuk dalam kategori CoV ranking A, konsekuensi *environment* termasuk dalam kategori CoV ranking D, konsekuensi *business* termasuk dalam kategori CoV ranking E. Kemudian dimasukkan dalam matriks resiko DnV RP G 101 sehingga diperoleh matriks resiko berikut ini :

Tabel 4.21. Matriks Resiko Struktur Kondisi *Scouring* 7,5 ft hingga Kondisi *Non Scouring*

POF Ranking	Quantitative	PoF Description	A	B	C	D	E
5	$> 10^{-2}$	(1) In a small population*, one or more failures can be expected annually (2) Failure has occurred several times a year in location	YELLOW	RED	RED	RED	RED
4	$10^{-3} - 10^{-2}$	(1) In a large population**, one or more failures can be expected annually (2) Failure has occurred several times a year in operating company	YELLOW	YELLOW	RED	RED	RED
3	$10^{-4} - 10^{-3}$	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a small number of components (2) Failure has occurred in operating company	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED	RED
2	$10^{-5} - 10^{-4}$	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components (2) Failure has occurred in industry	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED
1	$< 10^{-5}$	(1) Failure is not expected (2) Failure has not occurred in industry	GREEN	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW
CoF Types	Safety		No Injury	Minor Injury	Major Injury	Single Fatality	Multiple Fatalities
	Environment		No Pollution	Minor local effect. Can be cleaned up easily	Significant local effect. Will take more than 1 man week to remove	Pollution has significant effect upon the surrounding ecosystem (e.g. population of birds or fish)	Pollution that can cause massive and irreparable damage to ecosystem
	Business		No downtime or asset damage	$< \text{€ } 10.000$ damage or downtime $<$ one shift	$< \text{€ } 100.000$ damage or downtime $<$ 4 shift	$< \text{€ } 1.000.000$ damage or downtime $<$ one month	$< \text{€ } 10.000.000$ damage or downtime one year
	CoF Ranking		A	B	C	D	E

Berdasarkan matriks resiko Tabel 4.21 dapat disimpulkan menjadi matriks resiko menurut kategori konsekuensi *safety*, *environment*, dan *business* seperti dibawah ini :

Tabel 4.22. Matriks Resiko Kategori Konsekuensi *Safety*

POF Ranking	A	B	C	D	E
5	YELLOW	RED	RED	RED	RED
4	YELLOW	YELLOW	RED	RED	RED
3	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED	RED
2	<i>Scouring</i> 10 ft	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED
1	<i>Scouring</i> 7,5 ft; 5 ft; 2,5 ft; <i>non scouring</i>	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW
<i>Safety</i>	A	B	C	D	E

Berdasarkan matriks resiko Tabel 4.22, untuk kategori konsekuensi *safety* baik dalam kondisi non scouring maupun *scouring* 10 ft, struktur tetap berada pada area *green* yang termasuk level *low risk* atau resiko rendah

Tabel 4.23. Matriks Resiko Konsekuensi *Environment*

POF Ranking	A	B	C	D	E
5					
4					
3					
2					<i>Scouring 10 ft</i>
1					<i>Scouring 7,5 ft; 5 ft; 2,5 ft; non scouring</i>
<i>Environment</i>	A	B	C	D	E

Berdasarkan matriks resiko Tabel 4.23, untuk kategori konsekuensi *environment* dalam kondisi *scouring* 10 ft berada pada area *red* yang termasuk level *high risk* atau resiko tinggi. Sedangkan untuk kondisi *scouring* 7,5 ft, *scouring* 5 ft, *scouring* 2,5 ft, dan *non scouring*, struktur berada pada area *yellow* yang termasuk level *medium risk*.

Tabel 4.24. Matriks Resiko Konsekuensi *Business*

POF Ranking	A	B	C	D	E
5					
4					
3					
2				<i>Scouring 10 ft</i>	
1				<i>Scouring 7,5 ft; 5 ft; 2,5 ft; non scouring</i>	
<i>Business</i>	A	B	C	D	E

Berdasarkan Tabel 4.24 diketahui bahwa matriks resiko kategori konsekuensi *business* dalam kondisi *non scouring* maupun *scouring* 10 ft, struktur tetap berada di area *yellow*. Area *yellow* merupakan daerah *as low as reasonably practicable* yakni area yang beresiko cukup rendah tetapi tidak ideal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan diperoleh beberapa kesimpulan:

- a. Setelah proses analisis statis *inplace* kondisi badai, diketahui bahwa kedalaman *scouring* maksimum yang diijinkan adalah kedalaman *scouring* 15 ft atau 6 kali *design scouring*. Kondisi *scouring* 15 ft UC *member* terbesar mencapai 0.9752 pada *member* 0403-0438. *Joint punching shear check* terbesar mencapai 0,881 pada joint 403L. *Safety factor pile* terkecil yakni pada pile 002P sebesar 2,0261
- b. Analisis *pushover platform* UL A PHE ONWJ menghasilkan *RSR* terkecil pada arah pembebanan 30^0 . Pada kondisi *non scouring* *RSR* mencapai 7,899; pada kondisi *scouring* 2,5 ft *RSR* mengalami penurunan menjadi 7,418; hingga pada kondisi *scouring* 17,5 ft *RSR* terus mengalami penurunan menjadi 5,474 dan SR 1,160.
- c. Hasil perhitungan keandalan sistem menunjukkan bahwa kondisi *nonscouring* struktur memiliki keandalan 1. Saat terjadi *scouring* 2,5 ft keandalan struktur mengalami penurunan menjadi 0,999999. Hingga saat *scouring* 10 ft keandalan sistem mencapai 0,999982 dengan PoF terbesar $1,744845 \times 10^{-5}$.
- d. Berdasarkan matriks resiko, didapatkan *platform* ULA PHE ONWJ untuk kategori konsekuensi *safety* dalam kondisi *non scouring* hingga *scouring* 10 ft berada pada area *green* yang termasuk resiko rendah. Kategori konsekuensi *environment* dalam kondisi *scouring* 10 ft struktur berada pada area *red* yang termasuk resiko tinggi, sedangkan kondisi *non scouring* hingga *scouring* 7,5 ft struktur berada pada area *yellow* yang termasuk *medium risk*. Kategori konsekuensi *business* dalam kondisi *non scouring* hingga *scouring* 10 ft, struktur tetap berada di area *yellow* yang merupakan daerah *as low as reasonably practicable* (ALARP).

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, penulis mencoba memberikan saran sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian Tugas Akhir selanjutnya antara lain :

- a. Dapat dilakukan perbandingan hasil analisis *pushover* nonlinier dengan linier
- b. Perlu dilanjutkan menjadi analisis manajemen resiko sehingga dapat dilakukan mitigasi dan *inspection planning* guna meminimalkan resiko kegagalan.
- c. Selain itu, estimasi biaya juga perlu diperhitungkan dalam manajemen guna kebutuhan inspeksi.

Daftar Pustaka

- American Petroleum Institute, 1997, Recommended Practice For Planning, Designing and Construction Fixed Offshore Platform. Official Publication Washington DC.
- Det Norske Veritas, 2010, Recommended Practice Det Norske Veritas RP G101 Risk Based Inspection Offshore Topsides Static Mechanical Equipment. Official Publication Texas.
- Hardiansah, Moch Ibnu, 2012, “Analisa Kekuatan Ultimate Pada Konstruksi Deck Jacket Platform Akibat Slamming Beban Slamming Gelombang”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Hartanto, Kusnu Budi, 2012, “Aplikasi Manajemen Resiko Pada Re-Engineering Analysis, Studi Kasus Perpanjangan Service Life Platform Lepas Pantai”, *Tesis Program Studi Manajemen Gas Teknik Kimia Universitas Indonesia*, Universitas Indonesia Depok
- International Standardization Organization 19902, 2007, International Standard Petroleum and Natural Gas Industries Fixed Steel Offshore Structures. Official Publication Switzerland
- Maharlika, Ade Yusa, 2012, “Analisis Keruntuhan Jacket Platform Akibat Beban Gempa Dengan Variasi Elevasi Deck”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Novanda, Ardian Krisna, 2012, “Analisa Lifting Topside Platform Dengan Pendekatan Dinamik Berbasis Resiko”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Nurdianti, Ulfa, 2013, “Studi Keandalan Struktur Gedung Tinggi Tidak Beraturan Menggunakan Pushover Analysis pada Tanah Medium”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin*, Universitas Hasanuddin Makassar

- Nuriman, Fahmi, 2013, “ Analisa Kekuatan Ultimate Struktur Jacket Wellhead Tripod Platform Akibat Penambahan Conductor dan Deck Extension”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Prihantika, Edit Hasta, (2013), “Analisis Dampak Scouring pada Integritas Jacket Structure dengan Pendekatan Statis Berbasis Keandalan”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Popov, E.P., 1993. “Mekanika Teknik”, Jakarta : Erlangga
- P. Khwairakpam, A. Mazumdar, 2009, “Local Scour Around Hydraulic Structures”, *International Journal of Recent Trends in Engineering, Volume 6 (3) : 59 – 61, American Council for an Energy –Efficient Economy*
- Robayasa, Nasta Ina, 2012, “Analisa Kekuatan Ultimate Struktur Jacket Well Tripod Platform Berbasis Resiko”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Rosyid, Daniel M, 2007, *Pengantar Rekayasa Keandalan*, Surabaya: Airlangga University Press
- Soedjono, J. J. (1998). Diktat Mata Kuliah Konstruksi Bangunan Laut II. Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya
- Sucipto dan Nur Qudus, 2004, “Analisis Gerusan Lokal di Hilir Bed Protection”, *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*. Nomor 1 Volume 6, Januari 2004. UNNES Semarang
- S. H. Ni, Y. H. Huang, and K. F. Lo, 2012, “Numerical Investigation of the Scouring Effect on the Lateral Response of Piles in Sand ”, *International Journal of Performance of Constructed Facilities , Volume 1 (6) : 320 – 325, American Society of Civil Engineers*

BIODATA PENULIS



Bunga Septya Winata Sari, lahir di kota Surabaya, 02 September 1993. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SDN Mojo III No 222 Surabaya pada tahun 1999-2005. Kemudian melanjutkan pendidikan pertama di SMPN 6 Surabaya pada tahun 2005-2008. Penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 6 Surabaya pada tahun 2008-2011. Pada tahun 2011, penulis mengikuti SNMPTN undangan dan melanjutkan pendidikan Strata 1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi

Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis pernah menjalani kerja praktek di PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero) Jakarta selama 2 bulan. Penulis pernah aktif di beberapa organisasi mahasiswa kampus, antara lain pada tahun 2013 sebagai kepala Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himatekla FTK ITS, dan pada tahun 2012 sebagai staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himatekla FTK ITS serta staff magang Kementerian Dalam Negeri BEM ITS. Buku Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Kekuatan *Ultimate* Berbasis Resiko Pada Struktur *Jacket Wellhead Tripod Platform* Akibat Terjadinya *Scouring*” telah diselesaikan penulis dalam 1 semester sebagai syarat akhir kelulusan. Permasalahan yang diangkat oleh penulis mendasar kepada salah satu bidang keahlian di Jurusan Teknik Kelautan.

LAMPIRAN 1
INPUT DATA TANAH

67	SOIL	T-Z		4.08	0.05	6.8	0.09	10.2	0.17	12.24	0.24	
68	SOIL	T-Z	13.61	0.3	12.24	0.6	12.24	1.5				
69	SOIL T-Z	SLOCSM	8	114.83		0.001						
70	SOIL	T-Z		6.95	0.05	11.59	0.09	17.38	0.17	20.86	0.24	
71	SOIL	T-Z	23.18	0.3	20.86	0.6	20.86	1.5				
72	SOIL T-Z	SLOCSM	8	118.11		0.001						
73	SOIL	T-Z		7.	0.05	11.67	0.09	17.5	0.17	21.	0.24	
74	SOIL	T-Z	23.34	0.3	21.	0.6	21.	1.5				
75	SOIL T-Z	SLOCSM	8	134.51		0.001						
76	SOIL	T-Z		7.16	0.05	11.93	0.09	17.89	0.17	21.47	0.24	
77	SOIL	T-Z	23.86	0.3	20.75	0.6	21.47	1.5				
78	SOIL T-Z	SLOCSM	8	144.36		0.001						
79	SOIL	T-Z		7.44	0.05	12.4	0.09	18.6	0.17	22.32	0.24	
80	SOIL	T-Z	24.8	0.3	22.32	0.6	22.32	1.5				
81	SOIL T-Z	SLOCSM	8	173.89		0.001						
82	SOIL	T-Z		8.04	0.05	13.4	0.09	20.1	0.17	24.12	0.24	
83	SOIL	T-Z	26.8	0.3	24.12	0.6	24.12	1.5				
84	SOIL T-Z	SLOCSM	8	180.45		0.001						
85	SOIL	T-Z		8.18	0.05	13.63	0.09	20.45	0.17	24.54	0.24	
86	SOIL	T-Z	24.54	0.3	24.54	0.6	24.54	1.5				
87	SOIL T-Z	SLOCSM	8	227.36		0.001						
88	SOIL	T-Z		10.09	0.05	16.82	0.09	25.23	0.17	30.27	0.24	
89	SOIL	T-Z	33.63	0.3	30.27	0.6	30.27	1.5				
90	SOIL BEARING HEAD	18										
91	SOIL BEAR	SLOC	7			.00167						
92	SOIL	T-Z	0.3	0.06	0.5	0.39	0.7	0.75	0.8	1.26	1.	2.2
93	SOIL	T-Z	1.1	2.99	1.1	14.96						
94	SOIL BEAR	SLOC	7	2.51		.00167						
95	SOIL	T-Z	4.11	0.06	8.20	0.39	10.99	0.75	12.31	1.26	14.72	2.2
96	SOIL	T-Z	16.42	2.99	16.42	14.96						
97	SOIL BEAR	SLOC	7	3.28		.00167						
98	SOIL	T-Z	5.3	0.06	10.6	0.39	14.2	0.75	15.9	1.26	19.	2.2
99	SOIL	T-Z	21.2	2.99	21.2	14.96						
100	SOIL BEAR	SLOC	7	5.01		.00167						
101	SOIL	T-Z	8.26	0.06	16.52	0.39	22.14	0.75	24.80	1.26	29.68	2.2
102	SOIL	T-Z	33.06	2.99	33.06	14.96						
103	SOIL BEAR	SLOC	7	7.51		.00167						
104	SOIL	T-Z	12.57	0.06	25.13	0.39	33.68	0.75	37.73	1.26	45.20	2.2
105	SOIL	T-Z	50.30	2.99	50.30	14.96						
106	SOIL BEAR	SLOC	7	10.01		.00167						
107	SOIL	T-Z	16.87	0.06	33.74	0.39	45.23	0.75	50.67	1.26	60.73	2.2
108	SOIL	T-Z	67.54	2.99	67.54	14.96						
109	SOIL BEAR	SLOC	7	12.51		.00167						
110	SOIL	T-Z	21.18	0.06	42.35	0.39	56.77	0.75	63.60	1.26	76.25	2.2
111	SOIL	T-Z	84.78	2.99	84.78	14.96						
112	SOIL BEAR	SLOC	7	15.01		.00167						
113	SOIL	T-Z	25.48	0.06	50.96	0.39	68.32	0.75	76.54	1.26	91.78	2.2
114	SOIL	T-Z	102.02	2.99	102.02	14.96						
115	SOIL BEAR	SLOC	7	16.4		.00167						
116	SOIL	T-Z	27.9	0.06	55.8	0.39	74.8	0.75	83.8	1.26	100.5	2.2
117	SOIL	T-Z	111.7	2.99	111.7	14.96						
118	SOIL BEAR	SLOC	7	17.51		.00167						
119	SOIL	T-Z	28.10	0.06	56.19	0.39	75.33	0.75	84.39	1.26	101.20	2.2
120	SOIL	T-Z	112.49	2.99	112.49	14.96						
121	SOIL BEAR	SLOC	7	45.28		.00167						
122	SOIL	T-Z	33.1	0.06	66.1	0.39	88.6	0.75	99.2	1.26	119.	2.2
123	SOIL	T-Z	132.3	2.99	132.2	14.96						
124	SOIL BEAR	SLOC	7	53.81		.00167						
125	SOIL	T-Z	119.	0.06	238.1	0.39	319.	0.75	357.1	1.26	428.5	2.2
126	SOIL	T-Z	476.1	2.99	476.1	14.96						
127	SOIL BEAR	SLOC	7	65.95		.00167						
128	SOIL	T-Z	147.8	0.06	295.5	0.39	396.	0.75	443.3	1.26	531.9	2.2
129	SOIL	T-Z	591.	2.99	591.	14.96						
130	SOIL BEAR	SLOC	7	91.86		.00167						
131	SOIL	T-Z	153.9	0.06	307.8	0.39	412.5	0.75	461.7	1.26	554.1	2.2
132	SOIL	T-Z	615.6	2.99	615.6	14.96						

LAMPIRAN 2
INPUT ANALISIS
KERUNTUHAN

- Arah Pembebanan 0⁰ (ST01)

```

1 CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR   0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ COBA          GRV2  1    1.    1.
4 LDSEQ COBA          ST01 50    1.   18.
5 GRPELA          MD1 MD2 MD3 MD4 MZ1 MZ2 CD1 CD2 CD3 CD4 CD5 SC1 SC2 DL1 DL2
6 GRPELA          DL3 BR2 JH7 JH8 JH9 MT2 SSC CT1 RIS W.B
7 END

```

- Arah Pembebanan 30⁰ (ST02)

```

1 CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR   0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ COBA          GRV2  1    1.    1.
4 LDSEQ COBA          ST02 50    1.   18.
5 GRPELA          MD1 MD2 MD3 MD4 MZ1 MZ2 CD1 CD2 CD3 CD4 CD5 SC1 SC2 DL1 DL2
6 GRPELA          DL3 BR2 JH7 JH8 JH9 MT2 SSC CT1 RIS W.B
7 END

```

- Arah Pembebanan 60⁰ (ST03)

```

1 CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR   0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ COBA          GRV2  1    1.    1.
4 LDSEQ COBA          ST03 50    1.   18.
5 GRPELA          MD1 MD2 MD3 MD4 MZ1 MZ2 CD1 CD2 CD3 CD4 CD5 SC1 SC2 DL1 DL2
6 GRPELA          DL3 BR2 JH7 JH8 JH9 MT2 SSC CT1 RIS W.B
7 END

```

- Arah Pembebanan 90⁰ (ST04)

```

1 CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR   0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ COBA          GRV2  1    1.    1.
4 LDSEQ COBA          ST04 50    1.   18.
5 GRPELA          MD1 MD2 MD3 MD4 MZ1 MZ2 CD1 CD2 CD3 CD4 CD5 SC1 SC2 DL1 DL2
6 GRPELA          DL3 BR2 JH7 JH8 JH9 MT2 SSC CT1 RIS W.B
7 END

```

- Arah Pembebanan 120⁰ (ST05)

```

1 CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR   0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ COBA          GRV2  1    1.    1.
4 LDSEQ COBA          ST05 50    1.   18.
5 GRPELA          MD1 MD2 MD3 MD4 MZ1 MZ2 CD1 CD2 CD3 CD4 CD5 SC1 SC2 DL1 DL2
6 GRPELA          DL3 BR2 JH7 JH8 JH9 MT2 SSC CT1 RIS W.B
7 END

```

- Arah Pembebanan 150⁰ (ST06)

```

1 CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR   0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ COBA          GRV2  1    1.    1.
4 LDSEQ COBA          ST06 50    1.   18.
5 GRPELA          MD1 MD2 MD3 MD4 MZ1 MZ2 CD1 CD2 CD3 CD4 CD5 SC1 SC2 DL1 DL2
6 GRPELA          DL3 BR2 JH7 JH8 JH9 MT2 SSC CT1 RIS W.B
7 END

```


- Arah Pembebanan 180⁰ (ST07)

```

1 CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ COBA          GRV2  1    1.    1.
4 LDSEQ COBA          ST07 50    1.   18.
5 GRPELA          MD1 MD2 MD3 MD4 MZ1 MZ2 CD1 CD2 CD3 CD4 CD5 SC1 SC2 DL1 DL2
6 GRPELA          DL3 BR2 JH7 JH8 JH9 MT2 SSC CT1 RIS W.B
7 END

```

- Arah Pembebanan 210⁰ (ST08)

```

1 CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ COBA          GRV2  1    1.    1.
4 LDSEQ COBA          ST08 50    1.   18.
5 GRPELA          MD1 MD2 MD3 MD4 MZ1 MZ2 CD1 CD2 CD3 CD4 CD5 SC1 SC2 DL1 DL2
6 GRPELA          DL3 BR2 JH7 JH8 JH9 MT2 SSC CT1 RIS W.B
7 END

```

- Arah Pembebanan 240⁰ (ST09)

```

1 CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ COBA          GRV2  1    1.    1.
4 LDSEQ COBA          ST09 50    1.   18.
5 GRPELA          MD1 MD2 MD3 MD4 MZ1 MZ2 CD1 CD2 CD3 CD4 CD5 SC1 SC2 DL1 DL2
6 GRPELA          DL3 BR2 JH7 JH8 JH9 MT2 SSC CT1 RIS W.B
7 END

```

- Arah Pembebanan 270⁰ (ST10)

```

1 CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ COBA          GRV2  1    1.    1.
4 LDSEQ COBA          ST10 50    1.   18.
5 GRPELA          MD1 MD2 MD3 MD4 MZ1 MZ2 CD1 CD2 CD3 CD4 CD5 SC1 SC2 DL1 DL2
6 GRPELA          DL3 BR2 JH7 JH8 JH9 MT2 SSC CT1 RIS W.B
7 END

```

- Arah Pembebanan 300⁰ (ST11)

```

1 CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ COBA          GRV2  1    1.    1.
4 LDSEQ COBA          ST11 50    1.   18.
5 GRPELA          MD1 MD2 MD3 MD4 MZ1 MZ2 CD1 CD2 CD3 CD4 CD5 SC1 SC2 DL1 DL2
6 GRPELA          DL3 BR2 JH7 JH8 JH9 MT2 SSC CT1 RIS W.B
7 END

```

- Arah Pembebanan 330⁰ (ST12)

```

1 CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ COBA          GRV2  1    1.    1.
4 LDSEQ COBA          ST12 50    1.   18.
5 GRPELA          MD1 MD2 MD3 MD4 MZ1 MZ2 CD1 CD2 CD3 CD4 CD5 SC1 SC2 DL1 DL2
6 GRPELA          DL3 BR2 JH7 JH8 JH9 MT2 SSC CT1 RIS W.B
7 END

```

LAMPIRAN 3
OUTPUT ANALISIS INPLACE
DAN PUSHOVER

- Daftar Member Dengan Plastisitas 100% Arah 30° Kondisi *Non Scouring*

INCREMENT	MEMBER JOINTS	GROUP ID	MAXIMUM COMBINED UC	LENGTH (ft)	MEAN				
					P kips	My in-kip	Mz in-kip	Pn kips	Mp in-kip
18	102L-201L	JT5	0,572	48,61	-202,66	305,59	49,334	878,779	-723,6
20	0533-0534	JH2	0,398	6,11	-4,8624	-126,31	388,3	261,628	1874,8
20	0534-0535	JH2	0,174	1,93	5,1948	-39,403	165,17	-143,79	-355,5
21	0586-102L	JH4	0,21	3,78	67,151	181,61	-92,077	81,091	1302
22	0529-0535	JH2	0,273	29,4	5,635	-272,04	-28,008	212,58	894,4
22	0530-0536	JH2	0,158	1,92	0,87363	86,364	16,37	60,321	1569,7
22	0533-201L	JH1	0,178	24,41	-31,039	-112,23	52,485	82,553	-2721,1
22	0535-0536	JH2	0,163	1,93	2,999	163,86	3,2205	-62,299	1884,9
23	0470-402L	JH1	0,22	3,47	-8,712	251,28	-170,07	-257,676	-189,2
23	201L-0540	JH1	0,133	20,25	36,304	49,086	-49,56	109,669	4079,2
23	0587-0588	JH4	0,244	3,77	71,291	264,62	-35,86	-15,545	-4058,6
23	201L-302L	JT4	0,477	51,89	-125,5	71,326	-59,295	-1003,9	1211,4
23	502L-602L	PL6	0,167	1,27	-85,938	-2120	65,504	-192,847	29187
23	602L-702L	PL7	0,162	1,27	-119,68	1386,4	1071,4	-221,527	29099,3

- Daftar Member Dengan Plastisitas 100% Arah 30° Kondisi *Scouring* 2,5 ft

INCREMENT	MEMBER JOINTS	GROUP ID	MAXIMUM COMBINED UC	LENGTH (ft)	MEAN				
					P kips	My in-kip	Mz in-kip	Pn kips	Mp in-kip
17	102L-201L	JT5	0,572	48,61	-202,67	305,61	49,35	878,778	-723,5
19	0533-0534	JH2	0,399	6,11	-4,8701	-126,33	388,69	-258,664	1837,6
19	0534-0535	JH2	0,175	1,93	5,1975	-39,394	165,33	-170,241	-299,1
21	0529-0535	JH2	0,273	1,92	5,639	-272,17	-28,023	171,234	580,1
21	0530-0536	JH2	0,158	1,92	0,87525	86,417	16,392	59,4	1568,4
21	0535-0536	JH2	0,163	1,93	3,002	163,96	3,2155	-96,618	1862,9
21	0586-102L	JH4	0,21	3,78	67,14	181,63	-92,09	78,201	1406
22	0533-201L	JH1	0,178	24,41	-31,048	-112,24	52,582	-65,001	2543,6
23	201L-302L	JT4	0,476	51,89	-125,49	71,321	-59,307	400,043	-7626,7

- Daftar Member Dengan Plastisitas 100% Arah 30° Kondisi *Scouring* 5 ft

INCREMENT	MEMBER JOINTS	GROUP ID	MAXIMUM COMBINED UC	LENGTH (ft)	MEAN				
					P kips	My in-kip	Mz in-kip	Pn kips	Mp in-kip
16	102L-201L	JT5	0,577	48,61	-204,31	307,84	49,134	879,366	668,4
18	201L-302L	JT4	0,475	51,89	-125,05	70,733	-59,474	295,069	6869,2
19	0533-0534	JH2	0,426	6,11	-5,4296	-127,92	416,4	235,565	2058,8
19	0534-0535	JH2	0,174	1,93	5,1948	-39,403	165,17	-90,777	-227,1
19	0586-102L	JH4	0,213	3,78	67,278	187,68	-92,713	71,311	1315,6
20	0529-0535	JH2	0,273	1,92	5,635	-272,04	-28,008	84,152	518,1
20	0530-0536	JH2	0,158	1,92	0,87363	86,364	16,37	111,202	1570,4
20	0535-0536	JH2	0,167	1,93	3,19	167,88	2,9369	15,308	1826,7
21	0533-201L	JH1	0,184	24,41	-32,169	-113,72	59,517	36,948	-2920,4

- Daftar Member Dengan Plastisitas 100% Arah 30° Kondisi *Scouring* 7,5 ft

INCREMENT	MEMBER JOINTS	GROUP ID	MAXIMUM COMBINED UC	LENGTH (ft)	MEAN				
					P kips	My in-kip	Mz in-kip	Pn kips	Mp in-kip
16	102L-201L	JT5	0,582	48,61	-206,07	310,17	49,004	880,423	-629,4
17	0529-0535	JH2	0,289	1,92	6,703	-286,01	-29,058	-20,108	-1392
17	0535-0536	JH2	0,172	1,93	3,428	172,9	2,6018	185,072	1391
18	201L-302L	JT4	0,472	51,89	-124,51	70,049	-59,677	259,663	6883,9
19	0586-102L	JH4	0,215	3,78	67,39	194,2	-93,442	69,93	1202,1
19	0533-0534	JH2	0,46	6,11	-6,1356	-130,2	451,53	115,367	1103,2
19	0534-0535	JH2	0,199	1,93	5,6839	-39,625	190,73	61,676	-251,6
21	0533-201L	JH1	0,192	24,41	-33,437	-115,82	68,364	-41,348	726,8

- Daftar Member Dengan Plastisitas 100% Arah 30° Kondisi *Scouring* 10 ft

INCREMENT	MEMBER JOINTS	GROUP ID	MAXIMUM COMBINED UC	LENGTH (ft)	MEAN				
					P kips	My in-kip	Mz in-kip	Pn kips	Mp in-kip
16	102L-201L	JT5	0,587	48,61	-207,65	312,33	48,871	881,2	-568,3
17	0529-0535	JH2	0,298	1,92	7,31	-293,89	-29,665	-16,512	1051,7
17	0535-0536	JH2	0,178	1,93	3,671	177,87	2,3395	147,646	-1063,1
18	201L-302L	JT4	0,47	51,89	-124,02	69,401	-59,847	46,549	6922,3
19	0533-0534	JH2	0,495	6,11	-6,8534	-132,37	487,32	-191,05	-1359,5
19	0534-0535	JH2	0,213	1,93	5,9643	-39,739	295,2	-141,854	215,9
19	0586-102L	JH4	0,218	3,78	67,356	200,01	-94,131	64,498	1191,6
20	0533-201L	JH1	0,2	24,41	-34,619	-117,87	77,429	-45,466	-2702,1

LAMPIRAN 4
PERHITUNGAN KEANDALAN
***MEMBER* DENGAN SIMULASI**
MONTE CARLO

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 102L-201L Kondisi *Non Scouring*

Variabel Acak	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	202,66	60,798	5,268441	0,29356
My	305,59	91,677	5,679155	0,29356
Mz	49,334	14,8002	3,855525	0,29356
Pn	878,779	131,8169	-	-
Mp	723,6	108,54	-	-

CoV	
Inplace	0,3
Ultimate	0,15

Simulasi	50000
Berhasil	49879
Gagal	121
PoF	0,00242
K	0,9976
β	2,82

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0,26504	161,43829	0,03457	171,67473	0,50589	47,45856	0,38809	841,30503	0,30331	667,71306	0,84289	1
2	0,74729	236,02788	0,09362	198,74270	0,47986	46,55807	0,68674	942,92683	0,99657	1017,03762	0,82877	1
3	0,17191	147,01678	0,52563	298,27944	0,01919	25,72900	0,98898	1180,61838	0,11455	593,06121	0,76457	1
4	0,35708	174,32447	0,24212	238,36713	0,12257	33,59386	0,49230	876,23427	0,70192	781,11968	0,81348	1
5	0,19822	151,33539	0,22832	235,24657	0,18832	36,45156	0,36297	832,57149	0,77558	805,80322	0,83594	1
6	0,61620	211,70513	0,27795	246,22939	0,79971	60,47860	0,99544	1222,51322	0,19546	630,47795	0,78123	1
7	0,68114	222,89000	0,69361	339,58542	0,64435	52,67659	0,31830	816,49982	0,59494	749,67867	0,63159	1
8	0,99609	423,76452	0,02823	167,20467	0,71238	55,70220	0,96734	1121,73268	0,92121	876,99842	0,70074	1
9	0,75018	236,65581	0,23617	237,02919	0,68077	54,24206	0,50859	881,61624	0,85823	839,99689	0,75763	1
10	0,42023	182,97449	0,70172	341,91264	0,66165	53,40624	0,01379	588,36897	0,48910	720,63291	0,56636	1
11	0,36654	175,62026	0,50886	294,61593	0,52197	48,02382	0,15547	745,21457	0,01234	479,79116	0,54674	1
...
49990	0,46425	189,06651	0,12736	209,51558	0,57356	49,89733	0,68207	941,19396	0,04038	534,05485	0,75258	1
49991	0,42656	183,84467	0,64763	327,14174	0,35477	42,35892	0,67868	939,94230	0,72184	787,45483	0,74774	1
49992	0,33646	171,48874	0,56875	307,96956	0,16244	35,39338	0,08476	697,69319	0,94168	893,90173	0,74325	1
49993	0,73167	232,71810	0,10431	202,35970	0,18807	36,44185	0,57171	902,60117	0,41721	700,90986	0,76590	1
49994	0,62475	213,10490	0,62740	322,00120	0,53662	48,54574	0,17869	757,45962	0,50950	726,18360	0,62913	1
49995	0,40408	180,75921	0,70999	344,33062	0,10325	32,61206	0,97696	1141,69814	0,26812	656,46683	0,71403	1
49996	0,95852	322,92166	0,64108	325,45768	0,98292	87,99845	0,80296	991,11761	0,96843	925,29372	0,64011	1
49997	0,63580	214,94430	0,95490	481,33296	0,04679	28,88352	0,68970	944,02750	0,91249	870,81050	0,61265	1
49998	0,01831	105,10200	0,30866	252,77037	0,43114	44,90721	0,76483	973,94276	0,83202	828,03363	0,88720	1
49999	0,28539	164,35433	0,39889	271,49413	0,89010	67,74420	0,34382	825,77945	0,67414	772,59151	0,78082	1
50000	0,72304	230,95026	0,16388	219,61247	0,55175	49,09265	0,99241	1198,81622	0,38889	692,96855	0,80959	1

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 102L-201L Kondisi *Scouring* 2,5 ft

Variabel Acak	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	202,67	60,801	5,26849	0,29356
My	305,61	91,683	5,679221	0,29356
Mz	49,35	14,805	3,855849	0,29356
Pn	878,778	131,8167	-	-
Mp	723,5	108,525	-	-

CoV	
Inplace	0,3
Ultimate	0,15

Simulasi	50000
Berhasil	49867
Gagal	133
PoF	0,00266
K	0,9973
β	2,78

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0,31387	168,36568	0,73473	351,89707	0,08385	31,52722	0,20673	770,97475	0,06690	560,78687	0,56278	1
2	0,00542	91,88317	0,00640	140,96741	0,51799	47,89885	0,06235	676,39564	0,42770	703,72456	0,91106	1
3	0,32276	169,60144	0,06288	186,74931	0,15488	35,08132	0,91156	1056,78412	0,02291	506,77716	0,80977	1
4	0,66339	219,70673	0,98691	562,27339	0,62519	51,91122	0,83007	1004,58816	0,88482	853,66848	0,53609	1
5	0,06417	124,22185	0,91188	435,38976	0,54688	48,93176	0,24143	786,27990	0,79498	812,90728	0,70588	1
6	0,22611	155,68271	0,10306	201,95873	0,51088	47,64858	0,81987	999,37541	0,47684	717,19697	0,86077	1
7	0,51043	195,61843	0,55268	304,32598	0,55575	49,25484	0,65203	930,29405	0,16064	615,86288	0,67423	1
8	0,38238	177,79826	0,83550	389,85435	0,24208	38,49257	0,39766	844,58249	0,39198	693,74693	0,62523	1
9	0,22385	155,33793	0,27168	244,89034	0,68458	54,42997	0,92505	1068,57998	0,04627	540,94223	0,76991	1
10	0,06667	124,94191	0,62719	321,96862	0,69810	55,04698	0,98707	1172,51273	0,16013	615,63592	0,76616	1
11	0,45978	188,45262	0,48076	288,60551	0,22841	37,99356	0,23807	784,85516	0,78650	809,70440	0,74071	1
...
49990	0,14036	141,43213	0,94187	464,19649	0,30605	40,73119	0,19743	766,62174	0,66873	770,86137	0,62608	1
49991	0,66059	219,21263	0,02601	165,47534	0,56561	49,61772	0,94820	1093,32818	0,72482	788,31212	0,86073	1
49992	0,93012	299,45980	0,60833	317,32874	0,95340	77,37471	0,17965	757,94034	0,14709	609,65823	0,40267	1
49993	0,74495	235,53252	0,48827	290,20495	0,53079	48,35294	0,33501	822,60793	0,78945	810,81027	0,68761	1
49994	0,17775	148,00573	0,96174	492,35754	0,91000	70,06580	0,92577	1069,25584	0,09922	583,93628	0,48092	1
49995	0,60885	210,52622	0,73585	352,25010	0,29114	40,22037	0,95836	1107,07760	0,40361	697,01752	0,69141	1
49996	0,54014	199,95249	0,10638	203,04671	0,22335	37,76882	0,78719	983,79715	0,70385	781,61597	0,83454	1
49997	0,91220	288,90276	0,15311	216,77354	0,56697	49,66818	0,46355	866,71698	0,14344	607,92255	0,62987	1
49998	0,33867	171,80135	0,54825	303,32726	0,28673	40,06818	0,96003	1109,59287	0,97886	943,88521	0,84332	1
49999	0,21355	153,75488	0,69746	340,70793	0,90370	69,29191	0,35311	829,09061	0,87541	848,55824	0,76417	1
50000	0,35753	174,39434	0,56629	307,42476	0,64125	52,56528	0,50368	879,99268	0,98719	965,70370	0,80551	1

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 102L-201L Kondisi *Scouring* 5 ft

Variabel Acak	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	204,31	61,293	5,27655	0,29356
My	307,84	92,352	5,686491	0,29356
Mz	49,134	14,7402	3,851462	0,29356
Pn	879,366	131,9049	-	-
Mp	668,4	100,26	-	-

CoV	
Inplace	0,3
Ultimate	0,15

Simulasi	50000
Berhasil	49794
Gagal	206
PoF	0,00412
K	0,9959
β	2,64

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0,11280	137,11427	0,92683	451,64921	0,44975	45,34907	0,13533	734,06899	0,35854	632,06953	0,53055	1
2	0,86721	271,33919	0,22497	236,20487	0,25546	38,80199	0,98562	1167,80902	0,04924	502,74102	0,66664	1
3	0,77008	243,11306	0,22619	236,48753	0,48530	46,55539	0,34215	825,73231	0,89596	794,61612	0,72083	1
4	0,93475	305,04066	0,73610	354,89928	0,12891	33,76033	0,61759	918,82684	0,90755	801,32806	0,56829	1
5	0,93641	306,22672	0,67674	337,35055	0,78043	59,06126	0,94636	1091,80615	0,59543	692,61540	0,59378	1
6	0,28882	166,18240	0,09450	200,51366	0,44529	45,19912	0,34927	828,28145	0,22731	593,43316	0,78906	1
7	0,98545	371,35274	0,74793	358,73643	0,98532	89,20948	0,28963	806,22994	0,38009	637,79578	0,26450	1
8	0,23910	158,91255	0,63814	327,09795	0,37689	42,92191	0,49254	876,89846	0,83705	766,89642	0,75520	1
9	0,91667	293,69703	0,22582	236,40236	0,58918	50,28167	0,63563	925,11104	0,28986	612,87548	0,62705	1
10	0,15671	145,56374	0,22605	236,45574	0,60759	50,98939	0,84806	1014,98371	0,45800	657,82598	0,82927	1
11	0,00784	96,28237	0,81207	382,39580	0,50227	47,14056	0,72275	957,32778	0,13179	556,31105	0,65956	1
...
49990	0,03266	113,91865	0,29343	251,38145	0,11884	33,27544	0,71325	953,61769	0,97344	862,30501	0,88620	1
49991	0,28062	165,00797	0,24423	240,59749	0,53840	48,41277	0,31212	814,75342	0,72489	728,29825	0,79299	1
49992	0,54982	203,01944	0,90904	436,31277	0,07149	30,61437	0,63640	925,37961	0,18046	576,80000	0,45100	1
49993	0,33656	172,89839	0,83443	392,20305	0,46029	45,70424	0,91246	1058,23347	0,58323	689,47128	0,67536	1
49994	0,37300	177,94264	0,69359	342,08248	0,58646	50,17878	0,82850	1004,44659	0,55061	681,15327	0,70678	1
49995	0,40961	182,99532	0,03985	176,27708	0,75641	57,70963	0,19432	765,65287	0,17330	574,03558	0,76578	1
49996	0,06176	124,51348	0,62335	323,35621	0,53676	48,35403	0,79821	989,53911	0,34260	627,75664	0,75281	1
49997	0,67772	224,07462	0,61246	320,65606	0,15639	34,99275	0,02269	615,41675	0,76273	740,09569	0,53375	1
49998	0,41088	183,17086	0,24262	240,23565	0,61297	51,19990	0,46163	866,65844	0,23490	595,93325	0,73565	1
49999	0,81170	253,68796	0,38299	270,18764	0,95658	77,79978	0,02091	610,90547	0,75474	737,52828	0,51179	1
50000	0,27702	164,48866	0,90977	436,88749	0,53798	48,39783	0,96168	1112,90278	0,60501	695,10398	0,64900	1

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 102L-201L Kondisi *Scouring* 7,5 ft

Variabel Acak	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	206,07	61,821	5,285127	0,29356
My	310,17	93,051	5,694032	0,29356
Mz	49,004	14,7012	3,848813	0,29356
Pn	880,423	132,0635	-	-
Mp	629,4	94,41	-	-

CoV	
Inplace	0,3
Ultimate	0,15

Simulasi	50000
Berhasil	49610
Gagal	390
PoF	0,0078
K	0,9922
β	2,42

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0,25248	162,29411	0,34987	265,28644	0,48058	46,27117	0,35121	829,96737	0,90460	752,90928	0,78702	1
2	0,73459	237,25116	0,51755	300,95145	0,92646	71,84047	0,02759	627,19321	0,14524	529,60267	0,38239	1
3	0,26349	163,92634	0,00009	98,86583	0,80157	60,19137	0,46473	868,73334	0,02594	445,85089	0,84937	1
4	0,17227	149,55256	0,03636	175,42210	0,35179	41,97657	0,96024	1111,99543	0,25475	567,12498	0,86316	1
5	0,87991	278,63989	0,12896	213,13529	0,87554	65,84373	0,62098	921,10460	0,16481	537,36007	0,62917	1
6	0,79244	250,72500	0,43779	283,74188	0,60181	50,63077	0,47768	873,03038	0,54010	638,90671	0,61986	1
7	0,99387	411,75298	0,16657	223,61391	0,43935	44,88068	0,76041	973,87238	0,55577	642,64175	0,52419	1
8	0,51475	199,53429	0,60202	320,51884	0,16726	35,35752	0,50975	883,65110	0,74969	692,98665	0,68221	1
9	0,56847	207,63076	0,85258	404,05598	0,74208	56,80110	0,43038	857,25932	0,06372	485,48982	0,34280	1
10	0,72883	236,03563	0,32534	260,10913	0,47928	46,22672	0,38552	841,99174	0,70182	679,40418	0,67547	1
11	0,53833	203,03393	0,92863	456,82326	0,89494	67,81066	0,15050	743,83148	0,70219	679,50453	0,44608	1
...
49990	0,45357	190,73531	0,85086	403,17683	0,96539	80,01340	0,36014	833,13259	0,00982	409,11671	0,20502	1
49991	0,66421	223,53980	0,26690	247,49160	0,10831	32,65825	0,23453	784,80638	0,86779	734,76074	0,70585	1
49992	0,96940	341,96141	0,29249	253,08238	0,79868	60,00906	0,10673	716,12253	0,98138	826,06252	0,48455	1
49993	0,10050	135,60450	0,66568	336,86505	0,86553	64,93279	0,23859	786,54593	0,79736	707,97054	0,72800	1
49994	0,23593	159,79991	0,88628	423,41291	0,40085	43,60137	0,76005	973,72183	0,17995	542,96357	0,50473	1
49995	0,73712	237,78988	0,55239	308,80033	0,42564	44,42388	0,97203	1132,86955	0,43586	614,15495	0,66918	1
49996	0,93672	309,08709	0,46728	290,01255	0,95120	76,33509	0,53237	891,15080	0,37979	600,50754	0,50258	1
49997	0,74592	239,69718	0,34594	264,46149	0,11134	32,81320	0,89313	1044,62509	0,02969	451,39730	0,58103	1
49998	0,33950	174,80032	0,61174	322,90561	0,99788	108,67691	0,18023	759,65108	0,18359	544,26396	0,55083	1
49999	0,42750	187,06912	0,46344	289,19198	0,35576	42,10845	0,96997	1128,74503	0,77077	699,39458	0,77872	1
50000	0,56638	207,30649	0,54985	308,21916	0,89583	67,90804	0,73278	962,46793	0,87018	735,82238	0,71982	1

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 102L-201L Kondisi *Scouring* 10 ft

Var/label Acak	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	207,65	62,295	5,292765	0,2935604
My	312,33	93,699	5,700971	0,2935604
Mz	48,871	14,6613	3,846095	0,2935604
Pn	881,2	132,18	-	-
Mp	568,3	85,245	-	-

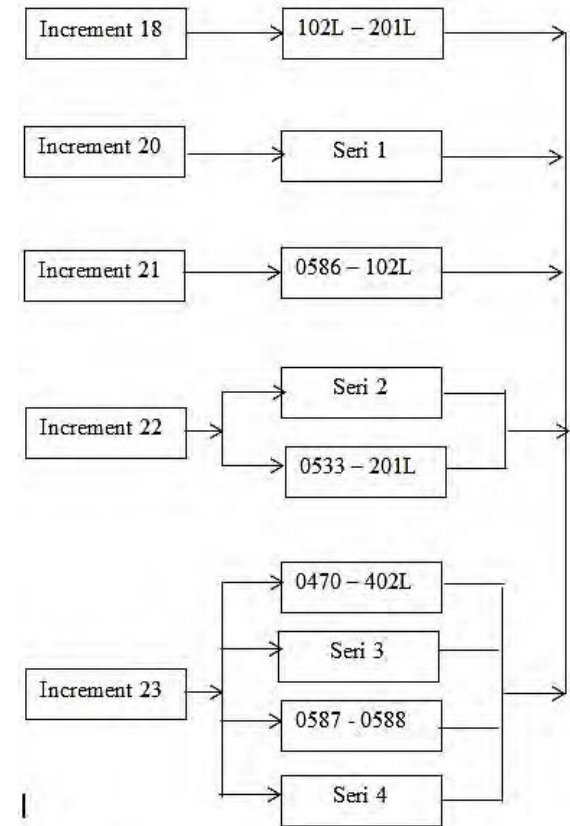
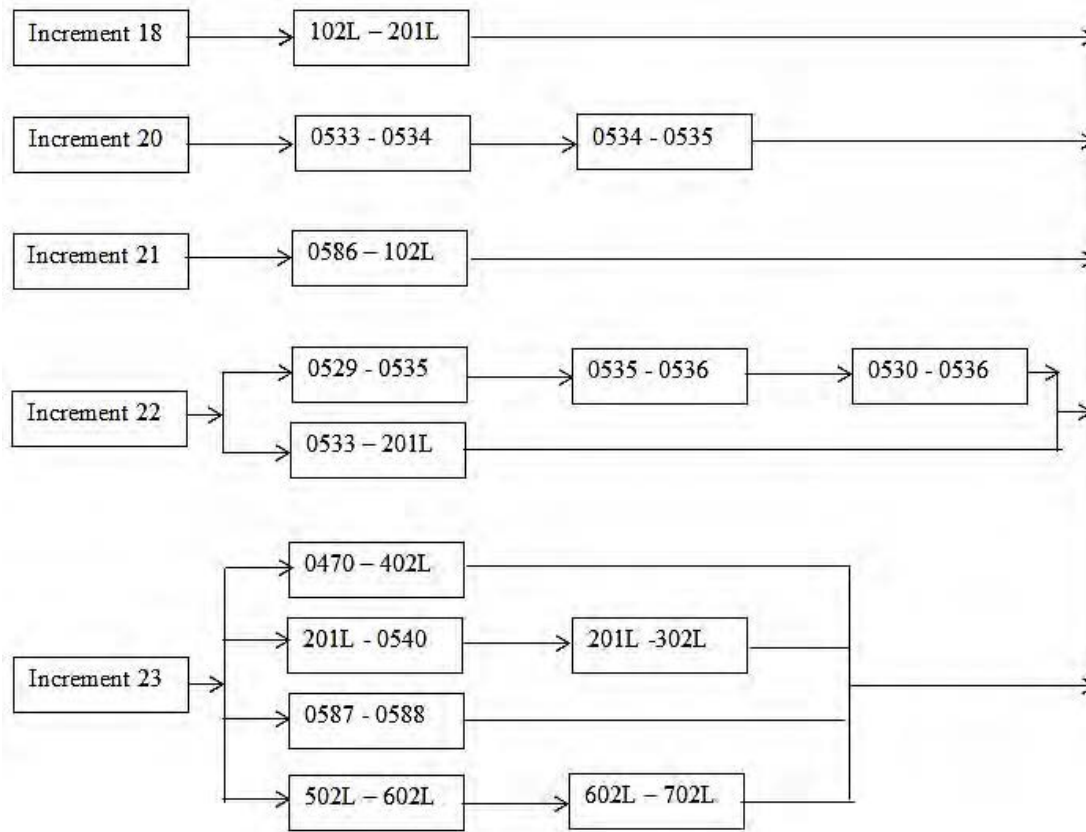
CoV	
Inplace	0,3
Ultimate	0,15

Simulasi	50000
Berhasil	49207
Gagal	793
PoF	0,01586
K	0,98414
β	2,1467

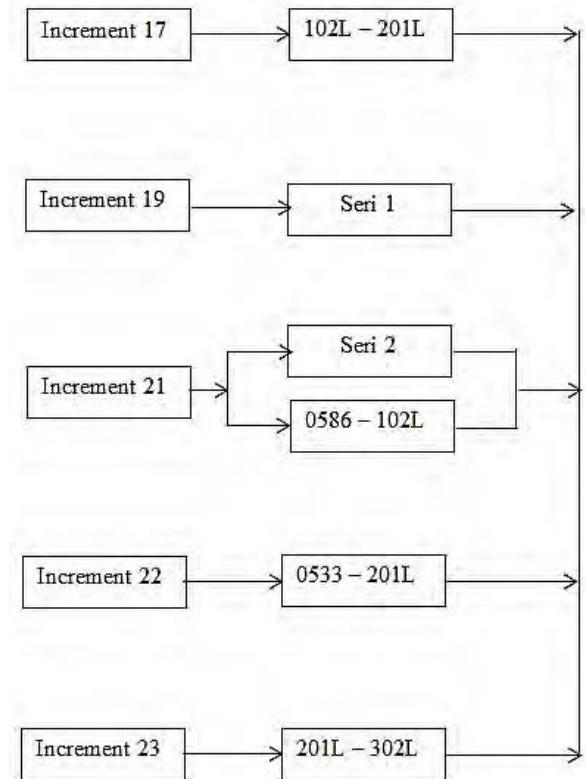
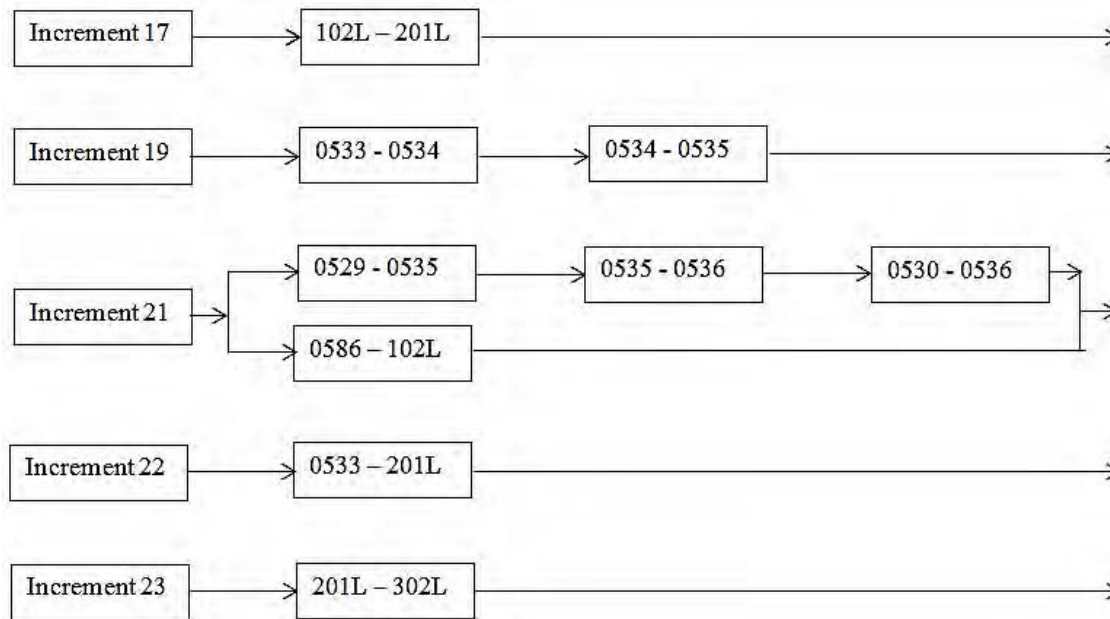
n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0,60805	215,56658	0,17988	228,63349	0,03646	27,65021	0,89199	1044,73321	0,26636	515,11946	0,71708	1
2	0,15365	147,38876	0,88183	423,52138	0,90273	68,50639	0,01667	599,92745	0,50611	569,60668	0,41841	1
3	0,82766	262,47956	0,81209	387,98084	0,92010	70,72203	0,55974	901,06774	0,58643	586,91578	0,42710	1
4	0,09274	134,83647	0,05023	184,70310	0,86796	64,97143	0,78358	984,87231	0,53059	574,84288	0,84955	1
5	0,13623	144,11424	0,31429	259,55567	0,95778	77,68316	0,52198	888,48579	0,67504	606,98984	0,76411	1
6	0,54837	206,11769	0,22792	240,34032	0,92053	70,78354	0,61822	920,96093	0,69434	611,62117	0,72401	1
7	0,94428	317,36151	0,55145	310,73428	0,61915	51,16804	0,29770	811,00839	0,37393	540,89639	0,36525	1
8	0,27338	166,64428	0,75329	365,77760	0,31956	40,78984	0,59082	911,55606	0,49927	568,14472	0,59385	1
9	0,85293	270,62487	0,89552	432,59564	0,23329	37,80230	0,35708	832,78447	0,66195	603,91513	0,33471	1
10	0,59129	212,83996	0,95298	489,07926	0,73061	56,06637	0,93777	1084,27459	0,16013	483,57282	0,24202	1
11	0,70639	233,25434	0,11775	211,18025	0,45307	45,21750	0,28272	805,22439	0,24487	509,42044	0,63795	1
...
49990	0,13321	143,52583	0,15717	222,65153	0,81929	61,19204	0,00675	554,64768	0,13404	473,89068	0,62651	1
49991	0,50868	200,16691	0,77375	372,97468	0,61225	50,89739	0,17694	758,65502	0,52872	574,44175	0,48035	1
49992	0,32419	173,97205	0,45402	289,18284	0,36821	42,40568	0,96417	1119,28449	0,24246	508,76453	0,68322	1
49993	0,91761	299,04016	0,52009	303,61592	0,02611	26,47478	0,55082	898,08349	0,00051	288,39828	-0,00900	0
49994	0,89404	286,92345	0,34704	266,53590	0,55623	48,79401	0,36973	837,24262	0,68495	609,35380	0,55454	1
49995	0,32162	173,60774	0,69704	348,07576	0,77412	58,38135	0,19678	768,42859	0,23557	506,87160	0,49654	1
49996	0,35762	178,69240	0,87949	422,06382	0,22182	37,38266	0,73355	963,62700	0,37296	540,67933	0,47577	1
49997	0,55318	206,85411	0,04555	182,17687	0,63332	51,73315	0,79071	988,11826	0,70523	614,29012	0,80381	1
49998	0,51803	201,54917	0,63322	330,59741	0,36393	42,26445	0,83717	1011,11894	0,21235	500,24831	0,55756	1
49999	0,53183	203,61109	0,17028	226,14726	0,03688	27,69258	0,55900	900,82037	0,38173	542,64625	0,71449	1
50000	0,00318	89,26823	0,50023	299,20869	0,11968	33,13834	0,81927	1001,82567	0,08117	449,19059	0,68939	1

LAMPIRAN 5
RELIABILITY BLOCK DIAGRAM
(RBD)

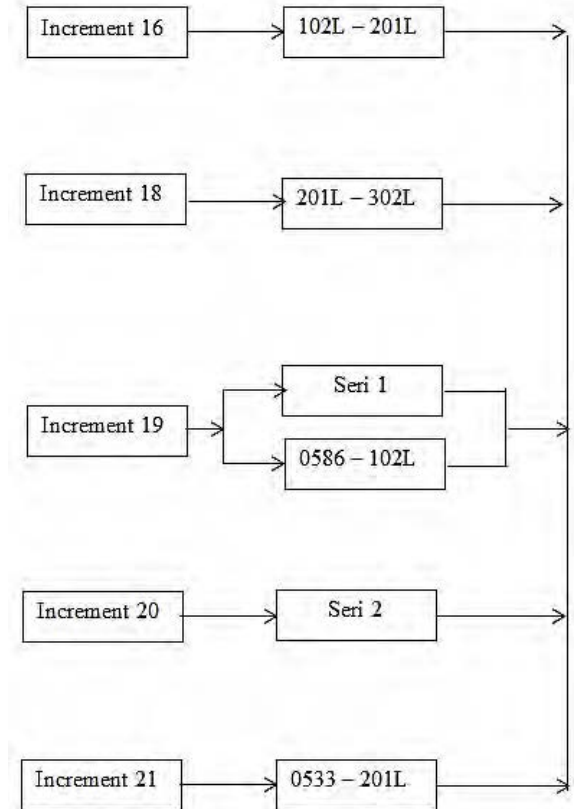
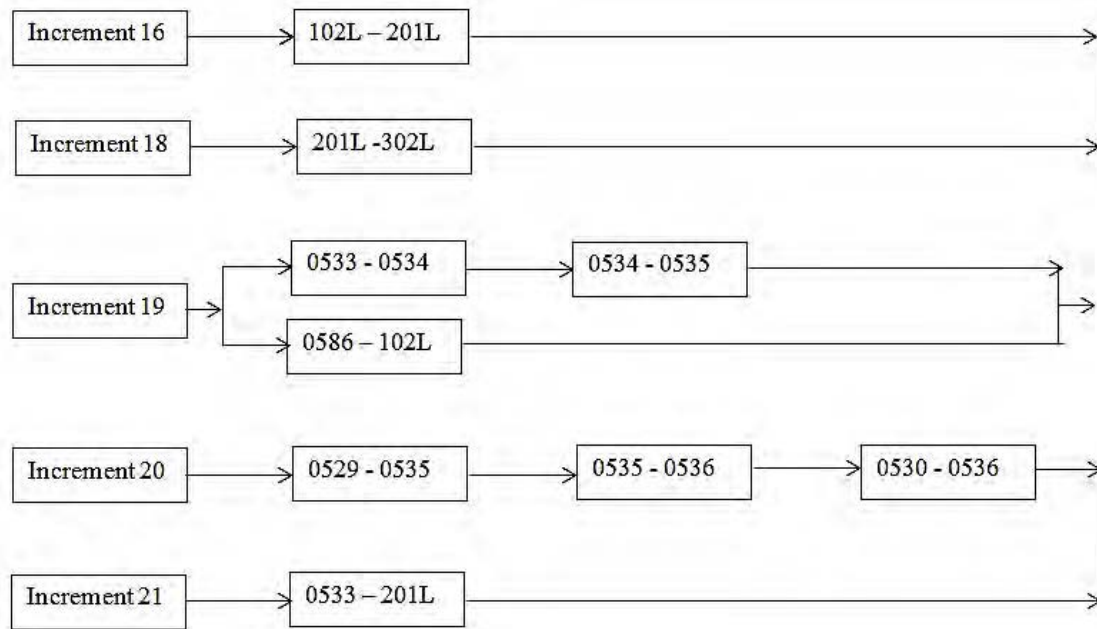
- Reliability Block Diagram (RBD) Kondisi Non Scouring



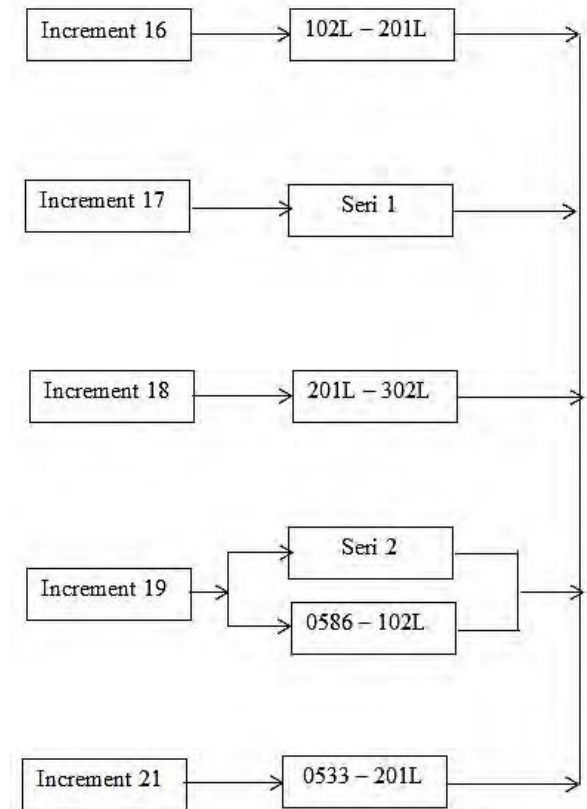
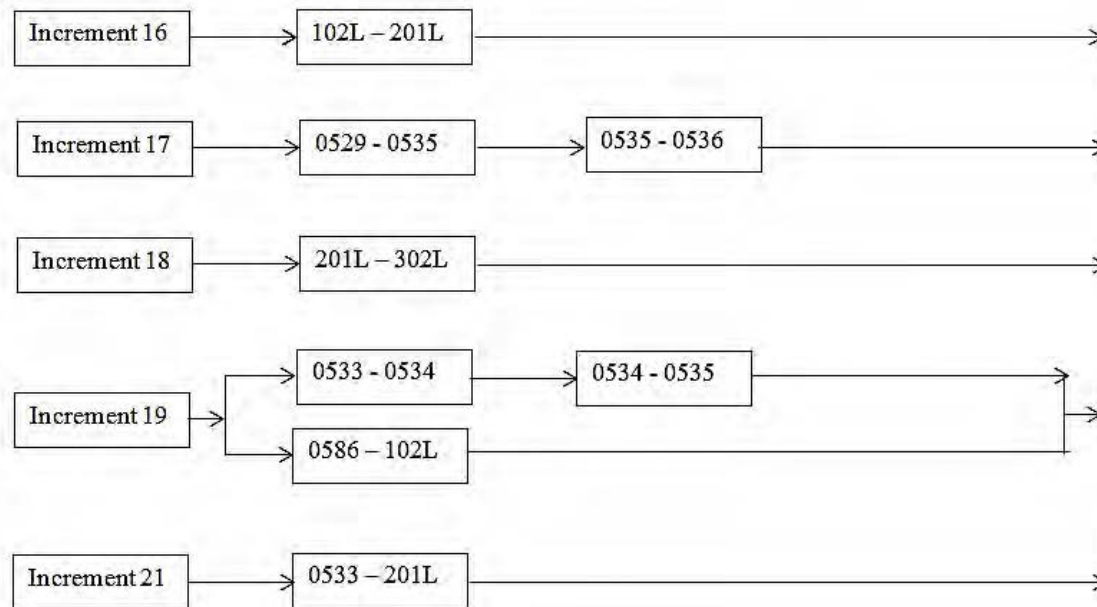
- Reliability Block Diagram (RBD) Kondisi Scouring 2,5 ft



- Reliability Block Diagram (RBD) Kondisi Scouring 5 ft



- Reliability Block Diagram (RBD) Kondisi Scouring 7,5 ft



LAMPIRAN 6
PERHITUNGAN KEANDALAN
SISTEM

- Perhitungan Keandalan Sistem Kondisi *Non Scouring*

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K	β
18	6,1	102L-201L	JT5	0,00242	0,9976	2,82
20	6,78	0533-0534	JH2	0	1	3,59
20	6,78	0534-0535	JH2	0,00024	0,99976	3,49
21	7,12	0586-102L	JH4	0,3664	0,6336	0,3402
22	7,46	0529-0535	JH2	0,00002	0,99998	3,59
22	7,46	0530-0536	JH2	0	1	3,59
22	7,46	0533-201L	JH1	0,0023	0,9977	2,83
22	7,46	0535-0536	JH2	0	1	3,59
23	7,8	0470-402L	JH1	0,5803	0,4917	-0,2174
23	7,8	201L-0540	JH1	0,00052	0,99948	3,28
23	7,8	0587-0588	JH4	0,4029	0,5971	0,2459
23	7,8	201L-302L	JT4	0	1	3,59
23	7,8	502L-602L	PL6	0,0095	0,9905	2,345
23	7,8	602L-702L	PL7	0,0368	0,9632	1,7888

- Keandalan Sistem Seri
 Seri 1 = $K(0533-0534) \times K(0534-0535)$
 $= 0,99976$
 Seri 2 = $K(0529-0535) \times K(0535-0536) \times$
 $K(0530-0536)$
 $= 0,99998$
 Seri 3 = $K(201L-0540) \times K(201L-302L)$
 $= 0,99948$
 Seri 4 = $K(502L-602L) \times K(602L-702L)$
 $= 0,9541$

- Keandalan Sistem Paralel
 $K = 1 - [(1-K(102L-201L)) \times (1-K(\text{Seri 1}))$
 $\times (1-K(0586-102L)) \times (1-K(\text{Seri 2})) \times$
 $(1 - K(0533-201L)) \times (1-K(0470-$
 $402L))] \times (1-K(\text{Seri 3})) \times (1-K(0587-$
 $0588)) \times (1-K(\text{Seri 4}))]$
 $= 1 - 4,75057082345331E-20$
 $= 1$

$$\text{PoF} = 1 - K$$

$$= 0$$

- Perhitungan Keandalan Sistem Kondisi *Scouring* 2,5 ft

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K	B
17	5,76	102L-201L	JT5	0,0027	0,9973	2,78
19	6,44	0533-0534	JH2	0	1	3,59
19	6,44	0534-0535	JH2	0,0016	0,9989	3,0633
21	7,12	0529-0535	JH2	0,0002	0,9998	3,55
21	7,12	0530-0536	JH2	0	1	3,59
21	7,12	0535-0536	JH2	0	1	3,59
21	7,12	0586-102L	JH4	0,3988	0,6012	0,2564
22	7,46	0533-201L	JH1	0,0145	0,9855	2,1833
23	7,8	201L-302L	JT4	0,00036	0,99964	3,38

- Keandalan Sistem Seri
 Seri 1 = $K(0533-0534) \times K(0534-0535)$
 $= 0,9989$
 Seri 2 = $K(0529-0535) \times K(0535-0536) \times$
 $K(0530-0536)$
 $= 0,9998$

- Keandalan Sistem Paralel
 $K = 1 - [(1-K(102L-201L)) \times (1 - K(\text{Seri 1})) \times (1-K(\text{Seri 2})) \times (1-K(0586-102L)) \times (1-K(0533-201L)) \times (1-K(201L-302L))]$
 $= 1 - 6,18275592000047E-12$
 $= 9,99999999993817E-01$

$$\text{PoF} = 1 - K$$

$$= 6,18272100183503E-12$$

- Perhitungan Keandalan Sistem Kondisi *Scouring* 5 ft

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K	β
16	5,42	102L-201L	JT5	0,0041	0,9959	2,64
18	6,1	201L-302L	JT4	0,0052	0,9948	2,56
19	6,44	0533-0534	JH2	0	1	3,59
19	6,44	0534-0535	JH2	0,0154	0,9846	2,16
19	6,44	0586-102L	JH4	0,5244	0,4756	-0,0788
20	6,78	0529-0535	JH2	0,00112	0,99888	3,0567
20	6,78	0530-0536	JH2	0	1	3,59
20	6,78	0535-0536	JH2	0	1	3,59
21	7,12	0533-201L	JH1	0,3337	0,6663	0,4297

KEANDALAN SISTEM STRUKTUR KONDISI *SCOURING* 5 ft

KEANDALAN SISTEM SERI

$$\text{Seri 1} = K(0533-0534) \times K(0534-0535) \\ = 0,9846$$

$$\text{Seri 2} = K(0529-0535) \times K(0535-0536) \times K(0530-0536) \\ = 0,99888$$

KEANDALAN SISTEM PARALEL

$$\text{KEANDALAN SISTEM} = 1 - [(1-K(102L-201L)) \times (1-K(201L-302L)) \times (1-K(\text{Seri 1})) \\ \times (1-K(0586-102L)) \times (1-K(\text{Seri 2})) \times (1-K(0533-201L))] \\ = 1 - 6,43494491447809E-11 \\ = 9,99999999935651E-01$$

$$\text{KEGAGALAN SISTEM} = 1 - \text{KEANDALAN SISTEM} \\ = 6,43494146856938E-11$$

- Perhitungan Keandalan Sistem Kondisi *Scouring* 7,5 ft

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K	β
16	5,42	102L-201L	JT5	0,0078	0,9922	2,42
17	5,76	0529-0535	JH2	0,0021	0,9979	2,87
17	5,76	0535-0536	JH2	0	1	3,59
18	6,1	201L-302L	JT4	0,0124	0,9876	2,2433
19	6,44	0586-102L	JH4	0,5618	0,4382	-0,1645
19	6,44	0533-0534	JH2	0,00002	0,99998	3,59
19	6,44	0534-0535	JH2	0,0282	0,9718	1,8986
21	7,12	0533-201L	JH1	0,3671	0,6329	0,3395

KEANDALAN SISTEM STRUKTUR KONDISI *SCOURING* 7,5 ft

KEANDALAN SISTEM SERI

$$\text{Seri 1} = K(0529-0535) \times K(0535-0536) \\ = 0,9979$$

$$\text{Seri 2} = K(0533-0534) \times K(0534-0535) \\ = 0,971780564$$

KEANDALAN SISTEM PARALEL

$$\text{KEANDALAN SISTEM} = 1 - [(1-K(102L-201L)) \times (1-K(\text{Seri 1})) \times (1-K(201L-302L)) \\ \times (1-K(0586-102L)) \times (1-K(\text{Seri 2})) \times (1-K(0533-201L))] \\ = 1 - 1,18208860684215E-09 \\ = 9,999999998817911E-01$$

$$\text{KEGAGALAN SISTEM} = 1 - \text{KEANDALAN SISTEM} \\ = 1,18208864918756E-09$$