

PERANCANGAN DAN ANALISIS *BOAT IMPACT* ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE *JACKET TRIPOD* DI PERAIRAN SELAT MAKASSAR

Alesha Zahira Khairunnisa¹ dan Prof. Dr. Ir. Ricky Lukman Tawekal²

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

[1alesha@students.itb.ac.id](mailto:¹alesha@students.itb.ac.id) dan [2ricky@ocean.itb.ac.id](mailto:²ricky@ocean.itb.ac.id)

ABSTRAK – Pada akhir tahun 2020, investasi pada sektor minyak dan gas di Indonesia hanya mencapai 59% dari total target sebesar US\$13.8 miliar. Meskipun tren investasi cenderung mengalami penurunan, pada tahun 2021 target investasi tetap ditargetkan untuk mencapai US\$18 miliar. Hal ini dikarenakan adanya permintaan yang besar dari masyarakat untuk produk olahan migas seperti BBM dan LPG. Tentunya, untuk meningkatkan produksi agar dapat memenuhi permintaan masyarakat akan dibutuhkan sebuah fasilitas anjungan lepas pantai yang aman dan kuat terhadap berbagai kondisi operasional dan lingkungan pada lokasi pengeboran sehingga kegiatan produksi dapat diakomodasi dengan baik. Sesuai dengan kode standar desain API RP 2A WSD 21st edition, terdapat beberapa kriteria desain yang harus dipenuhi agar suatu struktur anjungan lepas pantai dapat dinyatakan layak untuk digunakan.

Dalam tugas akhir ini, akan dilakukan pemodelan struktur anjungan lepas pantai berjenis *fixed platform* tipe *jacket tripod* di perairan Selat Makassar. Bagian dari struktur yang dimodelkan mencakup struktur utama dan *sub-struktur boat landing*. Struktur utama harus dapat memenuhi syarat kriteria analisis *in-place*, *seismic*, dan *spectral fatigue*. Sementara untuk desain *boat landing* akan dibuat berdasarkan kriteria desain berupa kedalaman perairan dan juga diuji terhadap analisis *boat impact*. Analisis *boat impact* dilakukan untuk mengetahui kapasitas *boat landing* dalam menyerap energi akibat tumbukan kapal yang merapat. Struktur *boat landing* tidak boleh mengalami keruntuhan ketika ditumbuk kapal yang merapat dan harus dapat menyerap energi kinetik akibat tumbukan kapal pada struktur. Sebagai pendekatan kondisi riil, dilakukan analisis *boat impact* pada struktur berjumlah 9 (sembilan) kasus tumbukan menggunakan kapal 1600-Ton yang memiliki kecepatan 0.5 m/s. Pembagian kasus dilakukan dengan mempertimbangkan kedalaman perairan, bagian kapal yang menumbuk, dan bagian *boat landing* yang ditumbuk struktur. Besar energi tumbukan yang terjadi akibat kapal merapat adalah sebesar 220 kJ untuk tumbukan bagian *bow* kapal dan sebesar 280 kJ untuk tumbukan bagian *broadside* kapal. Berdasarkan perhitungan, untuk kasus tumbukan kapal tersebut, besar energi yang harus diserap struktur *boat landing* adalah sebesar 199.1184 kJ untuk tumbukan bagian *bow* kapal dan sebesar 92.0656 kJ untuk tumbukan bagian *broadside* kapal. Berdasarkan hasil analisis *boat impact*, *boat landing* dinyatakan dapat menyerap energi akibat tumbukan kapal 1600-Ton ketika merapat tanpa mengalami deformasi plastis atau keruntuhan. Pengecekan kapasitas struktur *boat landing* juga dilakukan menggunakan analisis *boat impact* dan didapat kapasitas maksimum struktur untuk menyerap *central bow impact* kapal adalah sebesar 3380.3 kJ. Kemudian kapasitas maksimum struktur untuk menyerap energi *broadside impact* kapal adalah sebesar 438.50 kJ dan kapasitas maksimum struktur untuk kasus *sideway bow impact* adalah sebesar 3871.9 kJ.

ABSTRACT – By the end of 2020, investment in the oil and gas sector in Indonesia had only reached 59% of the total target of US\$13.8 billion. Although the investment trend tends to decline, in 2021 the investment target is still targeted to reach US\$18 billion. This is due to the large demand from the public for processed oil and gas products such as fuel and LPG. Of course, to increase production to meet the demands of the community, an offshore platform facility that is safe and robust against various operational and environmental conditions at the drilling site will be required so that production activities can be accommodated properly. In accordance with the API RP 2A WSD 21st edition design standard code, several design criteria must be met for an offshore platform structure to be declared suitable for use.

This final project will be carried out by modelling the structure of an offshore platform with the type of fixed platform jacket tripod in the Makassar Strait. The modelled structure includes the main structure and sub-structure of the boat landing. The main structure must be able to meet the criteria for in-place, seismic, and spectral fatigue analysis. Meanwhile, the boat landing design will be made based on a specific design criterion, where the structure elevation will be based on water depth and also tested with boat impact and collapse analysis. Boat impact analysis is carried out to determine the capacity of the boat landing to absorb energy due to the impact of the designed ship's berthing. The boat landing structure must not collapse when hit by the ship when berthed and must be able to absorb the kinetic energy of the ship when it hits the structure. As an approach to real conditions, a boat impact analysis was carried out on the structure consisted of 9 (nine) impact cases using a 1600-Ton ship with a speed of 0.5 m/s. The division of cases is carried out by taking into account the depth of the waters, the part of the ship that hit the ship, and the part of the landing boat that was pounded by the structure. The magnitude of the collision energy that occurs due to the ship docking is 220 kJ for the bow section of the ship and 280 kJ for the broadside collision of the ship. Based on the calculations, for the case of a ship collision, the amount of energy that must be absorbed by the boat landing structure is 199.1184 kJ for the collision of the bow of the ship and 92.0656 kJ for the collision of the broadside of the ship. Based on the results of the boat impact analysis, the boat landing is declared to be able to absorb energy due to the collision of a 1600-Ton ship when docked without undergoing plastic deformation or collapse. Checking the capacity of the boat landing structure was also carried out using boat impact analysis and the maximum capacity of the structure to absorb the ship's central bow impact was 3380.3 kJ. Then the maximum capacity of the structure to absorb the ship's broadside impact energy is 438.50 kJ, and the maximum capacity of the structure for the case of sideways bow impact is 3871.9 kJ.

Kata Kunci: Platform design, In-Place, Seismic, Spectral Fatigue, Boat Impact, Plastic Collapse

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Mengacu pada data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), hingga Oktober 2020, investasi pada sektor minyak dan gas (migas) hanya mencapai 59% dari target yaitu sebesar US\$ 13.8 miliar. Meskipun target untuk tahun 2020 tidak tercapai, Kementerian ESDM tetap menargetkan investasi sektor migas naik menjadi US\$ 18 miliar untuk tahun 2021. Target ini cukup mengkhawatirkan karena apabila merujuk pada data dari SKK Migas, jika dibandingkan dengan tahun 2019, produksi minyak hingga November 2020 turun 5.7% dan produksi penyaluran gas turun 7.7%. Keputusan untuk menaikkan target meskipun produksi stagnan dan cenderung *declining* setiap tahunnya, disebabkan karena terdapat permintaan yang besar dari masyarakat untuk produk olahan migas seperti BBM dan LPG. Beberapa strategi yang dapat diimplementasikan untuk meningkatkan produksi migas yaitu dengan optimasi produksi menggunakan peralatan dan metode baru, aplikasi EOR (*enhanced oil recovery*), akselerasi tahap

eksplorasi ke produksi dan melakukan *merger field*.

Tentunya, untuk menunjang implementasi dari optimasi produksi berikut eksplorasi dan eksploitasi, dibutuhkan sebuah fasilitas pendukung berupa anjungan lepas pantai yang aman dan kokoh sehingga kegiatan produksi dapat diakomodir dengan baik.

Pada tugas akhir ini, dilakukan pemodelan terhadap suatu anjungan lepas pantai tipe *jacket tripod* yang terletak di perairan Selat Makassar, tepatnya di antara pulau Kalimantan dan Sulawesi, Indonesia. Analisis awal yang dilakukan untuk menentukan kekuatan struktur adalah analisis *in-place* dan analisis *seismic*, kemudian analisis *fatigue* akan dilakukan untuk mengetahui masa layan struktur berdasarkan umur lelah komponen dari struktur. Analisis lanjutan berupa *boat impact* akan dilakukan pada sub-struktur *boat landing* untuk mengetahui kemampuan *boat landing* dalam menyerap beban *accidental* akibat tumbukan kapal yang merapat.

Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perancangan berupa pemodelan struktur anjungan lepas pantai tipe *fixed jacket platform* 3 kaki berdasarkan kondisi pembebanan dan lingkungan di lapangan dengan mengacu pada standar API RP2A-WSD.
2. Melakukan analisis *in-place*, *seismic* dan *fatigue* kepada struktur sesuai dengan API RP2A-WSD.
3. Menguji desain *boat landing* struktur anjungan lepas pantai terhadap pembebanan tumbukan kapal ketika merapat melalui analisis *static boat impact*

Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari pengerjaan Tugas Akhir ini antara lain:

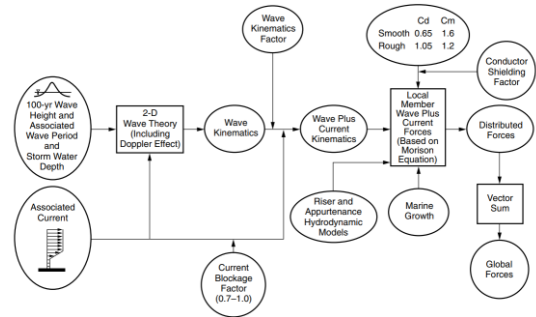
1. Melakukan pemodelan struktur anjungan lepas pantai tipe *fixed jacket platform* 3 (tiga) kaki dengan perangkat lunak SACS.
2. Melakukan analisis struktur anjungan lepas pantai tipe *fixed jacket platform* 3 (tiga) kaki berupa analisis *in-place*, *seismic*, dan *fatigue* mengacu pada standar AISC (*American Institute of Steel Construction*) dan API RP-2A WSD.
3. Melakukan desain dan analisis *boat impact* pada *boat landing* struktur anjungan lepas pantai.
4. Memastikan struktur *boat landing* dapat menyerap energi tumbukan sesuai dengan ketentuan pada API RP 2A WSD.

II. TEORI DAN METODOLOGI

Beban Lingkungan

1. Beban Gelombang

Pada kondisi kedalaman struktur, Diagram alir untuk menghitung beban gelombang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Perhitungan Gaya Gelombang

2. Beban Arus

Pada desain anjungan lepas pantai, parameter arus di setiap kedalaman umumnya disebut sebagai *current profile*. Beban arus akan diinput ke dalam program SACS sesuai dengan kedalaman dari muka air hingga satu lapisan di atas *seabed*.

3. Beban Angin

Beban angin dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

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

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

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

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

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

Dimana;

- $U(z)$ = kecepatan angin rata-rata 1 jam di elevasi z (ft/s)
- $U(z, t)$ = kecepatan angin desain (ft/s)
- U_0 = kecepatan angin rata-rata di elevasi acuan 10 meter ~ 32.8 ft (ft/s)
- z = elevasi tinjauan (dihitung dari MSL atau + 00.00)
- $I_u(z)$ = Intensitas turbulensi
- ρ = Massa jenis udara (kg/m^3),
- F = gaya angin (N),
- u = Kecepatan angin (m/s),
- C_s = Koefisien bentuk,
- A = Luas penampang (m^2).

Analisis Struktur

1. Analisis In-place

Analisis in-place merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari elemen-elemen pada struktur anjungan lepas pantai, pembebanan yang terjadi pada struktur, respon struktur terhadap pembebanan, dan kekuatan sambungan untuk menahan punching shear (Tawekal:2017,45).

Berdasarkan API RP 2A WSD, pengecekan pada analisis in-place dilakukan pada *unity check member* dan *joint can*, kapasitas *pile*, dan defleksi horizontal, vertikal pada *topside*. Perhitungan *unity check member* dapat diketahui melalui persamaan,

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

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

Apabila member memiliki nilai $\frac{f_a}{F_a} \leq 0,15$, maka, UC dapat dihitung menggunakan persamaan berikut,

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

Perhitungan untuk mengetahui nilai UC dari *single pile overload analysis* dilakukan menggunakan persamaan berikut,

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

Dimana;

- f_a = Axial loading (kips)
- F_a = Allowable axial stress (ksi)
- C_m = Reduction factor
- f_{bx} = X axis bending moment (kips-ft)
- f_{by} = Y axis bending moment (kips-ft)
- K = effective length factor
- E = Elastic modulus (ksi)
- I = Moment of Inertia (ft⁴)
- F_b = Allowable bending stress (ksi)
- F_y = Yeild Strength (ksi)
- F_{xc} = Inelastic local buckling stress (ksi)

- P = Non-linear analysis axial loading
- A = Cross-sectional area (ft²)
- M = Non-linear bending moment (kips-ft)
- Z = Plastic sectional modulus (ft³)

Joint Punching Shear merupakan sebuah analisis terhadap bagian dari struktur anjungan lepas pantai yang menerima beban geser yang besar. Pengecekan dari *joint punching shear* dilakukan terhadap nilai tegangan ketika joint menerima pembebanan atau disebut *Load UC* dan tegangan ketika *brace member* menerima pembebanan dari 50% *yield stress* atau disebut *Strength UC*. Perhitungan untuk mengetahui nilai *Strength UC* adalah sebagai berikut:

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

Dimana;

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

Pengecekan terhadap *Pile Capacity* dilakukan untuk mengetahui kapasitas atau kemampuan dari pile untuk menahan beban aksial dan momen lentur. Berdasarkan standar API RP-2A WSD 21st edition, *Safety Factor* minimum yang diperbolehkan untuk sebuah struktur adalah 2 untuk kondisi operasi dan 1.5 untuk kondisi badai.

Pemeriksaan defleksi pada analisis in-place dilakukan terhadap *pilehead* dengan arah vertikal dan terhadap deck untuk arah horizontal dan vertikal. Pemeriksaan ini dilakukan dengan mengacu pada standar SNI 03-1729-2000 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung. Pehitungan dari defleksi vertikal, horizontal dan *pilehead* harus memenuhi persamaan sebagai berikut

$$\delta_{\text{vertikal}} \leq \frac{h}{200}$$

$$\delta_{\text{horizontak}} \leq \frac{L}{100}$$

$$\delta_{\text{pileheadmax}} \leq \frac{OD}{10}$$

Dimana;

- $\delta_{vertical}$ = Defleksi *vertical*
- $\delta_{horizontal}$ = Defleksi *Horizontal*
- $\delta_{pilehead}$ = Defleksi *pilehead*
- h = Jarak horizontal (SPAN) *joint* dengan *joint reference*
- L = Jarak vertikal antara *acting joint* dengan *joint reference*
- OD = Diameter luar tiang pancang

2. Analisis Seismic

Analisis *seismic* adalah analisis dinamik struktur yang meninjau ketahanan akibat beban gempa yang terjadi pada anjungan lepas pantai di kondisi operasional. Pada analisis *seismic*, hal-hal yang ditinjau termasuk *joint punching shear*, *unity check* member. Pada desain struktur anjungan lepas pantai ini, beban gempa yang dimodelkan terdiri dari dua macam yaitu *Strength Level Earthquake* (SLE) dengan perioda ulang 475 tahunan. *Rare Intense Earthquake* (RIE) dengan perioda ulang 2000 tahunan. Percepatan tanah untuk kondisi SLE adalah sebesar 0.10g dan percepatan tanah untuk kondisi RIE adalah 0.18g. Dengan mengacu pada standar API RP 2A WSD, terdapat tahapan yang dilakukan untuk analisis *seismic* yaitu,

1. Linearisasi fondasi tiang pancang,
2. Analisis statik,
3. Analisis dinamik (*extract mode shapes*),
4. Analisis gempa (*spectral earthquake*)
5. *Post processing*.

Untuk faktor tegangan izin atau AMOD pada analisis *seismic* bernilai 1.7 untuk peninjauan rasio tegangan dari member.

3. Analisis Spectral Fatigue

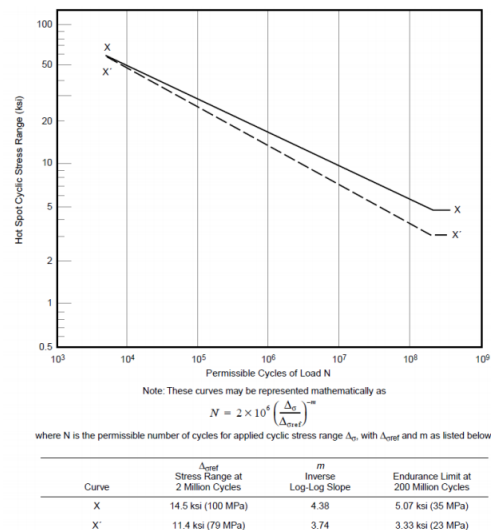
Analisis *fatigue* merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui kekuatan struktur terhadap beban siklik. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk menentukan sisa masa layan dari sambungan elemen struktur. Pendekatan analisis *fatigue* yang paling umum digunakan adalah pendekatan *spectral fatigue analysis* pendekatan terhadap *fatigue* dilakukan menggunakan nilai *stress concentration factor* (SCF) yang merupakan rasio tegangan pada daerah *hotspot stress* dengan *nominal stress range*.

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

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

Dimana;

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



Gambar 2 Kurva S-N

Batas jumlah kejadian beban siklik untuk analisis *fatigue* dinyatakan dalam kurva S-N. Kurva S-N sendiri adalah karakteristik *fatigue* yang umum digunakan dari suatu bahan yang mengalami tegangan berulang dengan besar yang sama. N merupakan jumlah siklus tegangan dari S yang dapat mengakibatkan kegagalan. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui *allowable stress* menggunakan kurva S-N adalah sebagai berikut,

$$allowable\ stress = S_o \times \left(\frac{t}{t_o}\right)^{-0.25}$$

Dimana;

- S_O = Allowable stress dari kurva S-N (s)
- t_w = Limit ketebalan branch (in)
- t = ketebalan branch member (in).

Untuk mengetahui nilai *damage* akibat beban berulang dapat dihitung menggunakan hukum *Plamgren—Miner* seperti pada persamaan,

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

Dimana;

- D = *damage* (kerusakan);
- i = indeks kelas gelombang.
- I = Jumlah kelas gelombang,
- n_i = Jumlah siklus kelas gelombang ke- i ;
- N_i = Jumlah siklus kelas gelombang ke- i yang diizinkan.

Perhitungan untuk mengetahui *fatigue damage* untuk setiap tinggi dan periode gelombang dihitung menggunakan persamaan berikut,

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

Dimana;

- $D_{i,\sigma_{rms}}$ = *Fatigue damage*
- $N_{i,\sigma_{rms}}$ = Jumlah kejadian yang menghasilkan keruntuhan
- $p_{\sigma_{RMS}}$ = Probabilitas spektrum untuk suatu stress range

Berdasarkan API RP 2A-WSD *service life* untuk struktur anjungan lepas pantai harus lebih besar dari pada hasil perhitungan umur layan dikali dengan *safety factor*

4. Analisis Boat Impact

Analisis *boat impact* merupakan analisis yang mempelajari *impact* atau dampak dari tumbukan suatu kapal ketika sedang merapat

dengan sub-struktur *boat landing*. Menurut API RP 2A WSD 21st edition cakupan dari analisis ini idealnya dilakukan terhadap seluruh zona tumbukan. Kerangka utama sub-struktur *boat landing* harus didesain untuk dapat mengabsorpsi energi selama tumbukan. Deformasi permanen member mungkin diizinkan dalam beberapa kasus tumbukan.

Berdasarkan API RP 2A WSD, sebuah struktur anjungan lepas pantai dapat menyerap energi *impact* akibat hal-hal sebagai berikut:

1. Deformasi plastis lokal dari *member tubular*;
2. Kelenturan elastis/plastis dari *member*;
3. *Fendering* (jika ada);
4. Deformasi global struktur; dan
5. Deformasi dan rotasi kapal.

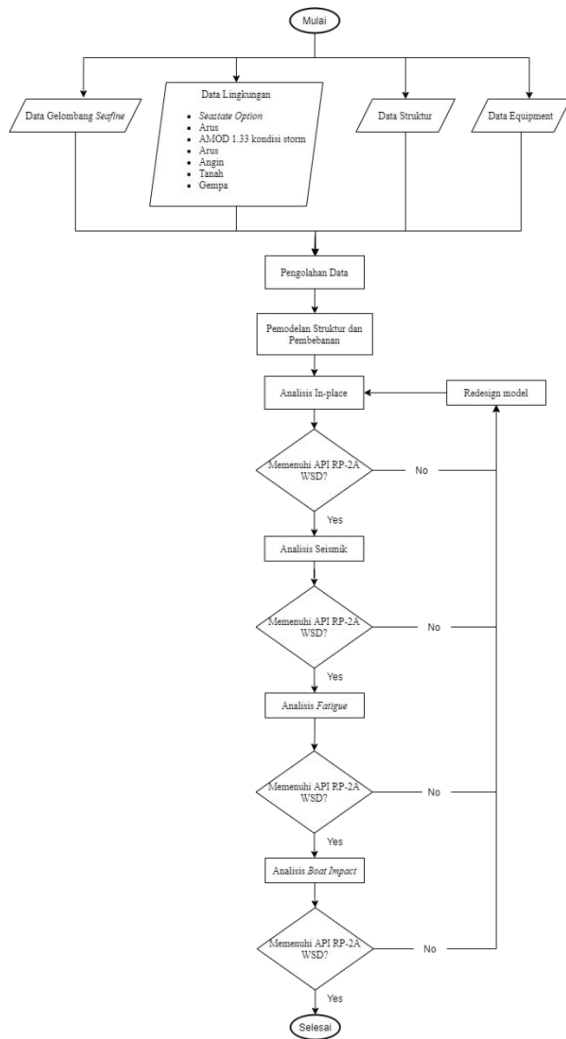
Berdasarkan API RP 2A WSD, total energi kinetik yang terjadi akibat tumbukan kapal dapat dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$E = \frac{1}{2} \cdot a \cdot m \cdot v^2$$

- E_a = Energi kinetik akibat tumbukan kapal (N)
- a = Koefisien massa tambah (1.1 untuk tumbukan *bow* atau *stern*, 1.4 untuk tumbukan *broadside*)
- m = massa kapal (ton)
- v = kecepatan kapal saat tumbukan (m/s)

Metodologi

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



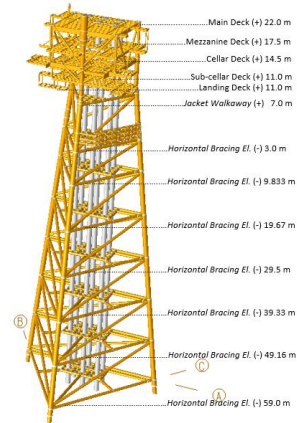
Gambar 3 Metodologi

III. PEMODELAN

Dalam tugas akhir ini akan dimodelkan struktur anjungan lepas pantai tipe *fixed jacket platform* dengan lokasi di Selat Makassar. Datum yang digunakan pada struktur adalah *mean sea level* (MSL) dengan kedalaman perairan 60.5 m. Struktur ini memiliki total 6 konduktor dengan diameter 110 cm dan memiliki 8 frame arah horizontal dengan datum MSL pada El. (+) 7 m *jacket walkaway*, El. (-) -3. m, El. (-) -9.833 m, El. (-) -19.67 m, El. (-) -29.5 m, El. (-) -39.33 m, El. (-) -49.167 m, dan El. (-) 59 m atau *mudline*. Elevasi dek pada *topside* struktur dengan datum MSL adalah sebagai berikut:

1. *Main deck* = (+) 22.0 m
2. *Mezzanine deck* = (+) 17.5 m
3. *Cellar Deck* = (+) 14.5 m
4. *Sub-cellar Deck* = (+) 11.0 m
5. *Landing Deck* = (+) 8.5 m

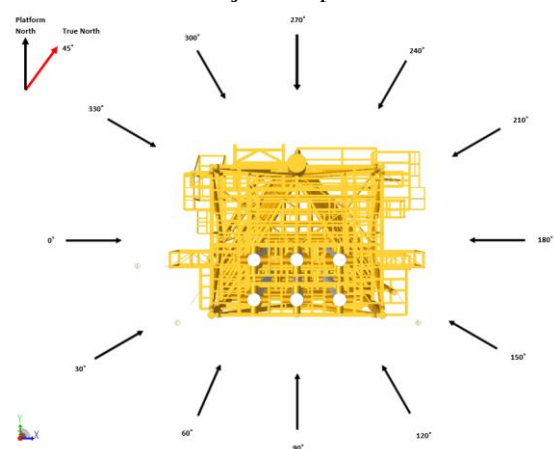
Struktur dimodelkan dengan ketiga kaki diberikan kemiringan *single batter*, dengan perbandingan $\frac{Rise}{Run} = 8$ untuk arah X pada dua kaki di depan dan perbandingan $\frac{Rise}{Run} = 7$ untuk arah Y pada 1 kaki di belakang. Desain struktur secara umum dapat dilihat pada Gambar 4,



Gambar 4 Ilustrasi pemodelan struktur dan visualisasi platform

Struktur anjungan lepas pantai ini membentuk sudut sebesar 45° dengan true north berlawanan dengan arah jarum jam. Menurut API RP2A-WSD arah beban lingkungan yang diaplikasikan pada struktur ditentukan berdasarkan bentuk *base* dari struktur *jacket* dan juga jumlah kaki. Khusus untuk struktur dengan jumlah kaki 3 (tiga), pembebanan dilakukan minimum pada 12 arah mata angin.

Ilustrasi dari arah mata angin yang digunakan untuk analisis ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Ilustrasi Mata Angin

Data kedalaman perairan yang digunakan untuk analisis ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kedalaman Perairan selat Makassar

Deskripsi	Kondisi (Datum pada MSL)	
	Operating 1 Tahunan	Ekstrim (storm) 100 Tahunan
Kedalaman Perairan (d)	60.5 m	60.5 m
Lowest Astronomical Tide (LAT)	(-) 0.92 m	
Highest Astronomical Tide (HAT)	(+) 1.06 m	
Storm Surge	(-) 0.24 m	(-) 0.29 m
	(+) 0.26 m	(+) 0.34 m
Minimum Water Depth	59.34 m	59.29 m
Maximum Water Depth	61.82 m	61.90 m
Fatigue Analysis	60.5 m	60.5 m

Data gelombang yang digunakan untuk analisis *inplace* ditunjukkan pada Tabel 2,

Tabel 2 Tinggi dan Periode Gelombang untuk Analisis In-Place

Deskripsi	Kondisi (Datum pada MSL)	
	Operating 1 tahunan	Ekstrim (storm) 100 tahunan
Tinggi Gelombang Maksimum (m)	4.1	6.2
Periode Gelombang (s)	8	9.4

Data arus yang digunakan untuk pemodelan adalah kecepatan arus untuk kondisi operasi (1 tahun-an) dan kondisi ekstrim badai (100 tahun-an). Kecepatan arus akan dibagi menjadi beberapa lapisan mencakup lapisan permukaan air, lapisan tengah kedalaman, dan satu lapisan di-atas *seabed*. Data arus dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Data Kecepatan Arus

Percent of Depth (%) From Seabed	Kecepatan Arus (m/s)	
	Operating 1 tahunan	Ekstrim (storm) 100 tahunan
100	1.6	1.9
90	1.568	1.862
80	1.53664	1.82476
70	1.5059072	1.7882648
60	1.5	1.734616856
50	1.460729984	1.7
40	1.44	1.632
30	1.368	1.5504
20	1.28592	1.457376
10	1.157328	1.3116384
0	0.9	1.1

Parameter kecepatan angin yang digunakan untuk analisis adalah parameter angin 1-jam-an *omnidirectional* untuk kondisi operasi dan badai. Data angin dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Kecepatan Angin

Deskripsi	Omnidirectional	
	Operating 1 tahunan	Ekstrim (storm) 100 tahunan
1-hour mean wind speed (m/s)	11.8	15.4
10-minutes mean wind speed (m/s)	13	16.9
1-minutes mean wind speed (m/s)	25.4	20.1
3-second gust wind speed (m/s)	17.1	22.3

Data *marine growth* yang digunakan mencakup parameter untuk tebal *marine growth* dan densitas. Data *marine growth* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Data Marine Growth

Elevasi (m)	Tebal <i>marine growth</i> (mm)	Densitas <i>marine growth</i> (kg/m ²)
El (+) 2.0 s.d. (-) 15	100	1400
(-) 15 s.d. (-) 30	50	1400
(-) 30 s.d. <i>mudline</i>	25	1400

Pada desain struktur anjungan lepas pantai ini, data yang tersedia adalah nilai spectral design untuk *Strength Level Earthquake* dan *Rare Intense Earthquake*. Data untuk analisis *seismic* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Data Gempa Seismic

Period (s)	Strength Level Earthquake (PGA = 0.10 g)	Rare Intense Earthquake (PGA = 0.18 g)
0.01	0.1	0.18
0.2	0.23	0.43
0.5	0.16	0.31
1	0.1	0.2
2	0.066	0.120
5	0.014	0.027

Elevasi deck paling rendah akan ditentukan melalui persamaan berikut:

$$\text{Elevasi minimum} = \text{HAT} + \text{SS} + \frac{H}{2} + \text{Free Board}$$

$$\text{Elevasi minimum} = 1.06 + 0.34 + \frac{6.2}{2} + 1.524$$

$$\text{Elevasi minimum} = 6.024 \text{ m}$$

Profil member akan dibagi menjadi 3 sub kategori, yaitu profil *member topside*, profil *member jacket*, dan profil *member penunjang*. Data profil dari struktur anjungan lepas pantai dimodelkan berdasarkan standar AISC (2015) dan dapat dilihat pada Tabel 7 s.d.

Tabel 11.

Tabel 7 Profil Member Topside

No	Kode	Jenis	Ukuran	Lokasi Member
1	UB2	Wide Flange	UB 253 x 146 x 43	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
2	UB3	Wide Flange	UB 356 x 171 x 67	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
3	UB4	Wide Flange	UB 457 x 191 x 161	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
4	UB5	Wide Flange	UB 533 x 210 x 92	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
5	UB6	Wide Flange	UB 686 x 254 x 170	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
6	UB7	Wide Flange	UB 762 x 267 x 197	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
7	UB8	Wide Flange	UB 838 x 292 x 176	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
8	UB9	Wide Flange	UB 914 x 305 x 576	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
9	VB1	Tubular	60.00 cm x 2.54 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
10	VB2	Tubular	40.64 cm x 1.27 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
11	VB3	Tubular	27.31 cm x 1.27 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck

Tabel 8 Profil Member Topside (Lanjutan)

No	Kode	Jenis	Ukuran	Lokasi Member
12	VB4	Tubular	16.83 cm x 0.71 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
13	VB5	Tubular	11.41 cm x 0.60 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
14	L6	Angle	L6 x 6 x 0.5	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
15	H100	Flange	H100 x 100 x 6	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
16	C25	Channel	C250 x 90 x9	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
17	CPL	Tubular	150 cm x 3.81 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
18	CN1	Cone	91.4 cm x 2.5 cm 60 cm x 2.5 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
19	CN2	Cone	150 cm x 3.81 cm 91.4 cm x 3.81 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
20	DLG	Tubular	91.4 cm x 3.81 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
21	DGD	Tubular	40.64 cm x 1.27 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
22	DHB	Tubular	21.91 cm x 0.82 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
23	CGD	Tubular	60.99 cm x 3.81 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
24	JW	Tubular	45.72 cm x 1.6 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck

Tabel 9 Profil Member Jacket

No	Kode	Jenis	Ukuran	Lokasi Member
1	LG2	Tubular	110 cm x 4.8 cm	Leg
2	LG3	Tubular	110 cm x 4.8 cm	Leg
3	LG4	Tubular	110 cm x 4.8 cm	Leg
4	LG5	Tubular	110 cm x 4.8 cm	Leg
5	LG6	Tubular	110 cm x 4.8 cm	Leg
6	LG7	Tubular	110 cm x 4.8 cm	Leg
7	LG8	Tubular	110 cm x 4.8 cm	Leg
8	LG9	Tubular	110 cm x 4.8 cm	Leg
9	LGB	Tubular	110 cm x 4.8 cm	Leg
10	LGS	Tubular	109.36 cm x 4.48 cm	Leg
11	PL1	Tubular	91.4 cm x 4.445 cm	Pile
12	PL2	Tubular	91.4 cm x 4.445 cm	Pile
13	PL3	Tubular	91.4 cm x 4.445 cm	Pile
14	PL4	Tubular	91.4 cm x 4.445 cm	Pile
15	PL5	Tubular	91.4 cm x 4.445 cm	Pile
16	PL6	Tubular	91.4 cm x 4.445 cm	Pile
17	PL7	Tubular	91.4 cm x 4.445 cm	Pile

Tabel 10 Profil Member pada Jacket (Lanjutan)

No	Kode	Jenis	Ketebalan	Lokasi Member
18	PL8	Tubular	91.4 cm x 4.445 cm	Pile
19	PL9	Tubular	91.4 cm x 4.445 cm	Pile
20	PLA	Tubular	91.4 cm x 4.445 cm	Pile
21	DGJ	Diagonal Brace	71.12 cm x 3.175 cm	Diagonal Brace
22	DGS	Diagonal Brace	70.49 cm x 2.858 cm	Diagonal Brace
23	HOR	Horizontal Brace	61 cm x 3.175 cm	Horizontal Brace
24	MDM	Mudmat	61 cm x 3.175 cm	Mudmat
25	BOA	Tubular	45.72 cm x 2.54 cm	Boatlanding
26	BOB	Tubular	25.4 cm x 2.54 cm	Boatlanding
27	CG	Tubular	60.99 cm x 3.81 cm	Conductor Guide

Tabel 11 Profil Member Penunjang

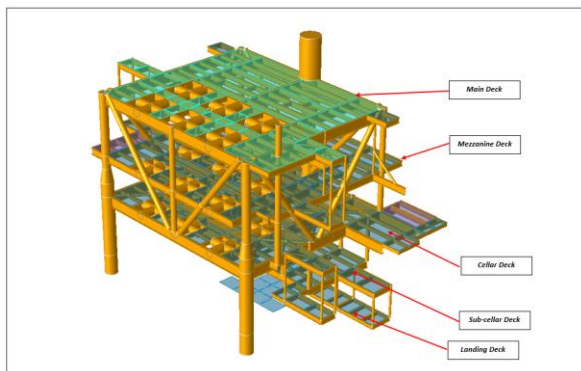
No	Kode	Jenis	Ketebalan	Lokasi Member
1	LDP	Pelat	2.52 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
2	MDP	Pelat	2.52 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck
3	PLT	Pelat	2.52 cm	Main Deck, Mezzanine Deck, Cellar Deck, Subcellar Deck

Ilustrasi dari tampilan isometrik struktur dan elevasi penting ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Tampilan Isometrik Struktur dan Elevasi Penting

Illustrasi dari pemodelan topside struktur adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Pemodelan Topside

IV. HASIL ANALISIS

Analisis In-Place

Sesuai dengan standar API RP 2A-WSD, nilai UC maksimum yang diizinkan untuk kondisi *operating* adalah sebesar 1 dan untuk kondisi *storm* sebesar 1.1. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini nilai UC kritis kondisi *operating* ada pada rentang $0.9 < UC < 1$ dan rentang untuk kondisi *storm* adalah $0.9 < UC < 1.1$. Nilai *unity check member* untuk kondisi operasi dapat dilihat pada Tabel 12 dan untuk kondisi badai dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 12 Unity Check Member Kondisi Operasi

No	Lokasi Member	Code	Maximum Operating			Minimum Operating		
			Critical Member	Load Combination	Max UC	Critical Member	Load Combination	Max UC
1	Deck Beam	C25	6190-6192	204	0.89	6190-6192	104	0.89
2	Conductor Guide Jacker	CG	2410-0161	210	0.66	2410-0161	110	0.71
3	Conductor Guide Deck	CGD	B45C-8128	212	0.43	B45C-8128	112	0.43
4	Vertical Deck Bracing (Cone-shaped)	CN1	L207-1008	209	0.34	L207-1008	109	0.35
5		CN2	L656-L655	202	0.71	L656-L655	102	0.71
6	Crown Pedestal Leg	CPL	8043-L058	209	0.8	8043-L058	106	0.8
7	Deck Diagonal Bracing	DGD	7506-8010	204	0.89	7506-8010	104	0.89
8	Jacker Diagonal Bracing	DG1	202L-301L	201	0.37	202L-301L	101	0.4
9	Jacker Diagonal Bracing (Splash Zone)	DGS	901L-803L	209	0.27	901L-803L	109	0.29
10	Deck Horizontal Bracing	DHB	6136-6254	209	0.34	6136-6254	109	0.35
11	Deck Leg	DLO	803L-L490	204	0.73	803L-L490	105	0.72
12	Deck Beam	H10	6185-6183	210	0.18	6185-6183	110	0.18
13	Jacker Horizontal Bracing	HOR	801L-0563	212	0.42	801L-0563	111	0.43
14	Jacker Walkway	JW	0150-903L	204	0.17	0150-903L	104	0.17
15	Deck Beam	L6	8020-8012	206	0.3	8020-8012	106	0.3
16		LQ2	103L-203L	204	0.41	103L-203L	104	0.45
17		LQ3	203L-303L	210	0.37	203L-303L	104	0.38
18		LQ4	303L-403L	210	0.1	303L-403L	110	0.11
19	Jacker Leg	LQ5	403L-503L	210	0.17	403L-503L	110	0.18
20		LQ6	503L-603L	210	0.21	503L-603L	110	0.22
21		LQ7	603L-703L	210	0.27	603L-703L	110	0.28
22		LQ8	703L-803L	210	0.33	703L-803L	110	0.34
23	Jacker Leg	LQ9	0142-903L	210	0.46	0142-903L	110	0.46
24		LQB	803L-0144	210	0.4	803L-0144	110	0.41
25	Jacker Leg (Splash Zone)	LQS	0144-0142	210	0.41	0144-0142	110	0.43
26	Modem	MDM	0202-0315	210	0.69	0202-0315	110	0.74
27		PL1	003P-103P	204	0.69	003P-103P	104	0.83
28		PL2	103P-203P	204	0.68	103P-203P	104	0.81
29		PL3	203P-303P	204	0.69	203P-303P	104	0.83
30		PL4	303P-403P	204	0.57	303P-403P	104	0.67
31		PL5	403P-503P	204	0.52	403P-503P	104	0.61
32		PL6	503P-603P	204	0.51	503P-603P	104	0.6
33		PL7	603P-703P	204	0.51	603P-703P	104	0.6
34		PL8	703P-803P	204	0.49	703P-803P	104	0.58
35		PL9	803P-903P	204	0.52	803P-903P	104	0.6
36		PLA	A03L-B03L	204	0.45	903P-A03L	104	0.53
37		UB2	7086-7073	212	0.84	7086-7073	112	0.94
38		UB3	6098-6258	212	0.89	6098-6258	102	0.89
39	Deck Beam	UB4	7125-7067	202	0.57	7125-7067	102	0.57
40		UB5	6153-6156	205	0.2	6153-6156	108	0.21
41		UB6	6173-6164	204	0.77	6173-6164	104	0.77
42		UB7	6167-6127	210	0.65	6167-6127	110	0.66
43		UB9	8041-8043	204	0.55	8041-8043	104	0.55
44	Vertical Deck Bracing	VB1	L008-8054	203	0.56	L008-8054	103	0.56
45		VB2	6173-7083	204	0.82	6173-7083	104	0.93
46	Vertical Deck Bracing	VB3	5004-6107	210	0.53	5004-6107	110	0.54
47		VB4	7102-8062	209	0.74	7102-8062	109	0.75
48		VB5	5025-6261	205	0.27	5025-6261	105	0.27

Tabel 13 Unity Check Member Kondisi Badai

No	Lokasi Member	Code	Maximum Storm			Minimum Storm		
			Critical Member	Load Combination	Max UC	Critical Member	Load Combination	Max UC
1	Deck Beam	C25	6190-6192	404	0.55	6190-6192	304	0.55
2	Conductor Guide Jacker	CG	0152-244C	410	0.8	0152-244C	310	0.81
3	Conductor Guide Deck	CGD	0021-6062	410	0.29	0021-6062	310	0.29
4	Vertical Deck Bracing (Cone-shaped)	CN1	L007-1008	410	0.29	L003-L004	311	0.28
5		CN2	L656-L655	404	0.27	L656-L655	304	0.27
6	Crown Pedestal Leg	CPL	L656-8043	404	0.17	L656-8043	304	0.18
7	Deck Diagonal Bracing	DGD	7507-8045	404	0.59	7507-8045	304	0.6
8	Jacker Diagonal Bracing	DG1	202L-301L	403	0.53	202L-301L	303	0.56
9	Jacker Diagonal Bracing (Splash Zone)	DGS	901L-803L	409	0.29	901L-803L	309	0.3
10	Deck Horizontal Bracing	DHB	6255-6106	411	0.52	6255-6106	311	0.51
11	Deck Leg	DLO	7304-6160	404	0.7	7304-6160	304	0.69
12	Deck Beam	H10	6185-6183	410	0.12	6185-6183	310	0.12
13	Jacker Horizontal Bracing	HOR	0213-0214	410	0.45	801L-0563	312	0.44
14	Jacker Walkway	JW	0150-903L	404	0.21	0150-903L	304	0.2
15	Deck Beam	L6	8020-8012	410	0.17	8020-8012	310	0.17
16		LQ2	103L-203L	404	0.53	103L-203L	304	0.52
17		LQ3	203L-303L	410	0.47	203L-303L	310	0.48
18		LQ4	303L-403L	410	0.13	303L-403L	310	0.14
19	Jacker Leg	LQ5	403L-503L	410	0.19	403L-503L	310	0.2
20		LQ6	503L-603L	410	0.24	503L-603L	310	0.25
21		LQ7	603L-703L	410	0.31	603L-703L	310	0.32
22		LQ8	703L-803L	410	0.38	703L-803L	310	0.39
23	Jacker Leg	LQ9	0142-903L	410	0.52	0142-903L	310	0.52
24		LQB	803L-0144	410	0.45	803L-0144	310	0.47
25	Jacker Leg (Splash Zone)	LQS	0144-0142	410	0.46	0144-0142	310	0.48
26	Modem	MDM	0202-0315	410	0.87	0202-0315	310	0.88
27		PL1	003P-103P	404	0.88	003P-103P	304	0.83
28		PL2	103P-203P	404	0.81	103P-203P	304	0.81
29		PL3	203P-303P	404	0.86	203P-303P	304	0.75
30		PL4	303P-403P	404	0.71	303P-403P	304	0.63
31		PL5	403P-503P	404	0.64	403P-503P	304	0.57
32		PL6	503P-603P	404	0.63	503P-603P	304	0.57
33		PL7	603P-703P	404	0.63	603P-703P	304	0.56
34		PL8	703P-803P	404	0.62	703P-803P	304	0.56
35		PL9	803P-903P	404	0.66	803P-903P	304	0.59
36		PLA	903P-A03L	404	0.6	903P-A03L	304	0.53
37		UB2	7071-7076	410	0.52	7071-7076	309	0.51
38		UB3	6098-6258	404	0.7	8103-8111	310	0.58
39	Deck Beam	UB4	7000-7001	411	0.56	7000-7001	311	0.54
40		UB5	6153-6156	404	0.16	6153-6156	304	0.17
41		UB6	6062-6065	410	0.63	6062-6065	310	0.62
42		UB7	6000-6016	412	0.86	6000-6016	312	0.83
43		UB9	6171-6160	404	0.43	6171-6160	304	0.43
44	Vertical Deck Bracing	VB1	7000-8001	411	0.4	7000-8001	311	0.39
45		VB2	6173-7083	404	0.52	6173-7083	304	0.52
46	Vertical Deck Bracing	VB3	5004-6107	410	0.48	5004-6107	310	0.47
47		VB4	7102-8062	410	0.51	7102-8062	310	0.49
48		VB5	5025-6261	404	0.19	5025-6261	304	0.19

Hasil pengecekan *unity check joint* can dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14 Unity Check Joint Can In-Place

No	Joint	Operating - Maximum Depth				Max Allowable UC	Lokasi (m)	No	Joint	Operating - Minimum Depth				Max Allowable UC	Lokasi (m)
		Load UC	Strength UC	Load Combination	UC					Load UC	Strength UC	Load Combination	UC		
1	903L	0.154	0.854	210	1	7	1	903L	0.151	0.854	210	1	7	1	903L
2	803L	0.212	0.854	205	1	-3	2	802L	0.209	0.855	105	1	-3	2	802L
3	703L	0.197	0.876	210	1	-9.833	3	703L	0.202	0.879	110	1	-9.833	3	703L
4	603L	0.266	0.887	207	1	-19.667	4	602L	0.278	0.887	107	1	-19.667	4	602L
5	503L	0.265	0.885	207	1	-29.5	5	502L	0.276	0.885	107	1	-29.5	5	502L
6	403L	0.349	0.837	207	1	-39.33	6	402L	0.259	0.835	107	1	-39.33	6	402L
7	303L	0.26	0.882	207	1	-49.167	7	302L	0.269	0.882	107	1	-49.167	7	302L
8	203L	0.193	0.961	212	1	-59	8	202L	0.207	0.962	112	1	-59	8	202L

No	Joint	Storm - Maximum Depth				Max Allowable UC	Lokasi (m)	No	Joint	Storm - Minimum Depth				Max Allowable UC	Lokasi (m)
		Load UC	Strength UC	Load Combination	UC					Load UC	Strength UC	Load Combination	UC		
1	903L	0.164	0.951	410	1	7	1	903L	0.158	0.955	310	1	7	1	903L
2	803L	0.237	0.959	404	1	-3	2	802L	0.238	0.942	304	1	-3	2	802L
3	703L	0.227	0.975	410	1	-9.833	3	703L	0.228	0.981	310	1	-9.833	3	703L
4	603L	0.257	0.933	410	1	-19.667	4	603L	0.269	0.938	310	1	-19.667	4	603L
5	503L	0.265	0.988	410	1	-29.5	5	503L	0.279	0.992	310	1	-29.5	5	503L
6	403L	0.294	0.778	406	1	-39.33	6	401L	0.306	0.772	306	1	-39.33	6	401L
7	303L	0.321	0.774	410	1	-49.167	7	301L	0.338	0.774	310	1	-49.167	7	301L
8	203L	0.238	0.982	412	1	-59	8	202L	0.26	0.986	312	1	-59	8	202L

Berdasarkan pengecekan kapasitas tiang pancang, berikut nilai kapasitas tiang pancang setiap kondisi dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15 Kapasitas Pile In-Place

Operating - Maximum Depth									
Joint	Compression				Tension				Min. SF
	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	Load Comb.	SF	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	Load Comb.	SF	
001P	-26940.8	-6723.9	208	4.01	27100	2068.1	202	13.10	2
002P	-26940.8	-7129.9	212	3.78	27100	1939.8	206	13.97	2
003P	-26887.6	-11900.1	204	2.26	27047	3062.1	210	8.83	2

Operating - Minimum Depth									
Joint	Compression				Tension				Min. SF
	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	Load Comb.	SF	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	Load Comb.	SF	
001P	-26940.8	-6329	107	4.26	27100	2113.1	102	12.82	2
002P	-26940.8	-7117.7	112	3.79	27100	2062.1	106	13.14	2
003P	-26887.6	-12091.7	104	2.22	27047	3233.2	110	8.37	2

Storm - Maximum Depth									
Joint	Compression				Tension				Min. SF
	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	Load Comb.	SF	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	Load Comb.	SF	
001P	-26940.8	-9378.5	408	2.87	27100	5614	402	4.83	1.5
002P	-26940.8	-10162.7	412	2.65	27100	5612.6	406	4.83	1.5
003P	-26887.6	-16811.2	404	1.60	27047	9444.3	410	2.86	1.5

Storm - Minimum Depth									
Joint	Compression				Tension				Min. SF
	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	Load Comb.	SF	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	Load Comb.	SF	
001P	-26940.8	-9974.6	308	2.70	27100	5608.1	302	4.83	1.5
002P	-26940.8	-10757.5	312	2.50	27100	5709.9	306	4.75	1.5
003P	-26887.6	-17323.8	304	1.55	27047	9539.9	310	2.84	1.5

Pengecekan terhadap defleksi dilakukan dengan mangacu pada API RP 2A WSD. Hasil pengecekan defleksi horizontal dan vertikal dapat dilihat pada Tabel 16 sampai Tabel 23. Hasil pengecekan defleksi pilehad dapat dilihat pada Tabel 24.

Tabel 16 Defleksi Horizontal Minimum Operating

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

Tabel 17 Defleksi Horizontal Maximum Operating

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

Tabel 18 Defleksi Horizontal Minimum Storm

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

Tabel 19 Defleksi Horizontal Maximum Storm

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

Tabel 20 Defleksi Vertikal Minimum Operating

Lokasi Joint	LC	Joint	Defleksi Joint (cm)	Ref. Joint	Def Ref. Joint (cm)	SPAN (m)	Defleksi (cm)	
							Relatif	Izin
Main deck	103	8154	-4.052	8155	-3.9003	1.2	0.1517	0.6
Mezzanine Deck	109	7100	-3.853	7098	-3.765	1.2	0.088	0.6
Cellar Deck	103	6182	-5.839	6186	-5.4036	1.1	0.4354	0.55
Sub-Cellar Deck	103	5096	-4.814	5097	-4.5418	1.65	0.2722	0.825

Tabel 21 Defleksi Vertikal Maximum Operating

Deck	LC	Joint	Defleksi Joint (cm)	Referensi Joint	Def Ref. Joint (cm)	SPAN (m)	Defleksi	
							Relatif	Izin
Main deck	203	8154	-3.741	8155	-3.6131	1.2	0.1279	0.6
Mezzanine Deck	209	7100	-3.659	7098	-3.5583	1.2	0.1007	0.6
Cellar Deck	203	6182	-5.462	6186	-5.0508	1.1	0.4112	0.55
Sub-Cellar Deck	203	5096	-4.535	5097	-4.2971	1.65	0.2379	0.825

Tabel 22 Defleksi Vertikal Minimum Storm

Deck	LC	Joint	Defleksi Joint (cm)	Referensi Joint	Def Ref. Joint (cm)	SPAN (m)	Defleksi	
							Relatif	Izin
Main deck	311	8062	-3.672	8061	-3.5806	1.2	0.2311	0.6
Mezzanine Deck	311	7102	-3.66	7104	-3.5749	1.2	0.0344	0.6
Cellar Deck	303	6182	-4.997	6186	-4.2284	1.1	0.4972	0.55
Sub-Cellar Deck	301	5096	-4.181	5097	-4.0618	1.65	0.2587	0.825

Tabel 23 Defleksi Vertikal Maximum Storm

Deck	LC	Joint	Defleksi Joint (cm)	Referensi Joint	Def Ref. Joint (cm)	SPAN (m)	Defleksi	
							Relatif	Izin
Main deck	402	8154	-3.874	8155	-3.7529	1.2	0.2265	0.6
Mezzanine Deck	411	7102	-3.776	7104	-3.6593	1.2	0.0333	0.6
Cellar Deck	403	6182	-5.428	6186	-4.9596	1.1	0.4932	0.55
Sub-Cellar Deck	402	5096	-4.438	5097	-4.1945	1.65	0.2556	0.825

Tabel 24 Defleksi Pilehad

Maximum Depth - Operating					
Joint	LC	Displacement		Defleksi (cm)	
		x	y	Relatif	Izin
001P	210	0.1126	3.7788	3.780477	9.14
002P	211	1.0083	3.4618	3.605652	9.14
003P	210	0.1216	3.6991	3.701098	9.14
Minimum Depth - Operating					
Joint	LC	Displacement		Defleksi (cm)	
		x	y	Relatif	Izin
001P	110	0.1261	4.0208	4.022777	9.14
002P	111	1.0884	3.6646	3.822814	9.14
003P	110	0.1363	3.9276	3.929964	9.14
Maximum Depth - Storm					
Joint	LC	Displacement		Defleksi (cm)	
		x	y	Relatif	Izin
001P	410	0.06	5.9342	5.934503	9.14
002P	411	1.6507	5.605	5.843016	9.14
003P	410	0.2465	5.8563	5.861485	9.14
Minimum Depth - Storm					
Joint	LC	Displacement		Defleksi (cm)	
		x	y	Relatif	Izin
001P	310	0.0795	6.0821	6.08262	9.14
002P	311	1.7005	5.726	5.973171	9.14
003P	310	0.2539	5.9839	5.989284	9.14

Analisis seismik

Hasil yang didapat dari analisis *seismic* adalah berupa nilai perioda frekuensi natural struktur, faktor partisipasi massa, dan *base shear*. Kemudian untuk kriteria pengecekan yang dilakukan adalah terhadap *UC member*, *joint punching shear*, dan kapasitas aksial *pile*. Berdasarkan pengecekan *unity check member* berikut adalah nilai *unity check member* untuk kondisi *SLE* dapat ditunjukkan pada Tabel 25 dan kondisi *RIE* dapat dilihat pada Tabel 26.

Tabel 25 Unity Check Seismik kondisi SLE

No	Lokasi	Member Group	Load Comb.	Critical Member	UC	Allowed UC
1	Deck Beam	C25	2	6190-6192	0.69	1.00
2	Conductor Guide Jacket	CG	2	243C-0189	0.13	1.00
3	Conductor Guide Deck	CGD	2	B45C-8128	0.21	1.00
4	Vertical Deck Bracing (Cone-shaped)	CN1	2	L007-L008	0.14	1.00
5	Vertical Deck Bracing (Cone-shaped)	CN2	2	L056-L055	0.66	1.00
6	Cross Pedestal Leg	CPL	1	8043-8058	0.49	1.00
7	Deck Diagonal Bracing	DGD	2	7506-8010	0.33	1.00
8	Jacket Diagonal Bracing	DGI	1	203L-301L	0.1	1.00
9	Jacket Diagonal Bracing (Splash Zone)	DGS	1	902L-803L	0.09	1.00
10	Deck Horizontal Bracing	DHB	1	6235-6106	0.14	1.00
11	Deck Leg	DLG	2	7067-L055	0.39	1.00
12	Deck Beam	H10	2	6185-6183	0.1	1.00
13	Jacket Horizontal Bracing	HOR	2	0564-802L	0.14	1.00
14	Jacket Walkway	JW	2	0150-903L	0.09	1.00
15	Deck Beam	L6	2	8058-8060	0.2	1.00
16	Jacket Leg	LG2	2	102L-202L	0.09	1.00
17	Jacket Leg	LG3	2	201L-301L	0.09	1.00
18	Jacket Leg	LG4	2	303L-403L	0.03	1.00
19	Jacket Leg	LG5	1	401L-501L	0.04	1.00
20	Jacket Leg	LG6	1	501L-601L	0.05	1.00
21	Jacket Leg	LG7	1	601L-701L	0.06	1.00
22	Jacket Leg	LG8	1	701L-801L	0.08	1.00
23	Jacket Leg	LG9	1	901L-A01L	0.1	1.00
24	Jacket Leg	LG8	2	803L-0144	0.08	1.00
25	Jacket Leg (Splash Zone)	LGS	1	0143-0141	0.08	1.00
26	Mudmat	MDM	2	0035-203L	0.14	1.00
27	Pile	PL1	2	003P-103P	0.19	1.00
28	Vertical Deck Bracing (Cone-shaped)	PL2	2	103P-203P	0.19	1.00
29	Pile	PL3	2	203P-303P	0.19	1.00
30	Pile	PL4	2	303P-403P	0.14	1.00
31	Pile	PL5	2	403P-503P	0.13	1.00
32	Pile	PL6	2	503P-603P	0.12	1.00
33	Pile	PL7	2	603P-703P	0.12	1.00
34	Pile	PL8	2	703P-803P	0.12	1.00
35	Pile	PL9	2	803P-903P	0.14	1.00
36	Pile	PLA	2	A03L-B03L	0.15	1.00
37	Deck Beam	UB2	1	7124-7088	0.44	1.00
38	Deck Beam	UB3	2	7013-7115	0.46	1.00
39	Deck Beam	UB4	2	7329-7117	0.32	1.00
40	Deck Beam	UB5	1	6153-6156	0.05	1.00
41	Deck Beam	UB6	2	6173-6164	0.43	1.00
42	Deck Beam	UB7	2	6328-6123	0.49	1.00
43	Deck Beam	UB9	2	8041-8043	0.42	1.00
44	Vertical Deck Bracing	VB1	2	L008-8054	0.25	1.00
45	Vertical Deck Bracing	VB2	1	6173-7083	0.41	1.00
46	Vertical Deck Bracing	VB3	1	5004-6107	0.23	1.00
47	Vertical Deck Bracing	VB4	2	7102-8062	0.33	1.00
48	Vertical Deck Bracing	VB5	1	5025-6261	0.1	1.00

Tabel 26 Unity Check Seismik kondisi RIE

No	Lokasi	Member Group	Load Comb.	Critical Member	UC	Allowed UC
1	Deck Beam	C25	2	6190-6192	0.69	1.00
2	Conductor Guide Jacket	CG	2	243C-0189	0.13	1.00
3	Conductor Guide Deck	CGD	2	B45C-8128	0.21	1.00
4	Vertical Deck Bracing (Cone-shaped)	CN1	2	L007-L008	0.14	1.00
5	Vertical Deck Bracing (Cone-shaped)	CN2	2	L056-L055	0.66	1.00
6	Cross Pedestal Leg	CPL	1	8043-8058	0.49	1.00
7	Deck Diagonal Bracing	DGD	2	7506-8010	0.33	1.00
8	Jacket Diagonal Bracing	DGI	1	203L-301L	0.1	1.00
9	Jacket Diagonal Bracing (Splash Zone)	DGS	1	902L-803L	0.09	1.00
10	Deck Horizontal Bracing	DHB	1	6235-6106	0.14	1.00
11	Deck Leg	DLG	2	7067-L055	0.39	1.00
12	Deck Beam	H10	2	6185-6183	0.1	1.00
13	Jacket Horizontal Bracing	HOR	2	0564-802L	0.14	1.00
14	Jacket Walkway	JW	2	0150-903L	0.09	1.00
15	Deck Beam	L6	2	8058-8060	0.2	1.00
16	Jacket Leg	LG2	2	102L-202L	0.09	1.00
17	Jacket Leg	LG3	2	201L-301L	0.09	1.00
18	Jacket Leg	LG4	2	303L-403L	0.03	1.00
19	Jacket Leg	LG5	1	401L-501L	0.04	1.00
20	Jacket Leg	LG6	1	501L-601L	0.05	1.00
21	Jacket Leg	LG7	1	601L-701L	0.06	1.00
22	Jacket Leg	LG8	1	701L-801L	0.08	1.00
23	Jacket Leg	LG9	1	901L-A01L	0.1	1.00
24	Jacket Leg	LG8	2	803L-0144	0.08	1.00
25	Jacket Leg (Splash Zone)	LGS	1	0143-0141	0.08	1.00
26	Mudmat	MDM	2	0035-203L	0.14	1.00
27	Pile	PL1	2	003P-103P	0.19	1.00
28	Vertical Deck Bracing (Cone-shaped)	PL2	2	103P-203P	0.19	1.00
29	Pile	PL3	2	203P-303P	0.19	1.00
30	Pile	PL4	2	303P-403P	0.14	1.00
31	Pile	PL5	2	403P-503P	0.13	1.00
32	Pile	PL6	2	503P-603P	0.12	1.00
33	Pile	PL7	2	603P-703P	0.12	1.00
34	Pile	PL8	2	703P-803P	0.12	1.00
35	Pile	PL9	2	803P-903P	0.14	1.00
36	Pile	PLA	2	A03L-B03L	0.15	1.00
37	Deck Beam	UB2	1	7124-7088	0.44	1.00
38	Deck Beam	UB3	2	7013-7115	0.46	1.00
39	Deck Beam	UB4	2	7329-7117	0.32	1.00
40	Deck Beam	UB5	1	6153-6156	0.05	1.00
41	Deck Beam	UB6	2	6173-6164	0.43	1.00
42	Deck Beam	UB7	2	6328-6123	0.49	1.00
43	Deck Beam	UB9	2	8041-8043	0.42	1.00
44	Vertical Deck Bracing	VB1	2	L008-8054	0.25	1.00
45	Vertical Deck Bracing	VB2	1	6173-7083	0.41	1.00
46	Vertical Deck Bracing	VB3	1	5004-6107	0.23	1.00
47	Vertical Deck Bracing	VB4	2	7102-8062	0.33	1.00
48	Vertical Deck Bracing	VB5	1	5025-6261	0.1	1.00

Hasil dari perhitungan joint punching shear dapat dilihat pada Tabel 27.

Tabel 27 Unity Check Joint Can Seismik

Location (m)	Joint	SLE			RIE		
		Load UC	Strength UC	LC	Load UC	Strength UC	LC
(+) 7.000	903L	0.046	0.88	4	0.061	0.886	4
(-) 3.000	801L	0.04	0.817	4	0.064	0.866	4
(-) 9.833	702L	0.058	0.85	4	0.084	0.862	4
(-) 19.667	602L	0.057	0.845	4	0.086	0.866	4
(-) 29.500	502L	0.057	0.842	4	0.087	0.87	4
(-) 39.330	402L	0.057	0.831	4	0.087	0.874	4
(-) 49.167	301L	0.065	0.818	4	0.107	0.88	4
(-) 59.000	202L	0.037	0.883	4	0.06	0.886	4

Berdasarkan pengecekan kapasitas tiang pancang, berikut nilai kapasitas tiang pancang setiap kondisi dapat dilihat pada Tabel 28.

Tabel 28 Kapasitas Pile Seismik

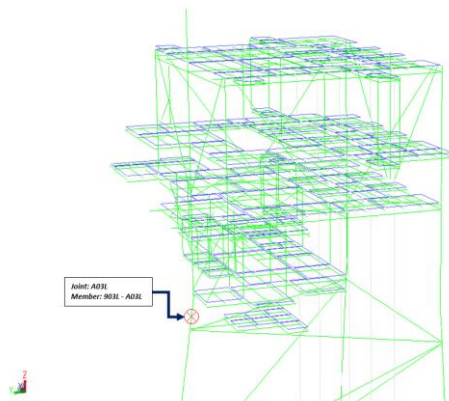
Condition	Joint	Capacity (kN)	Maximum Load (kN)	SF
Strength Level Earthquake	001P	-26940.8	-2522.7	10.68
	002P	-26940.8	-2852.6	9.44
	003P	-26887.6	-4102.5	6.55
Rare Intense Earthquake	001P	-26940.8	-3208.9	8.4
	002P	-26940.8	-3559.7	7.57
	003P	-26887.6	-5063.7	5.31

Analisis fatigue

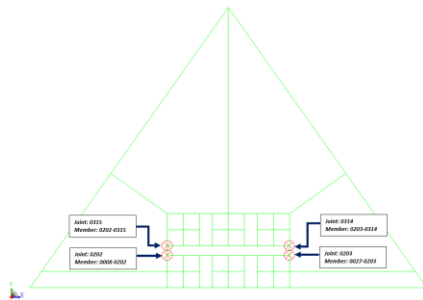
Struktur dapat dikatakan memenuhi kriteria analisis *fatigue* apabila nilai umur layan dari struktur dikali dengan faktor keamanan lebih besar dari umur layan struktur desain. *Joint* dengan umur *service life* terkecil dapat dilihat pada Tabel 29, Gambar 8 dan Gambar 9.

Tabel 29 Joint dengan service life terkecil

No	Joint	Member	Member Group	Damage	Service life (tahun)	SF
1	A03L	903L-A03L	LG9	0.326	45.99	2
2	0315	0202-0315	MDM	0.638	23.49	5
3	0202	0008-0202	MDM	0.638	23.88	5
4	0203	0027-0203	MDM	0.623	24.07	5
5	0314	0203-0314	MDM	0.593	25.29	5



Gambar 8 Lokasi Joint dengan Service Life Terkecil pada Elevasi (-) 7.50



Gambar 9 Lokasi Joint dengan Service Life Terkecil pada Elevasi (-) 59.00

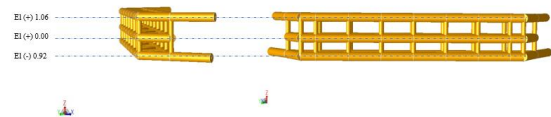
Analisis Boat Impact

Pada analisis *boat impact* akan dilakukan pengujian terhadap desain *boat landing* untuk memastikan *boat landing* dapat menyerap energi dari tumbukan kapal ketika merapat. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui kekuatan *boat landing* dalam menahan beban tumbukan kapal merapat sesuai dengan standar API RP 2A WSD 21st edition.

Detail mengenai kondisi perairan yang digunakan dalam pemodelan *boat impact* adalah sebagai berikut:

1. *Highest Astronomical Tide*: (+) 1.06
2. *Mean Sea Level*: (+) 0.00
3. *Lowest Astronomical Tide*: (-) 0.92

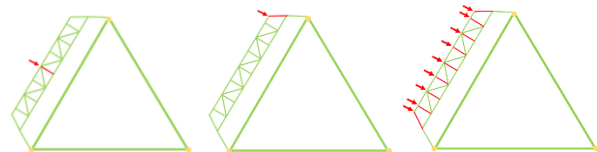
Ilustrasi desain *boat landing* ditujukan pada Gambar 10



Gambar 10 Desain Boat Landing

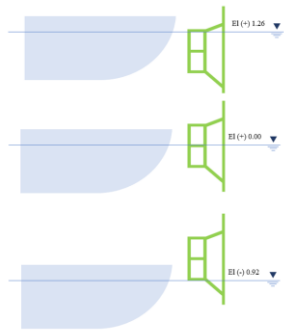
Pada kondisi operasional struktur, kapal yang umumnya beroperasi di dekat struktur tipe *jacket platform* adalah sebuah *platform supply vessel*. Sehingga, pada analisis ini kapal yang digunakan adalah sebuah *platform supply vessel* (PSV) dengan displacement 1600-ton.

Berdasarkan API RP 2A WSD, bagian kapal yang mungkin menumbuk anjungan adalah bagian depan atau belakang kapal (*bow/stern impact*) dan bagian samping kapal (*broadside impact*). Kemudian, mengacu pada Ekhvan (2011), bagian dari struktur *boat landing* yang terkena impact akan disesuaikan dengan panjang dan lebar dari kapal. Ilustrasi *member boatlanding* yang terdampak langsung pada kasus *boat impact* ditujukan pada Gambar 11.



Gambar 11 Impacted boat landing members kasus central bow impact (kiri), kasus sideway bow impact (tengah) dan kasus broadside impact (kanan)

Ilustrasi dari tumbukan terhadap muka air ditampilkan pada Gambar 12



Gambar 12 Ilustrasi tumbukan kapal terhadap muka air

Pemodelan analisis ini dilakukan dengan mengacu pada standar API RP 2A WSD 21th edition, paper *Ship Collision with Offshore Structure* (Amdahl, 1980) dan buku *Marine Structural Design Calculation* (2015). Pada bagian *boat landing* yang menghadap ke laut lepas, umumnya akan dipasang sebuah *fendering system* berupa *rubstrip* untuk menyerap energi tumbukan kapal ketika merapat sehingga mengurangi gaya yang diserap struktur *boat landing*. Rangkuman hasil perhitungan untuk energi yang harus diserap struktur *boat landing* untuk setiap kasus tumbukan ditampilkan pada Tabel 30

Tabel 30 Energi yang harus diserap struktur untuk setiap kasus tumbukan

Load Case	Impact Case	Massa Kapal (ton)	Faktor Massa	Kecepatan Kapal (m/s)	Energi Tumbukan (kJ)	Energi Serap Fender (kJ)	Energi Serap Struktur (kJ)
ASI1	Central Bow Impact	1600	1.1	0.5	220	20.8816	199.1184
ASR1	Broadside Impact		1.4		280	187.9344	92.0656
ASI2	Central Bow Impact		1.1		220	20.8816	199.1184
ASR2	Broadside Impact		1.4		280	187.9344	92.0656
ASI3	Central Bow Impact		1.1		220	20.8816	199.1184
ASR3	Broadside Impact		1.4		280	187.9344	92.0656
ASS1	Sideway Bow Impact		1.1		220	20.8816	199.1184
ASS2	Sideway Bow Impact		1.1		220	20.8816	199.1184
ASS3	Sideway Bow Impact		1.1		220	20.8816	199.1184

Kemudian, rangkuman hasil pengecekan besar energi yang dapat diserap *boat landing* menggunakan program SACS terhadap energi yang harus diserap struktur untuk kasus tumbukan pada Tabel 31,

Tabel 31 Pengecekan besar energi tumbukan yang dapat diserap struktur *boat landing* dalam menyerap energi tumbukan

Load Case	Kasus Tumbukan	Energi yang harus diserap <i>boat landing</i> (kJ)	Pengecekan Energi yang Dapat Diserap <i>Boat Landing</i> (kJ)	Remark
ASI1	Central Bow Impact	199.118	199.600	OK!
ASR1	Broadside Impact	92.066	92.100	OK!
ASI2	Central Bow Impact	199.118	199.400	OK!
ASR2	Broadside Impact	92.066	92.300	OK!
ASI3	Central Bow Impact	199.118	199.300	OK!
ASR3	Broadside Impact	92.066	92.800	OK!
ASS1	Sideway Bow Impact	199.118	199.800	OK!
ASS2	Sideway Bow Impact	199.118	199.200	OK!
ASS3	Sideway Bow Impact	199.118	199.800	OK!

Analisis *Collapse Impact* dilakukan pada struktur *boat landing* untuk mengetahui kapasitas maksimum struktur dalam menerima energi akibat tumbukan. Kapasitas maksimum struktur dalam menyerap energi tumbukan untuk seluruh kasus pemodelan ditampilkan pada Tabel 32. Pemilihan kapasitas maksimum dipilih berdasarkan besar energi paling kecil untuk masing-masing kasus tumbukan *central bow impact*, *sideway bow impact*, dan *broadside impact* agar hasil analisis konservatif.

Tabel 32 Kapasitas *boat landing* dalam menyerap energi tumbukan

Load Case	Kasus Tumbukan	Kapasitas Struktur dalam Menyerap Energi berdasarkan kasus tumbukan (kJ)
ASI1	Central Bow Impact	3380.30
ASR1	Broadside Impact	484.00
ASI2	Central Bow Impact	6657.20
ASR2	Broadside Impact	987.40
ASI3	Central Bow Impact	3451.30
ASR3	Broadside Impact	438.50
ASS1	Sideway Bow Impact	3871.90
ASS2	Sideway Bow Impact	10944.00
ASS3	Sideway Bow Impact	4605.10

V. PENUTUP

Kesimpulan

Untuk analisis *in-place* dilakukan sesuai dengan kriteria desain yang ada pada API RP 2A WSD 21st edition kesimpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut,

1. Pada kriteria desain tegangan *member* sesuai dengan API RP-2A WSD, didapat hasil *unity check member* maksimum sebesar 0.96 kondisi operasi kedalaman minimum, 0.95 kondisi operasi kedalaman maksimum, 0.88 kondisi badai kedalaman minimum, dan 0.93 kondisi badai kedalaman maksimum.
2. Untuk kriteria design defleksi struktur dilakukan pengecekan menggunakan standar

SNI 03-1729-2000 dan ISO 9001. Nilai defleksi horizontal terbesar adalah 36.15 cm pada *joint* 8017 di *main deck* untuk kondisi badai kedalaman maksimum, defleksi vertical terbesar adalah 0.768 cm pada *joint* 6182 di *cellar deck* untuk kondisi badai kedalaman minimum.

3. Pada kriteria desain *joint punching shear* sesuai dengan API RP-2A WSD, didapat UC *joint punching shear* sebesar 0.954 kondisi operasi kedalaman minimum, 0.953 kondisi operasi kedalaman maksimum, 0.981 kondisi badai dengan kedalaman minimum, dan 0.985 kondisi badai dengan kedalaman maksimum.
4. Pada kriteria desain kapasitas pile sesuai dengan API RP-2A WSD didapat *safety factor* 2.22 pada kondisi operasi kedalaman minimum, 2.26 kondisi operasi kedalaman maksimum, 1.55 kondisi badai kedalaman minimum, dan 1.60 kondisi badai dengan kedalaman maksimum.

Kemudian, untuk analisis *seismic* dilakukan sesuai dengan kriteria desain yang ada pada API RP 2A WSD 21st edition, kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut,

1. Periode natural struktur anjungan lepas pantai adalah sebesar 2.616 untuk kedua kondisi gempa SLE dan RIE.
2. Sesuai dengan kriteria desain API RP 2A WSD 21st edition, *unity check* member maksimum adalah sebesar 0.69 untuk kedua kondisi gempa SLE dan RIE.
3. Sesuai dengan kriteria desain API RP 2A WSD 21st edition, UC *joint punching shear* terbesar adalah 0.883 untuk kondisi gempa SLE dan 0.886 untuk kondisi RIE.
4. Sesuai dengan kriteria desain API RP 2A WSD 21st edition, *safety factor* terkecil untuk pengecekan kapasitas *pile* adalah sebesar 5.31 pada kondisi SLE dan 6.55 untuk kondisi RIE.

Kesimpulan untuk analisis *spectral fatigue* dilakukan sesuai dengan kriteria desain yang ada pada API RP 2A WSD 21st edition, kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut,

1. Kriteria *safety factor* 5.00 pada *joint* 0202 yang terletak pada *mudmat* dengan nilai *service live* sebesar 23.49 tahun, dengan *damage* sebesar 0.638.
2. Kriteria *safety factor* 2.00 pada *joint* A03L yang terletak pada *leg* dengan nilai *service live* sebesar 45.99 tahun, dengan *damage* sebesar 0.326.

Kemudian, untuk analisis *boat impact*, kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut,

1. Berdasarkan perhitungan sesuai dengan standar API RP 2A WSD, besar energi tumbukan yang terjadi akibat kapal dengan *displacement* 1600-Ton yang merapat adalah sebesar 220 kJ untuk tumbukan bagian *bow* kapal dan sebesar 280 kJ untuk tumbukan bagian *broadside* kapal.
2. Pada sembilan kasus tumbukan kapal dengan *displacement* 1600-Ton yang dimodelkan terhadap struktur, tidak terjadi keruntuhan pada struktur *boat landing*, sehingga, struktur memenuhi kriteria tumbukan kapal yang merapat untuk seluruh kasus tumbukan bagian *bow* kapal dan *broadside* kapal.
3. Berdasarkan analisis *collapse impact*, kapasitas maksimum struktur untuk menyerap energi *central bow impact* kapal adalah sebesar sebesar 3380.3 kJ pada kasus ASI1.
4. Berdasarkan analisis *collapse impact*, kapasitas maksimum struktur untuk menyerap energi *broadside impact* kapal adalah sebesar 438.50 kJ pada kasus ASR3.
5. Berdasarkan analisis *collapse impact*, kapasitas maksimum struktur untuk menyerap energi *sideway bow impact* kapal adalah sebesar 3871.9 kJ pada kasus ASS1.

Saran

1. Data pembebanan *equipment* sebaiknya lebih lengkap sehingga menyerupai kondisi pembebanan pada kondisi aslinya.
2. Kapal *platform supply vessel* (PSV) yang digunakan pada analisis *boat impact* sebaiknya menggunakan data *supply vessel* yang akan digunakan ketika kondisi ril

DAFTAR PUSTAKA

- AISC. (2005). *Steel Construction Manual*. USA: American Institute of Steel Construction, Inc.
- America Petroleum Institute. (2000). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design 21st Edition (21st ed.)*. (2007). Washington DC: America Petroleum Institute.
- Chakrabarti, S. K. (2005). *Handbook of Offshore Engineering Vol:1*. Oxford: Elsevier.

- El-Reedy, M. (2015). *Marine Structural Design Calculations*. Boston: Elsevier.
- DAMEN. (2021). Platform Supply Vessel. Retrieved from <https://products.damen.com/en/ranges/platform-supply-vessel/psv-1600>
- Goda, Y. (2000). *Advanced Series on Ocean Engineering – Volume 15: Random Seas and Design of Maritime Structures*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Hendra, E., Murdjito, & Handayanu. (2011). *Analisa Modifikasi Struktur Boatlanding pada Fixed Offshore Platform Akibat Tubrukan Crewboat*. Surabaya: Fakultas Teknik Kelautan-ITS.
- Jorgen. (1993). *Dynamic Ship Collision*. Norway: Departement of Marine Structures.
- Jorgen. (1983). *Energy Absorption in Ship-Platform Impacts*. Norway: Department of Marine Technology.
- Jorgen. (1980). *Ship Collisions with Offshore Structure*. Principal Research Engineer.
- Rubber, K. (2021). Boat Landing Bumpers. Retrieved from <https://www.kemanrubber.co.id/products/rubber-fender/keman-rubstrip-kr>
- Spouge, J. (1999). *A Guide to Quantitative Risk Assessment for Offshore Installations*. CMPT 1999.
- Tawekal, R. L. (2017). *Catatan Kuliah KL-4120 Anjungan Lepas Pantai*. Bandung: Penerbit ITB.
- Thapa, P. B. (2016). *Ship Impact Analysis Offshore Jacket Fixed Well Head Platform*. Canada: Memorial University of Newfoundland.
- Usman, S. B., Murdjito, & Handayanu. (2009). *Analisa Riser Protection pada Fixed Jacket Platform Akibat Beban Tubrukan Kapal*. Surabaya: Fakultas Teknik Kelautan.