

DESAIN STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE TETAP TIGA KAKI DI BLOK MAHAKAM, KALIMANTAN TIMUR

STRUCTURAL DESIGN OF A THREE-LEGGED FIXED OFFSHORE PLATFORM IN MAHAKAM BLOCK, EAST KALIMANTAN

Faiz Akbar Ramadhan¹ dan Ir. Rildova, M.T., Ph.D²

Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

[¹faiz.akbar@students.itb.ac.id](mailto:faiz.akbar@students.itb.ac.id) dan [²rildova@ocean.itb.ac.id](mailto:rildova@ocean.itb.ac.id)

ABSTRAK – Energi merupakan salah satu unsur yang paling penting dalam pembangunan dan kehidupan. Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber energi terutama energi fosil seperti minyak dan gas. Kegiatan eksplorasi dan eksploitasi energi fosil sudah dilakukan di laut lepas sehingga diperlukan keahlian untuk mendesain dan menganalisis struktur anjungan lepas pantai. Salah satu blok yang memiliki sumber daya energi fosil yang berlimpah adalah Blok Mahakam. Pada Tugas Akhir ini, dilakukan pemodelan struktur anjungan lepas pantai tipe tetap (fixed jacket platform) tiga kaki menggunakan perangkat lunak SASC. Desain struktur anjungan lepas pantai harus memenuhi 3 kriteria analisis yaitu analisis in-place, seismic, dan spectral fatigue. Seluruh analisis dikerjakan dengan mengacu kepada standar API RP-2A WSD.

Berdasarkan hasil *in-place*, model struktur telah memenuhi standar dengan nilai *unity check* paling besar yaitu 0.94 pada *main deck framing*. Penetrasi tiang pancang sedalam 90 dan 110 meter untuk masing-masing *pile* juga telah memenuhi syarat dengan *safety factor* paling kecil 1.92 saat kondisi *storm*. Gempa di wilayah Mahakam relatif kecil, sehingga hasil analisis seismik untuk gempa SLE dan DLE seluruhnya memenuhi syarat dengan nilai *unity check* paling besar 0.83 pada sambungan *jacket* ke *deck leg*. Pada analisis *fatigue*, seluruh *joint* telah memenuhi syarat umur layan struktur dengan umur layan terkecil 2493.248 tahun pada *boatlanding*.

Kata Kunci: *fixed platform, API RP-2A WSD, in-place, seismic, spectral fatigue*

ABSTRACT – Energy is one of the most important elements in life. Indonesia is a country that is rich in energy sources, especially fossil energy such as oil and gas. Exploration and exploitation activities of fossil energy have been carried out on the seas, so expertise is needed to design and analyze the structure of offshore platforms. One of the blocks that has abundant fossil energy resources is the Mahakam Block. In this final project, a three leg fixed jacket platform is modeled using SASC software. The offshore platform structure design must meet 3 analysis criteria, namely in-place, seismic, and spectral fatigue analysis. All analysis were carried out with reference to the API RP-2A WSD standard.

Based on the in-place results, the structural model has met the standard with the greatest unity check value of 0.94 at the main deck framing. Pile penetration as deep as 90 and 110 meters for each pile has also met the requirements with a minimum safety factor of 1.92 during storm conditions. The earthquake

in the Mahakam area is relatively small, so the results of the seismic analysis for the SLE and DLE earthquakes all met the requirements with a maximum unity check value of 0.83 at the jacket to deck leg connection. In the fatigue analysis, all joints have met the structural service life requirements with the smallest service life of 2493.248 years located at boatlanding.

Keywords: *fixed platform, API RP-2A WSD, in-place, seismic, spectral fatigue.*

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Energi merupakan salah satu unsur yang paling penting dalam pembangunan dan kehidupan. Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber energi mulai dari energi terbarukan hingga energi fosil seperti minyak dan gas bumi. Minyak dan gas bumi merupakan sumber energi yang paling vital serta efisien. Kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi bahkan sudah dilakukan di laut lepas. Oleh karena itu, diperlukan keahlian untuk membangun struktur yang dapat menopang kegiatan tersebut di laut lepas.

Periran Indonesia merupakan zona wilayah laut dengan kedalaman yang relatif dangkal, sehingga kegiatan eksploitasi minyak dan gas bumi selalu menggunakan *platform* tipe tetap. Salah satu wilayah perairan Indonesia yang memiliki potensi minyak dan gas bumi yang berlimpah adalah Wilayah Kerja Mahakam.

Struktur anjungan lepas pantai perlu didesain secara tepat sesuai dengan kebutuhan, supaya dapat menopang seluruh kegiatan eksploitasi di tengah laut. Dalam proses desain anjungan lepas pantai tipe tetap, terdapat beberapa analisis yang perlu dilakukan untuk mengetahui kemampulayakan struktur akibat beban-beban yang bekerja pada struktur. Analisis tersebut meliputi analisis *in-place*, *seismic*, dan *fatigue*.

Pada Tugas Akhir ini, akan dimodelkan sebuah *wellhead platform* tipe tetap dengan 3 kaki pada Wilayah Kerja (WK) Mahakam. *Platform* dibangun di perairan selat makassar pada kedalaman 46.7 meter. Studi kelayakan meliputi analisis *in-place*, analisis *seismic*, dan analisis *fatigue*.

Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pemodelan struktur anjungan lepas pantai tipe tetap sesuai dengan data *equipment* dan data lingkungan

2. Melakukan analisis *in-place* untuk mengetahui kekuatan struktur akibat beban mati, beban hidup, dan beban lingkungan
3. Melakukan analisis *seismic* untuk mengetahui kekuatan struktur akibat beban gempa
4. Melakukan analisis *fatigue* untuk mengetahui umur layan struktur

Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari pengerjaan Tugas Akhir ini antara lain:

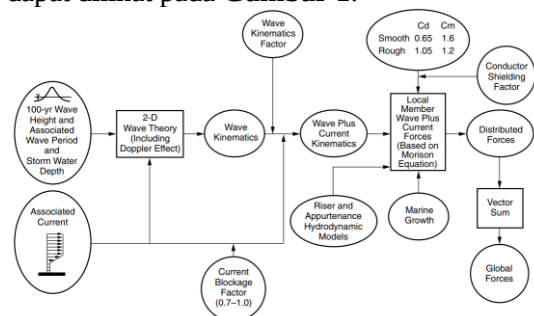
1. Pemodelan struktur *deck* pada anjungan sesuai dengan data *equipment layout*
2. Pemodelan struktur *jacket* pada anjungan meliputi *jacket*, *pile*, dan *boatlanding* sesuai dengan data lingkungan yang didapat.
3. Pemodelan beban *equipment*, beban hidup, dan beban *appurtenances* pada *deck* sesuai dengan data berat dan perletakan perlengkapan *deck*
4. Pemodelan beban lingkungan meliputi beban gelombang, beban arus, dan beban angin sesuai dengan data lingkungan yang sudah terlolah
5. Analisis *in-place*, *seismic*, dan *fatigue* dengan standar *API Recommended Practice 2A-Working Stress Design (RP 2A-WSD), 21st edition*

DASAR TEORI

Beban Lingkungan

1. Gelombang dan Arus

Skema pembebanan gelombang dan arus dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Diagram Alir Perhitungan Gaya Arus dan Gelombang

2. Angin
Beban angin dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$U(z) = U_0x\left[1 + Cx\ln\left(\frac{z}{32.8}\right)\right]$$

$$C = 5I_u(z) = 0.06x[1 + 0.0131xU_0]x\left(\frac{z}{32.8}\right)^{-0.22}$$

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

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

Dimana;

- F = gaya angin (N)
- ρ = massa jenis angin (kg/m^3)
- u = kecepatan angin (m/s)
- C_s = koefisien bentuk
- A = luas permukaan objek (m^2)

Analisis Struktur

1. Analisis In-place

Analisis *in-place* merupakan analisis untuk mengetahui kekuatan struktur saat sudah terinstallasi pada lokasi. Analisis *in-place* menghasilkan output berupa *unity check member* dan *joint punching shear*, kapasitas tanah dan defleksi. *Unity Check* merupakan rasio antara tegangan aktual pada *member* dengan tegangan yang diizinkan

$$UC = \frac{\sigma_{actual}}{\sigma_{allowable} \times AMOD}$$

Tujuan dari analisis *joint punching shear* adalah untuk mengetahui kapasitas sambungan sederhana maupun *overlapping* pada sambungan. Besar *punching shear* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$v_p = \tau f \sin \theta$$

Pile memiliki kapasitas tertentu dalam menahan beban aksial yang terjadi. Rasio antara kapasitas aksial *pile* dengan beban maksimum yang terjadi merupakan nilai *pile axial safety factor*. Nilai *safety factor* minimum yang disyaratkan berdasar API RP-2A WSD untuk kondisi *Still Water Level* dan *1yr-operating* adalah 2. Sedangkan untuk kondisi *100yrs-storm*, nilai *safety factor* minimumnya adalah 1.5.

Syarat defleksi mengacu pada SNI-03-1729-2000, perhitungan nilai defleksi adalah sebagai berikut:

$$\delta_{vertikalmax} = \frac{L}{240}$$

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

- L = Jarak lateral antara *acting joint* dengan *joint* acuan
- H = Jarak dalam arah vertical antara *acting joint* dengan *joint* acuan

2. Analisis Seismic

Analisis *seismic* merupakan analisis yang meninjau ketahanan struktur ketika beroperasi akibat aktivitas *seismic* yang ada di mana struktur tersebut beroperasi. Berdasarkan API RP-2A, analisis *seismic* perlu dilakukan pada daerah yang mengalami percepatan gerak tanah lebih dari 0.05g. daerah yang memiliki percepatan gerak tanah kurang dari 0.05g dikategorikan pada daerah yang memiliki aktivitas *seismic* yang rendah sehingga tidak perlu dilakukan analisis.

Seperti halnya beban gelombang dan arus, beban gempa juga memiliki perioda ulang yang terbagi menjadi dua macam yaitu:

- *Strength Level Earthquake* (SLE), adalah kekuatan gempa bumi dengan perioda ulang 100 tahun. Kekuatan gempa SLE biasa digunakan untuk menganalisis struktur akibat gempa tanpa mengalami kerusakan struktur yang signifikan.
- *Ductility Level Earthquake* (DLE), adalah kekuatan gempa bumi dengan perioda ulang 800-1000 tahun. Kekuatan gempa DL digunakan untuk menganalisa kapasitas sisa struktur setelah dikenai gempa yang cukup besar. Beberapa kerusakan diizinkan terjadi dengan batasan struktur tidak runtuh.

Pada saat gempa terjadi, tidak ada aktivitas manusia pada struktur sehingga beban hidup yang digunakan untuk analisis seismik ini hanya

sebesar 75% dari total. Kombiasi pembebanan pada analisis seismik dengan konsep WSD adalah sebagai berikut:

$$D + 0.75L + E$$

Dimana;

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

3. Analisis Fatigue

Analisis *fatigue* merupakan analisis yang meninjau kelelahan (*fatigue*) struktur akibat beban siklus yang berulang. *Fatigue* adalah berkurangnya kekuatan struktur akibat beban berulang/siklis yang bekerja. Terdapat 2 jenis analisis *fatigue*

- *Spectral fatigue*, pengolahan data dengan domain frekuensi
- *Deterministic fatigue*, menggunakan data gelombang dalam tinggi, perioda, dan jumlah kejadian untuk mendeskripsikan beban gelombang.

Hot spot stress adalah tegangan yang terjadi pada bagian struktur yang tidak seragam, seperti sambungan *member tubular*. Sedangkan *nominal stress* adalah tegangan yang diperhitungkan akibat gaya-gaya di ujung *member*. Pada analisis *spectral fatigue*, rentang tegangan nominal dihasilkan dari spektrum gelombang menggunakan

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

Dimana;

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

Nilai damage akibat beban berulang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

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

Dimana;

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

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

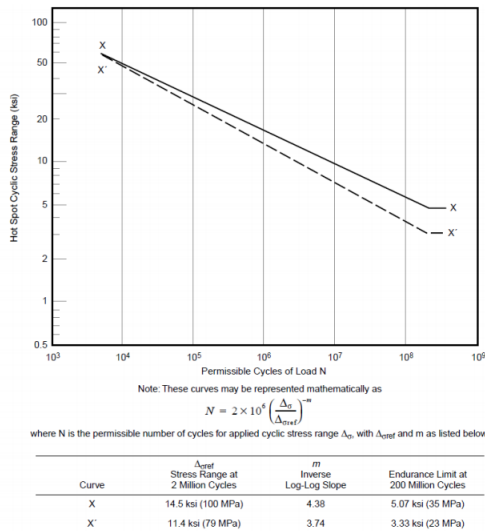
$$n_i = \frac{m_i L}{T_z} = \frac{m_i L}{\sqrt{\frac{\int_0^{\infty} S_i(f) x df}{\int_0^{\infty} f_i^2 x S_i(f) x df}}}$$

Dimana;

- L = umur layan desain terfaktor;
- m_i = fraksi/probabilitas terjadinya gelombang
- T_z = periode rata-rata gelombang *zero-crossing*

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

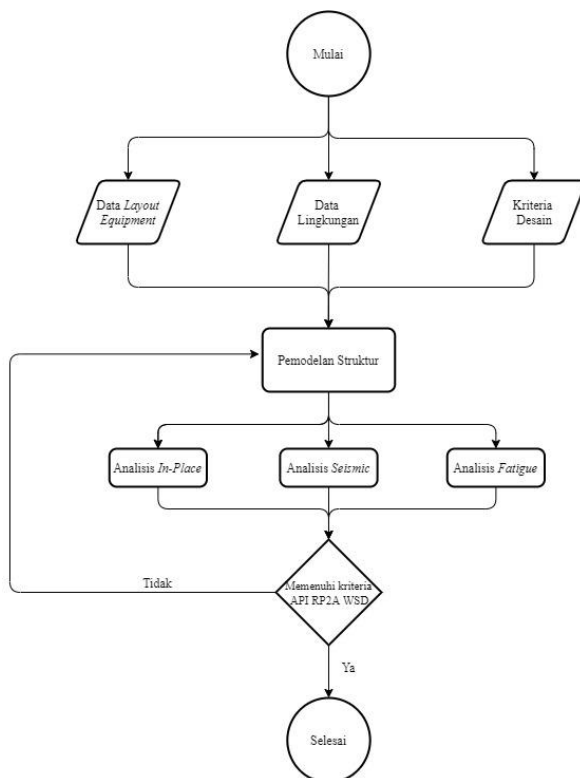
Kurva S-N adalah karakteristik *fatigue* yang umum digunakan dari suatu bahan yang mengalami tegangan berulang dengan besar yang sama. Dari kurva S-N dapar disimpulkan bahwa semakin besar tegangan berulang yang terjadi maka semakin sedikit siklus menuju kegagalan struktur. Kurva S-N dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2 Kurva S-N

Metodologi

Metodologi pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Metodologi

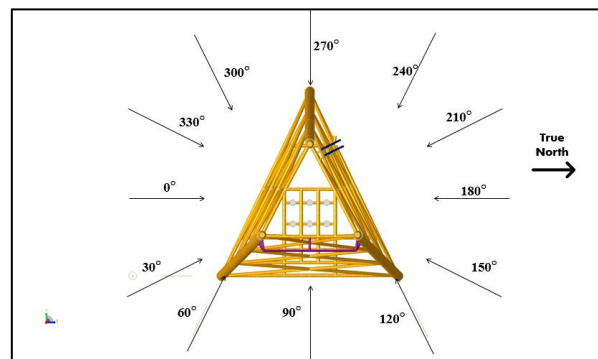
II. PEMODELAN

Pada tugas akhir ini, struktur yang dimodelkan berupa *fixed jacket* tiga kaki yang memiliki 6 buah

konduktor dan 2 buah *riser*. Struktur dimodelkan dengan membentuk sudut sebesar 90° dari utara. *Platform* ini memiliki 3 dek dengan elevasi seperti yaitu

- Cellar Deck, (+)9 m
- Main Deck, (+)13.5 m
- Upper Deck, (+)19.3 m

API RP- 2A WSD menjelaskan untuk arah beban lingkungan yang digunakan untuk struktur dengan tiga kaki minimal menggunakan 12 arah mata angin. Ilustrasi dari arah mata angin yang digunakan untuk analisis ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Ilustrasi Mata Angin

Untuk kebutuhan analisis inplace, dibutuhkan kedalaman maksimum dan minimum setiap kondisi desain. Nilai kedalaman dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kedalaman Desain

Keterangan	Kedalaman (m)
Operating Minimum Water Depth	47.18
Operating Maximum Water Depth	49.38
Storm Minimum Water Depth	47.18
Storm Maximum Water Depth	49.68

Data gelombang yang digunakan berupa tinggi dan perioda gelombang maksimum untuk kondisi operating dan storm dengan arah omni-directional. Data gelombang dapat dilihat pada Tabel 2 Data Gelombang

Tabel 2 Data Gelombang

Keterangan	Omni-directional	
	1 year	100 years
Tinggi gelombang, Hmax (m)	3.3	6.2
Periode gelombang, Tmax (sec.)	6.9	8.6

Data arus yang digunakan terdiri dari parameter kecepatan dengan arah omni-directional. Data arus dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3 Data Arus

Kondisi	Arus	
	Keterangan	Kecepatan (m/s)
1 tahun	Surface Current	0.80
	Mid Depth	0.70
	Seabed Current	0.65
100 tahun	Surface Current	1.45
	Mid Depth	1.00
	Seabed Current	0.85

Data angin yang digunakan merupakan angin yang berhembus dalam rentang waktu 1 menit yang terdiri dari parameter kecepatan dengan arah omni-directional. Data angin dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Kecepatan Angin

Kondisi	Kecepatan (m/s)
1 tahun	13.2
100 tahun	19

Data marine growth yang digunakan terdiri dari parameter tebal perkedalaman dan densitas.. Data tebal perkedalaman dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Marine Growth

Elevasi (m)		Ketebalan (mm)	Massa Jenis (T/m ³)
Batas Atas	Batas Bawah		
Above	+2.00 m/LAT	0	-

+2.00 m/LAT	-15.00 m/LAT	100	1.40 (in air)
-15.00 m/LAT	-30.00 m/LAT	50	
-30.00 m/LAT	-46.70 m/LAT	25	

Besar koefisien hidrodinamika yang digunakan diambil dari API RP2A dengan keterangan seperti pada Tabel 6

Tabel 6 Koefisien Hidrodinamika

Keterangan	C _D	C _M
Permukaan halus	0.65	1.60
Permukaan kasar	1.05	1.20

Faktor kinematika gelombang yang digunakan diambil dari API RP2A dengan keterangan seperti pada Tabel 7

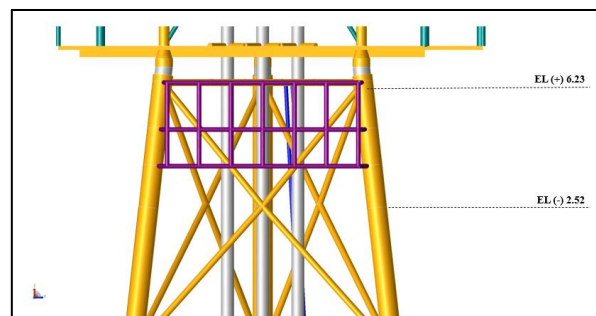
Tabel 7 Current Blockage Factor

Keterangan	Faktor Kinematik Gelombang
Kondisi operating	0.95
Kondisi storm	0.95

Besar current blockage factor untuk platform dengan 3 kaki adalah 0.90

Splash zone dimodelkan dari 3 meter di bawah LAT hingga posisi gelombang pecah saat kondisi storm yaitu dari elevasi (-)2.52 m hingga (+)6.23 m. Ilustrasi splash zone dapat dilihat pada Tabel 8

Tabel 8 Splash Zone



Data gempa yang tersedia adalah nilai spectral desain untuk Strength Level Earthquake (SLE) dan Ductility Level Earthquake (DLE). Data

gempa yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Data Gempa

Period (s)	SLE	DLE
0.1	0.040	0.156
1.0	0.076	0.176
1.5	0.052	0.121
2.0	0.040	0.092
2.5	0.032	0.074
3.0	0.027	0.062
3.5	0.023	0.053
4.0	0.021	0.048

Berikut adalah profil dari struktur anjungan lepas pantai dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10 Profil *Member* pada *Jacket*

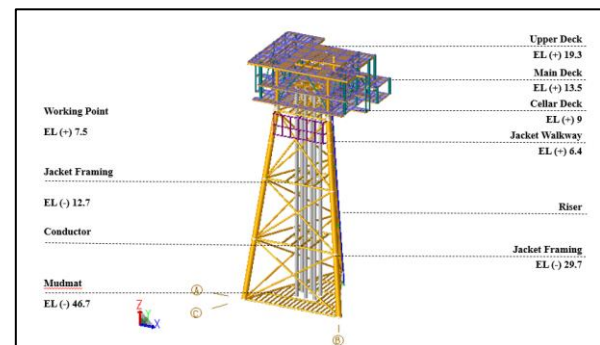
Keterangan	Member Group	Properti
Pile	PL1 – PL5	48.00” OD x 1.50” WT
Jacket Leg	LG1 – LG3	56.00” OD x 2.00” WT
Jacket Horizontal Framing	HOR	20.00” OD x 1.00” WT
Jacket Bracing	XBR & XBS	20.00” OD x 1.00” WT
Mudmat	MM	15.00” OD x 0.50” WT
Boatlanding	BOL	13.00” OD x 0.50” WT
Conductor Guide	CCG	16.00” OD x 0.50” WT
Riser Guard	RG	10.75” OD x 0.50” WT

Tabel 11 Profil *Member* pada *Deck*

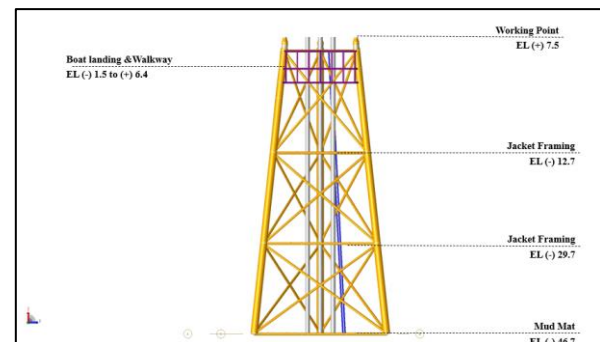
Keterangan	Member Group	Properti
Jacket Leg to Deck Leg	DL6	48.00” OD x 1.50” WT 30.00” OD x 1.00” WT
Deck Primary Leg	DL	30.00” OD x 1.00” WT
Deck Secondary Leg	DL2	24.00” OD x 1.00” WT
Deck Tertiary Leg	DL3	12.75” OD x 1.00” WT
Crane Deck Leg	CLG	30.00” OD x 1.00” WT
Cellar Deck Primary Beam	CD1	W30x261
Cellar Deck Secondary Beam	CD2	W12x40
Cellar Deck Tertiary Beam	CD3	W10x22

Main Deck Primary Framing	MD1	W30x211
Main Deck Secondary Framing	MD2	W12x50
Main Deck Tertiary Framing	MD3	W10x22
Upper Deck Primary Framing	UD1	W33x118
Upper Deck Secondary Framing	UD2	W21x111
Upper Deck Tertiary Framing	UD3	W10x22

Struktur anjungan lepas pantai tipe jacket pada tugas akhir ini dimodelkan menggunakan perangkat lunak SACS. Bagian yang dimodelkan antara lain leg, pile dan deck. Ilustrasi model struktur dan elevasi penting ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

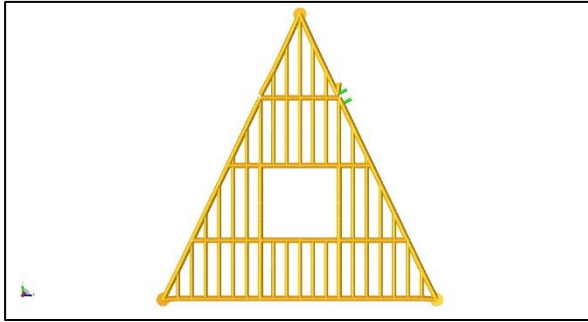


Gambar 5 Tampilan Isometrik Struktur

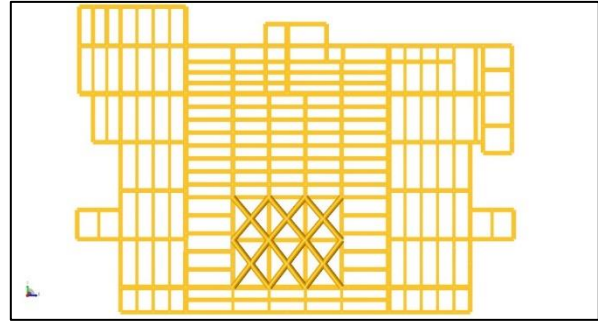


Gambar 6 Elevasi Penting Jacket

Struktur jacket dimodelkan dengan memiliki 3 level horizontal bracing dengan tipe *x-bracing*. Contoh pemodelan *bracing jacket* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Horizontal Bracing



Gambar 9 Konfigurasi Beam Main Deck

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

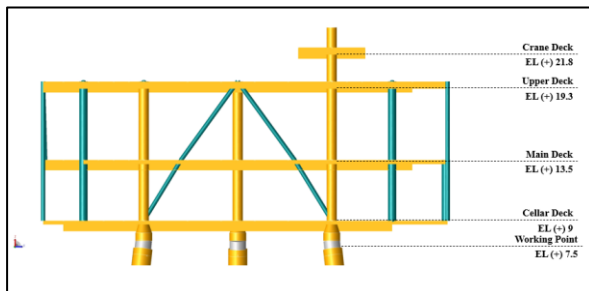
$$\begin{aligned} \text{Elevasi}_{\text{terendah}} &= \text{HAT} + \text{SS} + \frac{H}{2} + \text{Freeboard} \\ \text{Elevasi}_{\text{terendah}} &= 3.08 + 0.5 + 3.1 + 1.524 \end{aligned}$$

$$\text{Elevasi}_{\text{terendah}} = 8.204 \text{ meter}$$

Dimana:

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

Topside dimodelkan sesuai dengan *layout equipment*. Visualisasi elevasi deck dapat dilihat pada Gambar 8 dan contoh konfigurasi beam pada salah satu deck dapat dilihat pada Gambar 9 Konfigurasi Beam Main Deck.



Gambar 8 Tampilan Isometric Deck

III. HASIL ANALISIS

Analisis *In-Place*

Berdasarkan pemeriksaan *unity check member*, berikut adalah nilai *unity check member* untuk analisis *in-place*. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 12 untuk kondisi *operating* dan

Tabel 13 untuk kondisi *storm*.

Tabel 12 Member Unity Check Operating

Deskripsi	Member Group	Properties	Member	Load Com.	Max UC
Jacket					
Pile	PL1	48.00" OD x 1.50" WT	103P-203P	105	0.34
Jacket	LG4	56.00" OD x 2.00" WT	401L-501L	108	0.09
Jacket Horizontal Framing	HOR	20.00" OD x 1.00" WT	3022-402L	201	0.17
Jacket Bracing	XBR	20.00" OD x 1.00" WT	101L-1C1X	109	0.16
Mudmat	MM	24.00" OD x 0.5" WT	MU86-103L	107	0.06
Boatlanding	BOL	13.00" OD x 0.5" WT	BO06-3019	104	0.27
Conductor Guide	CG2	15.75" OD x 0.375" WT	3003-CO15	201	0.32
Riser Guard	RG2	10.50" OD x 0.375" WT	3015-3043	109	0.22
Jacket Leg to Deck Leg	DL6	48.00" OD x 1.50" WT 30.00" OD x 1.00" WT	603L-C003	105	0.9
Topside					
Deck Primary Leg	DL	30.00" OD x 1.00" WT	C003-M003	105	0.51
Deck Secondary Leg	DL2	24.00" OD x 1.00" WT	C171-MD29	203	0.4
Deck Tertiary Leg	DL3	12.75" OD x 1.00" WT	C171-M170	203	0.57
Crane Deck Leg	CLG	30.00" OD x 1.00" WT	U080-U204	206	0.56
Cellar Deck Primary Beam	CD1	W30x261	C003-C104	107	0.85
Cellar Deck Secondary Beam	CD2	W12x40	C148-C103	203	0.61
Cellar Deck Tertiary Beam	CD3	W10x22	C033-C031	203	0.34
Main Deck Primary Framing	MD1	W30x211	M003-M105	107	0.85
Main Deck Secondary Framing	MD2	W12x50	M173-MD68	110	0.84
Main Deck Tertiary Framing	MD3	W10x22	M131-MD50	209	0.42
Upper Deck Primary Framing	UD1	W33x118	U130-U080	102	0.94
Upper Deck Secondary Framing	UD2	W21x111	U080-U046	210	0.79
Upper Deck Tertiary Framing	UD3	W10x22	U213-U110	207	0.58

Tabel 13 Member Unity Check Storm

Deskripsi	Member Group	Properties	Member	Load Com.	Max UC
Jacket					
Pile	PL1	48.00" OD x 1.50" WT	103P-203P	304	0.55
Jacket	LG4	56.00" OD x 2.00" WT	401L-501L	308	0.15
Jacket Horizontal Framing	HOR	20.00" OD x 1.00" WT	101L-MU54	307	0.2
Jacket Bracing	XBR	20.00" OD x 1.00" WT	102L-1B1X	311	0.37
Mudmat	MM	24.00" OD x 0.5" WT	MU88-MU80	301	0.08
Boatlanding	BOL	13.00" OD x 0.5" WT	BO06-3019	310	0.34
Conductor Guide	CG2	16.00" OD x 0.5" WT	3004-CO18	302	0.39
Riser Guard	RG2	10.75" OD x 0.5" WT	3015-3043	302	0.5
Jacket Leg to Deck Leg	DL6	48.00" OD x 1.50" WT 30.00" OD x 1.00" WT	603L-C003	304	0.85
Topside					
Deck Primary Leg	DL	30.00" OD x 1.00" WT	C003-M003	304	0.48
Deck Secondary Leg	DL2	24.00" OD x 1.00" WT	C171-MD29	402	0.38
Deck X Leg	DL3	12.75" OD x 1.00" WT	C171-M170	403	0.55
Crane Deck Leg	CLG	30.00" OD x 1.00" WT	U080-U204	404	0.02
Cellar Deck Primary Beam	CD1	W30x261	C103-C003	302	0.88
Cellar Deck Secondary Beam	CD2	W12x40	C148-C103	302	0.66
Cellar Deck Tertiary Beam	CD3	W10x22	C033-C031	302	0.28
Main Deck Primary Framing	MD1	W30x211	M003-M105	306	0.8
Main Deck Secondary Framing	MD2	W12x50	M173-MD68	310	0.8
Main Deck Tertiary Framing	MD3	W10x22	M131-MD50	407	0.39
Upper Deck Primary Framing	UD1	W33x118	U176-U233	404	0.75
Upper Deck Secondary Framing	UD2	W21x111	U003-U153	302	0.3
Upper Deck Tertiary Framing	UD3	W10x22	U213-U110	406	0.53

Berdasarkan pengecekan *joint punching shear*, nilai *unity check* joint can dapat dilihat **Tabel 14** untuk kondisi *operating* dan **Tabel 15** untuk kondisi *storm*

Tabel 14 Joint Punching Shear Operating

Elevasi (m)	Joint	Chord		Brace		Load Case	Max UC
		OD (in)	WT (in)	OD (in)	WT (in)		
(-) 46.7	101L	56	2	20	1	109	0.061
	102L	56	2	20	1	111	0.06
	103L	56	2	20	1	107	0.059
(-) 29.7	201L	56	2	20	1	108	0.066
	202L	56	2	20	1	112	0.065
	203L	56	2	20	1	109	0.059
(-) 12.7	301L	56	2	20	1	107	0.069
	302L	56	2	20	1	101	0.069
	303L	56	2	20	1	107	0.059
(+) 6.3	401L	55.75	1.87	19.75	0.875	107	0.115
	402L	55.75	1.87	19.75	0.875	102	0.11
	403L	55.75	1.87	19.75	0.875	107	0.086

Tabel 15 Joint Punching Shear Storm

Elevasi (m)	Joint	Chord		Brace		Load Case	Max UC
		OD (in)	WT (in)	OD (in)	WT (in)		
(-) 46.7	101L	56	2	20	1	309	0.122
	102L	56	2	20	1	311	0.124
	103L	56	2	20	1	307	0.119
(-) 29.7	201L	56	2	20	1	301	0.139
	202L	56	2	20	1	308	0.141
	203L	56	2	20	1	311	0.119
(-) 12.7	301L	56	2	20	1	308	0.127
	302L	56	2	20	1	312	0.13
	303L	56	2	20	1	312	0.115
(+) 6.3	401L	55.75	1.87	19.75	0.875	307	0.197
	402L	55.75	1.87	19.75	0.875	301	0.199
	403L	55.75	1.87	19.75	0.875	301	0.158

Berdasarkan pengecekan kapasitas tiang pancang, berikut nilai kapasitas tiang pancang setiap kondisi dapat dilihat pada **Tabel 16** dan **Tabel 17**

Tabel 16 Kapasitas Pile Operating

Pile Joint	Compression				Tension			
	Kapasitas (KN)	Beban Max (KN)	LC	SF	Kapasitas (KN)	Beban Max (KN)	LC	SF
103P	-20173.5	-8076.5	104	2.5	22475.8	0	101	100
101P	-13945.7	-5329.8	108	2.62	15797.6	0	101	100
102P	-13945.7	-5411.2	112	2.58	15797.6	0	101	100

Tabel 17 Kapasitas Pile Storm

Pile Joint	Compression				Tension			
	Kapasitas (KN)	Beban Max (KN)	LC	SF	Kapasitas (KN)	Beban Max (KN)	LC	SF
103P	-20173.5	-10518.5	304	1.92	22475.8	0	301	100
101P	-13945.7	-8373.7	308	1.67	15797.6	851.7	302	100
102P	-13945.7	-8383	312	1.66	15797.6	866.1	306	100

Berdasarkan pengecekan defleksi pada struktur, berikut nilai defleksi pada struktur dapat dilihat pada Tabel defleksi horizontal dan vertikal dapat dilihat pada Tabel 18 hingga Tabel 21

Tabel 18 Defleksi Horizontal Operating

Location	Joint	X	Y	Relative Disp with Jacket Top Level		Resultant Relative Disp.	Relative Height with Jacket Top Level		Allowable Limit	LComb	Remark
		cm	cm	DX (cm)	DY (cm)		DR (cm)	DH (cm)			
Leg A											
Upper Deck	U001	2.648	4.759	-0.317	-1.777	1.805	1380	6.9	202	Accepted	
Main Deck	M001	2.518	3.941	-0.187	-0.959	0.977	800	4	202	Accepted	
Cellar Deck	C001	2.413	3.27	-0.082	-0.288	0.299	350	1.75	202	Accepted	
Jacket Top Level	601L	2.331	2.982	-	-	-	-	-	202	-	
Leg B											
Upper Deck	U002	2.697	4.67	-0.406	-1.743	1.790	1380	6.9	202	Accepted	
Main Deck	M002	2.535	3.826	-0.244	-0.899	0.932	800	4	202	Accepted	
Cellar Deck	C002	2.415	3.168	-0.124	-0.241	0.271	350	1.75	202	Accepted	
Jacket Top Level	602L	2.291	2.927	-	-	-	-	-	202	-	
Leg C											
Upper Deck	U003	2.804	4.721	-0.41	-1.836	1.881	1380	6.9	202	Accepted	
Main Deck	M003	2.625	3.904	-0.231	-1.019	1.045	800	4	202	Accepted	
Cellar Deck	C003	2.523	3.251	-0.129	-0.366	0.388	350	1.75	202	Accepted	
Jacket Top Level	603L	2.394	2.885	-	-	-	-	-	202	-	

Tabel 19 Defleksi Horizontal *Storm*

Location	Joint	X	Y	Relative Disp with jacket Top Level		Resultant Relative Disp.	Relative Height with Jacket Top Level	Allowable Limit	LComb	Remark
		cm	cm	DX (cm)	DY (cm)	DR (cm)	DH (cm)	DH/200 (cm)		
Leg A										
Upper Deck	U001	8.346	7.333	-0.717	-1.932	2.061	1380	6.9	302	Accepted
Main Deck	M001	8.073	6.493	-0.444	-1.092	1.179	800	4	302	Accepted
Cellar Deck	C001	7.836	5.788	-0.207	-0.387	0.439	350	1.75	302	Accepted
Jacket Top Level	601L	7.629	5.401	-	-	-	-	-	302	-
Leg B										
Upper Deck	U002	-8.321	7.368	0.75	-1.906	2.048	1380	6.9	306	Accepted
Main Deck	M002	-8.052	6.545	0.481	-1.083	1.185	800	4	306	Accepted
Cellar Deck	C002	-7.784	5.854	0.213	-0.392	0.446	350	1.75	306	Accepted
Jacket Top Level	602L	-7.571	5.462	-	-	-	-	-	306	-
Leg C										
Upper Deck	U003	8.631	7.229	-0.849	-1.965	2.141	1380	6.9	306	Accepted
Main Deck	M003	8.31	6.387	-0.528	-1.123	1.241	800	4	306	Accepted
Cellar Deck	C003	8.076	5.685	-0.294	-0.421	0.513	350	1.75	306	Accepted
Jacket Top Level	603L	7.782	5.264	-	-	-	-	-	306	-

Tabel 20 Defleksi Vertikal *Operating*

Location	LComb	Absolute Displacement				Relative Deflection	Span Length (L)	Allowable	
		Observed Joint		Reference Joint					
		Joint	dZ	Joint	dZ	(cm)	(cm)		(cm)
		No	(cm)	No	(cm)				
Cellar Deck EL(+)11.6 0 TOS	203	C016	-5.571	C003	-2.217	3.354	1550	6.458	
Main Deck EL(+)16.1 0 TOS	105	M055	-6.219	M003	-2.423	3.796	1435	5.979	
Upper Deck EL(+)21.9 0 TOS	205	U126	-6.631	U003	-2.616	4.015	1450	6.042	

Tabel 21 Defleksi Vertikal *Storm*

Location	LComb	Absolute Displacement				Relative Deflection	Span Length (L)	Allowable		
		Observed Joint		Reference Joint						
		Joint	dZ	Joint	dZ		(cm)		(cm)	(cm)
		No	(cm)	No	(cm)					
Cellar Deck EL(+)11.6 0 TOS	402	C016	-5.87	C003	-2.238	3.632	1550	6.458		
Main Deck EL(+)16.1 0 TOS	405	M055	-6.829	M003	-2.651	4.178	1435	5.979		
Upper Deck EL(+)21.9 0 TOS	405	U126	-7.259	U003	-2.835	4.424	1450	6.042		

Analisis seismik

Berdasarkan pemeriksaan *unity check member*, berikut adalah nilai *unity check member* untuk analisis *in-place*. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 22 untuk gempa SLE dan Tabel 23 untuk gempa DLE

Tabel 22 *Member Unity Check* SLE

Deskripsi	Member Group	Properties	Member	Load Com.	Max UC
Jacket					
Pile	PL1	48.00" OD x 1.50" WT	103P-203P	2	0.18
Jacket	LG4	56.00" OD x 2.00" WT	301L-701L	1	0.02
Jacket Horizontal Framing	HOR	20.00" OD x 1.00" WT	3022-402L	2	0.1
Jacket Bracing	XBR	20.00" OD x 1.00" WT	101L-1C1X	2	0.05
Mudmat	MM	24.00" OD x 0.5" WT	MU86-103L	1	0.03
Boatlanding	BOL	13.00" OD x 0.5" WT	BO06-3019	1	0.14
Conductor Guide	CG2	15.75" OD x 0.375" WT	3003-CO15	2	0.15
Riser Guard	RG2	10.50" OD x 0.375" WT	3015-3043	1	0.11
Topside					
Jacket Leg to Deck Leg	DL6	48.00" OD x 1.50" WT 30.00" OD x 1.00" WT	603L-C003	2	0.8
Deck Primary Leg	DL	30.00" OD x 1.00" WT	C003-M003	2	0.26
Deck Secondary Leg	DL2	24.00" OD x 1.00" WT	C171-MD29	2	0.23
Deck Tertiary Leg	DL3	12.75" OD x 1.00" WT	C171-M170	1	0.31
Crane Deck Leg	CLG	30.00" OD x 1.00" WT	U080-U204	1	0.35
Cellar Deck Primary Beam	CD1	W30x261	C103-C003	2	0.52
Cellar Deck Secondary Beam	CD2	W12x40	C053-C056	2	0.39
Cellar Deck Tertiary Beam	CD3	W10x22	C084-C080	2	0.19
Main Deck Primary Framing	MD1	W30x211	M003-M105	2	0.57
Main Deck Secondary Framing	MD2	W12x50	M014-MD13	2	0.51
Main Deck Tertiary Framing	MD3	W10x22	M131-MD50	2	0.26
Upper Deck Primary Framing	UD1	W33x118	U130-U080	1	0.57
Upper Deck Secondary Framing	UD2	W21x111	U077-U080	2	0.38
Upper Deck Tertiary Framing	UD3	W10x22	U213-U110	1	0.39

Tabel 23 Member Unity Check DLE

Deskripsi	Member Group	Properties	Member	Load Com.	Max UC
Jacket					
Pile	PL1	48.00" OD x 1.50" WT	103P-203P	2	0.21
Jacket	LG3	56.00" OD x 2.00" WT	301L-701L	1	0.03
Jacket Horizontal Framing	HOR	20.00" OD x 1.00" WT	3022-402L	2	0.1
Jacket Bracing	XBR	20.00" OD x 1.00" WT	101L-1C1X	2	0.07
Mudmat	MM	24.00" OD x 0.5" WT	MU86-103L	1	0.03
Boatlanding	BOL	13.00" OD x 0.5" WT	BO06-3019	1	0.15
Conductor Guide	CG2	15.75" OD x 0.375" WT	3003-CO15	2	0.15
Riser Guard	RG2	10.50" OD x 0.375" WT	3009-3041	1	0.11
Topside					
Jacket Leg to Deck Leg	DL6	48.00" OD x 1.50" WT 30.00" OD x 1.00" WT	603L-C003	2	0.83
Deck Primary Leg	DL	30.00" OD x 1.00" WT	C003-M003	2	0.27
Deck Secondary Leg	DL2	24.00" OD x 1.00" WT	C171-MD29	2	0.24
Deck Tertiary Leg	DL3	12.75" OD x 1.00" WT	C171-M170	1	0.32
Crane Deck Leg	CLG	30.00" OD x 1.00" WT	U080-U204	1	0.35
Cellar Deck Primary Beam	CD1	W30x261	C103-C003	2	0.54
Cellar Deck Secondary Beam	CD2	W12x40	C053-C056	2	0.4
Cellar Deck Tertiary Beam	CD3	W10x30	C084-C080	2	0.19
Main Deck Primary Framing	MD1	W30x211	M003-M105	2	0.59
Main Deck Secondary Framing	MD2	W12x50	M014-MD13	2	0.52
Main Deck Tertiary Framing	MD3	W10x30	M131-MD50	2	0.27
Upper Deck Primary Framing	UD1	W33x118	U176-U233	2	0.58
Upper Deck Secondary Framing	UD2	W21x111	U077-U080	2	0.38
Upper Deck Tertiary Framing	UD3	W10x22	U213-U110	1	0.39

Berdasarkan pengecekan *joint punching shear*, nilai *unity check* joint can dapat dilihat Tabel 24 untuk gempas SLE dan Tabel 25 untuk gempas DLE

Tabel 24 Joint Punching Shear Gempa SLE

Elevasi (m)	Joint	Chord		Brace		Max UC
		OD (in)	WT (in)	OD (in)	WT (in)	
(-) 46.7	101L	56	2	20	1	0.019
	102L	56	2	20	1	0.018
	103L	56	2	20	1	0.013
(-) 29.7	201L	56	2	20	1	0.015
	202L	56	2	20	1	0.015
	203L	56	2	20	1	0.014
(-) 12.7	301L	56	2	20	1	0.014
	302L	56	2	20	1	0.013
	303L	56	2	20	1	0.013
(+) 6.3	401L	55.75	1.87	19.75	0.875	0.035
	402L	55.75	1.87	19.75	0.875	0.04
	403L	55.75	1.87	19.75	0.875	0.031

Tabel 25 Joint Punching Shear Gempa SLE

Elevasi (m)	Joint	Chord		Brace		Max UC
		OD (in)	WT (in)	OD (in)	WT (in)	
(-) 46.7	101L	56	2	20	1	0.026
	102L	56	2	20	1	0.024
	103L	56	2	20	1	0.018
(-) 29.7	201L	56	2	20	1	0.027
	202L	56	2	20	1	0.026
	203L	56	2	20	1	0.026
(-) 12.7	301L	56	2	20	1	0.022
	302L	56	2	20	1	0.022
	303L	56	2	20	1	0.024
(+) 6.3	401L	55.75	1.87	19.75	0.875	0.042
	402L	55.75	1.87	19.75	0.875	0.047
	403L	55.75	1.87	19.75	0.875	0.036

Berdasarkan pengecekan kapasitas tiang pancang, berikut nilai kapasitas tiang pancang setiap kondisi dapat dilihat pada Tabel 26 dan Tabel 27

Tabel 26 Kapasitas Pile Gempa SLE

Joint	Kapasitas (KN)	Beban Max (KN)	Penetrasi (m)	SF
103P	-20173.5	-6506	110	3.1
101P	-13945.7	-3710.4	90	3.76
102P	-13945.7	-3844.8	90	3.63

Tabel 27 Kapasitas Pile Gempa DLE

Joint	Kapasitas (KN)	Beban Max (KN)	Penetrasi (m)	SF
103P	-20173.5	-7030.7	110	2.87
101P	-13945.7	-4253.7	90	3.28
102P	-13945.7	-4384	90	3.18

Analisis fatigue

Hasil analisis *fatigue* dapat dilihat pada Tabel 28.

Tabel 28 *Service Life* Struktur

Joint	Member	OD (cm)	WT (cm)	Damage	Service Life (yrs)	Design Life (yrs)	Remarks
Boatlanding							
BO06	BO21-BO06	32.38	0.952	.80209-2	2493.248	20	OK
BO03	BO01-BO03	32.38	0.952	.43360-2	4616.328	20	OK
Jacket Leg							
202L	102L-202L	142.24	5.08	.80821-3	24745.93	20	OK
103L	103L-203L	142.24	5.08	.72657-3	27526.63	20	OK
Jacket X Bracing							
3C1X	301L-3C1X	45.72	2.54	.66825-3	29929.06	20	OK
3C1X	301L-3C1X	45.72	2.54	.34747-3	57559.18	20	OK
Horizontal Bracing							
2034	2033-2034	50.8	2.54	.61165-3	32698.31	20	OK
2015	2014-2015	50.8	2.54	.46406-3	43097.95	20	OK

Dilakukan perbandingan *service life* struktur apabila ukuran *jacket* diubah menjadi 1 dan 0.75 inch. Hasil perbandingan *service life* dapat dilihat pada Tabel 29

Tabel 29 Perbandingan *Service Life Jacket*

Joint	Member	OD (inch)	WT (inch)	Damage	Service Life (yrs)
401L	901L-401L	55.75	2	.25448-3	78590.94
			1	0.0987263	202.5802
			0.75	1.794552	11.14484

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan analisis pada Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

Analisis *In-Place*

1. Model struktur telah memenuhi kriteria desain API RP2-A WSD pada analisis *in-place* dengan nilai *member unity check* terbesar 0.94 pada *main deck framing* saat kondisi *operating* dan 0.88 pada *cellar deck framing* pada kondisi *storm*.
2. Model struktur telah memenuhi kriteria desain API RP2-A WSD pada analisis *in-place* dengan nilai *joint punching shear unity check* sebesar 0.11 dan 0.199 pada *joint* 402L saat kondisi *operating* dan *storm*.
3. Pemancangan *pile* sedalam masing-masing 90 (101P dan 102P) dan 110 (103P) meter telah memenuhi kriteria desain API RP2-A WSD pada analisis *in-place* dengan nilai *safety factor* 2.62 saat kondisi *operating* dan 1.92 saat kondisi *storm*.

4. Nilai defleksi pada struktur telah memenuhi kriteria SNI 03-1729-2000 pada analisis *in-place* dengan nilai defleksi horizontal terbesar 2.142 cm dan defleksi vertikal terbesar 4.428 cm .

Analisis *Seismic*

5. Model struktur telah memenuhi kriteria desain API RP2-A WSD pada analisis *seismic* dengan nilai *member unity check* terbesar 0.80 dan 0.83 pada *jacket to deck leg* saat gempa SLE dan DLE.
6. Model struktur telah memenuhi kriteria desain API RP2-A WSD pada analisis *seismic* dengan nilai *joint punching shear unity check* sebesar 0.040 dan 0.047 pada *joint* 402L saat gempa SLE dan DLE.
7. Pemancangan *pile* telah memenuhi kriteria desain API RP2-A WSD pada analisis *seismic* dengan nilai *safety factor* terkecil 3.1 saat Gempa SLE dan 2.87 saat gempa DLE.

Analisis *Fatigue*

8. Model struktur telah memenuhi kriteria desain API RP2-A WSD pada analisis *fatigue* dengan umur layan pada *joint* terkecil 2493.496 tahun pada *boatlanding* dan 24745.93 pada *jacket leg*.
9. Hasil analisis lokal dengan membandingkan umur layan saat ukuran *jacket leg* diubah menghasilkan umur layan sebesar 202.580 tahun saat ketebalan *jacket* 1.00" dan 11.144 tahun saat ketebalan *jacket* 0.75".

Saran

1. Memperdalam metode penentuan data gempa atau mencari alternatifnya
2. Apabila memungkinkan, lakukan analisis *fatigue* dengan metode *spectral* dan deterministik supaya dapat membandingkan hasil.
3. Melakukan optimasi struktur secara menyeluruh apabila seluruh hasil analisis telah memenuhi kriteria.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. (2007). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform - Working Stress Design 21st Edition*. Washington DC: API Publishing Services.
- Baltrop, N. D. (1991). *Dynamics of Fixed Marine Structures*. East Kilbride: The Marine Technology Directorate.
- Chakrabarti, S. K. (2005). *Handbook of Offshore Engineering*. Illinois: Elsevier.
- Goda, Y. (2010). *Random Seas and Design of Maritime Structures*. World Scientific Publishing.
- SNI 03-1729. (2002). *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Bandung : Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1726:2019. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.