



TUGAS AKHIR – MO 141326

***ANALISIS ULTIMATE STRENGTH STRUKTUR JACKET
PLATFORM BERBASIS KEANDALAN DENGAN VARIASI
JENIS TANAH***

Widi Chalbi Pratama

NRP. 4313 100 104

Dosen Pembimbing:

Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc., Ph.D.

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

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

2017



FINAL PROJECT – MO 141326

**RELIABILITY BASED ULTIMATE STRENGTH
ANALYSIS ON JACKET PLATFORM STRUCTURE
WITH VARIATION OF SOIL TYPES**

Widi Chalbi Pratama

NRP. 4313 100 104

Supervisors:

Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc., Ph.D.

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

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

2017

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS *ULTIMATE STRENGTH* STRUKTUR *JACKET PLATFORM* BERBASIS
KEANDALAN DENGAN VARIASI JENIS TANAH**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

WIDI CHALBI PRATAMA

NRP. 4313 100 104

Disetujui oleh:

1. Ir. Wisnu Wardhana, S.E, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)
.....
2. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M.RINA. (Pembimbing 2)
.....
3. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Penguji 1)
.....
4. Silvianita, S.T, M. Sc, Ph.D. (Penguji 2)
.....

SURABAYA, JULI 2017

**ANALISIS *ULTIMATE STRENGTH* STRUKTUR *JACKET PLATFORM*
BERBASIS KEANDALAN DENGAN VARIASI JENIS TANAH**

Nama : Widi Chalbi Pratama
NRP : 4313100104
Jurusan : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc., Ph.D.
Prof. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M.RINA.

ABSTRAK

Dalam pertimbangan proses *reuse jacket platform*, salah satu hal yang di pertimbangkan adalah apakah daya dukung tanah di lokasi baru dapat mendukung struktur tersebut. Daya dukung tanah berkaitan erat dengan kondisi tanah atau *seabed* yang mana kondisinya tidak stabil. Ketidakstabilan kondisi seabed dan lingkungan ini akan mengakibatkan perbedaan kekuatan pada bangunan lepas pantai pada umumnya maupun pada *pile* pada khususnya pada saat bangunan lepas pantai tersebut beroperasi. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dilakukan analisis keandalan *jacket platform* dalam kondisi *ultimate* dengan variasi jenis tanah yang didapatkan dari data tanah beberapa lokasi. Peluang kegagalan member akan digunakan dalam analisa keandalan dengan menggunakan metode *Monte Carlo* yang menggunakan *Random Number Generator* (RNG). Sedangkan keandalan sistem diperoleh dengan metode *Reliability Block Diagram* (RBD). Diperoleh hasil RSR (*Reserve Strength Ratio*) terkecil pada struktur dengan tanah tipe X sebesar 2.412, diikuti dengan struktur dengan tanah tipe Y dan tipe Z secara berurutan. Struktur dengan tanah tipe X memiliki RSR terkecil dan nilai parameter-parameter tanah (*unit end bearing* dan *unit skin friction*) terkecil. Analisis keandalan dilakukan pada 3 tipe tanah, dengan keandalan terkecil terjadi pada struktur dengan tanah tipe X sebesar 0.359.

Kata kunci : *Reuse, Pile, Monte Carlo, Reliability Block Diagram, Ultimate*

RELIABILITY BASED ULTIMATE STRENGTH ANALYSIS ON JACKET PLATFORM STRUCTURE WITH VARIATION OF SOIL TYPES

Name : **Widi Chalbi Pratama**
NRP : **4313100104**
Department : **Ocean Engineering**
Supervisor : **Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc., Ph.D.**
Prof. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M.RINA.

ABSTRACT

In consideration of the jacket platform reuse process, one of the things to consider is whether the bearing capacity of the soil can support the structure. Pile is an important component of the bearing capacity of the soil, also one of the most vulnerable components. Pile is related to the soil or seabed condition which is unstable. The instability of the seabed and environmental conditions will result in differences of offshore structures strength as well as on piles when the offshore structures are in operation. Therefore, one way to find out whether the jacket platform structure is still feasible to operate with a particular soil type is to use analysis to find the largest unity check and pushover analysis to calculate the RSR (Reserve Strength Ratio) structure. In this final project, the jacket platform reliability with variation of soil type obtained from soil data of several locations. Probability of member failure will be calculated in reliability analysis using Monte Carlo method with Random Number Generator (RNG). While the reliability of the system obtained by Reliability Block Diagram (RBD). Based on structural strength analysis, the lowest RSR (Reserve Strength Ratio) is in type X soil structure with 2.412, followed by structure with type Y soil and type Z soil. The structure with type X soil has the lowest RSR and the lowest soil parameters (end bearing unit and skin friction unit). Reliability analyzes were performed on 3 soil types, with the lowest reliability occurring in type X soil structure with 0.359.

Keywords: Reuse, Pile, Monte Carlo, Reliability Block Diagram, Ultimate

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia – Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis *Ultimate Strength* Struktur *Jacket Platform* Berbasis Keandalan dengan Variasi Jenis Tanah**” ini dengan lancar dan baik. Buku Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kekerjaan (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 *jacket platform* dalam kondisi ultimate dengan variasi jenis tanah.

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, Juli 2017

Widi Chalbi Pratama

NRP. 4311 100 104

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya serta penghormatan kepada berbagai pihak yang terkait, yaitu :

1. Keluarga yang seantiasa mendo'akan dan memberikan dukungan moral maupun material.
2. Dosen Pembimbing yakni Bapak Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc, Ph.D dan Bapak Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M.RINA. yang telah bersedia membimbing penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. JOB Pertamina-PetroChina Salawati, yang telah membantu dalam pengumpulan data Tugas Akhir ini selama kerja praktik termasuk Bapak Suryono yang telah menjadi supervisor.
4. Ketua Departemen Bapak Dr.Eng. Rudi Walujo P, ST, MT. dan seluruh staf pengajar maupun karyawan Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang telah membantu kelancaran penyelesaian Tugas Akhir.
5. Teman – teman VALTAMERI 2013 dan DUROH yang saling menyemangati, membantu, dan berjuang bersama untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Pihak – pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Semoga dukungan dan arahan yang telah diberikan oleh berbagai pihak untuk kebaikan penulis kedepannya dapat bermanfaat dan menjadi amalan barokah yang mendapatkan balasan yang lebih baik dari Tuhan Yang Maha Esa.

Surabaya, Juli 2017

Widi Chalbi Pratama

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.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	4
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sistematika Laporan / Buku Tugas Akhir	4
2. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2. Dasar Teori	8
2.2.1. <i>Jacket Platform</i>	8
2.2.2. Penilaian <i>Platform</i>	10

2.2.3. Teori Perencanaan Beban	11
2.2.4. Analisis Inplace	13
2.2.5. Konsep Tegangan	14
2.2.5.1. Konsep Tegangan Normal	14
2.2.5.2. Tegangan Geser	15
2.2.5.3. Kriteria Tegangan Ijin	16
2.2.6. Kapasitas Beban Aksial Tiang Pancang (<i>Pile</i>)	18
2.2.7. Buckling	19
2.2.8. Analisis Pushover	20
2.2.8.1. <i>Reserve Strength Ratio</i> (RSR)	20
2.2.9. Moda Kegagalan	21
2.2.9.1. Kombinasi <i>Axial Tension</i> dan <i>Bending</i>	21
2.2.9.2. Kombinasi <i>Axial Compression</i> dan <i>Bending</i>	21
2.2.10. Keandalan Pada Sistem Rekayasa	22
2.2.11. Simulasi Monte Carlo	23
2.2.12. Keandalan Sistem	24
2.2.12.1. Sistem Seri	24
2.2.12.1. Sistem Paralel	25
3. METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1. Diagram Alir Tugas Akhir	27
3.2. Prosedur Penelitian	31
3.3. Arah Pembebanan dan Data Lingkungan	32
3.3.1. Arah Beban Lingkungan	32
3.3.2. Data Lingkungan	34

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Pemodelan Struktur	41
4.2. Validasi Model	42
4.3. Perhitungan Kedalaman Penetrasi <i>Pile</i>	42
4.4. Analisis <i>Statis Inplace</i>	43
4.5. Analisis <i>Ultimate Strength</i>	44
4.6. Analisis Keandalan Struktur	49
4.6.1. Moda Kegagalan	49
4.6.2. Simulasi Monte Carlo	49
4.6.3. Peluang Kegagalan	49
5. PENUTUP	57
5.1. Kesimpulan	57
5.2. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Interaksi tanah terhadap <i>pile</i>	2
Gambar 1.2. Perpindahan <i>Jacket Structure</i>	2
Gambar 2.1. <i>Jacket Platform</i>	8
Gambar 2.2. Kriteria Penilaian Anjungan	11
Gambar 2.3. Pembebanan Aksial pada Batang Tubular	15
Gambar 2.4. Pembebanan Momen Kopel pada Batang Tubular	15
Gambar 2.5. Gaya Puntiran pada Batang Silinder.....	15
Gambar 2.6. Fungsi Kerapatan Peluang dari Kapasitas X dan Tuntutan Y....	22
Gambar 2.7. Representasi Grafis Sebuah Sistem Seri dengan n-komponen....	25
Gambar 3.1. Diagram Alir Tugas Akhir	27
Gambar 3.2. Diagram Alir Collapse Input.....	29
Gambar 3.3. Diagram Alir Simulasi Monte Carlo	30
Gambar 3.4. <i>Jacket Platform</i> Salawati.....	32
Gambar 3.5. Arah Utara Platform dan Utara Sebenarnya	33
Gambar 3.6. Arah Pembebanan Beban Lingkungan terhadap Struktur	37
Gambar 3.7. Grafik T-Z pada Tanah Tipe X	37
Gambar 3.8. Grafik Q-Z pada Tanah Tipe X.....	37
Gambar 3.9. Grafik T-Z pada Tanah Tipe Y	38
Gambar 3.10. Grafik Q-Z pada Tanah Tipe Y	38
Gambar 3.11 Grafik T-Z pada Tanah Tipe Z.....	39
Gambar 3.12. Grafik Q-Z pada Tanah Tipe Z.	39
Gambar 4.1. Model <i>Jacket Platform</i> Salawati	41
Gambar 4.2. Grafik <i>Unity Check of Member</i>	43
Gambar 4.3. Grafik Hubungan RSR dengan Tipe Tanah	45

Gambar 4.4. Hasil Analisis <i>Collapse</i> dari <i>Software</i> SACS Tipe Tanah X ...	47
Gambar 4.5. Hasil Analisis <i>Collapse</i> dari <i>Software</i> SACS Tipe Tanah Y ...	48
Gambar 4.6. Hasil Analisis <i>Collapse</i> dari <i>Software</i> SACS Tipe Tanah Z....	48
Gambar 4.7. RBD Member pada Struktur dengan Tanah Tipe X.....	52
Gambar 4.8. RBD Member pada Struktur dengan Tanah Tipe Y.....	53
Gambar 4.9. RBD Member pada Struktur dengan Tanah Tipe Z.....	54
Gambar 4.10. Grafik keandalan Struktur pada 3 Tipe Tanah	55

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Tabel Kedalaman Laut.....	34
Tabel 3.2. Tabel Data Angin.....	34
Tabel 3.3. Tabel Data Gelombang	35
Tabel 3.4. Tabel Data Arus	35
Tabel 3.5. Tabel Data Pembebanan.....	36
Tabel 4.1. Validasi Model.....	42
Tabel 4.2. Kedalaman Penetrasi Pile.....	42
Tabel 4.3. Hasil <i>Unity Check of Member</i>	43
Tabel 4.4. Hasil Analisis <i>Pushover</i> pada Arah Pembebanan 300^0	44
Tabel 4.5. Hasil Analisis <i>Pushover</i> pada Kondisi Tanah X	45
Tabel 4.6. Hasil Analisis <i>Pushover</i> pada Kondisi Tanah Y	46
Tabel 4.7. Hasil Analisis <i>Pushover</i> pada Kondisi Tanah Z.....	46
Tabel 4.8. Keandalan Member Struktur Tanah Tipe X.....	50
Tabel 4.9. Keandalan Member Struktur Tanah Tipe Y.....	50
Tabel 4.10. Keandalan Member Struktur Tanah Tipe Z.....	51
Tabel 4.8. Keandalan Sistem Struktur.....	55

DAFTAR NOTASI

F	Pembebanan aksial
A	Luas penampang
σ_{act}	Tegangan yang terjadi (ksi)
σ_{act}	Tegangan izin (ksi)
σ	Standard deviasi
σ_t	Tegangan tarik aksial akibat gaya yang terfaktor
f_t	Kekuatan tarik aksial (ksi)
$\gamma_{R,t}$	Faktor ketahanan untuk tegangan tarik aksial
σ_c	Tegangan tekan aksial akibat gaya yang terfaktor
f_c	Kekuatan tarik aksial (ksi)
$\gamma_{R,c}$	Faktor ketahanan untuk tegangan tekan aksial
σ_b	Tegangan bending akibat gaya yang terfaktor
f_b	Kekuatan bending (ksi)
$\gamma_{R,b}$	Faktor ketahanan untuk tegangan bending
Z_p	Modulus plastis
Z_e	Modulus elastis
σ_{by}	Tegangan bending arah y (inplane) akibat gaya yang terfaktor (ksi)
σ_{bz}	Tegangan bending arah z (out of plane) akibat gaya yang terfaktor (ksi)
D	Diameter luar
P	Axial load pada elemen member (kips)
Pn	Ultimate axial capacity (kips)
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	Plastic bending moment pada elemen member (kips-in)
COV	Coefficient of varians

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Input Analisis Keruntuhan

LAMPIRAN 2 Perhitungan Keandalan Member dengan Simulasi Monte Carlo

BAB I PENDAHULUAN

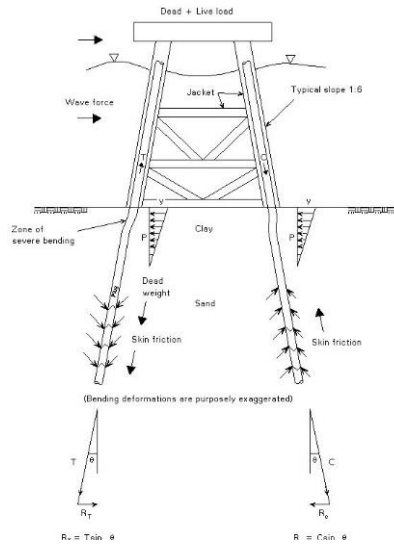
1.1. Latar Belakang

Teknologi perancangan bangunan lepas pantai mengalami perkembangan yang cukup pesat seiring meningkatnya kebutuhan energi minyak dan gas bumi di dunia. Struktur lepas pantai sangat dibutuhkan dalam rangka memfasilitasi usaha eksplorasi bahan tambang dari perut bumi di dasar laut dan struktur *jacket* merupakan salah satu jenis struktur yang paling banyak digunakan untuk sarana ekplorasi dan eksploitasi hidrokarbon pada daerah perairan/lepas pantai.

Secara garis besar, jenis-jenis bangunan lepas pantai bisa dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe terapung (*floating structure*) seperti *Drilling Ship*, *Semi Submersible* dan tipe terpancang (*fixed structure*) seperti *Concrete Gravity Platform*, *Jack Up Platform*, *Jacket Platform*. Dan sekarang sedang dikembangkan tipe *Tethered Platform*, yaitu bangunan lepas pantai yang ditahan dengan tali-tali baja yang dihubungkan dengan dasar laut. Contoh tipe ini adalah *Tension Leg Platform (TLP)* dan *Guyed Tower*.

Untuk keperluan eksplorasi dan eksploitasi bahan tambang di perairan yang relatif dangkal, seperti di perairan Indonesia biasanya digunakan bangunan lepas pantai tipe *Jacket Platform*. *Jacket Platform* mempunyai tiga struktur utama, yaitu *jacket/struktur penyangga deck*, *piles*, dan bagian geladak atau bangunan atas. Beban-beban operasional anjungan akan disangga oleh bangunan atas maupun geladak anjungan. Berdasarkan API RP 2A WSD 21st edition, jenis pembebanan yang harus dipertimbangkan dalam perancangan struktur bangunan lepas pantai meliputi beban mati (*Dead Loads*), beban hidup (*Live Loads*), beban lingkungan, beban konstruksi, beban pengangkatan dan reinstalasi.

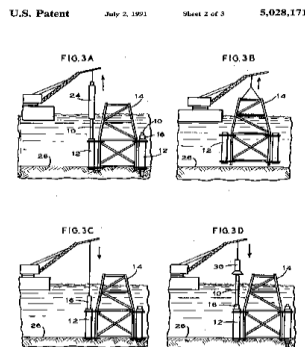
Kekuatan pada *jacket* berhubungan dengan penetrasi pile atau pondasi yang dibuat untuk menopang struktur tersebut. Pondasi merupakan salah satu komponen penting pada bangunan lepas pantai namun juga merupakan salah satu komponen yang paling rawan (Dawson,1983).



Gambar 1.1 Interaksi tanah terhadap *pile* (www.fgg-web.fgg.uni,2017)

Pile merupakan salah satu komponen penting pada bangunan lepas pantai, namun juga merupakan salah satu komponen paling rawan. Hal ini dikarenakan *pile* berkaitan erat dengan kondisi tanah atau *seabed* yang mana kondisinya tidak stabil. Ketidakstabilan kondisi seabed dan lingkungan ini akan mengakibatkan perbedaan kekuatan pada bangunan lepas pantai pada umumnya maupun pada *pile*/pondasi pada khususnya pada saat bangunan lepas pantai tersebut beroperasi.

Di samping itu, *jacket platform* yang sudah terpancang memungkinkan untuk dilepas dan di pindahkan ke lokasi baru. Ketika hal itu akan dilakukan, diperlukan reanalisis dan reevaluasi sebagai langkah antisipasi agar struktur tersebut aman. Dari hasil reanalisis dan reevaluasi tersebut, diperoleh keputusan apakah diperlukan perbaikan atau modifikasi sesuai prosedur yang ada pada *code*.



Gambar 1.2 Perpindahan *Jacket Structure* (Grey,1991)

Penjelasan diatas menunjukkan bahwa pentingnya dilakukan sebuah reanalisis untuk anjungan yang akan direlokasi ke tempat baru. Apabila memungkinkan untuk relokasi, hal tersebut tentunya akan mengurangi biaya pembuatan dari anjungan tersebut. Salah satu dari analisis yang harus dilakukan adalah analisis kekuatan struktur *jacket platform* dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Salah satu cara untuk mengetahui apakah struktur *jacket platform* masih layak beroperasi yaitu menggunakan analisa statis untuk mencari *unity check* terbesar dan analisa *pushover* untuk menghitung RSR member kritis pada macam-macam variasi jenis tanah.

Metode yang dipilih untuk analisa *ultimate strength* adalah metode *pushover* untuk mengetahui kekuatan *ultimate* struktur global dengan memberikan beban statis dalam arah lateral berupa beban gelombang, angin dan arus dalam kondisi badai. Beban statis ini ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Analisa *pushover* menunjukkan perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya (Sari,2015). Analisis keandalan dilakukan untuk mengetahui keandalan struktur pada saat beroperasi.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah:

1. Berapa besar *Reserve Strength Ratio* (RSR) struktur pada masing masing variasi jenis tanah?
2. Bagaimana keandalan struktur akibat pengaruh variasi jenis tanah dalam kondisi *ultimate*?
3. Bagaimana hubungan antara parameter-parameter tanah terhadap *ultimate strength*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Menghitung besar besar *Reserve Strength Ratio* (RSR) struktur pada masing masing variasi jenis tanah
2. Menghitung keandalan struktur akibat pengaruh variasi jenis tanah dalam kondisi ultimate.

3. Mengetahui hubungan antara parameter-parameter tanah terhadap *ultimate strength*.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penulisan tugas akhir ini adalah dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk analisis *ultimate strength* pada *jacket platform* akibat variasi kondisi tanah sehingga struktur *jacket platform* masih layak beroperasi dan guna menghitung besar RSR, serta menganalisa keandalan struktur. Disamping itu, diharapkan dapat mengetahui hubungan antara parameter-parameter tanah terhadap *ultimate strength*.

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* JOB Pertamina-PetroChina Salawati yang berjenis *jacket* 3 kaki.
- b. Pemodelan dan analisis struktur menggunakan software SACS.
- c. Analisa *collapse* dari struktur *jacket* ditinjau berdasarkan standart code API RP-2A WSD 21st *edition*.
- d. Analisis yang dilakukan pada arah pembebanan yang paling cepat membuat struktur *collapse*.
- e. Jenis tanah yang digunakan di dalam analisis adalah tanah tipe-X, tipe-Y, dan tipe-Z

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini terdiri atas lima bab yaitu sebagai berikut :

BAB I pendahuluan menjelaskan beberapa hal tentang penelitian dalam tugas akhir, yaitu masalah yang melatarbelakangi penelitian sehingga penting untuk dilakukan, perumusan masalah yang menjadi problem dan perlu dijawab, tujuan yang digunakan untuk menjawab permasalahan yang diangkat, manfaat apa yang didapat dari dilakukannya penelitian tugas akhir, batasan dari penelitian tugas akhir ini, serta penjelasan dari sistematika laporan yang digunakan dalam tugas akhir.

BAB II tinjauan pustaka dan dasar teori menjelaskan apa saja yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini serta dasar-dasar teori, persamaan-persamaan, serta code yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini. Materi yang dicantumkan pada bab ini antara lain: pengertian umum struktur anjungan pantai, konsep pembebanan, konsep tegangan, konsep analisis statis *inplace*, dan konsep analisis *pushover*.

BAB III metodologi penelitian menjelaskan urutan analisis yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dan melakukan validasi dalam tugas akhir ini, beserta pembahasan data.

BAB IV analisis hasil dan pembahasan menjelaskan tentang pemodelan struktur dengan menggunakan software yang mendukung serta berisi analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini, pengolahan dan serta membahas hasil yang telah didapat.

BAB V kesimpulan dan saran menjelaskan tentang kesimpulan yang telah didapatkan dari hasil analisa pada tugas akhir ini dan saran-saran penulis sebagai pertimbangan dalam keperluan penelitian selanjutnya.

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut ISSC (2006), kekuatan *ultimate* dari member dan sistem struktur adalah ukuran sebenarnya dalam penilaian kekuatan yang berarti, bahwa kekuatan *ultimate* adalah kapasitas maksimal yang dapat dimiliki struktur. Tidak ada penambahan beban yang dapat dibawa melebihi kekuatan *ultimate*. Dibawah kombinasi beban umum, *buckling* dan *yielding* mendominasi kekuatan *ultimate* pada saat tegangan tekan dominan, di mana hanya *yielding* yang mendominasi kekuatan *ultimate* ketika tegangan tarik dominan.

Keandalan sebuah struktur adalah kemampuan struktur untuk memenuhi tujuan desain untuk dispesifikasikan waktu yang ditentukan. Kebanyakan struktur mempunyai jumlah moda kemungkinan kegagalan. Maka, dalam penentuan keandalan struktur harus dilakukan perhitungan, dimana dalam perhitungannya ada beberapa tahap (Murotsu, 1986). Struktur dianalisis berdasarkan variasi jenis tanah guna mengetahui keandalan apabila struktur mengalami perubahan dari desain perancangannya.

Analisis *ultimate strength* pada struktur *jacket platform* sebelumnya telah banyak dilakukan oleh mahasiswa Teknik Kelautan antara lain Nasta Ina Robayasa (2013) yang membahas “Analisa Kekuatan *Ultimate* Struktur *Jacket Well Tripod Platform* Berbasis Resiko” dan Bunga Septya Winata Sari (2015) yang membahas “Analisa Kekuatan *Ultimate* Berbasis Resiko Pada Struktur *Jacket Wellhead Tripod Platform* Akibat Terjadinya *Scouring*”. Para peneliti tersebut melakukan analisis keruntuhan bangunan laut dengan metode penambahan beban secara bertahap sampai struktur mengalami keruntuhan.

Berdasarkan beberapa penelitian diatas, belum ada yang melakukan analisis *ultimate strength* struktur *jacket platform* berbasis keandalan dengan variasi jenis tanah. Analisis dengan menyertakan jenis tanah merupakan factor yang sangat penting dalam menganalisis kekuatan struktur. Tekstur dari tanah sendiri menunjukkan komposisi partikel penyusun tanah yang dinyatakan sebagai proporsi (%) relatif antara fraksi pasir (*sand*), debu (*silt*), dan liat (*clay*) (Hanafiah,2005).

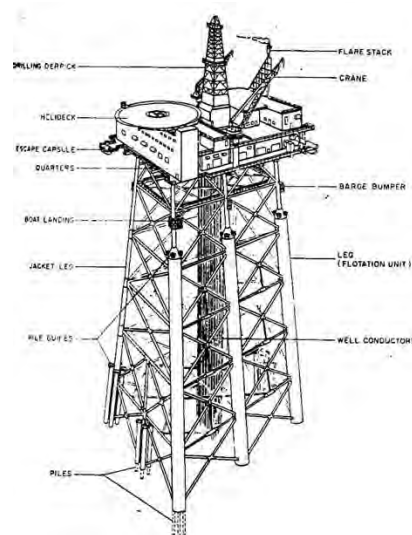
Sedangkan Badan Pertanahan Nasional mendefinisikan bahwa tekstur tanah adalah keadaan tingkat kehalusan tanah yang terjadi karena terdapatnya perbedaan komposisi kandungan fraksi pasir, debu, dan liat yang terkandung pada tanah. Dari ketiga jenis fraksi tersebut partikel pasir mempunyai ukuran diameter paling besar yaitu 2-0.05 mm, debu dengan ukuran 0.005-0.002 mm, dan liat dengan ukuran < 0.002 mm.

Sehingga dari beberapa konfigurasi jenis tanah yang ada dalam code yang akan digunakan sebagai referensi menganalisa kekuatan *ultimate* struktur untuk mendapatkan kapasitas maksimal struktur dalam menerima beban. Analisis tersebut sangat penting dilakukan, selain untuk memenuhi target dan standar desain yang telah ditetapkan, juga untuk mengetahui kelayakan maupun keamanan suatu *platform* yang telah banyak digunakan oleh industri migas dalam eksplorasi migas.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Jacket Platform

Struktur *jacket* adalah salah satu jenis struktur lepas pantai terpancang yang terdiri dari struktur *deck* (*main deck*, *cellar deck* dan *heli deck*), *jacket leg* sebagai penyangga *deck*, dan tiang pancang sebagai penyalur gaya – gaya yang bekerja pada struktur ke dalam tanah. Penggunaan struktur *jacket* hanya terbatas untuk perairan – perairan yang tidak terlalu dalam, dan konfigurasi *deck* yang sederhana.



Gambar 2.1. *Jacket Platform* (www.esru.strath.ac.uk, 2016)

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

1. Geladak dan bangunan atas.

Geladak adalah bagian yang berada diatas permukaan air dan merupakan fasilitas utama *jacket* yang menentukan fungsi struktur. Konstruksi geladak *jacket platform* berada pada ketinggian tertentu dari permukaan air tenang (SWL) sehingga tidak terjangkau gelombang laut. Konstruksi geladak terdiri atas beberapa kelompok jenis konstruksi (*modules*) dimana jumlah, kelengkapan dan fasilitas yang ada pada geladak tergantung pada fungsi utama yang harus dilaksanakan oleh *jacket platform* itu sendiri.

2. *Jacket*

Jacket merupakan badan *platform* yang sebagian besar berupa konstruksi pipa (*tubular*). Struktur *jacket* sebagian besar terendam air hingga dasar laut. Fungsi utama struktur *jacket* adalah menopang konstruksi geladak dan fasilitas produksi yang ada, menahan struktur dari beban lateral dan momen guling akibat beban lingkungan (gelombang, arus, pasang surut).

3. Tiang Pancang (*piles*)

Tiang pancang merupakan struktur *jacket platform* yang dipancangkan ke dalam dasar laut, hingga kedalaman 30 – 150 m. Fungsi utama tiang pancang adalah sebagai pondasi struktur *jacket* yang menahan beban lateral dan aksial yang ditransformasikan ke tanah. Untuk itu karakteristik pondasi *jacket platform* selain ditentukan oleh perancangan tiang pancang itu sendiri juga ditentukan oleh kondisi tanah yang ada (*soil mechanics*). Terdapat beberapa elemen yang harus diperhatikan pada saat desain, yaitu:

a. Ukuran pile

Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada saat perencanaan/perancangan pile antara lain berkaitan dengan:

1. Diameter

2. Kedalaman

3. Jarak Antar Pile

4. Jumlah Pile

5. Lokasi

b. Respons Pile

Dalam penentuan/perhitungan respons *pile* harus memperhitungkan sifat tanah yang tidak *linier* (tetap) dan menjamin kompatibilitas defleksi antara struktur dan sistem tanah. Dengan demikian maka salah satu faktor yang mempunyai peran vital terhadap respons *pile* adalah kondisi tanah (*seabed*), hal ini dikarenakan *pile* merupakan salah satu bagian pada jacket platform yang berinteraksi langsung dengan bagian tanah (*seabed*).

c. Defleksi dan Rotasi

Defleksi dan Rotasi dari tiap *pile* harus di cek pada lokasi-lokasi kritis. Lokasi-lokasi kritis tersebut antara lain : ujung atas *pile* dan pada batas lumpur (*mudline*).

d. Penetrasi

Desain pile harus mampu menerima beban tekan dan tarik dengan menggunakan faktor keamanan yang sesuai.

2.2.2 Penilaian Platform (*Platform assessment*)

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

1. Pemilihan anjungan (*platform selection*).

2. Pengkategorian (*categorization*).

3. Penilaian kondisi (*assessment condition*).

4. Cek basis desain (*design basis check*).

5. Analisa (*analysis check*).

6. Pertimbangan Mitigasi (*consideration of mitigation*)

Kategori untuk keamanan dan keselamatan adalah sebagai berikut (API RP 2A):

1. L-1 : adanya personel tanpa evakuasi (*manned non evacuated*)

2. L-2 : adanya personel dengan evakuasi (*manned evacuated*)

3. L-3 : tidak ada personel (*unmanned*)

Kategori untuk konsekuensi kegagalan

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

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

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

Untuk kondisi perairan di luar Amerika dan Teluk Meksiko, pengkategorian yang digunakan hanya dua saja, yaitu : L-1 dan L-3 dengan konsekuensi L-1 dan L-3 (API RP 2A WSD 21st edition), yang nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam penentuan faktor beban dan RSR.

Table 17.5.2a—ASSESSMENT CRITERIA—U.S. GULF OF MEXICO
(see Table 17.6.2-1)

Assessment Category	Exposure Category		Design Level Analysis (see Notes 1 and 2)	Ultimate Strength Analysis
	Consequence of Failure	Life Safety		
A-1	High	Manned-Non-Evacuated, Manned-Evacuated or Unmanned	High Consequence design level analysis loading (see Figure 17.6.2-2a)	High Consequence ultimate strength analysis loading (see Figure 17.6.2-2a)
A-2	Medium	Manned-Evacuated or Unmanned	Sudden hurricane design level analysis loading (see Figure 17.6.2-3a)	Sudden hurricane ultimate strength analysis loading (see Figure 17.6.2-3a)
A-3	Low	Unmanned	Minimum consequence design level analysis loading (see Figure 17.6.2-5a)	Minimum consequence ultimate strength analysis loading (see Figure 17.6.2-5a)

Table 17.5.2b—ASSESSMENT CRITERIA—OTHER U.S. AREAS
(see Table 17.6.2-2)

Assessment Category	Exposure Category		Design Level Analysis (see Notes 1 and 2)	Ultimate Strength Analysis
	Consequence of Failure	Life Safety		
A-1	High	Manned-Non-Evacuated or Unmanned	85% of lateral loading caused by 100-year environmental conditions (see Section 17.6.2b)	Reserve strength ratio (RSR) 1.6 (see Section 17.6.2b)
A-3	Low	Unmanned	50% of lateral loading caused by 100-year environmental conditions (see Section 17.6.2b)	(RSR) 0.8 (see Section 17.6.2b)

Notes 1. Design level analysis not applicable for platforms with inadequate deck height.
2. One-third increase in allowable stress is permitted for design level analysis (all categories).

Gambar 2.2. Kriteria Penilaian Anjungan (API RP 2A WSD 21st edition)

2.2.3 Teori Perencanaan Beban

Dalam suatu proses perancangan bangunan lepas pantai, untuk menentukan kemampuan kerja suatu struktur akan dipengaruhi oleh beban yang terjadi pada bangunan tersebut. Sehingga perancang harus menentukan akurasi atau ketepatan beban yang akan diterapkan dalam perancangan.

Menurut (Soedjono, 1999), beban-beban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bangunan lepas pantai adalah sebagai berikut :

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 tiapmancang, *deck, jacket, railing*
- b. Beban 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 *deadloadnya* 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 :

- a. Tabrakan dengan kapal pemandu
- b. Putusnya tali katrol *crane*
- c. Putusnya tali tambat rantai jangkar, tali baja pengikat katrol
- d. Kebakaran, letusan, *blow out*
- e. 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

Analisis *inplace* merupakan analisis statis struktur dengan mempertimbangkan *unity check* disyaratkan kurang dari 1 sebagai batas maksimum yang dapat diterima struktur 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 struktur 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 live*, dan beban

hidup yang bekerja pada tiap level *deck* tereduksi 25%. Selain itu, *crane* dianggap tidak bekerja akibatnya, hanya ada nilai beban *crane* vertikal saja. *Allowable stress* dari tiap batang dinaikan harganya sebesar 133% menurut peraturan dari AISC. *Platform* harus didesain untuk kondisi pembebanan yang akan menghasilkan efek 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 operasonal 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 najungan.
- d. Kondisi beban lingkungan ekstrim dengan beban mati dan beban hidup minimum berdasarkan kondisi ekstrim pada anjungan.

Unity check (rasio tegangan) merupakan perbandingan antara tegangan aktual struktur dengan tegangan ijinnya seperti berikut :

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

Dengan, UC = *Unity check member*

σ_{act} = Tegangan yang terjadi (ksi)

σ_{all} = Tegangan izin (ksi)

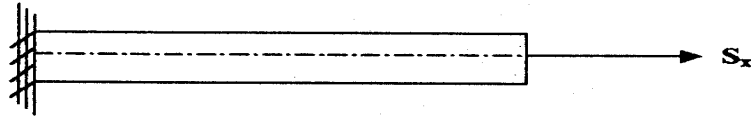
2.2.5 Konsep Tegangan

2.2.5.1 Tegangan Normal

Gambar 2.4 merupakan gambar batang tubular yang mengalami pembebanan aksial sebesar S_x . Batang tersebut mempunyai luas penampang A. Maka tegangan yang terjadi pada pada batang tersebut sesuai dengan persamaan berikut ini:

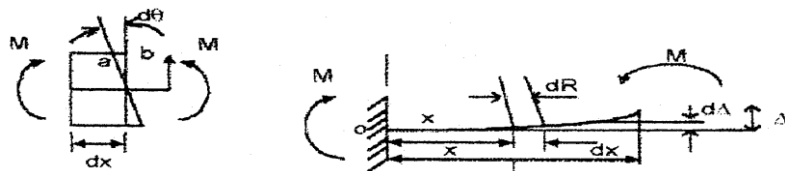
$$F = \frac{Sx}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan, A = luas penampang lintang



Gambar 2.3 Pembebanan aksial pada batang *tubular* (Popov, 1993)

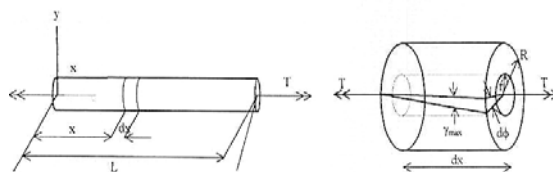
Selain akibat beban aksial, tegangan aksial dapat diakibatkan juga oleh momen lentur murni akibat kopel M yang terjadi disetiap ujungnya. Tegangan yang diakibatkan dengan adanya momen disebut sebagai *bending stress* atau tegangan lentur.



Gambar 2.4 Pembebanan momen kopel pada batang *tubular* (Popov, 1993)

2.2.5.2 Tegangan Geser

Batang penampang bulat juga dapat mengalami tegangan geser walau besarnya tidak begitu berarti. Penyebab paling besar terjadinya tegangan geser pada elemen penampang bulat seperti pada kaki struktur *jacket* adalah momen puntiran aksial. Pada gambar 2.3 tampak batang mengalami pembebanan puntiran T pada kedua ujungnya.



Gambar 2.5 Gaya puntiran pada batang silinder (Popov, 1993)

Tegangan maksimum yang terjadi pada permukaan luar batang dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\sigma = \frac{T.R}{J} \dots\dots\dots (2.3)$$

Di mana: J = Momen inersia kutub
 T = Momen torsi terkonsentrasi
 R = Jari-jari penampang batang

Nilai J:

$$J = \frac{\pi}{2}(R_0^4 - R_1^4) \text{ untuk circular ring } \dots\dots\dots(2.4)$$

$$J = \frac{\pi}{2}(R^4) \text{ untuk round bar } \dots\dots\dots(2.5)$$

Tegangan geser yang bekerja pada penampang melintang lingkaran selalu berarah tegak lurus jari-jari dan mempunyai arah yang sama dengan momen puntir.

2.2.5.3 Kriteria Tegangan ijin

a. Tegangan Tarik Aksial

Tegangan tarik ijin *Ft* menurut API RP 2A (2005), untuk member silinder ditentukan dari:

$$Ft = 0.6Fy. \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana : *Fy* adalah kekuatan yield (Mpa)

b. Tegangan Tekan aksial

1. Column Buckling

Tegangan ijin tekan aksial, *Fa* harus ditentukan dari formula AISC untuk member dengan perbandingan *D/t* kurang atau sama dengan 60:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{5/3 + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)}{8C_c^3}} \quad \text{untuk } Kl/r < C_c \dots\dots\dots (2.7)$$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \quad \text{untuk } Kl/r \geq C_c \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

$$C_c = \left[\frac{12\pi^2 E}{F_y} \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

C_c = Modulus Elastisitas, Ksi (MPa)

E = Faktor Panjang Efektif

L = Panjang tanpa bracing, in

r = jari-jari girasi, in

untuk member dengan perbandingan D/t yang lebih besar dari pada 60, menggunakan formula *Local Buckling*.

c. Tegangan Tekuk

Tegangan ijin bending, F_b menurut API RP 2A (2005), dinyatakan:

$$F_b = 0.75F_y \quad \text{untuk } \frac{D}{t} \leq \frac{1500}{F_y} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

$$F_b = \left[0.84 - 1.74 \frac{F_y D}{Et} \right] F_y \quad \text{untuk } \frac{1500}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{3000}{F_y} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

$$F_b = \left[0.72 - 0.58 \frac{F_y D}{Et} \right] F_y \quad \text{untuk } \frac{3000}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300 \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

d. Kombinasi Tekan Aksial dan Bending Member Silinder

Pada API RP 2A WSD (2005) dapat dijelaskan bahwa member silinder ditujukan pada kombinasi antara kompresi dan regangan yang harus diproporsionalkan pada kedua persyaratan berikut :

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{Cm\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{\left(1 - \frac{fa}{f_e}\right)Fb} \leq 1.0 \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\frac{fa}{0.6Fy} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{Fb} \leq 1.0 \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana: Fa = tegangan aksial yang diijinkan

fa = tegangan aksial

Fb = tegangan bending yang diijinkan

fb = Tegangan bending

Cm = Faktor reduksi

2.2.6 Kapasitas Beban Aksial Tiang Pancang (Pile)

Kapasitas daya dukung ultimate *pile*:

$$Q_d = Q_f + Q_p = f A_s + q A_p \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

Q_f = Total tahanan gesek kulit, lb (KN)

Q_p = Total tahanan ujung pile, lb (KN)

F = Unit tahanan kulit, lb/ft² (kPa)

A_s = Luasan kulit pile, ft² (m²)

q = Unit tahanan ujung pile, lb/ft² (kPa)

A_p = Total luas pemampang ujung pile, ft² (m²)

2.2.7 Buckling

Dalam analisa *pushover* akan menghasilkan *member buckling* yang secara otomatis dihitung menggunakan *beam* yang terjadi defleksi dan plastisitas pada *member* sub-segment. Lokal tubular *buckling* ditentukan menggunakan total regangan di bagian *section* dan diperlakukan sebagai engsel permanen. Perilaku *plate* menjadi nonlinier dan beban runtuh biasanya dikaitkan dengan kegagalan plastik. Oleh karena itu, ketika menganalisa struktur tersebut, maka perlu untuk memasukan kedua geometris dan bahan nonlinier.

Buckling menurut AISC, menentukan member dengan rasio D/t harus kurang dari 60, dengan rumus :

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right]}{5/3 + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} \text{ for } Kl/r < C_c \dots\dots\dots (2.18)$$

$$F_a = \frac{12 \pi^2 E}{23 (Kl/r)^2} \text{ for } Kl/r \geq C_c \dots\dots\dots (2.19)$$

$$C_c = \left[\frac{12 \pi^2 E}{F_y}\right]^{1/2} \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana :

C_c = Modulus Young Elastis, ksi (MPa)

E = panjang faktor efektif

l = unbrace length, in (m)

r = radius girasi, in (m)

Untuk $D/t > 60$, maka F_y diganti dengan F_{xe} atau F_{xc}

Tegangan inelastis lokal *buckling* menurut API RP 2A WSD dirumuskan sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} F_{xc} &= F_y X \left[1.64 - 0.23 (D/t)^{1/4}\right] \leq F_{xe} \\ F_{xc} &= F_y \text{ for } (D/t) \leq 60 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.21)$$

2.2.8 Analisis *Pushover*

Analisa *pushover* adalah suatu metode yang dipakai dalam menganalisa keruntuhan struktur dan merupakan analisa nonlinear dengan pembebanan incremental untuk menentuka pembebanan yang menyebabkan struktur runtuh. Untuk mengetahui apakah *jacket platform* memiliki cukup kekuatan dan stabilitas untuk tetap menahan beban akibat *overstress* lokal yang melebihi tegangan ijin, namun tanpa keruntuhan (Murdjito, 2008). Ada dua jenis *load case* dalam pemodelan beban analisa *pushover*. *Load case* pertama yaitu beban vertical yang bekerja pada struktur. Beban vertikal ini termasuk beban dek meliputi *dead load* dan *live load*. Kemudian *load case* yang kedua adalah beban horizontal yang merupakan beban lingkungan kondisi ekstrim, yaitu beban gelombang, angin, dan arus. Dalam analisa *pushover*, struktur akan dikenai beban vertical yang merupakan beban konstan. Kemudian beban horizontal akan ditingkatkan dengan faktor beban yang telah ditentukan sampai struktur tersebut kolaps. Faktor beban yang menyebabkan struktur kolaps memberikan *Reserve Strength Ratio* (RSR) terutama akibat beban lingkungan ekstrim pada masing-masing arah pembebanan.

2.2.8.1 *Reserve Strength Ratio* (RSR)

Struktur *jacket* mempunyai *Reserve Strength Ratio* (RSR) yang berbeda untuk setiap arah pembebanan. RSR didefinisikan sebagai rasio dari beban *ultimate lateral* anjungan menerima pada strukturnya kondisi beban lateral lingkungan 100 tahun, dihitung menggunakan prosedur rekomendasi API RP 2A (2002).

RSR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} RSR &= \frac{\text{Beban Struktur Collapse}}{\text{Beban kondisi awal}} \\ &= \frac{P_{awal} + Total P_{increment}}{P_{awal}} \dots\dots\dots (2.22) \end{aligned}$$

Dimana:

P awal = P pada desain level kondisi 100 tahun.

P increment = P pada analisa *pushover*

2.2.9 Moda Kegagalan

2.2.9.1 Kombinasi *Axial Tension* dan *Bending*

$$1 - \cos \left\{ \frac{\pi}{2} \left| \frac{P}{P_n} \right. \right\} + \frac{\sqrt{M_y^2 + M_z^2}}{M_p} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

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

P_n = *Ultimate axial capacity* (kips)

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

2.2.9.2 Kombinasi *Axial Compression* dan *Bending*

Untuk kondisi ini tekanan menyebabkan *member* mengalami gaya tekan dan *buckling* dapat terjadi. Dengan rumus yang digunakan :

$$\frac{f_c}{F_{en}} + \frac{1}{F_{bn}} \left\{ \left[\frac{C_{my} f_{by}}{1 - \frac{f_e}{F_{ey}}} \right]^2 + \left[\frac{C_{mz} f_{bz}}{1 - \frac{f_e}{F_{ez}}} \right]^2 \right\}^{0.5} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

Dan

$$1 - \cos \left\{ \frac{\pi}{2} \left| \frac{f_c}{F_x} \right. \right\} + \frac{\sqrt{f_{by}^2 + F_{bz}^2}}{F_{bn}} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

$$F_c < F_{xc} \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

dengan,

C_{my}, C_{mz} = Faktor reduksi untuk sumbu axis y dan z

F_{ey}, F_{ez} = Kekuatan euler *buckling* pada member bersumbu y dan z

F_{ey} = F_y / λ_y²

F_{ez} = F_z / λ_z²

λ_y, λ_z = Parameter *slenderness coloumn* dengan parameter K,L

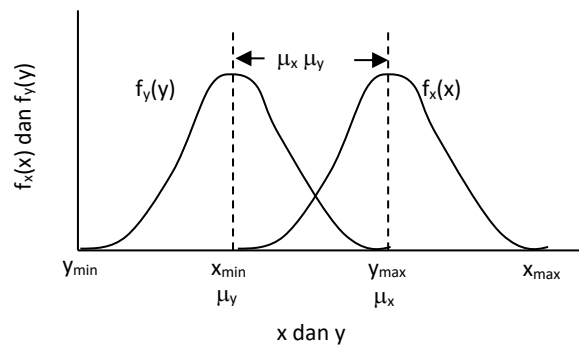
dan r

2.2.10 Keandalan Pada Sistem Rekayasa

Sistem dari keandalan pada dasarnya dapat ditunjukkan sebagai problematika antara Demand (tuntutan atau beban) dan Capacity (kapasitas atau kekuatan). Secara tradisional didasarkan atas *safety factor* (angka keamanan) yang diperkenankan. Ukuran konvensional untuk angka keamanan adalah perbandingan antara asumsi nilai nominal kapasitas, X^* , dan beban, Y^* , yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{X^*}{Y^*} \dots\dots\dots(2.27)$$

Mengingat nilai nominal dari kapasitas, X^* dan beban, Y^* tidak dapat ditentukan dengan pasti, fungsi-fungsi kapasitas dan beban perlu dinyatakan sebagai peluang sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.9. Dengan demikian, angka keamanan dinyatakan dengan perbandingan $Z = X/Y$ dari dua variabel acak X dan Y.



Gambar 2.6 Fungsi kerapatan peluang (fkp) dari kapasitas 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 $Z = X/Y \leq 1$. Peluang kegagalan sistem, P_f diberikan dengan persamaan:

$$P_f = P[Z \leq 1] = F_z(1) \dots\dots\dots(2.28)$$

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

$$K = 1 - P_f = P[Z > 1] = 1 - F_z(1) \dots\dots\dots(2.29)$$

Ketika distribusi peluang bersama (*joint probability distribution*) dan X dan Y diketahui, keandalan sebuah sistem dapat dihitung berdasarkan fungsi distribusi komulatif 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 Simulasi Monte Carlo

Rekayasa sistem dapat dipelajari dengan melakukan suatu percobaan fisik menggunakan model yang merefleksikan karakter-karakter pokok dari sistem tersebut. Percobaan tersebut dimaksudkan untuk simulasi kenyataan sebenarnya dengan cara memproduksi karakteristik prototipe. Proses simulasi memperkirakan respon atau kinerja suatu sistem menggunakan serangkaian nilai dari parameter atau variabel dari sistem tersebut. Misalnya, mempelajari kekuatan kapal pada saat berlayar di laut dengan cara membuat model kapal dengan skala tertentu di laboratorium *flumetank*. Pemodelan juga dapat dilakukan menggunakan model matematik ataupun numerik yang menggunakan komputer. Maka, simulasi dapat didefinisikan sebagai proses replika atau tiruan dunia nyata berdasarkan serangkaian asumsi dan model obyek tersebut.

Simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk memecahkan masalah suatu sistem yang mengandung variabel atau parameter yang memiliki nilai acak, atau mengandung perubah acak. Suatu set nilai dari 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 deterministik untuk suatu set nilai dari respon atau kinerja sistem tersebut. Sehingga pada akhir simulasi akan diperoleh sekumpulan data respon atau kinerja sistem. Sekumpulan data ini dapat dianggap sebagai sampel data. Dengan analisa statistik dapat dilakukan untuk menentukan nilai rata-rata, simpangan baku, bahkan dari respon atau kinerja sistem tersebut.

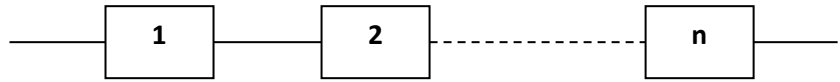
Unsur pokok yang diperlukan dalam simulasi Monte Carlo adalah sebuah *random number generator (RNG)*. Karena secara teknis prinsip dasar metode simulasi Monte Carlo sebenarnya adalah sampling numerik dengan bantuan RNG, di mana simulasi dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dari perubah acak berdasarkan distribusi peluang perubah acak tersebut. Ini berarti simulasi Monte Carlo mensyaratkan bahwa distribusi peluang dari perubah acak yang terlibat di dalam sistem yang sedang dipelajari telah diketahui atau dapat diasumsikan. Sampel yang telah diambil tersebut dimasukkan ke dalam fungsi kinerja $FK(x)$, dan harga $FK(x)$ kemudian dihitung. Misalkan untuk fungsi kinerja $FK(x) < 0$, sistem/komponen tersebut gagal. Jika jumlah sampel tersebut adalah N (atau replikasi sejumlah N), maka dapat dicatat kejadian $FK(x) < 0$ adalah sebanyak n kali. Dengan demikian peluang kegagalan sistem yang ditinjau adalah rasio dari jumlah kegagalan n dengan jumlah sampel atau replikasi N , $P_{gagal} = n/N$.

2.2.12 Keandalan Sistem

2.2.12.1 Sistem Seri

Dari aspek kegagalan, sebuah system dikatakan seri apabila kegagalan salah satu komponen penyusunnya sudah cukup untuk menyebabkan kegagalan sebagian atau keseluruhan system tersebut. Dari sudut keandalan, seluruh komponen harus berfungsi supaya sistem dapat berfungsi. System seperti ini disebut juga *weakest-link system*. Sebuah mata rantai adalah contoh termudah dari sebuah system seri. Kegagalan satu mata rantai sudah cukup untuk

menjadikan rantai tersebut tidak berfungsi sama sekali. Secara grafis, system seri seperti ini dilukiskan sebagai berikut:



Gambar 2.7 Representasi grafis sebuah system 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 $K_S = K_1 K_2$. Apabila system tersebut tersusun n-komponen secara seri, maka keandalan sistemnya adalah :

$$K_S = K_1 K_2 \dots K_n \dots\dots\dots(2.30)$$

Dengan memperhatikan persamaan 2.28 diatas, maka dapat dipahami bahwa semakin banyak komponen dalam sebuah sistem seri, keandalan system itu menurun.

2.2.12.2 Sistem Paralel

Dari aspek kegagalan, bila sebuah system memerlukan kegagalan seluruh komponen penyusunnya untuk tidak berfungsi sama sekali, maka system ini disebut sistem parallel. Dari segi keandalan, maka system seperti ini hanya memerlukan satu komponen penyusunnya yang berfungsi agar system keseluruhan tetap berfungsi. *Reliability Block Diagram* (RDB) untuk system yang *fully-redundant* seperti ini ditunjukkan oleh gambar 2.8.

Bila kegagalan komponen dapat dianggap *s-independent*, maka peluang kegagalan system parallel aktif ini adalah:

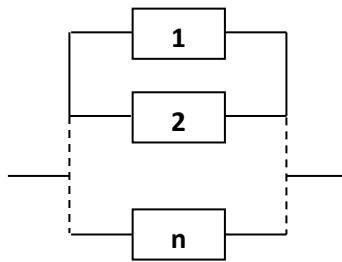
$$F_S = F_1 F_2 \dots F_n \dots\dots\dots(2.31)$$

Atau, bila dinyatakan dalam keandalan komponennya:

$$F_S = (1 - K_1) (1 - K_2) \dots (1 - K_n) \dots\dots\dots(2.32)$$

Maka keandalan sistemnya adalah:

$$K_S = 1 - [(1 - K_1) (1 - K_2) \dots (1 - K_n)] \dots\dots\dots(2.33)$$

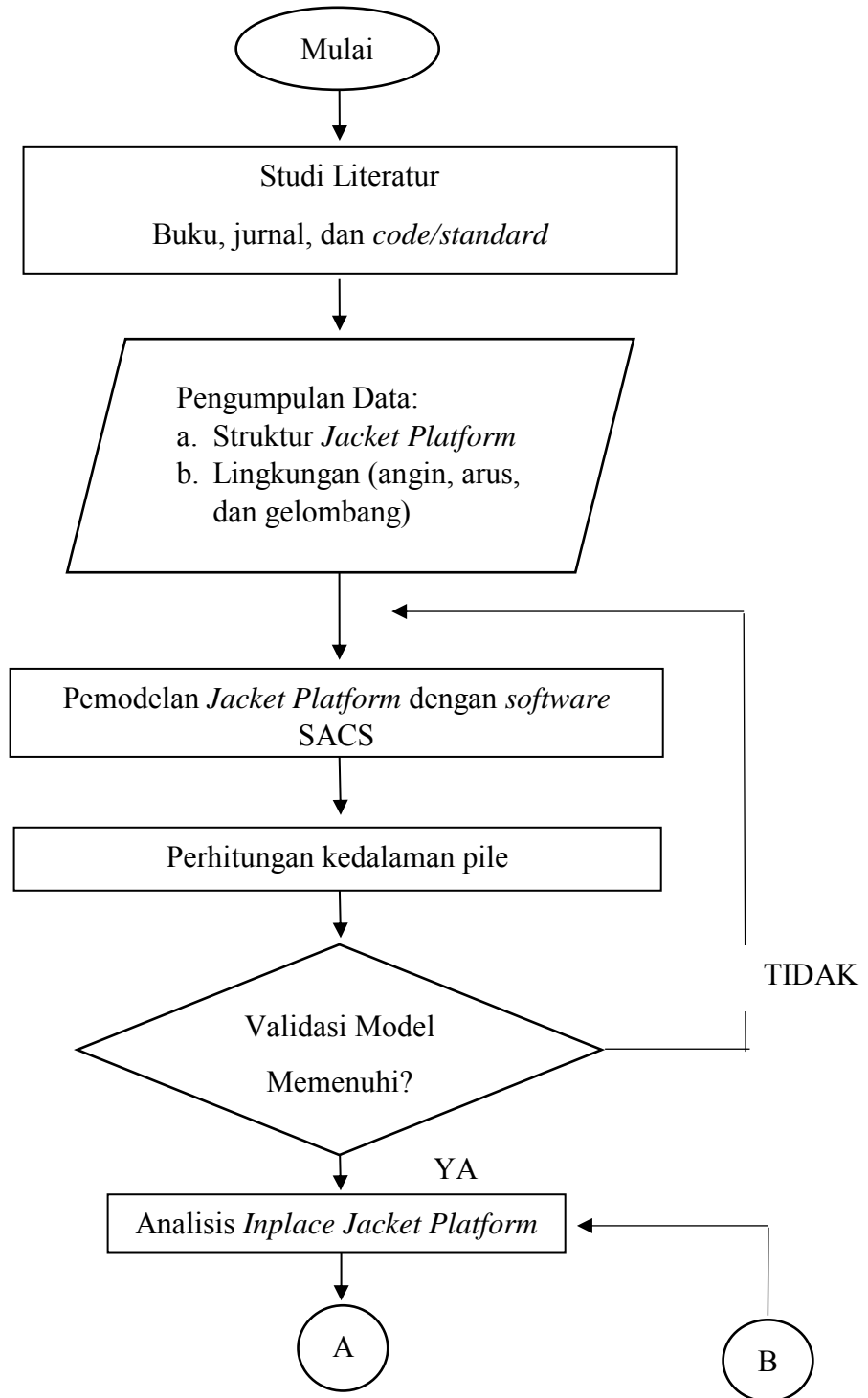


Gambar 2.8 RDB untuk sistem paralel dengan n-komponen
(Rosyid,2007)

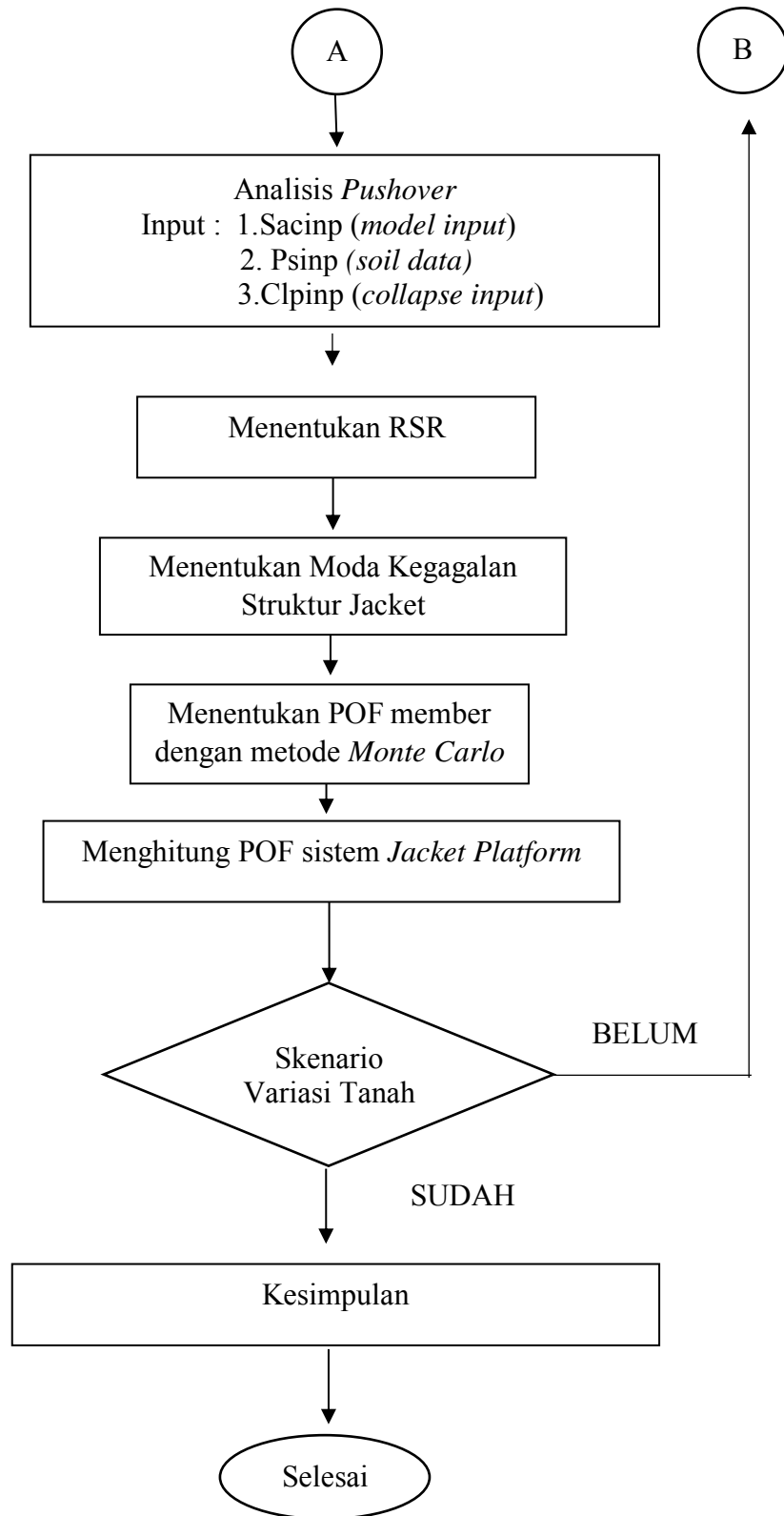
Lebih mudah untuk dipahami bahwa secara prinsip sistem paralel akan meningkatkan keandalan sistem. Namun demikian dapat dilihat pada strategi paralel, bahwa peningkatan keandalan paling tinggi diperoleh pada penambahan satu komponen pertama. Sesudah itu, penambahan komponen ketiga dan selanjutnya tidak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

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

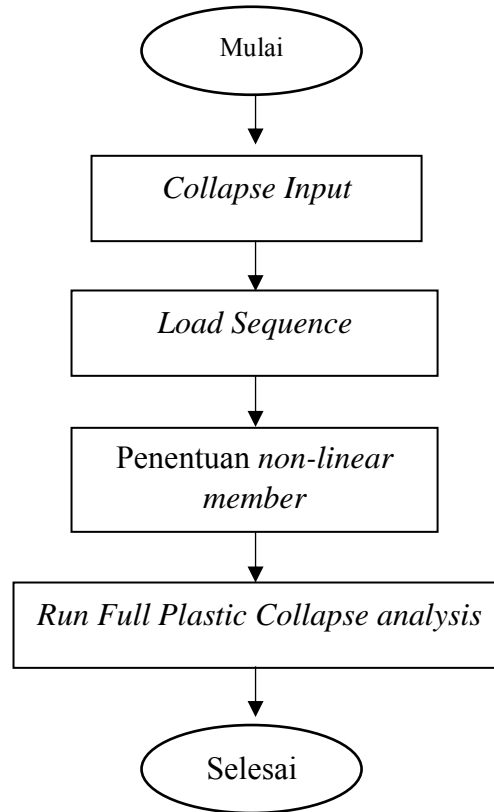


Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



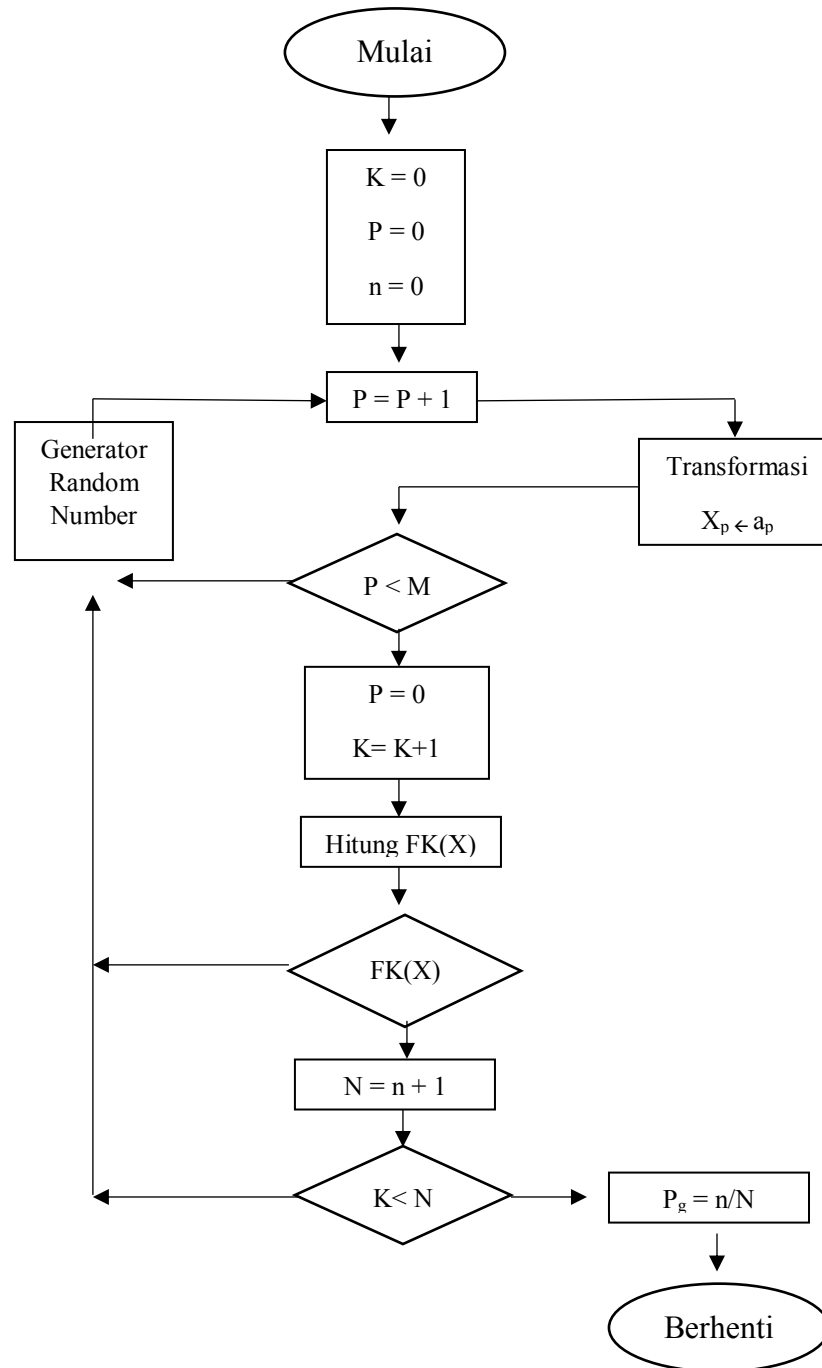
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

Langkah – langkah yang dilakukan dalam *collapse input* pada *software SACS* :



Gambar 3.2 Diagram Alir Collapse input pada software SACS

Langkah-langkah yang dilakukan dalam perhitungan keandalan struktur menggunakan simulasi *Monte Carlo*:



Gambar 3.3 Diagram Alir Keandalan Dengan Simulasi *Monte Carlo*

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 literatur sebagai pengumpulan bahan-bahan referensi dan sumber teori-teori yang akan digunakan dalam penelitian kali ini.

2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini akan dilakukan pengumpulan data yang terdiri dari data struktur, data lingkungan dan data beban *payload*.

3. Permodelan *Jacket Platform* dengan software SACS

Permodelan *Jacket Platform* berdasarkan desain struktur dengan software SACS dan memasukan beban yang bekerja pada struktur seperti beban equipment, beban perpipaan, beban hidup, dan beban lingkungan. Selain itu variasi data tanah juga dimasukkan pada analisis inplace ini agar dapat diketahui bagaimana variasi jenis tanah pada struktur.

4. Validasi

Pembuktian dengan menyamakan berat struktur *Jacket Well* and *Production Tetrapod Platform* 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 *Inplace Jacket Platform*

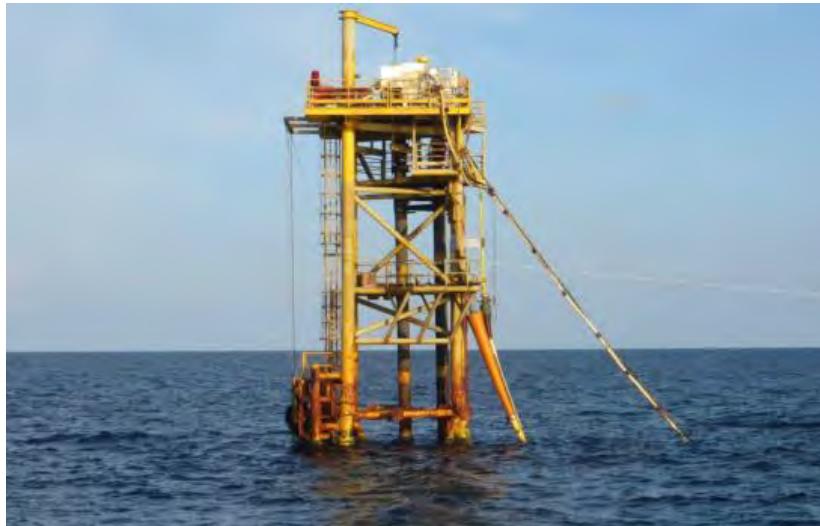
Analisis *inplace* merupakan analisa statik dari struktur. Analisis ini digunakan untuk mendapatkan UC (*Unity Check*) member apakah sudah memenuhi code API-2A WSD 21st.

6. Analisis *Pushover*

Analisa pushover dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pembebanan yang menyebabkan keruntuhan pada platform sampai mendapatkan RSR.

- Memasukkan semua nilai yang menyebabkan beban kritis.
 - Memasukkan data *input* analisis *pushover* pada model dengan memberikan *load factor* pada tahap penambahan beban yang akan dibuat.
7. Menentukan RSR
Membandingkan RSR (*Reserve Trench Ratio*) pada struktur *jacket platform* dengan berbagai kondisi variasi jenis tanah.
 8. Kemudian dilanjutkan menentukan moda kegagalan, moda kegagalan menggunakan kriteria *yield*.
 9. Menghitung POF (*probability of failure*) member yang didapat dengan simulasi simulasi Monte Carlo, kemudian menghitung POF sistem struktur *jacket platform*.

3.3 Arah Pembebanan dan Data Lingkungan

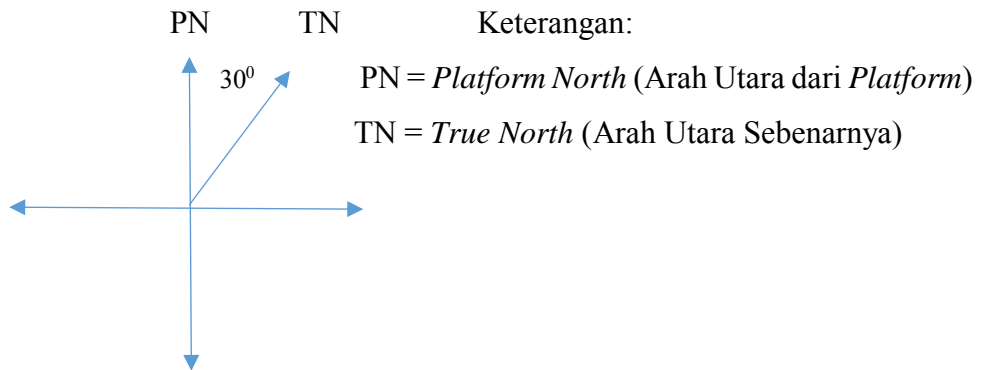


Gambar 3.4 *Jacket Wellhead Platform* Salawati (PT. Indosentra Teknika, 2014)

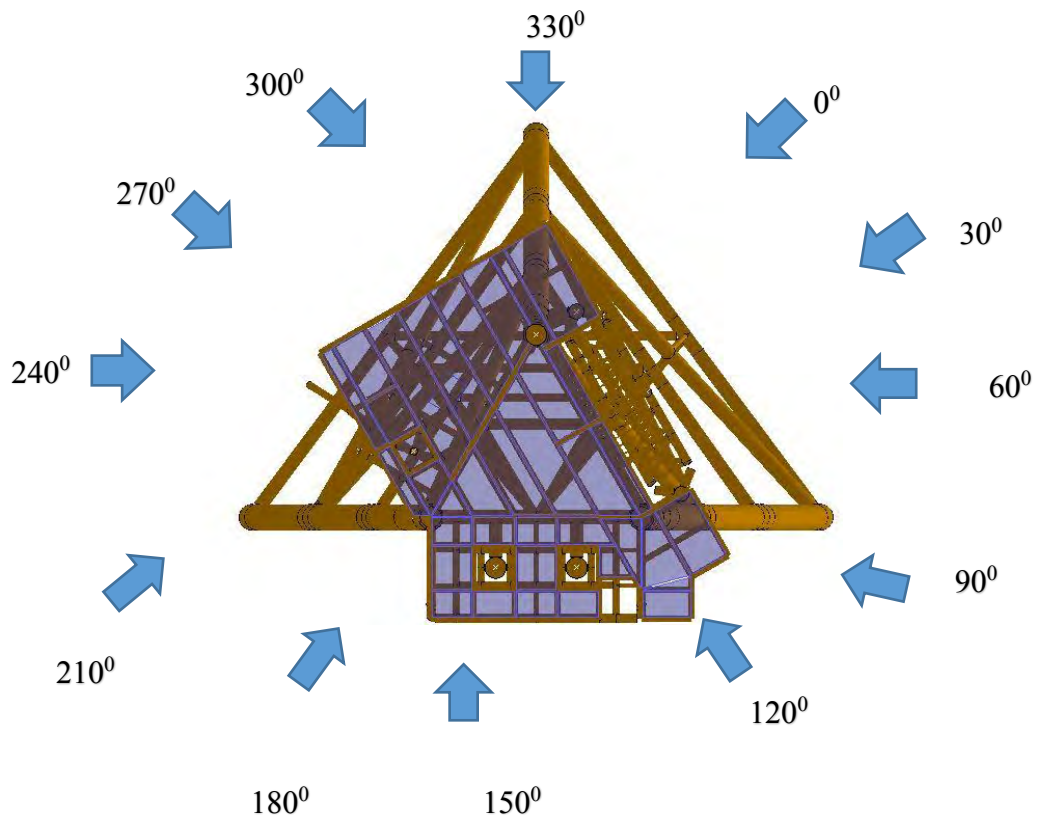
3.3.1 Arah Beban Lingkungan

Arah pembebanan lingkungan sesuai orientasi *platform* (30°) dari *true north*. Sehingga dengan mengambil arah utara *platform* (*platform north*) sebagai acuan maka diasumsikan arah utara *platform* adalah 0° . Pada struktur lepas pantai ini, beban lingkungan ditinjau dari 12 arah dengan

pertambahan kemiringan sebesar 30° . Dengan acuan arah 0° adalah arah utara *platform* (30° dari *true north*) maka 12 arah untuk *platform* adalah 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° , 210° , 240° , 270° , 300° , dan 330° .



Gambar 3.5. Arah Utara *Platform* dan Utara Sebenarnya



Gambar 3.6. Arah Pembebanan Beban Lingkungan terhadap Struktur

3.3.2 Data Lingkungan

a. Kedalaman Laut

Tabel 3.1 Tabel Kedalaman Laut (PT. Sillo Maritime Perdana, 2014)

Datum	<i>Inplace</i>		<i>Fatigue/Seismic</i>		<i>Depth</i>
	<i>Max Depth</i>	<i>Min Depth</i>	<i>Max Depth</i>	<i>Min Depth</i>	
MSL,(m)	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60
HAT,(m)	0.70		0.70		
LAT,(m)		-0.48		0.48	
<i>Water Depth</i>	40.30	39.12	40.30	39.12	39.60

b. Angin

Kecepatan angin pada ketinggian 10 m diatas permukaan laut diaplikasikan di analisis. Data angin ditampilkan ditabel dibawah ini:

Tabel 3.2 Tabel Data Angin (PT. Indosentra Teknika, 2014)

<i>Direction (From)</i>	<i>1-Year Return Period (m/s)</i>	<i>100-Year Return Period (m/s)</i>
SW	9.1	11.7
S	11.3	14.4
SE	11.2	14.4
E	6.6	8.4
NE	8.0	10.2
N	11.8	15.2
NW	9.9	12.6
W	13.6	17.4

c. Gelombang

Parameter gelombang dari delapan arah yang diaplikasikan pada analisis ditampilkan ditabel dibawah ini:

Tabel 3.3 Tabel Data Gelombang (PT. Indosentra Teknika, 2014)

<i>Direction (from)</i>	<i>1-Year Return Period</i>		<i>100-Year Return Period</i>	
	H_{max} (m)	T_{ass} (sec)	H_{max} (m)	T_{ass} (sec)
SW	1.4	3.7	2.2	4.8
S	2.6	5.3	3.7	6.6
SE	3.7	6.6	5.2	8.0
E	1.4	2.7	2.0	4.6
NE	1.6	4.0	2.4	5.0
N	3.2	5.9	4.5	7.3
NW	3.2	5.8	4.5	7.3
W	5.1	7.6	7.3	9.7

d. Arus

Profil arus yang diaplikasikan pada analisis ditampilkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.4 Tabel Data Arus (PT. Indosentra Teknika, 2014)

<i>Depth from MSL (m)</i>	<i>Current Speed (m/s)</i>	
	<i>1-Year Return Period</i>	<i>100-Year Return Period</i>
0.0	0.220	0.440
-4.0	0.217	0.434
-7.9	0.214	0.428
-11.9	0.210	0.421
-15.8	0.206	0.413
-19.8	0.202	0.403
-23.8	0.196	0.392
-27.7	0.189	0.379

3.3.3 Data Pembebanan

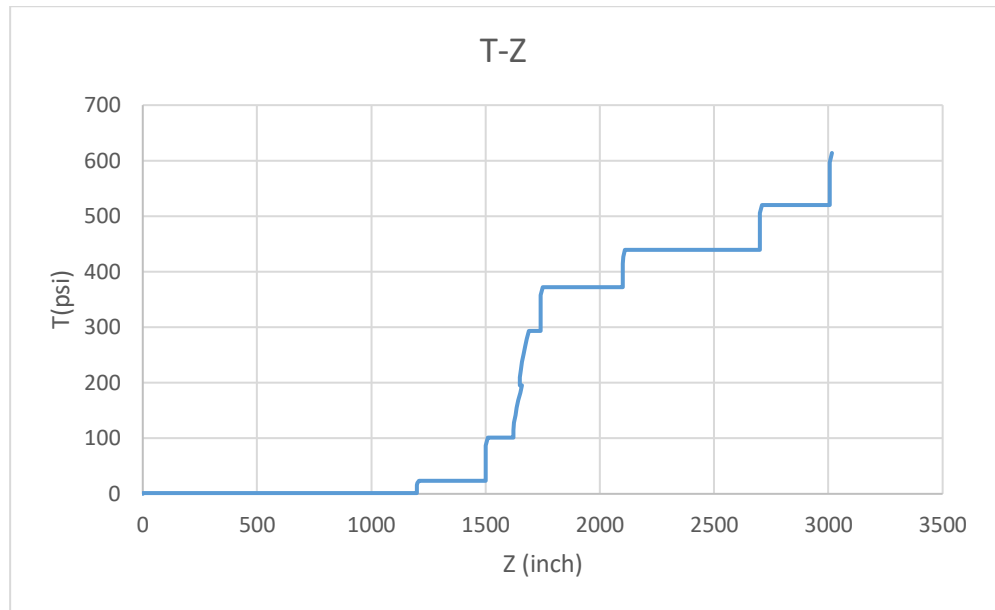
Tabel 3.5 Tabel Data Pembebanan (PT. Indosentra Teknika, 2014)

<i>Description</i>	<i>Total Basic (ton)</i>
<i>a. Structural Dead Load</i>	
<i>Platform structural</i>	146.5
<i>Anodes</i>	2.5
<i>Mudmats</i>	6
<i>Padeyes</i>	2.5
<i>Jacket Walkways</i>	1.5
<i>Shim Plates</i>	1.2
<i>Installation Aids</i>	3
<i>Crown Plates</i>	1.5
<i>Boat Landing Concrete</i>	1.2
<i>Equipment</i>	11.4
<i>Crane</i>	5
<i>Equipment at New Work Platform</i>	0.5
Total	182.8
<i>b. Structural Live Load</i>	
<i>Open area live load</i>	29.8
Total	29.8

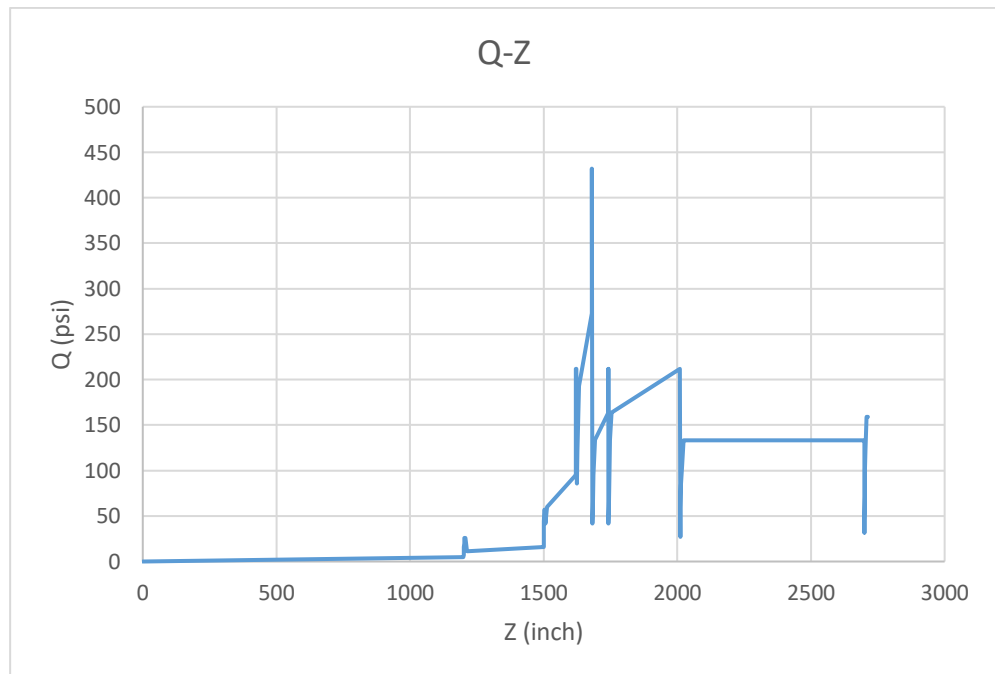
e. Data tanah

Masing-masing tipe tanah memiliki konfigurasi penyusun tanah yang berbeda, sehingga interaksi terhadap pile juga akan berbeda. Beberapa data tanah dapat dilihat pada grafik dibawah ini:

1. Tanah Tipe X (lokasi di Boring ZU-E, Arjuna *Field, Offshore Northwest Java*)

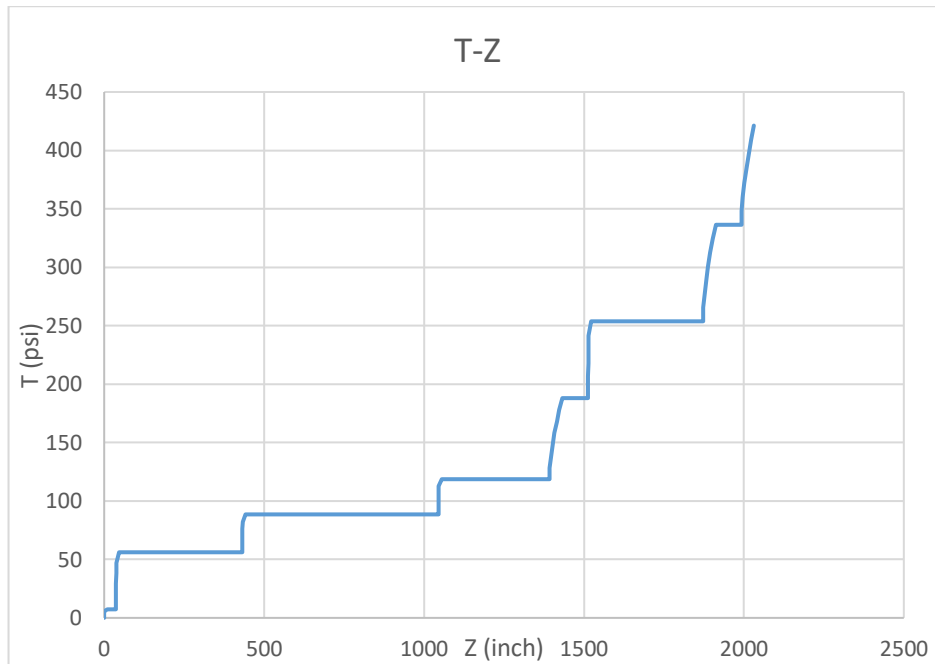


Gambar 3.7. Grafik T-Z pada tanah tipe X

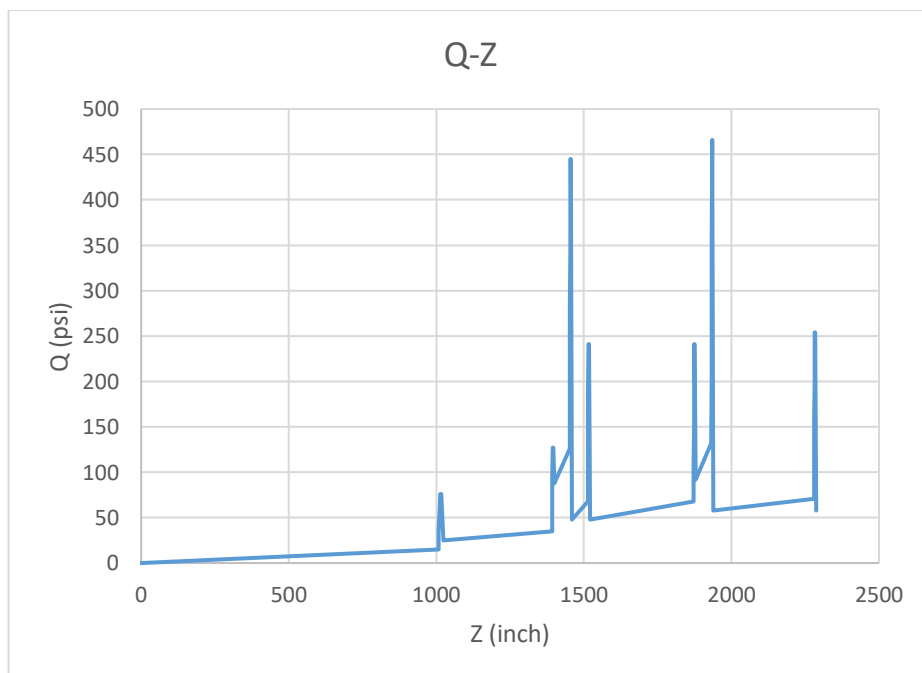


Gambar 3.8. Grafik Q-Z pada tanah tipe X

2. Tanah Tipe Y (lokasi di Boring L-11, Arjuna *Field, Offshore Northwest Java*)

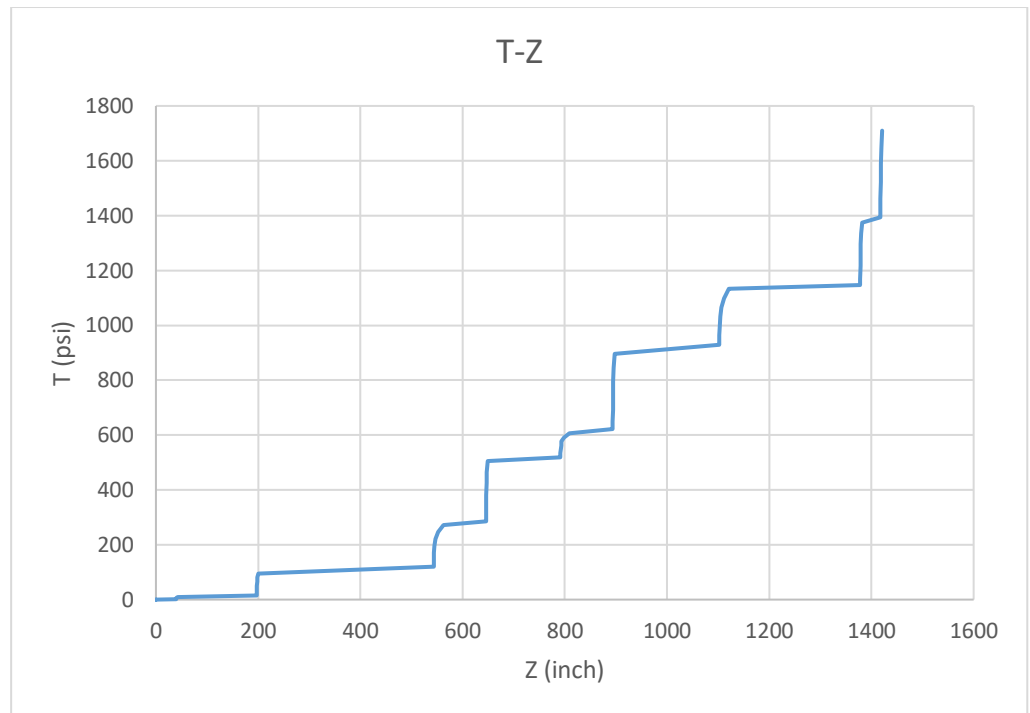


Gambar 3.9. Grafik T-Z pada tanah tipe Y

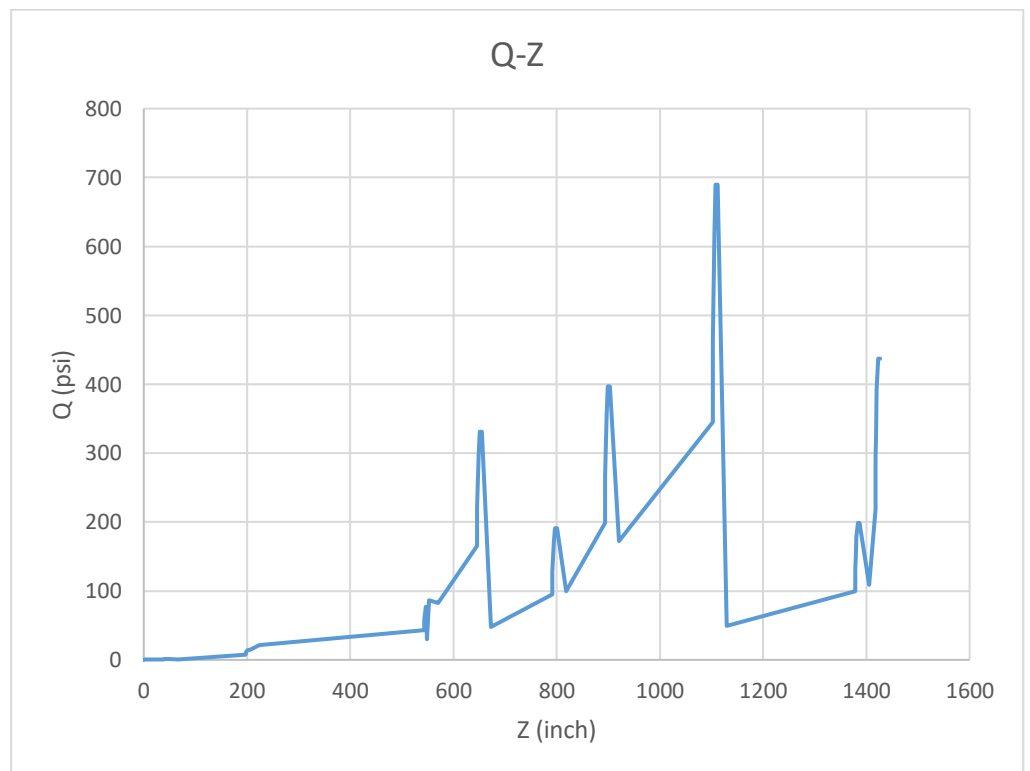


Gambar 3.10. Grafik Q-Z pada tanah tipe Y

3. Tanah Tipe Z (lokasi di UL-A location, Offshore Northwest Java)



Gambar 3.11. Grafik T-Z pada tanah tipe Z



Gambar 3.12. Grafik Q-Z pada tanah tipe Z

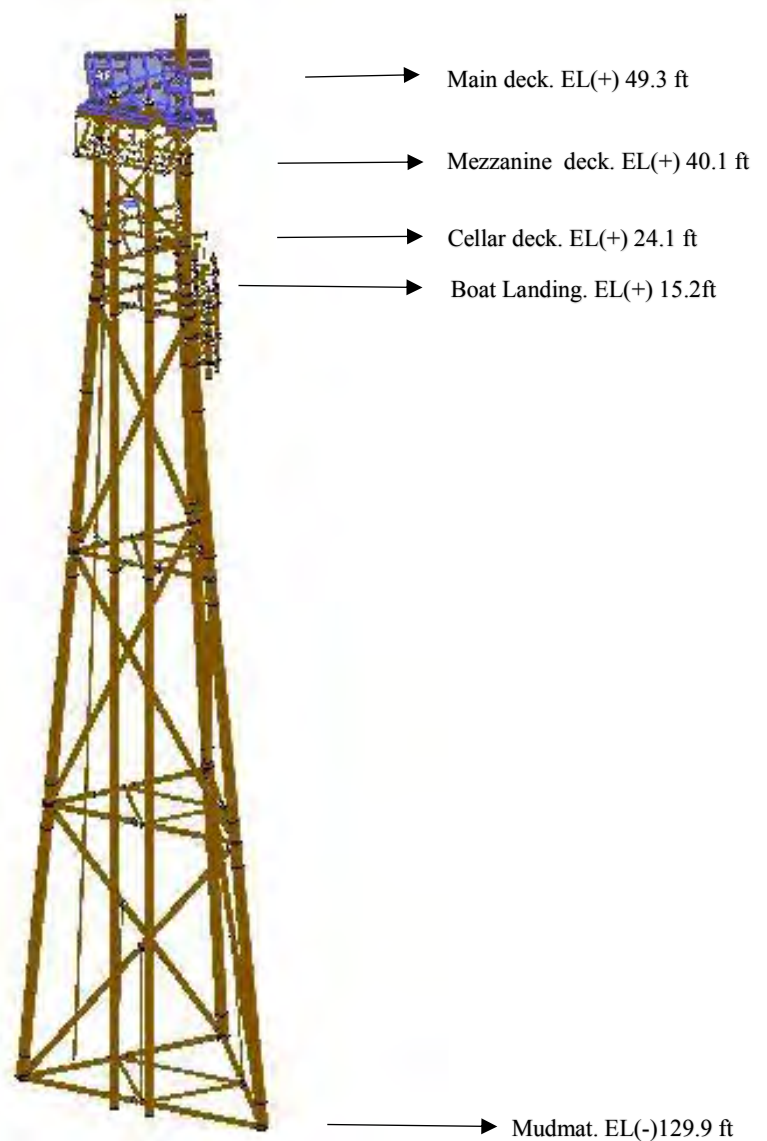
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur

Model struktur *jacket wellhead tripod platform* JOB PetroChina-Pertamina Salawati dibuat dengan *software* SACS 5.7.



Gambar 4.1 Model *jacket wellhead tripod platform* JOB PetroChina-Pertamina Salawati

4.2 Validasi Model

Validasi digunakan untuk membandingkan model yang dibuat oleh penulis dengan model yang didapatkan dari *report* perusahaan. Dari validasi tersebut, model dapat dikatakan mewakili kondisi sebenarnya dari struktur tersebut. Validasi permodelan dilakukan berdasarkan berat struktur.

Tabel 4.1. Validasi Model

Berat Struktur (kips)		Koreksi (%)
Data	Permodelan	
468.7	468.685	0.048

Berdasarkan tabel 4.1 diperoleh koreksi berat struktur tidak melebihi 5%, maka model dikatakan valid dan dapat mewakili struktur sesungguhnya (Sari,2015). Koreksi tersebut didapat dari selisih berat dari model dan berat dari data.

4.3 Perhitungan Kedalaman Penetrasi *Pile*

Pada masing-masing data tanah dilakukan perhitungan kedalaman penetrasi *pile* sesuai rumus yang didapat dari API RP 2A WSD. Masing-masing tipe tanah akan memberikan hasil penetrasi kedalaman *pile* yang berbeda.

Tabel 4.2. Kedalaman Penetrasi *Pile*

Tipe Tanah	X	Y	Z
Kedalaman	100 ft	75 ft	49 ft

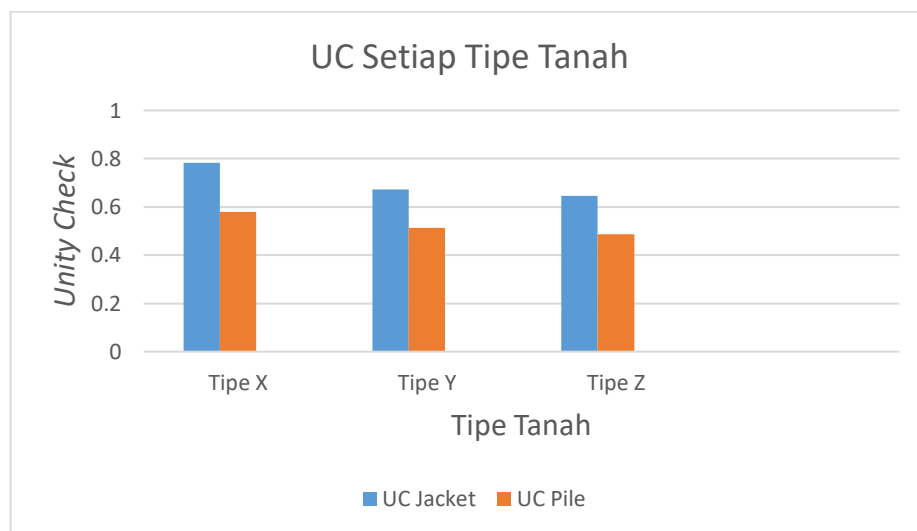
Kedalaman penetrasi *pile* bergantung dari konfigurasi tanah dari setiap tipe tanah. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan parameter-parameter tanah (*end bearing capacity* dan *skin friction*) dari setiap lapisan tanah. Kedalaman tanah yang diperlukan *pile* untuk mendukung struktur menggambarkan bagaimana besar *end bearing capacity* dan *skin friction*. Semakin besar *end bearing* dan *skin friction* dari setiap tipe tanah, maka kedalaman yang diperlukan *pile* untuk mendukung struktur semakin rendah.

4.4 Analisis Statis *Inplace*

Pada penelitian ini *unity check of member* dikelompokkan menjadi 2 macam, yaitu *jacket*, dan *pile*. Analisis statis *inplace* pada struktur kondisi tanah yang tidak dimodelkan 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 hanya dilakukan terhadap satu arah pembebanan saja. Oleh karena itu, hasil *unity check of member* kondisi badai untuk bagian *jacket* dan *pile* dapat dilihat di grafik dan tabel berikut :

Tabel 4.3. Hasil *Unity Check of Member*

Deskripsi	<i>Jacket</i>	<i>Pile</i>
Member Kritis	219L-301L	119P-299P
<i>Properties</i>	OD 14in x 0.5in <i>thickness</i>	OD 20in x 1in <i>thickness</i>
Unity Check		
Tanah X	0.784	0.579
Tanah Y	0.672	0.514
Tanah Z	0.645	0.486



Gambar 4.2 Grafik *Unity Check of Member*

Berdasarkan gambar 4.2, grafik tersebut menunjukkan tanah tipe X memiliki unity check yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe tanah yang lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa member dalam struktur yang memiliki kedalaman pile yang paling tinggi mempunyai *unity check* yang paling besar.

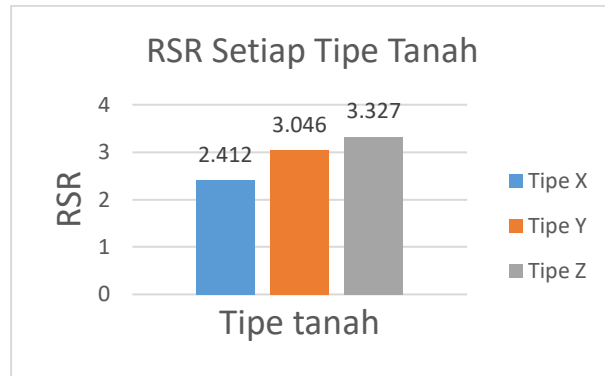
4.5 Analisis *Ultimate Strength*

Analisis statis non-linear *pushover* dilakukan dengan menggunakan *standard code* API RP 2A, yang hasilnya diperoleh dengan *memberikan* beban secara *increment*. Struktur akan mengalami keruntuhan setelah adanya *member* yang plastis karena terbentuknya *plastic hinged*. 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.

Analisa *pushover* dilakukan berdasarkan arah pembebanan pada analisa *inplace* yang membuat struktur paling kritis adalah arah 300^0 . Untuk merepresentasikan gaya yang terjadi pada struktur maka *output* analisa *pushover* yang digunakan adalah *base shear*. *Base shear* adalah gaya reaksi maksimum yang bekerja dipermukaan tanah akibat beban lateral. *Output base shear* ini akan dijadikan parameter perhitungan RSR dan SR yang ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4.4. Hasil Analisis *Pushover* Pada Arah Pembebanan 300^0

Tipe Tanah	Load Step	Load Factor	<i>Base Shear</i> (kips)		RSR
			Awal	<i>Structure Collapse</i>	
X	25	2.44	938.75	2264.26	2.412
Y	46	3.04	904.22	2672.89	3.046
Z	52	3.33	808.15	2691.13	3.327



Gambar 4.3. Grafik Hubungan RSR dengan Tipe Tanah pada Arah Pembebanan 300^0

Berdasarkan gambar 4.3 diatas, tanah tipe X memiliki RSR yang paling kecil dibandingkan dengan tanah tipe Y dan tanah tipe Z. RSR pada tipe tanah X sebesar 2.6, sedangkan pada tipe tanah Y dan Z mengalami kenaikan hingga 3.04 dan 3.33. Hal tersebut menunjukkan bahwa kedalaman pile mempengaruhi besar dari RSR.

Selain itu, dilakukan analisis *pushover* untuk setiap arah pembebanan lain untuk mengetahui apakah dapat menyebabkan struktur runtuh dengan lebih cepat. Hasil analisis push over pada setiap arah pembebanan akan ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.5. Hasil Analisis *Pushover* pada Kondisi Tanah X

Arah Pembebanan	Load Step	Load Factor	Base Shear (kips)		RSR
			Awal	Structure Collapse	
0^0	26	2.53	943.44	2378.41	2.521
30^0	36	2.73	980.08	2667.79	2.722
60^0	29	2.68	950.75	2561.32	2.694
90^0	36	2.73	969.11	2681.54	2.767
120^0	36	3.04	950.54	2877.29	3.027
150^0	31	2.73	963.93	2658.53	2.758
180^0	29	2.65	953.63	2522.35	2.645
210^0	36	3.04	950.18	2767.87	2.913
240^0	30	2.73	973.53	2644.12	2.716
270^0	29	2.65	954.95	2491.46	2.609
300^0	25	2.44	938.75	2264.26	2.412
330^0	26	2.53	924.82	2384.18	2.578

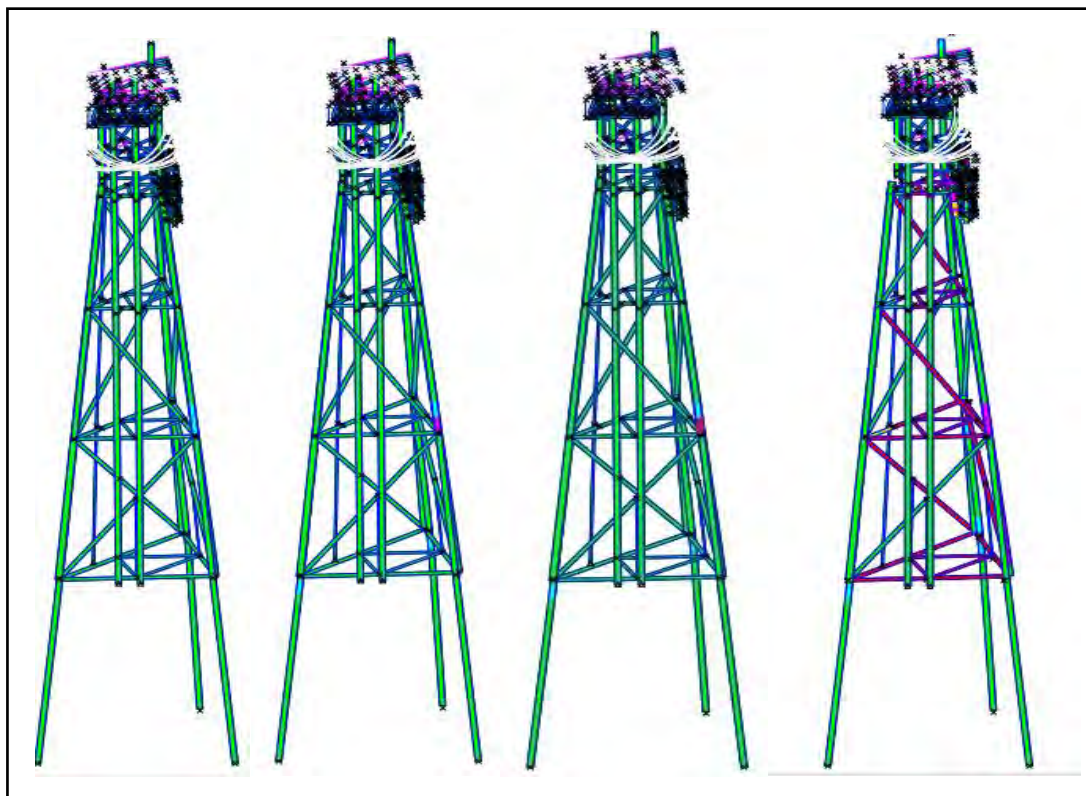
Tabel 4.6. Hasil Analisis *Pushover* Pada Kondisi Tanah Tipe Y

	Load Step	Load Factor	Base Shear		RSR
			Awal	Structure Collapse	
Arah 0 ⁰	49	3.12	805.97	2824.83	3.118
Arah 30 ⁰	54	3.41	945.83	3222.46	3.407
Arah 60 ⁰	54	3.33	930.13	3117.79	3.352
Arah 90 ⁰	54	3.51	949.86	3314.07	3.489
Arah 120 ⁰	61	3.62	973.66	3517.82	3.613
Arah 150 ⁰	54	3.41	914.12	3256.71	3.464
Arah 180 ⁰	51	3.41	896.76	3046.28	3.397
Arah 210 ⁰	58	3.58	960.86	3459.09	3.578
Arah 240 ⁰	54	3.41	942.71	3214.67	3.411
Arah 270 ⁰	51	3.33	860.27	2906.86	3.379
Arah 300 ⁰	46	3.04	904.22	2672.89	3.046
Arah 330 ⁰	49	3.12	872.28	2741.58	3.143

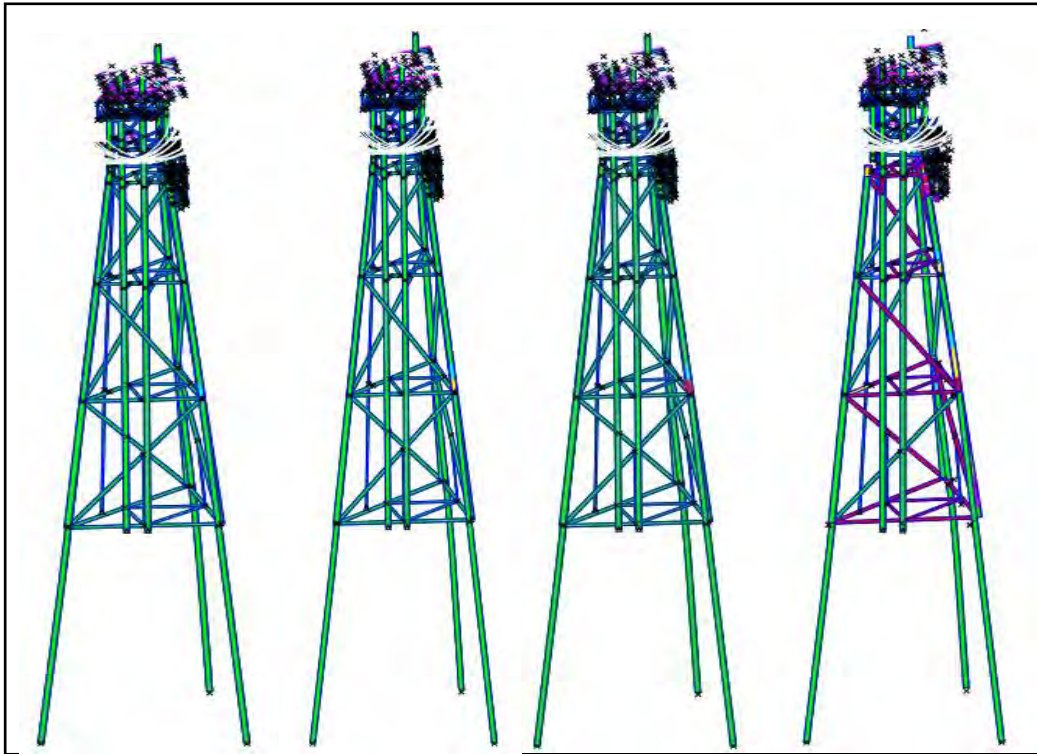
Tabel 4.7. Hasil Analisis *Pushover* Pada Kondisi Tanah Tipe Z

	Load Step	Load Factor	Base Shear		RSR
			Awal	Structure Collapse	
Arah 0 ⁰	55	3.42	809.59	2823.06	3.487
Arah 30 ⁰	62	3.76	838.14	3143.87	3.751
Arah 60 ⁰	57	3.65	799.73	2913.42	3.643
Arah 90 ⁰	62	3.82	848.09	3234.65	3.814
Arah 120 ⁰	68	4.11	845.49	3407.34	4.032
Arah 150 ⁰	62	3.76	840.74	3157.82	3.756
Arah 180 ⁰	57	3.58	812.92	2902.11	3.571
Arah 210 ⁰	62	3.99	816.11	3248.09	3.985
Arah 240 ⁰	59	3.71	809.71	3014.53	3.723
Arah 270 ⁰	55	3.56	792.91	2822.76	3.562
Arah 300 ⁰	52	3.33	808.15	2691.13	3.327
Arah 330 ⁰	55	3.42	807.29	2756.92	3.415

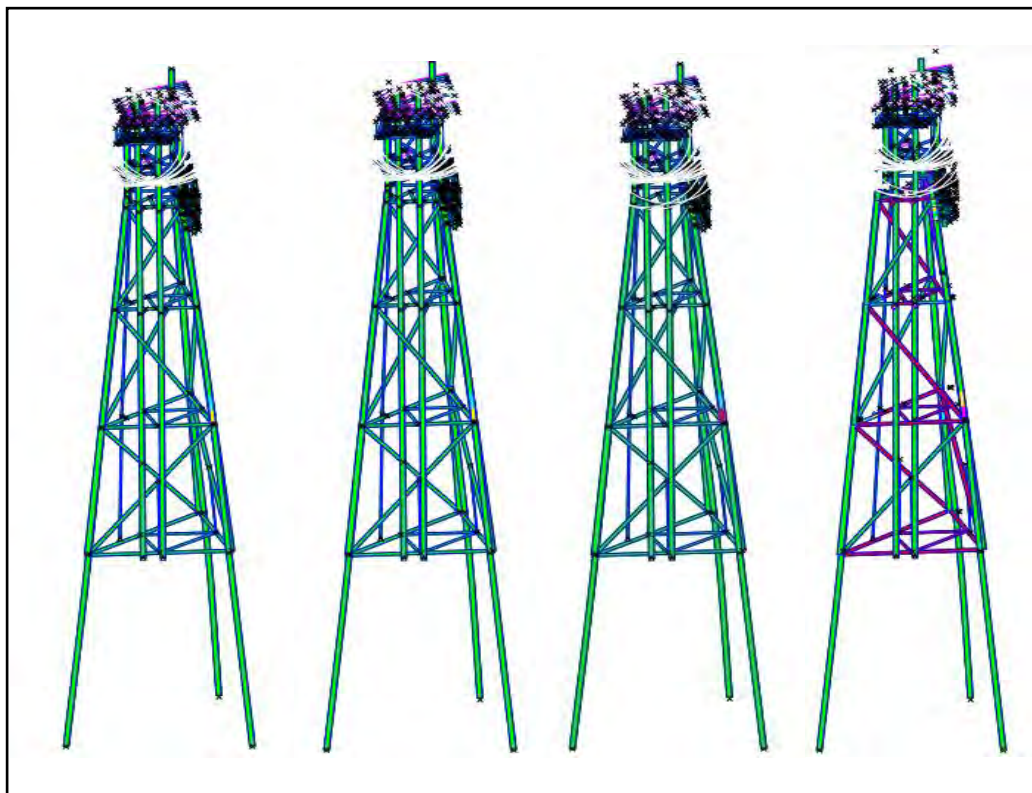
Berdasarkan dari table 4.5, 4.6 dan 4.7, arah pembebanan 300^0 lah yang memiliki nilai RSR paling besar . Hal tersebut menunjukkan bahwa arah pembebanan 300^0 lah yang menyebabkan struktur runtuh. Struktur dengan tanah tipe X mengalami keruntuhan lebih dahulu dengan RSR sebesar 2.412. Kemudian dilanjutkan struktur dengan tanah tipe Y dengan RSR sebesar 3.046. Struktur dengan tanah tipe Z mengalami keruntuhan dengan RSR sebesar 3.327. Hal tersebut menunjukkan bahwa struktur dengan tanah tipe X, dimana memiliki kedalaman pile lebih besar mempunyai cadangan kekuatan yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur dengan tanah tipe Y dan Z.



Gambar 4.4. Hasil Analisis *Collapse* dari *Software SACS* untuk Arah pembebanan 300^0 untuk tanah tipe X



Gambar 4.5. Hasil Analisis *Collapse* dari *Software SACS* untuk Arah pembebanan 300^0 untuk tanah tipe Y



Gambar 4.6. Hasil Analisis *Collapse* dari *Software SACS* untuk Arah pembebanan 300^0 untuk tanah tipe Z

4.6 Analisis Keandalan Struktur

4.6.1 Moda Kegagalan

Pada tugas akhir ini, analisis keandalan diperlukan untuk mengetahui peluang kegagalan dari struktur yang ditinjau. Peluang kegagalan tersebut didapat dari suatu moda kegagalan yang merupakan parameter dalam penentuan kesuksesan atau kegagalan dari objek yang ditinjau. Pada penelitian ini, objek yang ditinjau adalah member yang mengalami plastisitas 100% pada struktur. Member tersebut akan dikatakan gagal apabila $MK < 0$ dan $MK > 1$ dan dikatakan sukses apabila $0 < MK < 1$. Moda Kegagalan yang digunakan merupakan persamaan kombinasi *axial stress (tension* atau *compression)* dan *bending stress*.

4.6.2 Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo merupakan cara transformasi angka acak yang dikeluarkan oleh Random Number Generator (RNG) menjadi pengubah acak yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluangnya (fkp)-nya. Hal ini disebabkan karena angka acak yang dikeluarkan oleh RNG memiliki fkp *uniform*, sedangkan peubah acak dalam moda kegagalan untuk variabel beban memiliki distribusi lognormal sedangkan variabel kapasitas memiliki distribusi normal. Transformasi angka acak menjadi peubah acak dalam MS.Excel dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi sebagai berikut :

- Distribusi Lognormal
=LOGNORMAL.INV(angka_acak; mean; standard_deviasi)
- Distribusi Normal
=NORMINV(angka_acak; mean; standard_deviasi)

4.6.3 Peluang Kegagalan

Setelah mendapatkan sebaran angka acak dari MS.Excel sebanyak 50000 kali (Ainillah,2017) , dilakukan perhitungan moda kegagalan. Dari moda kegagalan tersebut, diketahui berapa peluang kegagalan dari member yang ditinjau.

Tabel 4.8. Keandalan Member Struktur Tanah Tipe X

<i>Load Step</i>	<i>Member</i>	<i>Group ID</i>	POF	K
24	219L-319L	LG2	0.6412	0.3588
25	LB0W-LB02	LD1	0.50476	0.49524
25	2001-2005	H36	0.79372	0.20628
25	2006-2004	H35	0.29086	0.70914
25	299L-2004	H33	0.49004	0.50996
25	166-229L	D3	0.40356	0.59644
25	119L-116	D3	0.39246	0.60754
25	399L-901L	D1	0.50476	0.49524
25	219L-301L	D2	0.51188	0.48812
25	201L-B024	D3	0.75672	0.24328
25	919L-1005	H02	0.43178	0.56822

Berdasarkan Tabel 4.8 diketahui bahwa pada struktur dengan tanah tipe X mengalami keruntuhan total saat *load step* ke 25. Peluang kegagalan *member* terbesar terjadi pada *member* 2001-2005 dengan nilai POF sebesar 0.79372.

Tabel 4.9. Keandalan Member Struktur Tanah Tipe Y

<i>Load Step</i>	<i>Member</i>	<i>Group ID</i>	POF	K
45	219L-319L	LG2	0.62862	0.37138
46	919L-1005	H02	0.46724	0.53276
46	2001-2005	H36	0.76138	0.23862
46	2006-2004	H35	0.34198	0.65802
46	299L-2004	H33	0.49356	0.50644
46	166-229L	D3	0.38629	0.61371
46	119L-116	D3	0.47532	0.52468
46	399L-901L	D1	0.61764	0.38236
46	219L-301L	D2	0.56724	0.43276
46	201L-B024	D3	0.87531	0.12469
46	919L-1005	H02	0.48528	0.51472

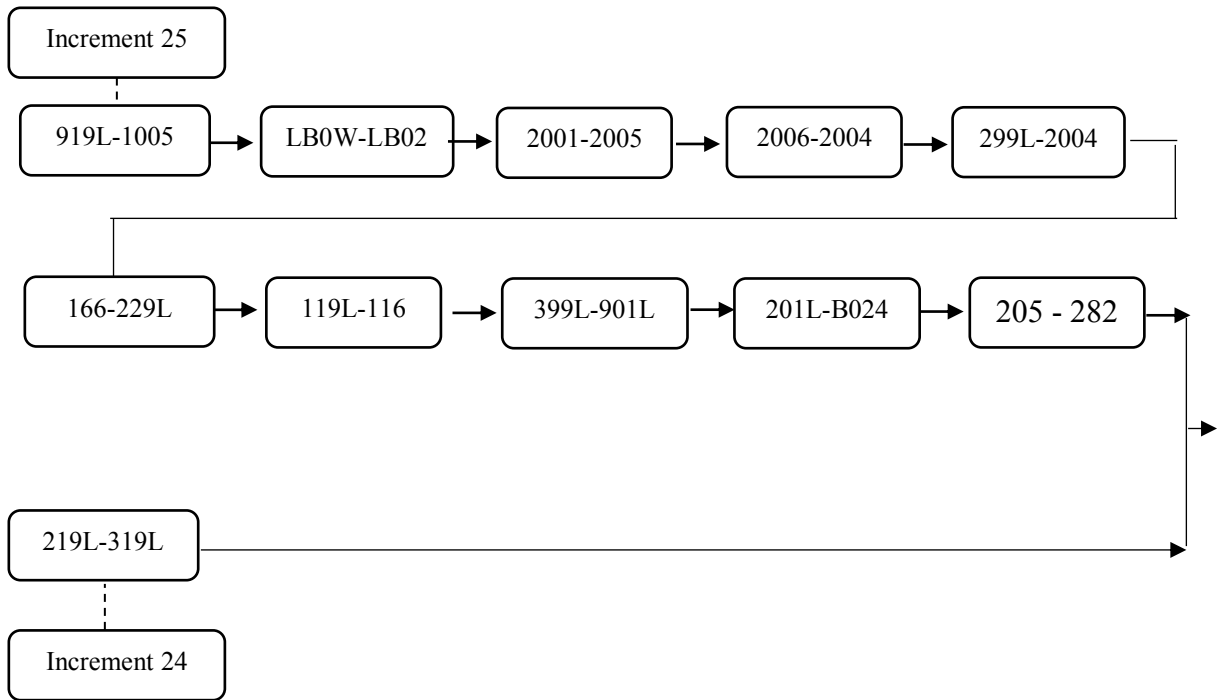
Berdasarkan Tabel 4.9 diketahui bahwa pada struktur dengan tanah tipe X mengalami keruntuhan total saat *load step* ke 25. Peluang kegagalan *member* terbesar terjadi pada *member* 2001-2005 dengan nilai POF sebesar 0.76138.

Tabel 4.10. Keandalan Member Struktur Tanah Tipe Z

<i>Load Step</i>	<i>Member</i>	<i>Group ID</i>	POF	K
51	219L-319L	LG2	0.6011	0.3989
52	919L-X19L	LG9	0.41527	0.58473
52	2001-2005	H36	0.72975	0.27025
52	2006-2004	H35	0.28076	0.71924
52	299L-2004	H33	0.42978	0.57022
52	166-229L	D3	0.37604	0.62396
52	119L-116	D3	0.37428	0.62572
52	399L-901L	D1	0.48724	0.51276
52	219L-301L	D2	0.50819	0.49181
52	201L-B024	D3	0.68534	0.31466
52	919L-1005	H02	0.42986	0.57014

Berdasarkan Tabel 4.10 diketahui bahwa pada struktur dengan tanah tipe X mengalami keruntuhan total saat *load step* ke 25. Peluang kegagalan *member* terbesar terjadi pada *member* 2001-2005 dengan nilai POF sebesar 0.72975.

Selanjutnya akan dilakukan perhitungan keandalan system dengan metode *Reliability Block Diagram* (RBD). Member-member yang mengalami kegagalan pada inkremen yang sama akan dikelompokkan pada rangkaian seri dan member-member yang mengalami kegagalan pada inkremen yang berbeda akan dikelompokkan pada rangkaian paralel. Setelah menentukan pengelompokan dari member-member tersebut, kemudian menghitung keandalan sistem keseluruhan .



Gambar 4.7. Reliability Block Diagram (RBD) Member pada Struktur dengan Tanah Tipe X

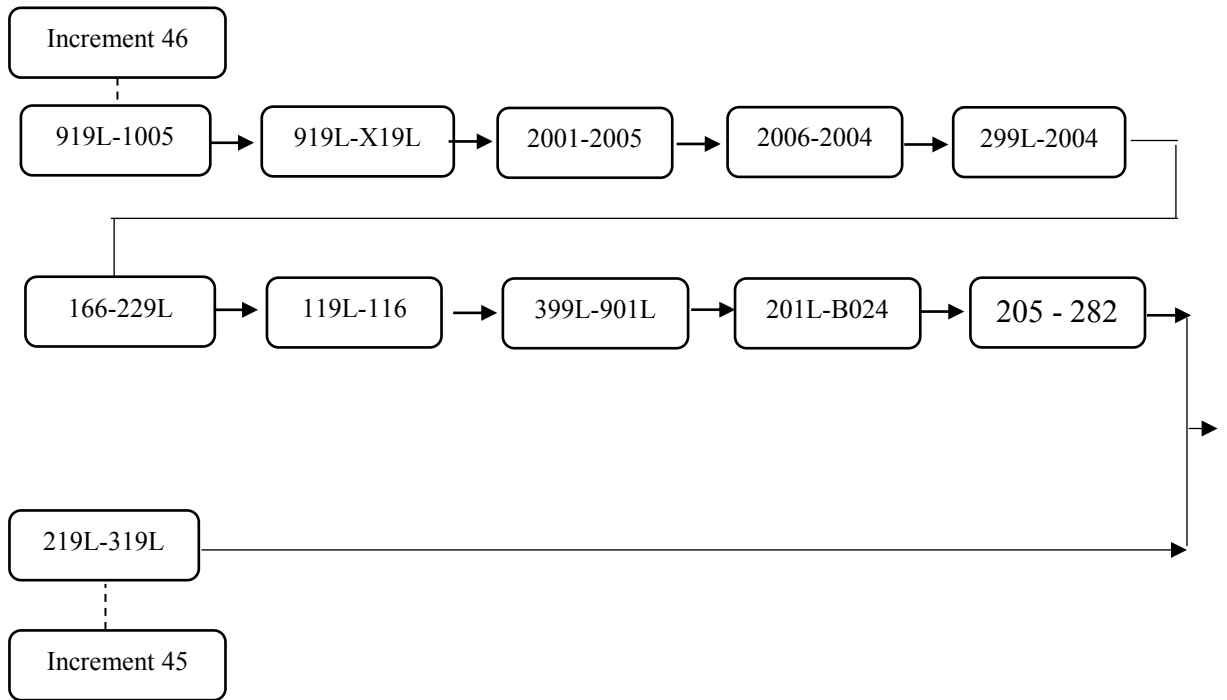
Berikut ini adalah perhitungan keandalan sistem tanah X :

- Keandalan Sistem Seri

$$\begin{aligned}
 \text{Seri 1} &= K(919L-1005) * K(LB0W-LB02) * K(2001-2005) * K(2006-2004) * K(299L-2004) * K(166-229L) * K(119L-116) * K(399L-901L) * K(201L-B024) * K(205-282) \\
 &= 0.56822 * 0.49524 * 0.20628 * 0.70914 * 0.50996 * 0.59644 * 0.60754 * 0.49524 * 0.48812 * 0.24328 \\
 &= 0.000447
 \end{aligned}$$

- Keandalan Sistem

$$\begin{aligned}
 K_S &= 1 - [(1 - K(\text{Seri 1})) * (1 - K(219L-319L))] \\
 &= 1 - [(1 - 0.000447) * (1 - 0.3588)] \\
 &= 1 - [0.9995 * 0.6412] \\
 &= 1 - 0.6392 \\
 &= 0.361
 \end{aligned}$$



Gambar 4.8. Reliability Block Diagram (RBD) Member pada Struktur dengan Tanah Tipe Y

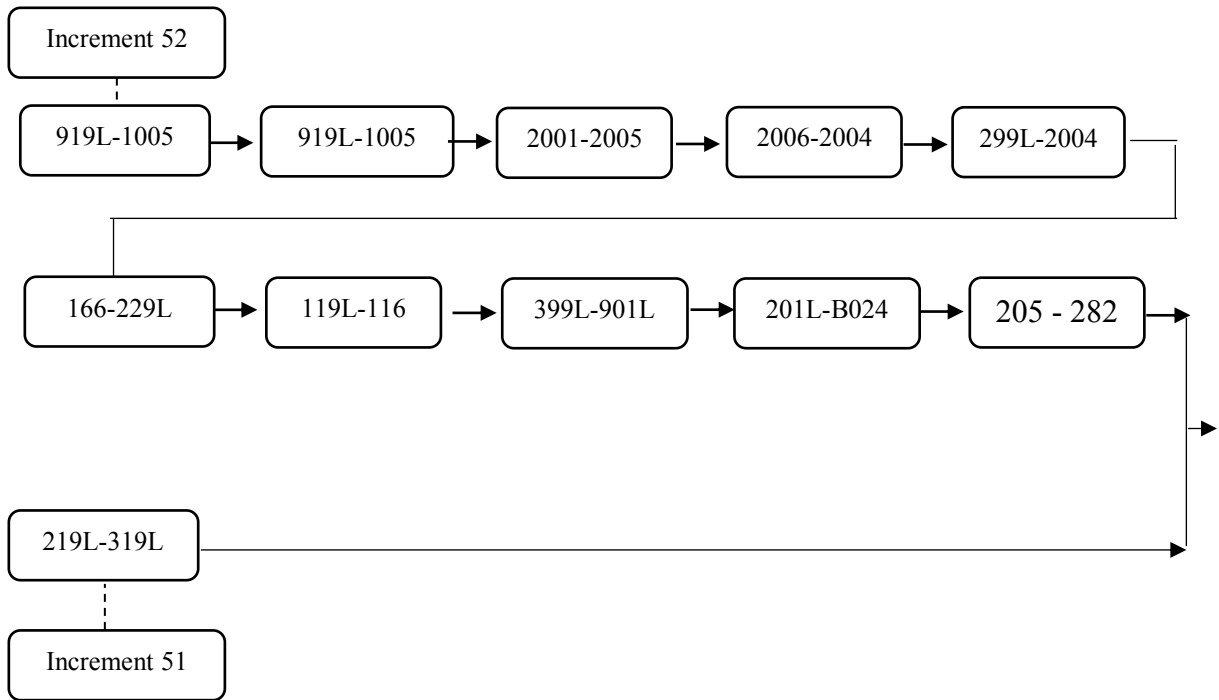
Berikut ini adalah perhitungan keandalan sistem tanah Y :

- Keandalan Sistem Seri

$$\begin{aligned}
 \text{Seri 1} &= K(919L-1005) * K(919L-X19L) * K(2001-2005) * K(2006-2004) * K(299L-2004) * K(166-229L) * K(119L-116) * K(399L-901L) * K(201L-B024) * K(205-282) \\
 &= 0.51472 * 0.53276 * 0.23862 * 0.65802 * 0.50644 * 0.61371 * 0.52468 * 0.38236 * 0.43276 * 0.12469 \\
 &= 0.00005
 \end{aligned}$$

- Keandalan Sistem

$$\begin{aligned}
 K_S &= 1 - [(1 - K(\text{Seri 1})) * (1 - K(219L-319L))] \\
 &= 1 - [(1 - 0.00005) * (1 - 0.37138)] \\
 &= 1 - [0.9995 * 0.6286] \\
 &= 1 - 0.6283 \\
 &= 0.3717
 \end{aligned}$$



Gambar 4.9. Reliability Block Diagram (RBD) Member Struktur dengan Tanah Tipe Z

Berikut ini adalah perhitungan keandalan sistem tanah Z :

- Keandalan Sistem Seri

$$\begin{aligned}
 \text{Seri 1} &= K(919L-1005) * K(919L-1005) * K(2001-2005) * K(2006-2004) \\
 &\quad * K(299L-2004) * K(166-229L) * K(119L-116) * K(399L-901L) \\
 &\quad * K(201L-B024) * K(205-282) \\
 &= 0.57014 * 0.58473 * 0.27025 * 0.71924 * 0.57022 * 0.62396 * \\
 &\quad 0.62572 * 0.51276 * 0.49181 * 0.31466 \\
 &= 0.000457
 \end{aligned}$$

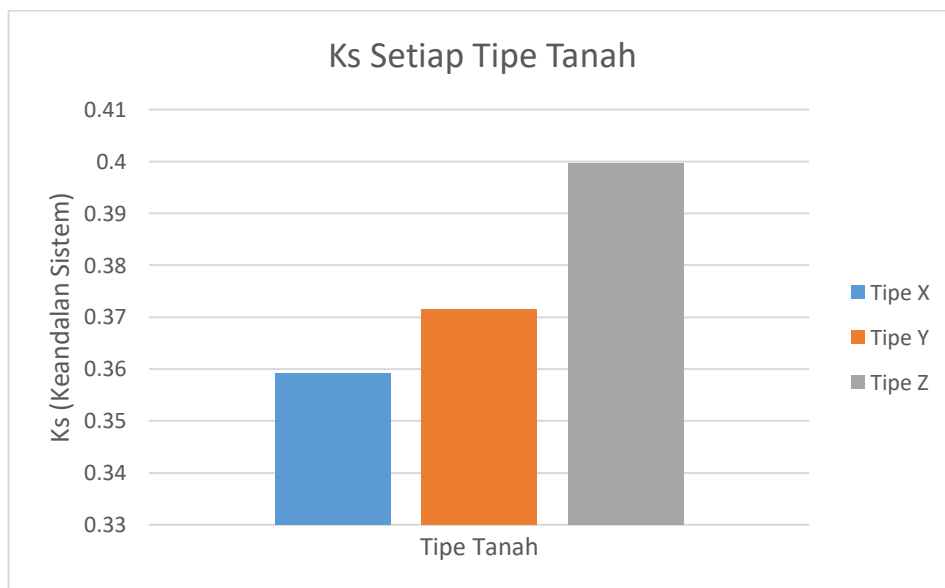
- Keandalan Sistem

$$\begin{aligned}
 K_S &= 1 - [(1 - K(\text{Seri 1})) * (1 - K(219L-319L))] \\
 &= 1 - [(1 - 0.000457) * (1 - 0.3989)] \\
 &= 1 - [0.9995 * 0.6011] \\
 &= 1 - 0.60079 \\
 &= 0.3992
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan keandalan sistem dengan RBD, diperoleh keandalan sistem struktur dari masing-masing tipe tanah :

Tabel 4.11. Keandalan Sistem Struktur

Tipe Tanah	Ks
Tipe X	0.359
Tipe Y	0.371
Tipe Z	0.399



Gambar 4.10. Grafik Keandalan Sistem Struktur pada 3 Tipe Tanah

Berdasarkan gambar 4.10 struktur dengan tanah tipe Z memiliki Ks (keandalan sistem) paling besar dibandingkan struktur dengan tanah tipe X dan Z. Struktur dengan tipe tanah Z mempunyai keandalan sebesar 0.399.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan diperoleh beberapa kesimpulan :

1. Analisis pushover menghasilkan *Reserve Strength Ratio* (RSR) terkecil pada arah pembebanan 330^0 . RSR terkecil terjadi pada struktur dengan tipe tanah X sebesar 2.412, diikuti dengan struktur dengan tipe tanah Y sebesar 3.046 , dan struktur dengan tipe tanah Z sebesar 3.327.
2. Analisis keandalan menghasilkan keandalan sistem struktur terkecil terjadi pada struktur dengan tipe tanah X sebesar 0.359, diikuti dengan struktur dengan tipe tanah Y sebesar 0.371 , dan struktur dengan tipe tanah Z sebesar 0.399.
3. Struktur dengan tipe tanah X yang memiliki parameter-parameter tanah (*unit skin friction* dan *unit end bearing*) yang paling rendah daripada tanah tipe Y dan Z, memiliki *Reserve Strength Ratio* (RSR) yang paling kecil. Sedangkan struktur dengan tipe tanah Y yang memiliki parameter-parameter tanah lebih rendah daripada struktur dengan tipe tanah Z, memiliki RSR yang lebih kecil daripada struktur dengan tipe tanah Z. Struktur dengan tipe tanah Z memiliki parameter-parameter tanah paling besar, memiliki RSR yang paling besar daripada struktur dengan tipe tanah X dan Y.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, penulis mencoba memberikan saran untuk penelitian selanjutnya antara lain :

1. Perlu dilakukan analisis resiko dari struktur untuk setiap variasi jenis tanah
2. Perlu dilakukan analisis perbandingan biaya antara pembuatan *jacket platform* baru atau me-reuse *jacket platform* yang sudah pernah beroperasi di daerah lain.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Ainillah, Shailla, 2017, “Analisa *Ultimate Strength* Struktur *Jacket Platform* Berbasis Keandalan Pasca *Subsidence*”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- American Petroleum Institute, 1997, Recommended Practice For Planning, Designing and Construction Fixed Offshore Platform – Load and Resistance Factor Design, API Recommended Practice 2A (RP 2A) LRFD. Official Publication Washington DC
- American Petroleum Institute, 2005, Recommended Practice For Planning, Designing and Construction Fixed Offshore Platform – Working Stress Design, API Recommended Practice 2A (RP 2A) WSD. Official Publication Washington DC
- Dawson, T. H. 1983. *Offshore Structural Engineering*. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. USA.
- Febrianita SP, Ayu, 2011, “Analisa *Ultimate Strength* Fixed Platform Pasca *Subsidence*”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- 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
- International Standardization Organization 1990, 2007, International Standard Petroleum and Natural Gas Industries Fixed Steel Offshore Structures. Official Publication Switzerland
- McClelland, Bramlette, 1986. *Planning and Design of Fixed Offshore Platform*. Van Nostrand Reinhold Company Inc. Houston. Texas. USA
- Popov, E.P., 1993. “*Mekanika Teknik*”, Jakarta : Erlangga
- PT. Indosentra Teknika, 2014. *Salawati Tripod Well Support Platform-Design Appraisal for Petroleum Requalification*. Jakarta

Rosyid, Daniel M, 2007, *Pengantar Rekayasa Keandalan*, Surabaya: Airlangga University Press

Sari, Bunga, 2015, “Analisis Kekuatan *Ultimate* Berbasis Resiko Pada Struktur *Jacket Wellhead Tripod Platform* Akibat Terjadinya Scouring”, *Journal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, Surabaya

Wijaya, Arief Santoso, 2006, “Analisa Kekuatan *Ultimate* Struktur Jacket Dengan Pendekatan LFRD dan Berbasis Keandalan”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya

LAMPIRAN 1
INPUT ANALISIS
KERUNTUHAN

- Arah pembebanan 0⁰

```

CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
|LDSEQ WAKW          PLD  1    1.    1.
-LDSEQ WAKW          301 100    1.    20.
GRPELA          W10 W12 D4  DV1 DV2 DV3 JJM R06 DH2 EWP      DK2 DK3 SR1
END

```

- Arah pembebanan 30⁰

```

CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
|LDSEQ WAKW          PLD  1    1.    1.
-LDSEQ WAKW          302 100    1.    20.
GRPELA          W10 W12 D4  DV1 DV2 DV3 JJM R06 DH2 EWP      DK2 DK3 SR1
END

```

- Arah pembebanan 60⁰

```

CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
|LDSEQ WAKW          PLD  1    1.    1.
-LDSEQ WAKW          303 100    1.    20.
GRPELA          W10 W12 D4  DV1 DV2 DV3 JJM R06 DH2 EWP      DK2 DK3 SR1
END

```

- Arah pembebanan 90⁰

```

CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
|LDSEQ WAKW          PLD  1    1.    1.
-LDSEQ WAKW          304 100    1.    20.
GRPELA          W10 W12 D4  DV1 DV2 DV3 JJM R06 DH2 EWP      DK2 DK3 SR1
END

```

- Arah pembebanan 120⁰

```

CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
|LDSEQ WAKW          PLD  1    1.    1.
-LDSEQ WAKW          305 100    1.    20.
GRPELA          W10 W12 D4  DV1 DV2 DV3 JJM R06 DH2 EWP      DK2 DK3 SR1
END

```

- Arah pembebanan 150⁰

```

CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
)LDSEQ WAKW          PLD  1    1.    1.
-LDSEQ WAKW          306 100    1.    20.
GRPELA          W10 W12 D4  DV1 DV2 DV3 JJM R06 DH2 EWP      DK2 DK3 SR1
END

```

- Arah pembebanan 180⁰

```

CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
)LDSEQ WAKW          PLD  1    1.    1.
-LDSEQ WAKW          307 100    1.    20.
GRPELA          W10 W12 D4  DV1 DV2 DV3 JJM R06 DH2 EWP      DK2 DK3 SR1
END

```

- Arah pembebanan 210⁰

```

CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
)LDSEQ WAKW          PLD  1    1.    1.
-LDSEQ WAKW          308 100    1.    20.
GRPELA          W10 W12 D4  DV1 DV2 DV3 JJM R06 DH2 EWP      DK2 DK3 SR1
END

```

- Arah pembebanan 240⁰

```

CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
)LDSEQ WAKW          PLD  1    1.    1.
-LDSEQ WAKW          309 100    1.    20.
GRPELA          W10 W12 D4  DV1 DV2 DV3 JJM R06 DH2 EWP      DK2 DK3 SR1
END

```

- Arah pembebanan 270⁰

```

CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
)LDSEQ WAKW          PLD  1    1.    1.
-LDSEQ WAKW          310 100    1.    20.
GRPELA          W10 W12 D4  DV1 DV2 DV3 JJM R06 DH2 EWP      DK2 DK3 SR1
END

```

- Arah pembebanan 300⁰

```
CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
]LDSEQ WAKW          PLD  1    1.    1.
-LDSEQ WAKW          311 100    1.   20.
GRPELA          W10 W12 D4  DV1 DV2 DV3 JJM R06 DH2 EWP      DK2 DK3 SR1
END
```

- Arah pembebanan 330⁰

```
CLPOPT      20  8 20          CN  LBJFPPJS          LR  0.010.001 0.011000.0.005
CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
]LDSEQ WAKW          PLD  1    1.    1.
-LDSEQ WAKW          312 100    1.   20.
GRPELA          W10 W12 D4  DV1 DV2 DV3 JJM R06 DH2 EWP      DK2 DK3 SR1
END
```

LAMPIRAN 2
PERHITUNGAN
KEANDALAN
MEMBER DENGAN
SIMULASI *MONTE CARLO*

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 219L-301L pada Tanah Tipe X

ID	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	190.4	57.12	5.206038	0.29356
My	32.1	9.63	3.425767	0.29356
Mz	43.5	13.05	3.729672	0.29356
Pn	61.3	9.195	-	-
Mp	79	11.85	-	-

CoV	
Inplace	0.3
Ultimate	0.15

Simulasi	5000
Berhasil	21638
Gagal	28362
PoF	0.56724
K	0.43276

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0.942403	289.5924	0.612458	33.43645	0.968037	71.77602	0.698562	66.08387	0.257697	71.29204	-0.13977	0
2	0.610506	198.0307	0.189163	23.7396	0.948736	67.28741	0.634278	64.45578	0.794601	88.74651	0.794176	1
3	0.994364	383.7372	0.385988	28.23877	0.789227	52.75288	0.649464	64.82972	0.97823	102.919	-0.89853	0
4	0.36911	165.3273	0.976643	55.12625	0.538501	42.86464	0.685037	65.73044	0.074731	61.91902	0.358161	1
5	0.705686	213.7491	0.548142	31.8577	0.346908	37.11803	0.602674	63.69322	0.253453	71.1356	0.947939	1
6	0.039437	168.5747	0.81646	40.0667	0.569995	43.8794	0.532094	62.04052	0.855202	91.54927	-0.20335	0
7	0.003256	82.04812	0.795265	39.16969	0.381103	38.12405	0.086853	48.7912	0.525008	79.7433	-0.98287	0
8	0.429171	173.0607	0.4817	30.33482	0.777442	52.13464	0.487652	61.01534	0.5945	81.83378	0.461788	1
9	0.123104	129.7517	0.903206	45.03347	0.42226	39.33443	0.179015	52.84864	0.641812	83.30517	-0.13764	0
10	0.967862	313.9394	0.45418	29.72464	0.33064	36.63666	0.978264	79.86609	0.601702	82.05441	0.893238	1
11	0.166203	177.8853	0.174421	23.35355	0.830956	55.19588	0.567122	62.85444	0.370247	75.07529	-0.20679	0
...
49991	0.069142	211.1956	0.699174	35.83817	0.717539	49.3348	0.46828	60.56813	0.934093	96.85779	-0.98448	0
49992	0.023834	101.9719	0.016564	16.45007	0.844101	56.06972	0.50052	61.31199	0.625475	82.79072	-0.98443	0
49993	0.770969	226.7555	0.343424	27.31464	0.489235	41.33667	0.33875	57.476	0.488566	78.66032	0.855735	1
49994	0.060913	197.8225	0.095211	20.93452	0.027622	23.73453	0.567272	62.85793	0.293441	72.56118	-0.61885	0
49995	0.956245	301.1595	0.376146	28.02547	0.090127	28.11518	0.836676	70.31926	0.11584	64.82688	0.491924	1
49996	0.055892	114.3439	0.689945	35.56222	0.613115	45.33389	0.264115	55.50063	0.334136	73.92202	-0.64173	0
49997	0.909565	270.1144	0.013094	16.00756	0.046936	25.47924	0.085457	48.70956	0.340546	74.12997	-0.95289	0
49998	0.027801	103.9722	0.658803	34.6706	0.347331	37.13052	0.288028	56.15858	0.717922	85.83364	-0.93645	0
49999	0.009217	91.30235	0.181224	23.53336	0.678593	47.7422	0.000793	32.25867	0.857419	91.66524	0.308995	1
50000	0.554887	189.9109	0.843613	41.35085	0.882834	59.07426	0.173049	52.6366	0.170924	67.73632	0.900995	1

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 219L-301L pada Tanah Tipe Y

ID	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	190.4	57.12	5.206038	0.29356
My	32.1	9.63	3.425767	0.29356
Mz	43.5	13.05	3.729672	0.29356
Pn	61.3	9.195	-	-
Mp	79	11.85	-	-

CoV	
Inplace	0.3
Ultimate	0.15

Simulasi	50000
Berhasil	21638
Gagal	28362
PoF	0.56724
K	0.43276

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0.942403	289.5924	0.612458	33.43645	0.968037	71.77602	0.698562	66.08387	0.257697	71.29204	-0.13977	0
2	0.610506	198.0307	0.189163	23.7396	0.948736	67.28741	0.634278	64.45578	0.794601	88.74651	0.794176	1
3	0.994364	383.7372	0.385988	28.23877	0.789227	52.75288	0.649464	64.82972	0.97823	102.919	-0.89853	0
4	0.36911	165.3273	0.976643	55.12625	0.538501	42.86464	0.685037	65.73044	0.074731	61.91902	0.358161	1
5	0.705686	213.7491	0.548142	31.8577	0.346908	37.11803	0.602674	63.69322	0.253453	71.1356	0.947939	1
6	0.039437	168.5747	0.81646	40.0667	0.569995	43.8794	0.532094	62.04052	0.855202	91.54927	-0.20335	0
7	0.003256	82.04812	0.795265	39.16969	0.381103	38.12405	0.086853	48.7912	0.525008	79.7433	-0.98287	0
8	0.429171	173.0607	0.4817	30.33482	0.777442	52.13464	0.487652	61.01534	0.5945	81.83378	0.461788	1
9	0.123104	129.7517	0.903206	45.03347	0.42226	39.33443	0.179015	52.84864	0.641812	83.30517	-0.13764	0
10	0.967862	313.9394	0.45418	29.72464	0.33064	36.63666	0.978264	79.86609	0.601702	82.05441	0.893238	1
11	0.166203	177.8853	0.174421	23.35355	0.830956	55.19588	0.567122	62.85444	0.370247	75.07529	-0.20679	0
...
49991	0.069142	211.1956	0.699174	35.83817	0.717539	49.3348	0.46828	60.56813	0.934093	96.85779	-0.98448	0
49992	0.023834	101.9719	0.016564	16.45007	0.844101	56.06972	0.50052	61.31199	0.625475	82.79072	-0.98443	0
49993	0.770969	226.7555	0.343424	27.31464	0.489235	41.33667	0.33875	57.476	0.488566	78.66032	0.855735	1
49994	0.060913	197.8225	0.095211	20.93452	0.027622	23.73453	0.567272	62.85793	0.293441	72.56118	-0.61885	0
49995	0.956245	301.1595	0.376146	28.02547	0.090127	28.11518	0.836676	70.31926	0.11584	64.82688	0.491924	1
49996	0.055892	114.3439	0.689945	35.56222	0.613115	45.33389	0.264115	55.50063	0.334136	73.92202	-0.64173	0
49997	0.909565	270.1144	0.013094	16.00756	0.046936	25.47924	0.085457	48.70956	0.340546	74.12997	-0.95289	0
49998	0.027801	103.9722	0.658803	34.6706	0.347331	37.13052	0.288028	56.15858	0.717922	85.83364	-0.93645	0
49999	0.009217	91.30235	0.181224	23.53336	0.678593	47.7422	0.000793	32.25867	0.857419	91.66524	0.308995	1
50000	0.554887	189.9109	0.843613	41.35085	0.882834	59.07426	0.173049	52.6366	0.170924	67.73632	0.900995	1

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 219L-301L pada Tanah Tipe Z

ID	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	190.4	57.12	5.206038	0.29356
My	32.1	9.63	3.425767	0.29356
Mz	43.5	13.05	3.729672	0.29356
Pn	61.3	9.195	-	-
Mp	79	11.85	-	-

CoV	
Inplace	0.3
Ultimate	0.15

Simulasi	50000
Berhasil	21638
Gagal	28362
PoF	0.56724
K	0.43276

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0.942403	289.5924	0.612458	33.43645	0.968037	71.77602	0.698562	66.08387	0.257697	71.29204	-0.13977	0
2	0.610506	198.0307	0.189163	23.7396	0.948736	67.28741	0.634278	64.45578	0.794601	88.74651	0.794176	1
3	0.994364	383.7372	0.385988	28.23877	0.789227	52.75288	0.649464	64.82972	0.97823	102.919	-0.89853	0
4	0.36911	165.3273	0.976643	55.12625	0.538501	42.86464	0.685037	65.73044	0.074731	61.91902	0.358161	1
5	0.705686	213.7491	0.548142	31.8577	0.346908	37.11803	0.602674	63.69322	0.253453	71.1356	0.947939	1
6	0.039437	168.5747	0.81646	40.0667	0.569995	43.8794	0.532094	62.04052	0.855202	91.54927	-0.20335	0
7	0.003256	82.04812	0.795265	39.16969	0.381103	38.12405	0.086853	48.7912	0.525008	79.7433	-0.98287	0
8	0.429171	173.0607	0.4817	30.33482	0.777442	52.13464	0.487652	61.01534	0.5945	81.83378	0.461788	1
9	0.123104	129.7517	0.903206	45.03347	0.42226	39.33443	0.179015	52.84864	0.641812	83.30517	-0.13764	0
10	0.967862	313.9394	0.45418	29.72464	0.33064	36.63666	0.978264	79.86609	0.601702	82.05441	0.893238	1
11	0.166203	177.8853	0.174421	23.35355	0.830956	55.19588	0.567122	62.85444	0.370247	75.07529	-0.20679	0
...
49991	0.069142	211.1956	0.699174	35.83817	0.717539	49.3348	0.46828	60.56813	0.934093	96.85779	-0.98448	0
49992	0.023834	101.9719	0.016564	16.45007	0.844101	56.06972	0.50052	61.31199	0.625475	82.79072	-0.98443	0
49993	0.770969	226.7555	0.343424	27.31464	0.489235	41.33667	0.33875	57.476	0.488566	78.66032	0.855735	1
49994	0.060913	197.8225	0.095211	20.93452	0.027622	23.73453	0.567272	62.85793	0.293441	72.56118	-0.61885	0
49995	0.956245	301.1595	0.376146	28.02547	0.090127	28.11518	0.836676	70.31926	0.11584	64.82688	0.491924	1
49996	0.055892	114.3439	0.689945	35.56222	0.613115	45.33389	0.264115	55.50063	0.334136	73.92202	-0.64173	0
49997	0.909565	270.1144	0.013094	16.00756	0.046936	25.47924	0.085457	48.70956	0.340546	74.12997	-0.95289	0
49998	0.027801	103.9722	0.658803	34.6706	0.347331	37.13052	0.288028	56.15858	0.717922	85.83364	-0.93645	0
49999	0.009217	91.30235	0.181224	23.53336	0.678593	47.7422	0.000793	32.25867	0.857419	91.66524	0.308995	1
50000	0.554887	189.9109	0.843613	41.35085	0.882834	59.07426	0.173049	52.6366	0.170924	67.73632	0.900995	1

BIODATA PENULIS



Widi Chabi Pratama, lahir di kota Surabaya 6 April 1995. Penulis menempuh Pendidikan sekolah dasar di SD HangTuah 6 Surabaya pada tahun 2000-2006. Kemudian melanjutkan Pendidikan di SMPN 9 Surabaya pada tahun 2006-2009. Penulis melanjutkan Pendidikan menengah atas di SMAN 4 Surabaya pada tahun 2009-2012. Pada tahun 2013, penulis mengikuti SBMPTN dan melanjutkan pendidikan Strata 1 di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis pernah menjalani kerja praktek di *Joint Operation*

Body (JOB) Pertamina-PetroChina Salawati selama 2 Bulan. Penulis pernah aktif di organisasi mahasiswa kampus, sebagai ketua *Ocean Underwater Robotic Club* (OURC) Teknik Kelautan pada tahun 2015. Buku Tugas Akhir yang berjudul “ Analisis *Ultimate Strength* Struktur *Jacket Platform* Berbasis Keandalan dengan Variasi Jenis Tanah” telah diselesaikan penulis dalam 1 semester sbagai syarat akhir kelulusan, Permasalahan yang diangkat oleh penulis mendasar kepada salah satu bidang keahlian di Departemen Teknik Kelautan.