DESAIN DAN ANALISIS STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE 4 KAKI DI PERAIRAN SUMATERA BAGIAN TENGGARA

DESIGN AND LIFTING ANALYSIS OF 4-LEGGED PLATFORM TYPE AT THE SOUTHEAST SUMATERA SEA

Faza Ghani Aprianto dan **Prof.Dr.Ir. Ricky Lukman Tawekal**[2]
Program Studi Sarjana Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi
Bandung Jalan Ganesha 10 Bandung 40312
fazaghania@gmail.com[1] dan ricky.tawekal@gmail.com[2]

Abstrak

Seiring dengan peningkatan kemampuan teknologi eksplorasi minyak dan gas, menyebabkan teknologi anjungan lepas pantai tipe tetap (fixed platform) mengalami kemajuan pesat. Struktur anjungan lepas pantai tipe ini perlu didesain secara tepat, agar kegiatan yang berada diatas struktur tidak terganggu. Perencanaan desain struktur anjungan lepas pantai mengacu pada standar API RP2A. Dalam proses desain struktur anjungan lepas pantai perlu dilakukan beberapa analisis struktur untuk mengetahui kemampulayanan struktur akibat pembebanan yang bekerja. Analisis-analisis tersebut antara lain analisis in-place, seismic dan fatigue. Analisis in-place akan menghasilkan nilai unity check member, unity check joint can, kapasitas pile dan defleksi akibat pembebanan yang terjadi pada struktur saat diletakan di lokasi yang telah ditentukan. Analisis seismic akan menghasilkan nilai perioda natural struktur, unity check member, unity check joint can dan kapasitas pile akibat beban gempa yang terjadi pada struktur. Sedangkan analisis fatigue akan menghasilkan nilai umur layan dari struktur akibat pembebanan gelombang yang bersifat siklik. Berdasarkan hasil analisis struktur yang dilakukan menunjukkan struktur Empat Kaki yang dimodelkan memenuhi standar desain API RP2A – WSD. Struktur akan dilanjutkan ke tahap analisis pre-service. Salah satu analisis yang dapat dilakukan adalah analisis lifting. Hasil keluaran analisis lifting berupa konfigurasi lifting struktur kaki empat, letak titik hook crane, properti tali sling, properti shackle serta dimensi dari padeye yang telah memenuhi standar desain API RP2A – WSD.

Kata Kunci: *Anjungan lepas pantai, struktur, analisis in-place, analisis seismic, analisis fatigue, analisis lifting.*

Abstract

Along with the enhancement of technology for oil and gas exploration, the fixed platform technology has also improved rapidly. This type of offshore platform needs to be designed precisely to support all of the activities at the structure without being disturbed. Planning and designing the offshore structure refers to API RP2A standard. In the process of designing the offshore platform there are several structural analyzes that need to be done. The aim of those analyses is to find out the serviceability of the structure due to the working load. Those analyzes are in-place analysis, seismic and fatigue. The results of in-place analysis are unity check of member, unity check of joint punching shear, pile's capacity, and deflection due to loading that is occur on the structure when the structure is placed in the location. The results of seismic analysis are natural period of the structure, unity check of member, unity check of joint punching shear, and pile's capacity due to earthquake loads that is occur in the structure. The result of fatigue analysis is the service life of the structure due to cyclic wave loading. The results of structural analysis that has been done in this study show the braced monopod structure that has been designed already meet API RP2A – WSD design standards. The structure will proceed to the pre-service analysis stage. One of the analyzes that can be done is lifting analysis. The results of lifting analysis are the form of lifting configuration for 4-legged jacket, the location of hook crane point, sling rope property, shackle property and dimension of padeye that have fulfilled API RP2A - WSD design standard.

***Key word**: Fatigue, in-place, lifting, monopod, seismic*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki luas wilayah perariran sebesar 2/3 dari luas wilayah total. Sumber daya alam yang tersimpan di bawah laut sangat melimpah. Salah satu sumber daya alam tersebut adalah minyak dan gas bumi yang lebih dikenal dengan istilah migas.

Seiring dengan peningkatan kemampuan teknologi eksplorasi minyak dan gas, serta ditemukannya cadangan minyak yang cukup besar di laut, menyebabkan teknologi anjungan lepas pantai mengalami kemajuan pesat.

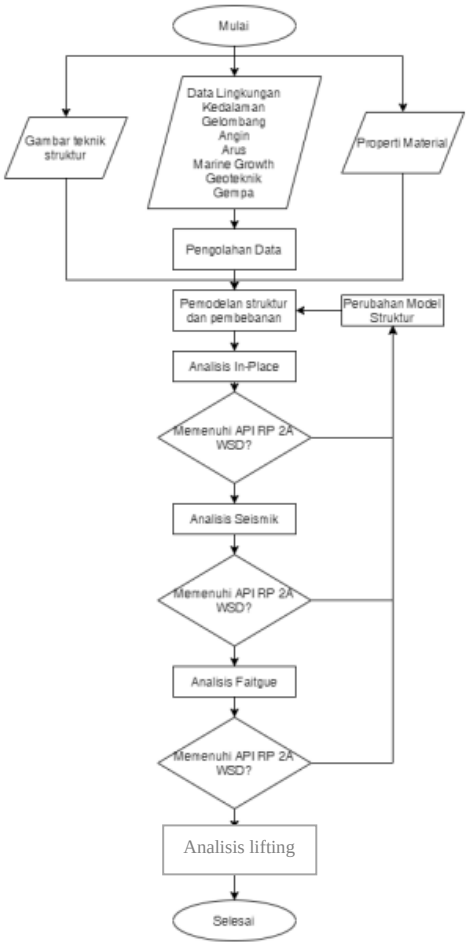
Struktur anjungan lepas pantai perlu didesain secara tepat, agar kegiatan yang berada diatas struktur tidak terganggu. Dalam proses desain struktur anjungan lepas pantai, perlu dilakukan beberapa analisis untuk mengetahui kemampulayanan struktur akibat pembebanan yang bekerja pada struktur. Analisis-analisis tersebut antara lain analisis *in-place, seismic,* dan *fatigue.*

Setelah desain struktur anjungan lepas pantai memenuhi kriteria ketiga analisis tersebut, maka desain struktur dapat dilanjutkan kepada tahap selanjutnya. Salah satu tahap lanjutan yan gperlu dilakukan terhadap desain struktur adalah analisis mengenai proses instalasi. Proses instalasi tersebut dapat dilakukan dengan cara *lifting* dengan menggunakan *hook crane*.

Pada Tugas Akhir ini, penulis akan desain struktur anjungan lepas pantai tipe *Rama H* diperairan Sumatera bagian Tenggara Indonesia Latitude: 5º25’54.50” S dan Longitude: 106º 20’37.50” E, dilanjutkan dengan analisis *in-place, seismic,* dan *fatigue.* Selain ketiga analisis tersebut, penulis juga akan melakukan analisis *lifting* sehingga struktur telah didesain dapat di-*install* pada lokasi yang telah ditetapkan.

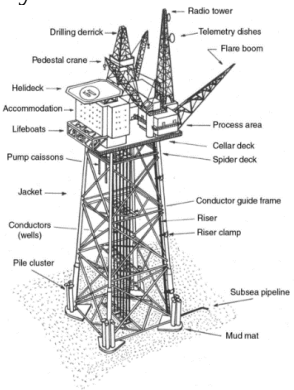
TEORI DAN METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini ditunjukkan dalam gambar berikut.



Gambar 1 Metodologi Pekerjaan

Anjungan lepas pantai yang paling umum digunakan adalah anjungan lepas pantai tipe jacket. Struktur anjungan tipe ini terdiri dari jacket, deck dan pile. Deck berfungsi sebagai tempat melakukan seluruh aktivitas. Jacket berfungsi sebagai penyalur beban lateral kepada pile dan tempat dirancang untuk dapat menjadi selubung pada saat pile dipancang. Pile berfungsi sebagai penyalur beban ke seabed.



Gambar 2 Jacket platform

Elevasi deck terendah harus lebih tinggi dari splash zone ditambah jarak aman. Jarak aman yang ditentukan oleh API RP-2A WSD adalah 5 ft.

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

Dimana:

• HAT = Highest Astronomical Tide
• SS = Storm Surge
• H = Tinggi Gelombang kondisi Storm
• FB = Jarak aman atau air gap (5 ft)

Menurut API RP-2A WSD, beban lingkungan adalah beban yang bekerja pada struktur akibat dari fenomena alam. Arah beban lingkungan yang dianalisis ditentukan berdasarkan jumlah kaki jacket. Berdasarkan API RP-2A WSD untuk jacket dengan penampang persegi minimal dianalisis minimal 8 arah. Untuk jacket dengan kategori lainnya dibutuhkan arah-arah tambahan lainnya.

Beban angin merupakan beban dinamik pada keadaan alaminya tetapi beberapa struktur merespon beban angin seperti beban statik. Kecepatan angin desain didapatkan dengan persamaan di bawah ini.

$$u(z,t) = U(z) \times (1 - 0.41 \times I_u(z) \times ln\,(\frac{t}{t_0}))$$

$$U(z) = U_0 \times (1 + C \times ln\,(\frac{z}{32.8}))$$

$$C = 5.73 \times 10^{-2} \times (1 + 0.0457 \times U_0)^{0.5}$$

$$I_u(z) = 0.06 \times (1 + 0.0131 \times U_0 \times (\frac{z}{32.8})^{-0.22}$$

Dimana:

- u(z,t) = kecepatan angin per 1 jam
- $U(z) = kecepatan\ angin\ pada\ elevasi$
- $U_0 = kecepatan\ angin\ pada\ elevasi\ z$
- z = elevasi kecepatan angina desain (m)
- $I_u(z) = Intensitas\ turbulensi$

Gaya angin didapatkan setelah mengetahui kecepatan angin dan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$F = \frac{\rho}{2} \times u(z,t)^2 \times C_s \times A$$

Dimana:

- F = Gaya angin
- u(z,t) = kecepatan angin per 1 jam
- $C_s = koefisien\ bentuk$
- $A = luas\ penampang\ (m^2)$

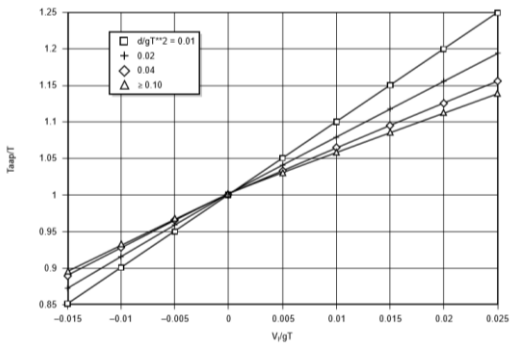
Koefisien bentuk Nilai koefisien bentuk didapatkan berdasarkan dari jenis area yang terproyeksi. Daftar nilai koefisien bentuk dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Nilai koefisien bentuk

Area Proyeksi	C_s
Balok	1.5
Sisi struktur	1.5
Penampang silinder	0.5
Penampang keseluruhan	1

Beban gelombang dibangkitkan oleh adanya angin yang berhembus. Beban gelombang diterapkan pada struktur anjungan lepas pantai merupakan kejadian dinamik. Skema perhitungan beban gelombang dapat dilihat pada gambar berikut.

1. Penentuan *Apparent Wave Period*
   Arus yang bergerak searah dengan gerak gelombang akan membuat gelombang cenderung lebih panjang. Sebaliknya, arus yang berlawanan arah dengan gerak gelombang akan membuat gelombang cenderung lebih pendek. Dengan begitu periode gelombang seakan berubah, periode gelombang semu. Periode gelombang semu tersebut dinotasikan dengan Tapp. Tapp dapat dicari menggunakan gamber berikut.

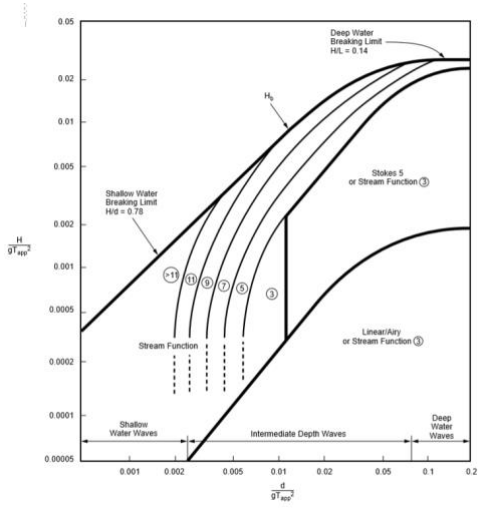


Gambar 3 Grafik perhitungan Tapp

Dengan menghitung nilai dari V_I/gT dan d/gT_2 dan memplotnya ke dalam grafik, maka didapatkan nilai T_{app}/T yang dapat digunakan untuk menentukan nilai T_{app}.
Dimana :

- V = Kecepatan arus
- g = Percepatan gravitasi
- T = Perioda gelombang
- d =Kedalaman laut kondisi *storm*

2. Penentuan Teori Kinematik Gelombang
   Dengan mengetahui nilai periode semu T_{app}, tinggi gelombang H dan kedalaman perairan d, maka teori gelombang yang sesuai dengan karakteristik perairan dapat diketahui. Teori gelombang yang sesuai dapat ditentukan dengan mengacu pada gambar berikut.



Gambar 4 Grafik penentu teori gelombang

Dengan menghitung nilai dari kedalaman relatif $(\frac{d}{gT^2{}_{app}})$ dan kecuraman gelombang $(\frac{H}{gT^2{}_{app}})$, maka teori gelombang yang sesuai dapat diketahui.

3. Penentuan Faktor Kinematik Gelombang Pada kenyataannya gelombang di laut tidak teratur. Hal tersebut mempengaruhi karakteristik gelombang. Karakteristik gelombang yang akan berhubungan dengan menentukan beban gelombang adalah kecepatan dan percepatan partikel air. Oleh karena itu diperlukan untuk mengalikan kecepatan dan percepatan tersebut dengan sebuah faktor, faktor kinematik gelombang. Berikut nilai dari faktor kinematic dapat dilihat pada tabel berikut.
4. Penentuan *current blockage factor*. Aliran yang melewati sebuah benda, dalam hal ini struktur anjungan, akan berkurang jumlah energinya. Dengan begitu aliran akan melambat. Dalam penentuan beban gelombang, diperlukan untuk mengalikan kecepatan arus dengan sebuah faktor. Faktor tersebut bergantung pada jumlah kaki dari struktur *jacket* yang dapat dilihat pada tabel berikut.
5. Pengaruh *Marine growth*. Seluruh struktur yang terendam air akan ditumbuhi oleh *marine growth*. *Marine growth* yang tumbuh akan menambah diameter luar dari member struktur. Dengan begitu *marine growth* menambah luas proyeksi penampang. Bertambahnya luas proyeksi penampang membuat beban gelombang yang bekerja pada struktur bertambah. Selain itu, *marine growth* menambah kekasaran permukaan struktur.
6. Penentuan *Drag and Inertia coefficient*. Perhitungan beban gelombang pada struktur anjungan lepas pantai tipe *jacket* umumnya menggunakan persamaan Moorison. Persamaan Moorison membutuhkan koefisien *drag* dan *inertia*. Koefisien tersebut dipengaruhi oleh kekasaran dari permukaan penampang. Nilai koefisien berdasarkan

kekasaran permukaan dapat dilihat pada tabel berikut.

Pasang surut adalah peristiwa naik turunnya muka air laut akibat adanya gaya Tarik-menarik oleh objek langit seperti bulan, matahari, serta benda langit lainnya terhadap bumi. Pada perencanaan struktur anjungan lepas pantai, perubahan pasang surut harian digunakan sebagai penentu elevasi boat landing. Elevasi muka air akan berubah-ubah diakibatkan oleh pasang surut. Pada penulisan tugas akhir ini, elevasi penting yang digunakan dalam perencanaan struktur diataranya adalah elevasi Highest Astronomical Tide (HAT), Lowest Astronomical Tide (LAT). Kedua elevasi penting ini akan dikombinasikan dengan nilai storm surge yang merupakan gelombang yang dibangkitkan oleh storm.

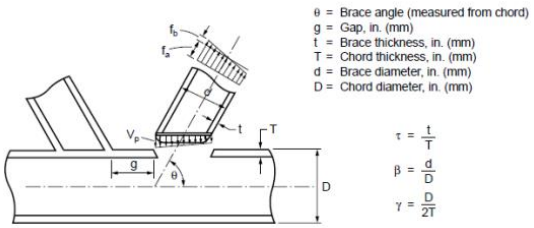
Analisis in-place adalah analisis struktur yang bertujuan untuk mengetahui kondisi struktur ketika sudah berada di tempat eksisting dan beroperasi sesuai dengan fungsinya. Analisis ini dilakukan terhadap struktur dengan berbagai kondisi pembebanan. Pada analisis in-place, dilakukan dua macam kombinasi pembebanan, yaitu:

1. Kondisi ***operating,*** dengan perioda ulang 1 tahun
2. Kondisi ***storm***, dengan perioda ulang 100 tahun.

Pada kondisi operating beban gelombang, arus, dan angin yang diterapkan ke struktur ialah beban yang memiliki perioda ulang 1 tahun. Kedalaman perairan yang digunakan pada kondisi operating terdiri dari dua macam kondisi, yakni kedalaman perairan maksimum, dan kedalaman air minimum. Pada kondisi storm beban gelombang, arus, dan angin yang diterapkan ke struktur ialah beban yang memiliki perioda ulang 100 tahun. Kedalaman perairan yang digunakan pada kondisi storm terdiri dari dua macam kondisi juga, yakni kedalaman perairan maksimum, dan kedalaman air minimum. Pemeriksaan tegangan member dilakukan dengan melihat nilai unity check (UC) yang ada pada tiap member struktur. Unity check merupakan perbandingan antara tengangan yang terjadi pada member struktur terhadap tegangan maksimum yang diizinkan pada tiap member. Dengan demikian seluruh member pada struktur harus benilai lebih kecil dari 1. Untuk kondisi operating tegangan izin diberikan faktor bernilai 1 sedangkan untuk kondisi badai tegangan izin diberikan faktor 1.33. Terdapat dua jenis UC yang harus diperhatikan, yakni UC member dan *UC joint punching shear*.

1. *Joint punching shear*

   Joint punching
   shear dianalisis pada sambungan antara jacket dengan horizontal bracing dan diagonal bracing. Sambungan tersebut dapat menyebabkan tekuk akibat tekanan dari bracing ke jacket leg. Joint can memiliki dua bagian utama, yakni chord dan brace. Berikut ilustrasi joint can berdasarakan standar API RP-2A.



Gambar 5 Ilustrasi joint can

Unity check joint can dibagi menjadi 2 parameter yakni *load UC* dan *strength UC*. *Load UC* membandingkan antara tegangan yang terjadi pada sambungan dengan kapasitas yang dimiliki oleh sambungan tersebut. Sedangkan *strength UC* membandingkan 50% kekuatan efektif dari *member* dengan tegangan yang terjadi pada sambungan. Batas nilai UC yang diizinkan adalah 1.00.

2. Kapasitas pile

   Untuk pengecekan pada bagian tiang pancang, diperhitungkan kapasitas beban tekan dan tarik yang terjadi. Pengecekan kapasitas tiang pancang ini

bertujuan untuk mengetahui apakah kapasitas tiang pancang melebihi kapasitas izin dari tiang pancang. API RP-2A WSD mensyaratkan nilai minimum *safety factor* tersebut berdasarkan kondisi yang terjadi. Batas nilai *safety factor* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2 Safety Factor Kapasitas Pile

Kapasitas Pile	
Kondisi	*Safety Factor*
Operasional	2
Storm	1.5

3. Defleksi

Pengecekan defleksi dilakukan untuk memastikan servicealibity dari struktur anjungan lepas pantai. Defleksi yang dicek terdiri dari 3 komponen pada 2 arah, yaitu defleksi horizontal dan vertikal pada *deck* dan defleksi vertikal pada pilehead. Berdasarkan SNI – 03 – 1729 – 2000 (*Tata cara perencanaan struktur baja*) nilai defleksi izin arah vertikal pada *deck* yang ditunjukan pada persamaan berikut.

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

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

$$\delta_{Pilehead} = \frac{D}{10}$$

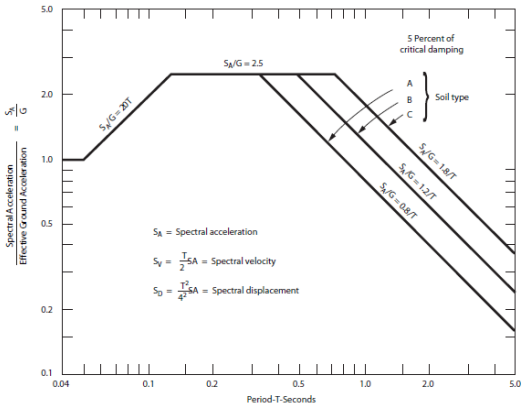
Dimana :

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

Analisis *seismic* merupakan analisis yang meninjau ketahanan struktur selama sedang beroperasi akibat aktivitas seismic yang terjadi pada lokasi dimana struktur dibangun. beban gempa bumi juga terbagi menjadi dua macam perioda ulang yang dijelaskan sebagai berikut.

Analisis seismik dilakukan pada dua kekuatan gempa yaitu *Strength Level Earthquake (SLE)* serta *Ductility Level Earthquake (DLE)*. SLE memiliki perioda ulang sebesar 100 tahun sedangkan DLE memiliki perioda ulang sebesar 800 – 1000 tahun.

Input yang dibutuhkan dalam analisis seismik adalah nilai PGA serta nilai pseudo-spectral velocity atau pseudo-spectral acceleration. Contoh spektrum gempa API ditunjukkan pada gamber berikut.



Gambar 6 Grafik Spektrum Gempa

Kombinasi pembebanan yang dipakai adalah *Dead Load + 0,75 Live Load + Earthquake Load*. Diberikan faktor *AMOD* sebesar 1,7 pada analisis seismik. Nilai UC maksimum adalah 1 sedangkan nilai *safety factor* minimum adalah 2.

Pengecekan struktur yang dilakukan adalah pengecekan pada tegangan member, kapasitas pile, dan *joint punching shear*. Digunakan faktor tegangan izin sebesar 1.70 untuk pengecekan tegangan member.

Analisis *fatigue* merupakan analisis yang mempertimbangkan *fatigue* (kelelahan) dari struktur. Dimana *fatigue* adalah berkurangnya kekuatan dari material akibat dari beban berulang yang bekerja padanya.

Dalam analisis *fatigue* memperhitungkan tiga macam faktor, diantaranya adalah *dynamic amplification factor* (DAF), kurva

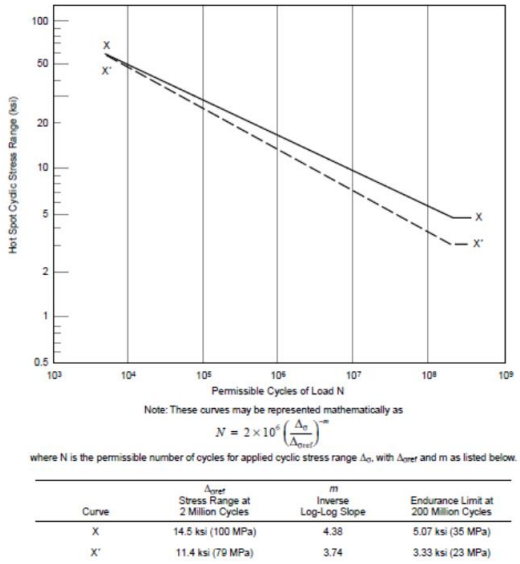
S-N dan *SCF* (*Stress Concentration Factor*).
Untuk menghitung nilai DAF ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$DAF = \frac{1}{\sqrt{(1-(\frac{T_n}{T_w})^2)^2 + (2\xi(\frac{T_n}{T_w}))^2}}$$

Dimana :

- T_n = Periode natural struktur (s)
- T_w = Periode gelombang (s)
- ξ = *Damping ratio*

Kurva S-N yang digunakan berdasarkan API RP-2A WSD ditunjukkan pada gambar berikut.



Note: These curves may be represented mathematically as

$$N = 2\times10^6\left(\frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}}\right)^{-m}$$

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

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

Gambar 7 Kurva S-N

Pada analisis *fatigue* dengan metode deterministik, dipertimbangkan kelas beban dan jumlah kejadiannya. Dari kedua parameter tersebut, dihitung kumulatif kelelahan yang diakibatkan oleh setiap kelas beban sesuai dengan hukum Palmgren-Miner pada persamaan berikut.

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

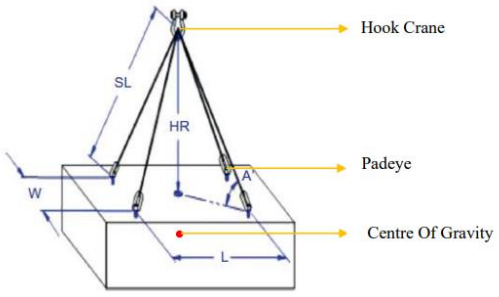
Dimana :

- D = Damage
- I = Indeks kelas gelombang
- l = Jumlah kelas gelombang
- n_i = Jumlah siklus kelas gelombang ke – I
- N_i = Jumlah siklus kelas gelombang ke – I yang diizinkan

Untuk mendapatkan usia *fatigue* elemen struktur dilakukan persamaan berikut.

$$Service\ life\ (tahun) = \frac{Rencana\ masa\ layan}{Damage \times Safety\ Factor}$$

Analisis lifting merupakan analisis pada proses instalasi untuk memeriksa kekuatan struktur ketika dilakukan pengangkatan dengan menggunakan crane untuk metode dan konfigurasi yang telah ditentukan sebelumnya.
Untuk mempermudah proses lifting, struktur biasanya dibagi kedalam dua partisi, yakni bagian topside dan jacket. Pada saat analisis ini dilakukan, pembebanan yang diikutsertakan dalam perhitungan adalah berat sendiri struktur, dan beban peralatan yang menempel pada struktur.
Untuk melakukan analisis lifting, pertama harus diketahui besar deadload struktur dan letak titik beratnya (Centre of Gravity). Kedua parameter ini didapat dari hasil generate perangkat lunak SACS. Titik berat akan menentukan letak titik hook (titik kumpul dari sling) agar tidak terjadi momen tambahan saat proses lifting berlangsung.
Selanjutnya adalah konfigurasi dari sling (tali baja) yang digunakan untuk proses lifting. Konfigurasi ini akan menentukan besar gaya yang akan diterima oleh member struktur. Sling akan dikaitkan pada bagian shackle yang terdapat pada bagian padeye dari struktur.
Ilustrasi proses lifting ditunjukkan pada Gambar 2.17



Gambar 8 Ilustrasi Proses Lifting

Hasil analisis lifting ini akan menghasilkan nilai unity check ratio member yang terjadi pada struktur yang dilakukan proses lifting.

HASIL DAN ANALISIS

Deskripsi Umum

Struktur didesain untuk kedalaman 108.0 ft. Struktur merupakan anjungan lepas pantai tipe *fixed jacket*. Struktur akan digunakan sebagai *well head platform*. Struktur memiliki 4 *level deck* dan 4 kaki dengan jenis kemiringan *double batter*. Kaki struktur memiliki perbandingan *rise:run* 10:1. Data elevasi setiap deck dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Desain struktur akan dianalisis dengan analisis *in-place*, analisis *seismik* dan analisis *fatigue*. Selain analisis yang sudah disebutkan sebelumnya, struktur juga akan dianalisis kehandalannya.

Tabel 3 Parameter kedalaman Peraian

Parameter	Nilai	Keterangan
Kedalaman perairan dari MLW	108	ft
HAT	3.6	ft dari MLW
LAT	-1	ft dari MLW
Operating Storm Surge	0.63	ft
Storm Storm Surge	0.05	ft

Parameter	Kedalaman Perairan (ft)	
	Operating	Storm
MLW	108	108
HAT	3.6	3.6
LAT	-1	-1
Storm Surge	0.05	0.63
Minimum	107.05	107.63
Maksimum	111.65	112.23

Tabel 4 Data Gelombang

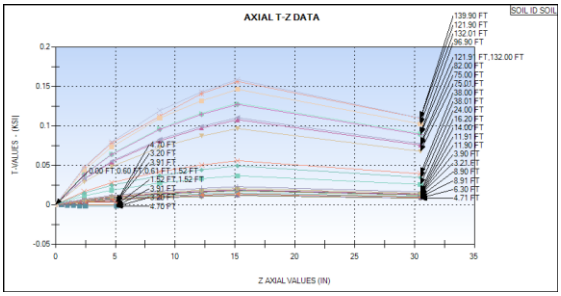
Periode Ulang (tahun)	Gelombang Maksimum	
	Tinggi (ft)	Periode (s)
1	12.11	7.64
100	30.31	10.18

Tabel 5 Data Angin

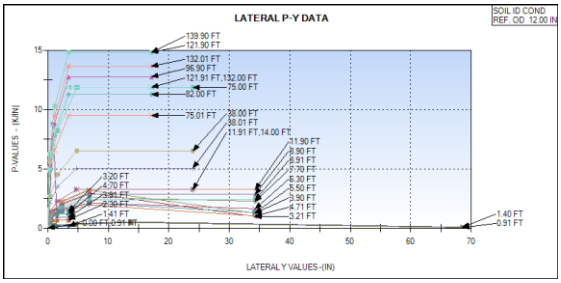
Periode Ulang (tahun)	1-*hour average wind speed* (ft/s)
1	51.02
100	117.85

Tabel 6 Data Angin

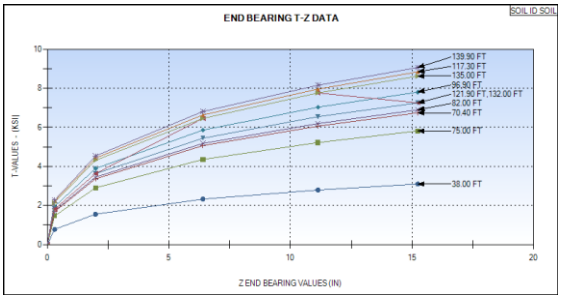
Elevasi	Kecepatan Arus (ft/s)	
	1 tahun	100 tahun
Surface	3.28	5.94
Bottom	1.34	1.46



Gambar 9 Grafik Skin Friction (T-Z)

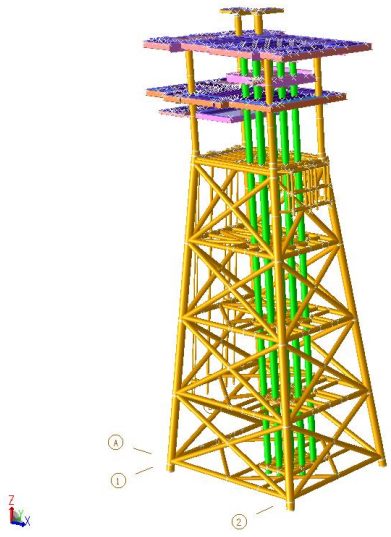


Gambar 10 Grafik Lateral Bearing (P-Y)

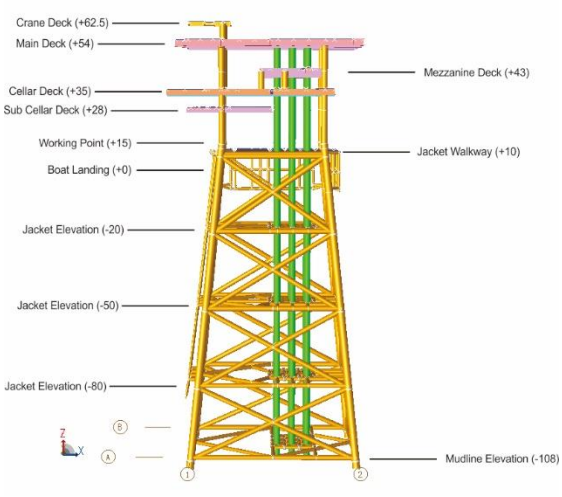


Gambar 11 Grafik End Bearing (T-Z)

Model struktur ditunjukkan pada gambar berikut.

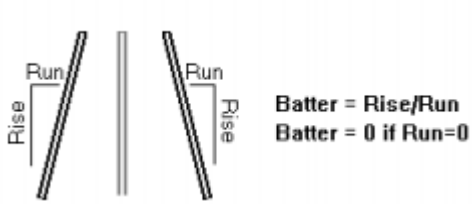


Gambar 12 model struktur



Gambar 13 Elevasi Penting Struktur

Pile dimodelkan memiliki kemiringan jenis double batter, dengan perbandingan jarak vertikal (rise): jarak horizontal (run) sebesar 10:1 untuk semua arah kemiringan. Kemiringan tersebut dipilih untuk menahan beban lateral dengan baik. Definisi batter ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.**. Kemiringan tampak atas ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.**.



Gambar 14 Ilustrasi Batter

Beban mati adalah beban yang akan terus dipikul oleh platform selama platform tersebut ada. Berat sendiri struktur adalah berat dari member-member struktur. Berat sendiri struktur yang terdapat dalam analisis yang dilakukan dihitung berdasarkan ukuran dan berat material baja yang dimodelkan SACS, serta gaya apung yang dihasilkan oleh platform. Berat sendiri struktur dihitung untuk kondisi muka air tenang (still water level) maksimum dan minimum. Data yang digunakan untuk perhitungan berat sendiri struktur adalah sebagai berikut:

1. Berat jenis baja sebesar 490 lb/ft^3
2. Berat jenis air laut sebesar 64,2 lb/ft^3 Berat sendiri struktur untuk kondisi operasi dan kondisi badai ditunjukkan pada Tabel 10

Tabel 7 Beban Mati Struktur

Deskripsi	*Total Load (kips)*	
	Dead Load	Gaya Apung
Max Water Depth 1 Year Operating	3067.787	1396.778
Min Water Depth 1 Year Operating	3067.787	1345.461
Max Water Depth 100 Year Storm	3067.787	1351.112
Min Water Depth 100 Year Storm	3067.787	1402.428

Beban hidup bekerja pada pada main deck, mezzanine deck, cellar deck, sub cellar deck, dan jacket walkway. Untuk kondisi badai, beban hidup bernilai 75% dari beban hidup pada kondisi operasi. Beban hidup ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 8 Beban Hidup Struktur

Nomor	Lokasi	Total Luas (ft2)	Beban (psf)	Total Beban (kips)
1	*Main Deck*	1703.6	100	170.36
2	*Mezzanine Deck*	484.8	75	64.64
3	*Cellar Deck*	2743.6	100	274.36
4	*Sub Cellar Deck*	210	35	60.02
5	*Jacket Walkway*	320.5	35	91.56

HASIL ANALISIS IN-PLACE

1. Unity Check member

Nilai *UC ratio member* ditunjukkan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 9 UC Member Kondisi Operasional Minimum

Deskripsi	Max. UC
Main Deck	0.52
Work Over Rig	0.26
Cellar Deck	0.78
Mezzanine Deck	0.25
Crane Deck	0.17
Sub Cellar Deck	0.83
Crane Tower	0.70
Boat Landing	0.24
Deck Leg	0.27
Pile	0.41
Horizontal Bracing	0.31
Jacket Walkway	0.32
Jacket Leg	0.24
Mudmat	0.41
Diagonal Bracing	0.12

Tabel 10 UC Member Kondisi Operasional Maksimum

Deskripsi	Max. UC
Main Deck	0.42
Work Over Rig	0.21
Cellar Deck	0.60
Mezzanine Deck	0.19
Crane Deck	0.17
Sub Cellar Deck	0.63
Crane Tower	0.54
Boat Landing	0.18
Deck Leg	0.25
Pile	0.31
Horizontal Bracing	0.25
Jacket Walkway	0.24
Jacket Leg	0.17
Mudmat	0.29
Diagonal Bracing	0.09

Tabel 11 UC Member Kondisi Storm minimum

Deskripsi	Max. UC
Main Deck	0.33
Work Over Rig	0.15
Cellar Deck	0.62
Mezzanine Deck	0.20
Crane Deck	0.53
Sub Cellar Deck	0.60
Crane Tower	0.34
Boat Landing	0.16
Deck Leg	0.31
Pile	0.34
Horizontal Bracing	0.20
Jacket Walkway	0.21
Jacket Leg	0.22
Mudmat	0.31
Diagonal Bracing	0.11

Tabel 12 UC Member Kondisi Storm maksimum

Deskripsi	Max. UC
Main Deck	0.33
Work Over Rig	0.15
Cellar Deck	0.62
Mezzanine Deck	0.20
Crane Deck	0.53
Sub Cellar Deck	0.59
Crane Tower	0.34
Boat Landing	0.16
Deck Leg	0.31
Pile	0.34
Horizontal Bracing	0.20
Jacket Walkway	0.21
Jacket Leg	0.22
Mudmat	0.31
Diagonal Bracing	0.11

Dari nilai UC member yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa seluruh member baik pada bagian jacket maupun topside memiliki nilai UC yang memenuhi kriteria yaitu memiliki nilai dibawah 1.

2. *Joint punching shear*

Nilai UC *joint punching shear memiliki* terbesar setiap elevasi *horizontal bracing* pada setiap kondisi ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 13 Unity check joint can terbesar (Load UC)

Load Condition	Joint	Load UC	LC	Lokasi (ft)
Operating Minimum WD	603L	0.112	103	10
	503L	0.107	108	-20
	403L	0.111	106	-50
	303L	0.119	108	-80
	204L	0.127	104	-108
Operating Maximum WD	603L	0.092	208	10
	503L	0.076	203	-20
	403L	0.079	206	-50
	303L	0.085	208	-80
	204L	0.112	204	-108
Storm Minimum WD	601L	0.131	302	10
	503L	0.079	308	-20
	404L	0.083	307	-50
	303L	0.088	308	-80
	204L	0.133	302	-108
Storm Maximum WD	603L	0.104	408	10
	503L	0.083	408	-20
	403L	0.087	407	-50
	303L	0.091	408	-80
	204L	0.141	402	-108

Tabel 14 Unity check joint can terbesar (Strength UC)

Load Condition	Joint	Strength UC	LC	Lokasi (ft)
Operating Minimum WD	602L	0.718	104	10
	501L	0.817	103	-20
	403L	0.795	106	-50
	303L	0.792	107	-80
	203L	0.795	104	-108
Operating Maximum WD	602L	0.719	204	10
	501L	0.817	203	-20
	403L	0.794	206	-50
	303L	0.791	207	-80
	203L	0.795	204	-108
Storm Minimum WD	604L	0.729	306	10
	501L	0.815	302	-20
	403L	0.796	307	-50
	303L	0.791	308	-80
	203L	0.795	301	-108
Storm Maximum WD	604L	0.728	406	10
	501L	0.820	402	-20
	403L	0.796	407	-50
	303L	0.791	401	-80
	203L	0.795	402	-108

Semua nilai *UC Joint Punching Shear* bernilai kurang dari 1. Maka struktur telah memenuhi kriteria desain.

3. Kapasitas pile

Nilai kapasitas *pile* dan beban yang aktual yang terjadi pada *pile* beserta nilai *safety factor* setiap kondisi ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 15 Kapasitas pile

Load Condition	Joint	LC	Max Load (kips)	Load Capacity (kips)	Safety Factor
Operating Minimum WD	101P	102	-468.4	-3627.7	7.75
	102P	108	-992.7	-3627.7	3.65
	103P	106	-623.0	-3627.7	5.82
	104P	101	-1032.3	-3627.7	3.51
Operating Maximum WD	101P	206	-468.3	-3627.7	7.75
	102P	208	-972.5	-3627.7	3.73
	103P	204	-615.1	-3627.7	5.90
	104P	202	-1017.6	-3627.7	3.56
Storm Minimum WD	101P	302	-563.6	-3627.7	6.44
	102P	301	-936.1	-3627.7	3.88
	103P	308	-536.9	-3627.7	6.76
	104P	301	-1081.9	-3627.7	3.35
Storm Maximum WD	101P	406	-613.3	-3627.7	5.91
	102P	401	-969.0	-3627.7	3.74
	103P	404	-590.8	-3627.7	6.14
	104P	402	-1112.5	-3627.7	3.26

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

4. Defleksi

Defleksi vertikal maksimum yang terjadi pada struktur untuk setiap kondisi dan batasannya ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 16 Defleksi vertikal maksimum

Condition		Load Comb	Acting Joint		Relative Joint		Relative Deflection (in.)	Defl. Izin (in.)
			Joint	Defleksi (in)	Joint	Defleksi (in)		
1-Year operating	Max	202	0152	-1,812	0151	-1,637	-0,175	1,00
	Min	101	0152	-1,805	0151	-1,639	-0,166	1,00
100years operating	Max	401	0152	-2,008	0151	-1,686	-0,322	1,00
	Min	302	0152	-2.249	0151	-2.049	-0,200	1,00

Berdasarkan nilai defleksi vertikal maksimum diatas, dapat dilihat bahwa seluruh defleksi vertikal yang terjadi pada struktur berada dibawah nilai defleksi izin yang sudah ditentukan.

Defleksi horizontal maksimum yang terjadi pada struktur untuk setiap kondisi dan batasannya ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 17 Defleksi horizontal maksimum

Condition		Load Comb	Acting Joint		Relative Joint		Relative Deflection (in.)	Defl. Izin (in.)
			Joint	Defleksi (in)	Joint	Defleksi (in)		
1-Year operating	Max	202	0275	-3,091	701L	-1.615	-1.476	2.96
	Min	101	0275	-3.018	701L	-1.579	-1.439	2.96
100years operating	Max	403	0275	-3,813	701L	-2.150	-1.663	2.96
	Min	301	0275	-3,838	701L	-2.164	-1.674	2.96

Berdasarkan nilai defleksi horizontal maksimum diatas, dapat dilihat bahwa seluruh defleksi horizontal yang terjadi pada struktur berada dibawah nilai defleksi izin yang sudah ditentukan.

Defleksi pilehead maksimum yang terjadi pada struktur untuk setiap kondisi dan batasannya ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 18 Defleksi pada pilehead

Condition		Load Comb.	Joint	X (in.)	Y (in.)	Resultan (in.)	Defl. Izin (in)
1-year Operating	Max	201	701L	-0,120	0,235	0,264	3,2
	Min	101	701L	-0,128	0,249	0,280	3,2
100-Years Storm	Max	401	701L	-0,276	0,535	0,602	3,2
	Min	301	701L	-0,332	0,637	0,718	3,2

Berdasarkan nilai defleksi pada *pilehad* diatas, dapat dilihat bahwa seluruh defleksi *pilehead* yang terjadi pada struktur berada

dibawah nilai defleksi izin yang sudah ditentukan.

HASIL ANALISIS SEISMIC

1. Unity check member

Hasil analisis seismik pada bagian tegangan member yang ditunjukkan dengan nilai UC yang ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 19 Nilai UC kondisi SLE

Deskripsi	Member Grup	Member	UC
Main Deck	MD1	C03L - 0208	0.27
Mezzanine Deck	MZ1	0264 - 0125	0.21
Cellar Deck	CD3	0559 – 0573	0.45
Sub Cellar Deck	SC3	0400 - 0377	0.28
Deck Leg	DL8	803L - 0867	0.26
Horizontal Bracing	HOR	0019 – 202L	0.43
Diagonal Bracing	XBR	604L – 5B1X	0.26
Boat Landing	BL	603L – 5B1X	0.33
Crane	CRN	0076 - 0280	0.54
Jacket Leg	LG6	603L – 703L	0.64
Mudmat	MUD	0018 – 0020	0.60

Tabel 20 Nilai UC kondisi DLE

Deskripsi	Member Grup	Member	UC
Main Deck	MD1	C03L - 0208	0.28
Mezzanine Deck	MZ1	0264 - 0125	0.21
Cellar Deck	CD1	A03L - 0476	0.44
Sub Cellar Deck	SC3	0400 - 0377	0.28
Deck Leg	DL8	803L - 0867	0.32
Horizontal Bracing	HOR	0008 – 604L	0.43
Diagonal Bracing	XBR	604L – 5B1X	0.38
Boat Landing	BL	603L – 5B1X	0.49
Crane	CRN	0076 - 0280	0.55
Jacket Leg	LG6	603L – 703L	0.64
Mudmat	MUD	0018 – 0020	0.60

Berdasarkan hasil analisis tegangan member yang diwakilkan dengan UC member tersebut menunjukkan nilai kurang dari 1 baik pada tingkat SLE maupun tingkat DLE. Hal tersebut menunjukkan bahwa UC telah memenuhi kebutuhan sesuai dengan API RP-2A WSD.

2. Joint punching shear

Hasil dari analisis *joint punching shear* yang diwakilkan dengan nilai *Load UC* dan *Strength UC* terbesar setiap tingkat *horizontal bracing* ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 21 Nilai Load UC joint punching shear

Lokasi	Deskripsi			
	SLE		DLE	
	Joint	UC	Joint	UC
Elevasi (-) 108'	202L	0.337	202L	0.504
Elevasi (-) 80'	303L	0.07	303L	0.103
Elevasi (-) 50'	403L	0.062	403L	0.094
Elevasi (-) 20'	501L	0.061	504L	0.106
Elevasi (+) 10'	603L	0.381	603L	0.568

Tabel 22 Nilai Strength UC Joint Punching Shear

Lokasi	Deskripsi			
	SLE		DLE	
	Joint	UC	Joint	UC
Elevasi (-) 108'	203L	0.109	203L	0.676
Elevasi (-) 80'	303L	0.682	303L	0.684
Elevasi (-) 50'	403L	0.689	403L	0.694
Elevasi (-) 20'	503L	0.769	503L	0.746
Elevasi (+) 10'	604L	0.675	603L	0.714

Hasil analisis *joint punching shear* yang diwakilkan dengan nilai Load UC dan Strength UC menunjukkan nilai kurang dari 1 baik untuk tingkat SLE maupun DLE.

3. Kapasitas pile

Hasil dari analisis kapasitas pile yang diwakilkan dengan besar *safety factor* dari tiap *pile head* pada struktur ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 23 Kapasitas pile pada struktur

Deskripsi	Pile Head Joint	Penetrasi (ft)	OD (in)	Kapasitas (kips)	Beban Aksial (kips)	Safety Factor
DLE	101P	250	32	-3627.7	-1589.5	2.28
	102P	250	32	-3627.7	-1571.7	2.31
	103P	250	32	-3627.7	-1731.9	2.09
	104P	250	32	-3627.7	-1658.9	2.19
SLE	101P	250	32	-3627.7	-1131.7	3.21
	102P	250	32	-3627.7	-1097.7	3.30
	103P	250	32	-3627.7	-1260.5	2.88
	104P	250	32	-3627.7	-1178.5	3.08

Hasil analisis kapasitas *pile* menunjukkan nilai kapasitas *pile* memiliki *safety factor* lebih besar dari nilai izin sebesar 1.00.

HASIL ANALISIS FATIGUE

Tabel berikut menunjukkan nilai service life terkecil hasil analisis *fatigue* yang dimiliki stuktur yang telah di desain.

Tabel 24 Hasil analisis fatigue

Joint	Member	Group Member	Damage	Service Life (Tahun)
204L	204L – 0839	LG2	0.836	23.92
0173	0001 – 0020	MUD	0.748	26.74
5C2X	604L – 5C2X	XBR	0.483	41.39
204L	204L – 0009	HOR	0.322	61.20

Dapat dilihat pada tabel diatas, nilai *service life* terkecil terdapat pada *joint* 204L dengan nilai 23.92 tahun. Nilai tersebut melebihi nilai *design life* yang telah ditentukan yakni sebesar 20 tahun.

HASIL ANALISIS LIFTING

Analisis lifting akan di bagi menjadi dua kondisi yaitu *balanced* dan *unbalanced*. Kondisi *balanced* ketika *hook crane* berada tepat di atas *Centre of Gravity* sedangkan *unbalanced* ketika posisi *hook crane* tidak tepat maka akan memberikan momen tambahan ke member yang bersangkutan.

Titik center of gravity akan menentukan posisi dari hook crane. Titik hook crane akan diletakan tepat diatas titik COG untuk menghindari munculnya momen tambahan saat proses lifting berlangsung. Penentuan center of gravity dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SACS. Beban yang diperhitungkan saat proses analisis lifting antara lain adalah berat sendiri struktur, beban perlengkapan, dan beban deck appurtenances (grating dan pelat).

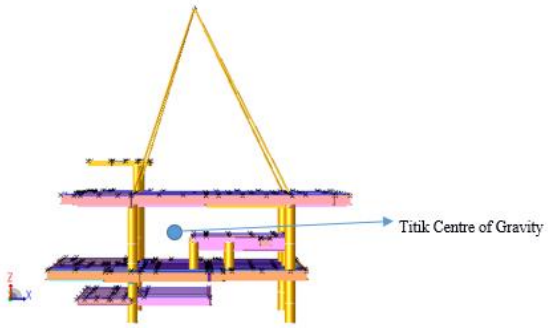
Tabel 25 Berat Struktur dan Letak Koordinat COG

Berat (kips)	X Coordinate (ft)	Y Coordinate (ft)	Z Coordinate (ft)
-1148.76	11.69	-7.89	42.50

Kondisi Balanced

Tabel 26 Posisi Hook Crane

X Coordinate (ft)	Y Coordinate (ft)	Z Coordinate (ft)
11.69	-7.89	111



Gambar 15 Tampak isometrik Konfigurasi Sling

Tabel 27 Besar sudut antara tali dengan bidang horizontal

Joint	Besar Sudut (°)
C01L	70.75
C02L	60.25
C03L	76.10
C04L	62.72

Sudut harus lebih besar dari 60 derajat dan sudah terpenuhi.

Tabel 28 Rangkuman Nilai UC terbesar

Deskripsi	Member Grup	Member	Load Comb.	UC	Load Comb.	UC
Main Deck	MD1	C03L-0208	L002	0.30	L003	0.45
Mezzanine Deck	MZ2	0770-0771	L002	1.03	L003	1.53
Cellar Deck	CD1	0540-A01L	L002	0.65	L003	0.96
Sub Cellar Deck	SC3	0400-0377	L002	0.38	L003	0.57
Deck Leg	DLA	A01L-0886	L002	0.09	L003	0.14

Pada Tabel, L002 merupakan kombinasi pembebanan dengan nilai faktor beban 1,35 dan L003 merupakan kombinasi pembebanan dengan nilai faktor beban sebesar 2,0. Berdasarkan rangkuman nilai UC pada Tabel 7.5 dapat dilihat untuk kombinasi pembebanan L002 dan L003 terdapat member yang memiliki nilai UC lebih dari satu, tetapi member tersebut bukan merupakan member yang berhubungan langsung dengan sling, sehingga berdasarkan API RP2A WSD member tersebut dianggap tidak mengalami kegagalan.

Tabel 29 Gaya pada tali sling

No	Member	Gaya (Kips)	Gaya (kN)
1	9999 – C01L	261.39	1162.72
2	9999 – C02L	106.01	471.56
3	9999 – C03L	531.00	2362.01
4	9999 – C04L	236.32	1051.20

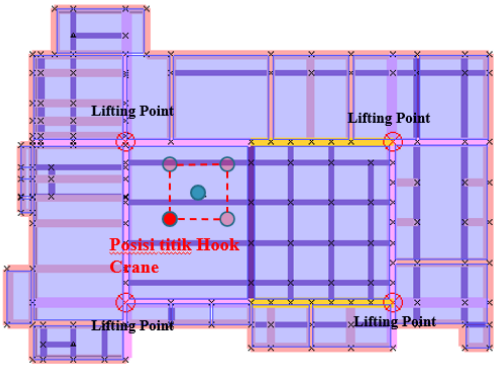
Selanjutnya akan di lakukan pemilihan tali sling, shackle dan padeye.
Dari gaya pada tali sling terbesar digunakan tali sling yang memiliki diameter sebesar 128 mm dengan nilai minimum breaking load adalah sebesar 1138 ton berdasarkan katalog milik Hendrik Veder Group.
Shackle yang digunakan harus memiliki nilai working load limit lebih besar dari 240.78 ton. Oleh karena itu, berdasarkan Gambar 7.5 dipilih shackle yang memiliki nilai working load limit adalah sebesar 400 ton dengan diameter pin 160 milimeter dengan katalog Van Beest Green Pin.
Untuk desain padeye akan digunakan property seperti pada table

Tabel 30 Properti dan dimensi padeye

Deskripsi	Variabel	Nilai
Tegangan leleh	*Fy*	50 ksi
Diameter Lubang	d_h	165 mm
Radius Lubang	r_h	85 mm
Tebal *Main Plate*	t_m	130 mm
Tebal *Cheek Plate*	t_c	45 mm
Radius *Main Plate*	r_m	272.5 mm
Radius *Cheek Plate*	r_c	220 mm
Jarak Pusat Lubang ke Dasar Padeye	L_o	462.5 mm

Kondisi *Unbalanced*

Pada kondisi ini titik sling akan bergeser sejauh 10% dari Panjang dari tiap lifting point seperti yg di gambarkan pada Gambar 16



Gambar 16 Lokasi Titik Hook Crane setelah bergeser

Di karenakan Komponen-komponen *lifting* ini masih memenuhi standar API RP2A – WSD ketika dilakukan simulasi *unbalanced loading*, yaitu ketika titik *hook crane* digeser ke titik-titik tertentu maka desain sling, shackle dan padeye yang digunakan pada kondisi *balanced* masih bisa digunakan pada kondisi *unbalanced*.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis in-place, didapatkan nilai unity check member, unity check joint punching shear, dan kapasitas pile yang telah memenuhi standar API RP2A – WSD, serta nilai defleksi yang memenuhi standar SNI – 03 – 1729 – 2000.
   1) Nilai *unity check member* maksimum hasil *analisis in-place* terjadi pada kondisi **operating kedalaman perairan minimum**, tepatnya pada member bagian ***Sub Cellar Deck*** dengan nilai **UC sebesar 0,83**. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
   2) Nilai *Load unity check joint punching shear* maksimum hasil *analisis in-place* terjadi pada kondisi **badai dengan kedalaman perairan maksimum**, tepatnya pada **joint 204L** dengan nilai **UC sebesar 0.141**. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
   3) Nilai *Strength Unity Check Joint Punching Shear* maksimum hasil *analisis in-place* terjadi pada **kondisi badai dengan kedalaman perairan maksimum**, tepatnya pada **joint**

501L dengan nilai **UC sebesar 0.820**. Nilai tersebut terlah memenuhi standar API RP2A – WSD.

4) Nilai kapasitas pile minimum hasil *analisis in-place* terjadi pada kondisi **badai dengan kedalaman maksimum**, tepatnya pada **joint 104P** dengan angka ***safety* factor 35.75**. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
5) Nilai defleksi horizontal maksimum terjadi pada kondisi **badai kedalaman minimum** yaitu sebesar **-1.674 in**. Nilai defleksi vertikal maksimum terjadi pada kondisi **badai kedalaman maksimum** yaitu sebesar **-0,322 in**. Defleksi pilehead maksimum terjadi pada kondisi **badai kedalaman minimum** yaitu sebesar **0,718 in**. Ketiga nilai defleksi tersebut telah memenuhi standar SNI – 03 – 1729 – 2000

2. Berdasarkan hasil analisis seismik, didapatkan nilai perioda natural struktur sebesar 1.93 detik.
   1) Nilai *Unity Check member* maksimum terjadi pada kondisi **gempa DLE**, tepatnya berada di lokasi **Jacket Leg** dengan nilai UC sebesar **0,65**. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
   2) Nilai ***Load UC joint can*** maksimum hasil analisis seismik terjadi pada kondisi **gempa DLE**, tepatnya pada ***joint 603L*** dengan nilai UC sebesar **0,568**. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
   3) Nilai ***Strength UC joint can*** maksimum hasil analisis seismik terjadi pada kondisi **gempa DLE**, tepatnya pada ***joint 503L*** dengan nilai UC sebesar **0,746**. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
   4) Nilai ***pile safety factor* minimum** hasil analisis seismik terjadi pada kondisi **gempa DLE**, tepatnya pada ***joint 103P*** dengan nilai safety factor sebesar **2,09**. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
3. Sd Berdasarkan hasil *analisis fatigue*, didapatkan nilai umur **servis layan minimum** sebesar **23.92 tahun**, yang terjadi pada member di jacket leg.
   1) Nilai ini terlah mempertimbangkan *safety factor* sebesar 2.00.
   2) Nilai umur servis ini lebih besar dari pada nilai masa layan (*design life)* yaitu 20 tahun
   3) Struktur tidak akan mengalami kegagalan akibat *fatigue*
4. Berdasarkan hasil analisis lifting, didapatkan konfigurasi komponen lifting yang memenuhi standar API RP2A – WSD tanpa perlu dilakukan modifikasi struktur. Spesifikasi komponen lifting yang digunakan adalah sebagai berikutSpesifikasi komponen lifting yang digunakan adalah sebagai berikut.
   1) **Tali *sling*** yang dipilih mengacu pada katalog ***Hendrik Veder Group*** dengan ***breaking load* sebesar 1138 ton** dan diameter sebesar **128 mm.**
   2) ***Shackle*** yang dipilih mengacu pada katalog milik ***Van Beest Green Pin*** dengan **diameter pin** sebesar **160 mm** dan nilai ***working load limit*** adalah sebesar **400 ton**.
   3) Desain ***padeye*** dalam satuan milimeter yang digunakan untuk proses lifting ditunjukkan di penjelasan **Bab 7 Analisis *Lifting***

Komponen-komponen ***lifting*** ini masih memenuhi standar API RP2A – WSD

ketika dilakukan simulasi ***unbalanced loading***, yaitu ketika **titik *hook crane*** digeser ke titik-titik tertentu.

SARAN

Beberapa hal yang dapat disarankan untuk pengerjaan tugas akhir yang lebih baik antara lain:

1. Pengumpulan data pembebanan perlengkapan sebaiknya lebih lengkap dan mendetail agar menyerupai kondisi pembebanan struktur yang sebenarnya.
2. Menggunakan software yang sesuai dengan kebutuhan analisis hasil analisis bisa lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

American Petroleum Institute (2002): *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design* (21 ed.), American Petroleum Institute., Washington D. C.

American Petroleum Institute (2004): *Specification for Line Pipe* (43 ed.), American Petroleum Institute, Washington, D.C.

Chakrabarti, S. K. (2005): *Handbook of Offshore Engineering*, Elsevier, Illinois, **1**.

El-Reedy, M. A. (2015): *Marine Structural Design Calculations*, Elsevier, Waltham.

Tawekal, R. L. (2017): *Catatan Kuliah KL-4120 Anjungan Lepas Pantai*, Penerbit ITB, Bandung.