

DESAIN DAN ANALISIS UPENDING STRUKTUR JACKET TIGA KAKI DI PERAIRAN SELAT MAKASSAR

Design and Upending Analysis of Three-legged Jacket Structure in Makassar Strait

Muchamad Raihan Nafis¹ dan Prof. Dr. Ir. Ricky Lukman Tawekal²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

[1rnafis24@students.itb.ac.id](mailto:rnafis24@students.itb.ac.id) dan [2ricky@ocean.itb.ac.id](mailto:ricky@ocean.itb.ac.id)

ABSTRAK – Cadangan minyak dan gas bumi di darat semakin langka. Eksplorasi sumber energi primer ini mulai bergeser ke wilayah laut lepas. Salah satu fasilitas pendukung kegiatan industri hulu minyak dan gas bumi adalah anjungan lepas pantai. Struktur anjungan lepas pantai perlu didesain secara tepat, agar memastikan kegiatan di atas struktur berlangsung aman. Pada tugas akhir ini, didesain anjungan lepas pantai berjenis *fixed jacket platform* tipe tiga kaki yang beroperasi di Selat Makassar. Struktur anjungan lepas pantai didesain mengacu pada standar API RP2A - WSD. Pada desain struktur anjungan lepas pantai, perlu dilakukan penilaian terhadap kemampuan struktur akibat pembebanan yang bekerja di lapangan. Penilaian awal pada struktur meliputi analisis *in-service* (analisis *in-place*, *seismic* dan *fatigue*). Struktur yang didesain dinilai dapat bertahan pada kondisi operasi dan badai sesuai hasil analisis *in-place*, melalui pengecekan tegangan *member*, defleksi, kekuatan sambungan (*joint can*) dan *pile capacity*. Struktur yang didesain juga dinilai dapat bertahan pada kondisi gempa *strength level* (SLE) dan *rare intense* (RIE), dengan pengecekan pada tegangan *member*, kekuatan sambungan (*joint can*) dan *pile capacity*. Struktur dapat bertahan selama 23,49 tahun (dengan *safety factor* 5,00) dengan *fatigue damage* yang terjadi sebesar 0,639 pada analisis *fatigue*.

Setelah struktur dinyatakan layak bangun dengan analisis *in-service*, dilakukan analisis *pre-service* dalam bentuk analisis *lifting* pada *topside*, serta analisis *floatation* dan *upending* pada *jacket*. Struktur *topside* yang didesain mampu memenuhi kriteria tegangan *member* desain API RP2A – WSD baik dalam konfigurasi *lifting balanced* maupun *unbalanced*. Seluruh desain dan pemilihan komponen *lifting* meliputi properti tali *sling*, properti *shackle* serta dimensi dari *padeye* juga telah memenuhi standar desain API RP2A – WSD. Analisis *floatation* dan *upending* dilakukan untuk memperoleh skenario kegiatan *upending* yang layak berdasarkan kriteria GL Noble Denton 0028/ND *Guidelines for Steel Jackets Transportation and Installation*. Didapat skenario *upending* dengan metode kombinasi yaitu dengan *controlled ballasting – crane assisted*. *Buoyancy tank* berfungsi sebagai pemberi gaya *upending*, sedangkan *crane hook* berfungsi sebagai pemikul beban *jacket*. Skenario ini telah memenuhi kriteria *seabed clearance* dan *minimum stability* dari kriteria GL Noble Denton 0028/ND. Berdasarkan gaya yang bekerja pada *main hook* selama proses *upending*, dipilih *crane vessel Bokalift 1 DP-2 3000 T* dengan kapasitas maksimum *main hook* sebesar 1.200 MT dan *auxiliary hook* sebesar 800 MT. Sehingga struktur *fixed platform* tipe *jacket* tiga kaki pada Tugas Akhir ini juga memenuhi kriteria pada tahap analisis *pre-service*.

ABSTRACT – Onshore oil and gas reserves are increasingly scarce. The exploration of the primary energy source has begun to shift to the offshore area. Offshore platform is one of the supporting facilities for the upstream oil and gas industry. Offshore platform structures need to be carefully designed, to ensure safe operations on the structures. In this final project, a three-legged fixed jacket platform is designed to operate in the Makassar Strait. The structure is designed according to the API RP2A - WSD standard. The offshore platform structure design has to be assessed in terms of serviceability of the structure due to loading in the field. Initial assessment of the structure includes *in-service* analysis (*in-place*, *seismic* and *fatigue* analysis). From the analysis result, can be concluded that the designed structure is able to withstand operating and storm condition according to the results of *in-place* analysis, through checking *member stress*, *deflection*, *joint can* and *pile capacity*. The designed structure is also considered to be able to accommodate earthquake strength level (SLE) and rare intense (RIE) earthquake conditions, by checking the *member stress*, *joint strength (joint can)* and *pile capacity*. Also,

the structure can last for 23.49 years (with a safety factor of 5.00) with a fatigue damage of 0.639 from the fatigue analysis result.

After the structure is declared feasible to operate in the field, pre-service analysis is carried out in the form of lifting analysis on the topside and floatation and upending analysis on the jacket. The designed topside structure is able to meet the stress criteria of the API RP2A – WSD design criteria in both balanced and unbalanced lifting configurations. The entire design and selection of lifting components including sling rope and shackle properties, also dimensions of the padeye have also met the API RP2A – WSD design standard. Floatation and upending analysis was carried out to obtain a feasible scenario for upending activities based on the GL Noble Denton 0028/ND Guidelines for Steel Jackets Transportation and Installation criteria. Upending scenario was obtained with a combination method of controlled ballasting from the buoyancy tank and crane vessel lift. The buoyancy tank functions as an upending force, while the crane hook functions as a jacket load-controller. This scenario has met the criteria for seabed clearance and minimum stability of the GL Noble Denton 0028/ND criteria. Based on the force acting on the main hook during the upending process, the Bokalift 1 DP-2 3000 T vessel crane was selected with a maximum capacity of 1,200 MT for its main hook. It is concluded that the fixed platform structure of the three leg jacket type in this Final Project also meets the criteria at the pre-service analysis stage.

Keywords: Platform, in-place, seismic, fatigue, lifting, floatation, upending.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sumber energi saat ini masih didominasi oleh minyak bumi dan gas alam dengan tingkat penggunaan per tahun 2018 yaitu sebesar 54% dari seluruh sumber energi yang ada. Akan tetapi, minyak bumi dan gas alam merupakan sumber daya yang sulit untuk diperbaharui, karena siklus pembentukannya membutuhkan waktu yang sangat lama. Sementara itu, kegiatan eksplorasi minyak dan gas di Indonesia yang semula berfokus di daratan (*onshore*), saat ini sudah mulai bergeser ke perairan (*offshore*) tak terkecuali di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh cadangan minyak bumi dan gas alam di daratan yang terus menipis dan masih banyaknya cekungan-cekungan potensial di perairan Indonesia yang menyimpan kandungan minyak bumi dan gas alam.

Kegiatan produksi minyak dan gas di laut perlu didukung oleh infrastruktur anjungan lepas pantai (*offshore platform*). Anjungan lepas pantai sendiri memiliki berbagai macam utilitas seperti eksploitasi dan pengeboran, penyimpanan, pemrosesan, dan lain sebagainya. Karena kondisi topografis laut Indonesia sebagian besar merupakan perairan dangkal dan menengah, maka tipe anjungan lepas pantai yang lazim digunakan yaitu anjungan lepas pantai bertipe tetap (*fixed platform*).

Struktur anjungan lepas pantai perlu didesain dan dianalisis sedemikian rupa sehingga mampu

mengakomodir berbagai macam jenis beban yang bekerja. Analisis struktur anjungan dilakukan agar dapat menentukan kemampuan layan struktur. Analisis tersebut berupa analisis *in-place*, *seismic*, dan *fatigue*.

Setelah desain struktur memenuhi ketiga kriteria di atas, dilakukan peninjauan pada tahap *pre-service analysis*. Tahap ini merupakan tahap pemasangan *jacket platform* mulai dari konstruksi yang dilakukan di *fabrication yard* lalu dilanjutkan dengan kegiatan instalasi yang meliputi rangkaian kegiatan *load out*, *transportation*, *launching* atau *lifting*, *upending* serta *piling*. Pada laporan Tugas Akhir ini akan ditinjau bagian dari proses instalasi yaitu analisis *lifting* pada bagian *topside* dan analisis *floatation* dan *upending* pada *jacket*. Analisis *lifting* dilakukan untuk memeriksa kekuatan struktur ketika diangkat serta menentukan konfigurasi pengangkatan dan komponennya yang optimal dan memenuhi standar API RP-2A WSD 21st Edition dan GL Noble Denton 0027/ND. Hal ini agar menghindari kemungkinan adanya *member* yang gagal saat pengangkatan atau bahkan jatuhnya struktur saat diangkat.

Simulasi dan kegiatan *upending* meliputi menentukan spesifikasi dan konfigurasi *crane* dan/atau *buoyancy tank* yang digunakan. Analisis ini mengacu pada *code* yang dikeluarkan oleh GL Noble Denton 0028/ND. Kriteria yang diatur yaitu berupa *mudline clearance*, *minimum stability*, dan *reserve buoyancy* (untuk metode *controlled ballasting*).

Tujuan

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah:

1. Melakukan desain struktur anjungan lepas pantai tipe *fixed platform* berdasarkan standar API RP-2A WSD 21st Edition untuk tiga kriteria *in-service analysis*, antara lain analisis *in-place*, *seismic*, dan *fatigue*.
2. Menentukan konfigurasi *lifting* dari *topside* yang optimal dan memenuhi standar API RP-2A WSD 21st Edition dan GL Noble Denton 0027/ND.
3. Mendapatkan skenario *upending* yang layak dilakukan berdasarkan konfigurasi struktur *jacket* dan kriteria desain GL Noble Denton 0028/ND.

Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari pengerjaan Tugas Akhir ini antara lain:

1. Melakukan pemodelan desain struktur anjungan lepas pantai tipe *fixed platform* berupa struktur *jacket* tipe tiga kaki dengan bantuan perangkat lunak SACS.
2. Melakukan analisis desain struktur anjungan lepas pantai berupa *in-service analysis* (pasca instalasi) yang mencakup analisis *in-place*, *seismic*, dan *fatigue* yang memenuhi standar API RP-2A WSD 21st Edition.
3. Melakukan analisis *lifting* pada *topside* untuk menentukan konfigurasi dan komponen *lifting* yang optimal berdasarkan standar API RP-2A WSD 21st Edition dan GL Noble Denton 0027/ND.
4. Melakukan simulasi proses tahapan *upending* dengan metode *controlled ballasting - crane assisted* berdasarkan standar GL Noble Denton 0028/ND.

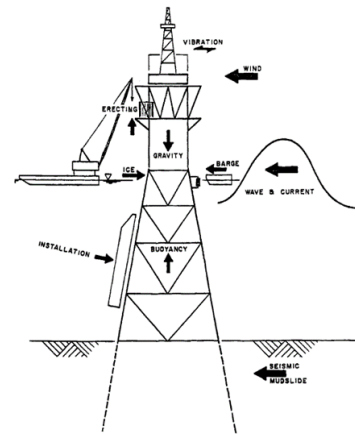
II. TEORI DAN METODOLOGI

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak SACS. Pemodelan terdiri dari pemodelan *joint*, *member*, dan *pelat*.

Pembebanan Struktur

Beban yang bekerja pada struktur anjungan lepas pantai menurut API RP-2A WSD meliputi beban mati, beban hidup dan beban lingkungan, serta beban dinamik. Ilustrasi beban yang bekerja pada struktur ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Beban pada Anjungan Lepas Pantai (Subrata Chakrabarti, Handbook of Offshore Engineering, hal. 297)

Analisis In-Place

Analisis *In-place* dilakukan pada empat kondisi yaitu kondisi operasi kedalaman perairan minimum dan maksimum, serta kondisi badai kedalaman minimum dan maksimum. Kondisi operasi adalah kondisi saat adanya aktivitas di atas *platform*. Sedangkan kondisi badai adalah kondisi saat *platform* tidak beroperasi. Kedalaman tiap kondisi dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{MinWL} = \text{MSL} + \text{LAT} - \text{SS}$$

$$\text{MaxWL} = \text{MSL} + \text{HAT} + \text{SS}$$

Di mana:

- MSL : Mean sea level [m],
- HAT : Highest astronomical tide [m],
- LAT : Lowest astronomical tide [m], dan
- SS : Storm surge [m].

Analisis *in-place* menghasilkan *output* dan menganalisis parameter-parameter berupa *unity check member* dan tegangan sambungan *joint can*, kapasitas tanah dan defleksi.

1. Tegangan member

Unity check member dapat diihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

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

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

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

Nilai UC dari *pile* dapat dihitung dengan *single pile analysis* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana;

- f_a = Axial loading [kN],
- F_a = Allowable axial stress [MPa],
- C_m = Reduction factor,
- f_{bx} = X axis bending moment [kNm],
- f_{by} = Y axis bending moment [kNm],
- K = effective length factor,
- E = Elastic modulus [MPa],
- I = Moment of Inertia [m⁴]
- F_b = Allowable bending stress [MPa],
- F_y = Yeild Strength [MPa],
- F_{xc} = Inelastic local buckling stress [MPa],
- P = Non-linear analysis axial loading
- A = Cross-sectional area [m²],
- M = Non-linear bending moment [Nm], dan
- Z = Plastic sectional modulus [m³]

2. Joint Punching Shear

Perhitungan *unity check joint can* dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

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

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*

3. Defleksi

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

$$\delta_{\text{vertikalmax}} = \frac{L}{100}$$

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

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

Dimana;

- δ_{vertikal} = Defleksi vertikal [m],
- $\delta_{\text{horizontal}}$ = Defleksi Horizontal [m],
- δ_{pilehead} = Defleksi *pilehead* [m],
- L = Jarak lateral antara *acting joint* dengan *joint* acuan [m],
- OD = Diameter luar tiang pancang [m], dan
- h = Bentang vertikal *joint* terhadap titik referensi [m].

4. Kapasitas Pile

Pengecekan kapasitas *pile* bertujuan untuk mengetahui nilai kapasitas tiang pancang terhadap gaya aksial. API RP-2A WSD mensyaratkan nilai minimum *safety factor* tersebut berdasarkan kondisi yang terjadi. Batas nilai *safety factor* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kapasitas Pile Minimum

Kondisi	Safety Factor
Operating	2
Storm	1.5

Analisis Seismic

Analisis seismik merupakan analisis akibat beban gempa (dinamik) pada struktur anjungan lepas pantai. Analisis seismik meninjau dua kekuatan gempa yaitu *Strength Level Earthquake* (SLE) serta *Rare Intense Earthquake* (RIE). SLE umumnya memiliki periode ulang 200 tahun atau pada kondisi elastis atau tanpa kerusakan signifikan. RIE memiliki periode ulang ribuan tahun dimana kondisi struktur dalam keadaan inelastis.

Input yang dibutuhkan dalam analisis seismik adalah nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) dan PSA (*Pseudo-Spectral Acceleration*).

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada analisis seismik yaitu D+0,75L+EQ dimana diberi faktor beban 0,75 pada beban hidup karena pada kondisi gempa tidak ada aktivitas di atas anjungan dan EQ merupakan beban gempa.

Pengecekan dari hasil analisis seismik berupa pengecekan tegangan *member*, dimana terdapat faktor tegangan izin sebesar 1,70. Kemudian terdapat pengecekan kapasitas *pile*, dengan nilai faktor keamanan pada analisis seismik yaitu 1,50 untuk tingkat SLE dan 1,00 untuk tingkat DLE/RIE. Terakhir, dilakukan pengecekan *joint punching shear*, dengan faktor tegangan izin *joint punching shear* bernilai 1,70.

Analisis Fatigue

Analisis *fatigue* merupakan analisis yang mempertimbangkan kelelahan dari struktur akibat beban berulang (siklik) yang terjadi. Struktur akan mengalami *damage* yang disebabkan tegangan kecil namun terjadi berulang kali. Analisis *fatigue* yang dilakukan menggunakan *spectral fatigue*. *Spectral fatigue analysis* adalah metode analisis *fatigue* dengan pendekatan statistik dalam menghitung *fatigue damage* pada struktur. Metode ini menggunakan spektrum gelombang dan *transfer function* atau *response amplitude operator* (RAO), dimana adanya hubungan antara rasio respon struktur dengan tinggi gelombang lalu dikembangkan dalam domain frekuensi. Adapun spektrum 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*

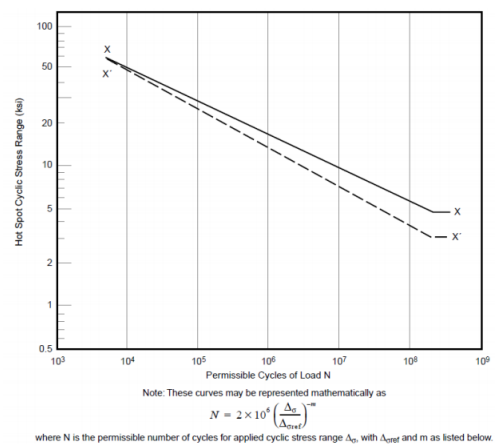
Pada *spectral fatigue analysis*, jumlah kejadian gelombang selama masa layan struktur anjungan lepas pantai dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

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

Dimana;

- L = umur layan desain terfaktor;
- m_i = probabilitas teradanya suatu *stress range*
- T_z = periode gelombang *zero-crossing*

Jumlah kejadian pada analisis *fatigue* digambarkan dalam kurva S-N yang menghubungkan antara jumlah siklus tegangan dengan jumlah kejadian. Kurva S-N ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Kurva S-N
(API RP-2A WSD)

Kurva S-N adalah melambangkan karakteristik *fatigue* dari suatu bahan yang mengalami tegangan berulang dalam siklus tertentu. Dari kurva S-N dapat disimpulkan bahwa semakin besar tegangan berulang yang terjadi maka semakin sedikit siklus yang dibutuhkan menuju kegagalan struktur.

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

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

Dimana;

- D = *damage* (kerusakan);
- n_i = jumlah siklus pada rentang tegangan beban gelombang ke-I;

- N_i = jumlah siklus yang diizinkan oleh kurva S-N apda rentang tegangan beban gombang ke-i.

Fatigue damage pada setiap pasangan tinggi dan periode gelombang yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

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

Dimana;

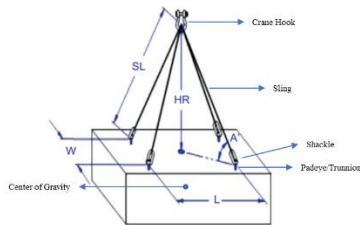
- $N_{i,\sigma_{rms}}$ = jumlah kejadian yang menghasilkan keruntuhan pada suatu *stress range*
- $p_{\sigma_{RMS}}$ = probabilitas terjadinya suatu spektrum *stress range*

Sehingga, dapat disimpulkan kegagalan akibat beban siklik terjadi ketika nilai D mencapai angka 1.00. Menurut API RP-2A WSD, stuktur anjungan lepas pantai harus memiliki umur layan dua kali lebih besar dari umur desain.

Analisis Lifting

Analisis *lifting* bertujuan untuk memeriksa kekuatan struktur ketika dilakukan pengangkatan oleh *crane*. Tahapan yang dilakukan yaitu perhitungan berat sendiri dan letak *center of gravity* struktur, kemudian menentukan konfigurasi *lifting* yang optimal (posisi *hook* dan jumlah *sling*). Kemudian dianalisis statik untuk mengetahui *unity check member* saat pengangkatan.

Selain itu analisis *lifting* juga bertujuan untuk menentukan komponen *lifting* seperti tali *sling*, *shackle*, dan *padeye* sesuai dengan gaya pada *sling* terbesar saat pengangkatan. Ilustrasi konfigurasi *lifting* ditunjukkan pada Gambar 3.

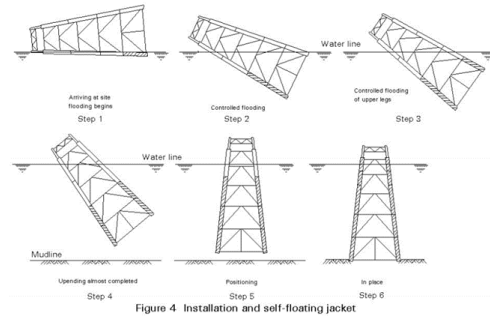


Gambar 3 Ilustrasi Konfigurasi Lifting
(Mohamed El-Reedy, Marine Structural Design Calculations, hal. 230)

Analisis Floation dan Upending

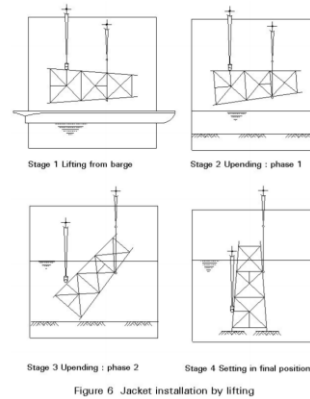
Terdapat tiga metode dalam melaksanakan proses *upending*.

Metode *controlled ballasting*, peran pengatur posisi *jacket* mulai dari posisi tertidur hingga posisi tegak (*final position*) dikontrol oleh pengisian air pada *buoyancy tank* atau pada *jacket leg*. Ilustrasi metode ini ditunjukkan pada Gambar 4.



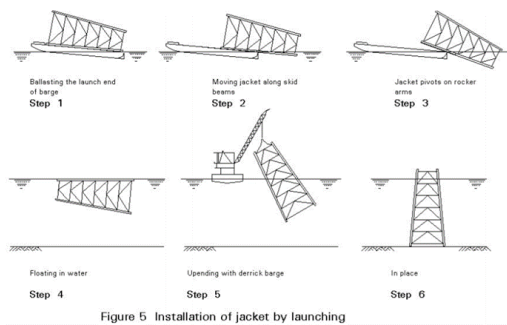
Gambar 4 Tahapan Upending Metode Controlled Ballasting

Metode *crane vessel*, proses upending dimana posisi, kesetimbangan dan kestabilan struktur diatur oleh satu hingga dua *crane hook*. Peran pemberi gaya upending dan pemikul beban *jacket* seluruhnya diemban oleh *crane*. Ilustrasi metode ini ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Tahapan Upending dengan Metode Crane Vessel

Metode *kombinasi*, proses upending dimana peran pemberi gaya upending umumnya melalui pengisian air pada *buoyancy tank/jacket leg*. Sedangkan peran pemikul beban *jacket* diemban oleh *crane hook*. Ilustrasi metode ini ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Tahapan Upending Metode Kombinasi

Terdapat tiga kriteria yang ditinjau pada proses floatation dan upending. Berdasarkan GL Noble denton 0028/ND, terdapat kriteria *reserve buoyancy* (untuk metode *controlled ballasting/saat floatation*), *seabed clearance*, dan *stability* (minimum metacentric height).

Reserve buoyancy adalah suatu rasio ketersediaan gaya apung dari struktur yang kedap air di atas *waterline* setelah mendapat beban berat struktur. *Reserve buoyancy* merupakan indikator suatu struktur akan terapung atau tenggelam.

Seabed clearance adalah jarak antara member terendah pada *jacket* dengan *seabed*. Sedangkan kestabilan struktur selama proses *upending* yang direpresentasikan dengan tinggi/jarak minimum titik pusat gravitasi dengan titik metasentris.

Ketiga kriteria tersebut ditunjukkan pada Tabel 2 hingga Tabel 4.

Tabel 2 Kriteria Reserve Buoyancy (GL Noble Denton 0028/ND Rev 6.2)

Case	Minimum Reserve Buoyancy	
	Intact	Damaged
Launched Jacket after launch	15%	5%
During upend by ballasting, without crane assistance	Sufficient to maintain required seabed clearance criteria	
Lifted jacket, if required to be re-rigged prior to upend	10%	5%

Tabel 3 Kriteria Seabed Clearance (GL Noble Denton 0028/ND Rev 6.2)

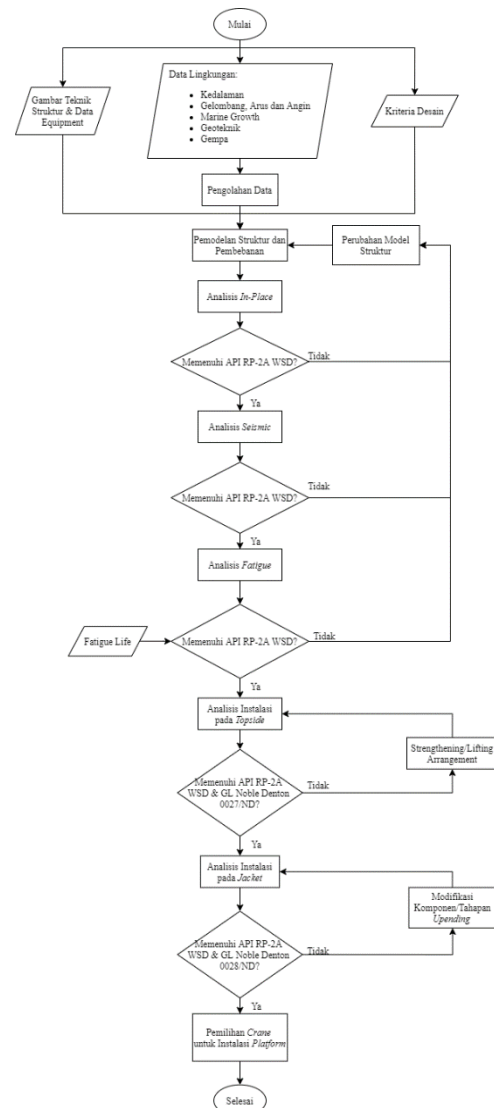
Case	Clearance after allowing for all tolerances (including weight, tide, centre of gravity & site survey)	
	Intact	Damaged
During launch	Greater of 10% of water depth or 5m	>2m
During upend by controlled ballasting, with or without crane assist	5m	>2m
Self-upending jacket during upend	Greater of 10% of water depth or 5m	>2m

Tabel 4 Kriteria Minimum Stability (GL Noble Denton 0028/ND Rev 6.2)

Case	Intact GM	Damaged GM
During launch	*Sec. 7.7 0028/ND	
After launch, transverse and longitudinal	0,5 m	0,2 m
During upend, transverse	0,5 m	0,2 m
During upend, longitudinal	>0,0 m	>0,0 m
After upending, before final positioning, both directions	0,5 m	0,2 m

Metodologi

Metodologi pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 7.



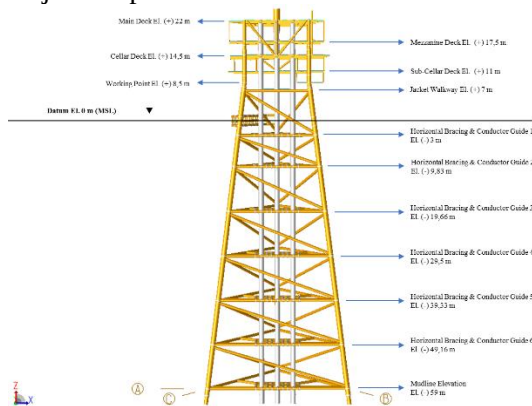
Gambar 7 Metodologi

III. PEMODELAN STRUKTUR

Model Struktur

Struktur didesain sebagai *fixed jacket platform* dengan tiga kaki dengan memiliki kemiringan *single batter* pada arah sumbu x pada dua kaki dengan perbandingan *rise:run* 8:1 dan kemiringan

pada arah sumbu y pada satu kaki dengan perbandingan *rise:run* 7:1. Ilustrasi model struktur ditunjukkan pada Gambar 8.



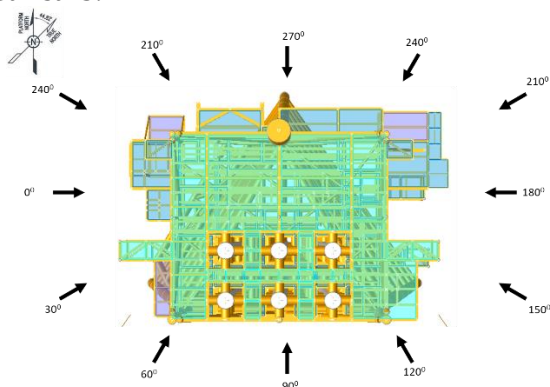
Gambar 8 Elevasi Penting Struktur

Struktur ini membentuk sudut 45° dengan *true north* berlawanan dengan arah jarum jam. Anjungan lepas pantai ini memiliki elevasi *deck* yang dapat dilihat pada .

Tabel 5 Elevasi Deck

Deck	Elevasi dari MSL (m)
Main Deck	22.000
Mezzanine Deck	17.500
Cellar Deck	14.500
Sub Cellar Deck	11.000
Landing Deck	8.500

API RP- 2A WSD mensyaratkan arah pembebanan lingkungan yang digunakan untuk struktur dengan tiga kaki minimal menggunakan 12 arah mata angin. Ilustrasi dari arah mata angin yang digunakan untuk analisis ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Ilustrasi Arah Pembebanan Lingkungan

Untuk kebutuhan analisis *inplace*, dibutuhkan kedalaman maksimum dan minimum setiap

kondisi desain. Nilai kedalaman dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Kedalaman Desain

Item	MSL (m) – Platform
1-year Minimum Water depth	59.34
1-year Maximum Water depth	61.82
100-year Minimum Water depth	59.29
100-year Maximum Water depth	61.90

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

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

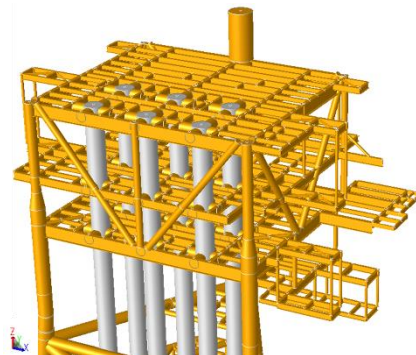
$$Elevasi_{terendah} = d1.06 + 0.34 + \frac{6.2}{2} + 1.524$$

$$Elevasi_{terendah} = 6.024 \text{ meter}$$

Dimana:

- *HAT* = Highest Astronomical Tide (m);
- *SS* = Storm Surge (m);
- *H* = Tinggi Gelombang (m);
- *Freeboard* = Freeboard/Air Gap (5 ft)

Pemodelan *deck* dilakukan berdasarkan beban yang diletakkan diatas *deck* tersebut. Tampak isometrik dari *deck* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Tampilan Isometrik Deck

Profil Member

Properti *member* dibuat berdasarkan data gambar teknik *platform* dan juga menyesuaikan dengan pembebanan yang dikenakan pada *member*. Properti *member* pada seluruh bagian struktur yang telah melalui tahap optimasi ditunjukkan pada Tabel 7 hingga Tabel 9.

Tabel 7 Profil Member Deck

No	Member Group	Deskripsi	Jenis	Ukuran
1	UB9	Main Deck	Wide Flange	UB914x305x576
2	UB7		Wide Flange	UB762x267x197
3	UB6		Wide Flange	UB686x254x170
4	UB4		Wide Flange	UB457x191x161
5	UB3		Wide Flange	UB356x127x39
6	UB2	Mezzanine Deck	Wide Flange	UB254x146x43
7	L6		Angle	L6x6x1/2
8	UB4		Wide Flange	UB457x191x161
9	UB3		Wide Flange	UB356x127x39
10	UB2		Wide Flange	UB254x146x43
11	L6	Cellar Deck	Angle	L6x6x1/2
12	UB9		Wide Flange	UB914x305x576
13	UB7		Wide Flange	UB762x267x197
14	UB6		Wide Flange	UB686x254x170
15	UB5		Wide Flange	UB533x210x92
16	UB4		Wide Flange	UB457x191x161
17	UB3		Wide Flange	UB356x127x39
18	UB2		Wide Flange	UB254x146x43
19	DHB		Tubular	21,91 cm x 0,818 cm
20	C25		Channel	C250x90x9
21	H10	Sub-Cellar Deck	Wide Fange	H100x100x6
22	L6		Angle	L6x6x1/2
23	UB4		Wide Flange	UB457x191x161
24	UB3		Wide Flange	UB356x127x39
25	UB2		Wide Flange	UB254x146x43
26	C25		Channel	C250x90x9
27	H10		Wide Fange	H100x100x6

Tabel 9 Profil Member Lainnya

No	Member Group	Deskripsi	Jenis	Ukuran
1	CG	Conductor Guide at Jacket	Tubular	61 cm x 3,81 cm
2	CGD	Conductor Guide at Deck	Tubular	61 cm x 3,81 cm
3	CN1	Cone at Vertical Bracing	Cone	91,4 cm x 2,5 cm (larger OD) & 60 cm x 3,81 cm (Smaller OD)
4	CN2	Cone at Crane Pedestal Tower	Cone	150 cm x 3,81 cm (larger OD) & 91,4 cm x 3,81 cm (Smaller OD)
5	CPL	Crane Pedestal Tower	Tubular	150 cm x 3,81 cm
6	DGD	Diagonal Bracing at Deck	Tubular	40,64 cm x 1,27 cm
7	DLG	Main Deck Leg	Tubular	91,4 cm x 3,81 cm
8	JW	Jacker Walkway Brace	Tubular	45,72 cm x 1,6 cm
9	VB1	Vertical Bracing at Deck	Tubular	60 cm x 2,5 cm
10	VB2	Vertical Bracing at Deck	Tubular	40,64 cm x 1,27 cm
11	VB3	Vertical Bracing at Deck	Tubular	27,31 cm x 1,27 cm
12	VB4	Vertical Bracing at Deck	Tubular	16,83 cm x 0,71 cm
13	VB5	Vertical Bracing at Deck	Tubular	11,43 cm x 0,6 cm
14	W.B	Wishbone	Tubular	104,72 cm x 6,66 cm

Tabel 8 Profil Member Jacket

No	Member Group	Deskripsi	Jenis	Ukuran
1	BOA	Boat landing	Tubular	45,72 cm x 2,54 cm
2	BOB		Tubular	25,4 cm x 2,54 cm
3	C41	Conductor	Tubular	110 cm x 2 cm
4	C42		Tubular	110 cm x 2 cm
5	C43		Tubular	110 cm x 2 cm
6	C44		Tubular	110 cm x 2 cm
7	C45		Tubular	110 cm x 2 cm
8	C46		Tubular	110 cm x 2 cm
9	DGJ	Diagonal Bracing at Jacket	Tubular	71,12 cm x 3,175 cm
10	DGS	Diagonal Bracing at Splash Zone	Tubular	70,485 cm x 2,858 cm
11	HOR	Horizontal Bracing	Tubular	61 cm x 3 cm
12	LG2	Jacket Legs	Tubular	110 cm x 4,8 cm
13	LG3		Tubular	110 cm x 4,8 cm
14	LG4		Tubular	110 cm x 4,8 cm
15	LG5		Tubular	110 cm x 4,8 cm
16	LG6		Tubular	110 cm x 4,8 cm
17	LG7		Tubular	110 cm x 4,8 cm
18	LG8		Tubular	110 cm x 4,8 cm
19	LG9		Tubular	110 cm x 4,8 cm
20	LGB	Jacket Legs at Splash Zone	Tubular	110 cm x 4,8 cm
21	LGS		Tubular	109,365 cm x 4,4825 cm
22	MDM	Mudmat	Tubular	61 cm x 3 cm
23	PL1	Piles	Tubular	91,4 cm x 4,445 cm
24	PL2	Piles	Tubular	91,4 cm x 4,445 cm
25	PL3	Piles	Tubular	91,4 cm x 4,445 cm
26	PL4	Piles	Tubular	91,4 cm x 4,445 cm
27	PL5	Piles	Tubular	91,4 cm x 4,445 cm
28	PL6	Piles	Tubular	91,4 cm x 4,445 cm
29	PL7	Piles	Tubular	91,4 cm x 4,445 cm
30	PL8	Piles	Tubular	91,4 cm x 4,445 cm
31	PLA	Piles	Tubular	91,4 cm x 4,445 cm

IV. HASIL DAN ANALISIS

Analisis In-Place

Nilai *unity check member* untuk kondisi operasi dan kondisi badai dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10 Unity Check Member Kondisi Operasi

Description	Group	Minimum Water Depth			Maximum Water Depth		
		Critical Member No.	LC	UC	Critical Member No.	LC	UC
Deck Beam	C25	6190-6192	104	0.89	6190-6192	204	0.89
Vertical Cone Bracing at Deck	CN2	L056-L055	102	0.71	L056-L055	202	0.71
Crane Pedestal Leg	CPL	8043-L058	106	0.8	8043-L058	208	0.8
Diagonal Bracing at Deck	DGD	7506-8010	104	0.89	7506-8010	204	0.89
Diagonal Bracing at Jacket	DGJ	202L-301L	101	0.4	202L-301L	201	0.37
Diagonal Bracing at Jacket (Splash Zone)	DGS	901L-803L	109	0.29	901L-803L	209	0.27
Horizontal Tubular Bracing at Deck	DHB	6126-6254	109	0.35	6126-6254	209	0.34
Deck Leg	DLG	B03L-L050	105	0.72	B03L-L050	205	0.73
Deck Beam	H10	6185-6183	110	0.18	6185-6183	210	0.18
Horizontal Bracing at Jacket	HOR	801L-0563	111	0.43	801L-0563	212	0.42
Jacket Walkway	JW	0150-903L	104	0.17	0150-903L	204	0.17
Deck Beam	L6	8020-8012	106	0.3	8020-8012	206	0.3
Jacket Leg	LG9	0142-903L	110	0.46	0142-903L	210	0.46
Jacket Leg at Splash Zone	LGS	0144-0142	110	0.43	0144-0142	210	0.41
Mudmat	MDM	0202-0315	110	0.74	0202-0315	210	0.69
Pile	PL1	003P-103P	104	0.83	003P-103P	204	0.69
Deck Beam	UB7	6107-6327	110	0.96	6107-6327	210	0.95
Vertical Bracing at Deck	VB2	6173-7083	104	0.92	6173-7083	204	0.92

Tabel 11 Unity Check Member Kondisi Badai

Description	Group	Minimum Water Depth			Maximum Water Depth		
		Critical Member No.	LC	UC	Critical Member No.	LC	UC
Deck Beam	C25	6190-6192	304	0.55	6190-6192	404	0.55
Vertical Cone Bracing at Deck	CN1	L003-L004	311	0.28	L007-L008	410	0.29
Crane Pedestal Leg	CPL	L056-8043	304	0.18	L056-8043	404	0.17
Diagonal Bracing at Deck	DGD	7507-8045	304	0.6	7507-8045	404	0.59
Diagonal Bracing at Jacket	DGJ	203L-301L	303	0.56	203L-301L	403	0.53
Diagonal Bracing at Jacket (Splash Zone)	DGS	901L-803L	309	0.3	901L-803L	409	0.29
Horizontal Tubular Bracing at Deck	DHB	6235-6106	311	0.31	6235-6106	411	0.32
Deck Leg	DLG	7304-6160	304	0.69	7304-6160	404	0.7
Deck Beam	H10	6185-6183	310	0.12	6185-6183	410	0.12
Horizontal Bracing at Jacket	HOR	0213-0214	310	0.44	0213-0214	410	0.45
Jacket Walkway	JW	0150-903L	304	0.2	0150-903L	404	0.21
Deck Beam	L6	8020-8012	310	0.17	8020-8012	410	0.17
Jacket Leg	LG2	103L-203L	304	0.52	103L-203L	404	0.53
Jacket Leg at Splash Zone	LGS	0144-0142	310	0.48	0144-0142	410	0.46
Mudmat	MDM	0202-0315	310	0.88	0202-0315	410	0.87
Pile	PL1	003P-103P	304	0.83	003P-103P	404	0.93
Deck Beam	UB7	6000-6016	312	0.83	6000-6016	412	0.86
Vertical Bracing at Deck	VB2	6173-7083	304	0.52	6173-7083	404	0.52

Semua nilai *UC member* telah memenuhi syarat yaitu bernilai kurang dari 1. Nilai *UC member* kondisi operasi lebih besar daripada kondisi badai kecuali pada bagian *jacket*.

Berdasarkan pengecekan defleksi pada struktur, berikut nilai defleksi pada struktur untuk defleksi horizontal ditunjukkan pada Tabel 12 hingga Tabel 15.

Tabel 12 Defleksi Horizontal Maksimum pada Kondisi Operasi Kedalaman Minimum

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 13 Defleksi Horizontal Maksimum pada Kondisi Operasi Kedalaman Maksimum

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 14 Defleksi Horizontal Maksimum pada Kondisi Badai Kedalaman Minimum

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 15 Defleksi Horizontal Maksimum pada Kondisi Badai Kedalaman Maksimum

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

Nilai defleksi horizontal maksimum pada *deck* sudah memenuhi kriteria desain. Nilai defleksi maksimum terbesar terdapat pada kondisi badai karena beban lingkungan yang lebih ekstrim saat kondisi badai.

Sedangkan untuk pengecekan nilai defleksi vertikal ditunjukkan pada Tabel 16 hingga Tabel 19.

Tabel 16 Defleksi Vertikal Maksimum pada Kondisi Operasi Kedalaman Minimum

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	1.2
Mezzanine Deck	109	7100	-3.853	7098	-3.765	1.2	0.088	1.2
Cellar Deck	103	6182	-5.839	6186	-5.4036	1.1	0.4354	1.1
Sub-Cellar Deck	103	5096	-4.814	5097	-4.5418	1.65	0.2722	1.65

Tabel 17 Defleksi Vertikal Maksimum pada Kondisi Operasi Kedalaman Maksimum

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

Tabel 18 Defleksi Vertikal Maksimum pada Kondisi Badai Kedalaman Minimum

Lokasi Joint	LC	Joint	Defleksi Joint (cm)	Ref. Joint	Def Ref. Joint (cm)	SPAN (m)	Defleksi (cm)	
							Relatif	Izin
Main deck	311	8062	-3.672	8061	-3.5806	1.2	0.0914	1.2
Mezzanine Deck	311	7102	-3.66	7104	-3.5749	1.2	0.0851	1.2
Cellar Deck	303	6182	-4.997	6186	-4.2284	1.1	0.7686	1.1
Sub-Cellar Deck	301	5096	-4.181	5097	-4.0618	1.65	0.1192	1.65

Tabel 19 Defleksi Vertikal Maksimum pada Kondisi Badai Kedalaman Maksimum

Lokasi Joint	LC	Joint	Defleksi Joint (cm)	Ref. Joint	Def Ref. Joint (cm)	SPAN (m)	Defleksi (cm)	
							Relatif	Izin
Main deck	402	8154	-3.874	8155	-3.7529	1.2	0.1211	1.2
Mezzanine Deck	411	7102	-3.776	7104	-3.6593	1.2	0.1167	1.2
Cellar Deck	403	6182	-5.428	6186	-4.9596	1.1	0.4684	1.1
Sub-Cellar Deck	402	5096	-4.438	5097	-4.1945	1.65	0.2435	1.65

Nilai defleksi vertikal maksimum pada *deck* sudah memenuhi kriteria desain. Nilai defleksi vertikal maksimum terbesar terdapat pada kondisi badai karena beban lingkungan yang lebih ekstrim saat kondisi badai.

Untuk nilai dari defleksi *pilehead* ditunjukkan pada Tabel 20 berikut.

Tabel 20 Nilai Defleksi Pilehead Maksimum untuk Setiap Kondisi

Condition		LC	Joint	Displacement		Defleksi (cm)	
				x	y	Relatif	Izin
1-Year Operating	Min WD	110	001P	0.1261	4.0208	4.022777	9.14
	Max WD	210	001P	0.1126	3.7788	3.780477	9.14
100-Year Storm	Min WD	310	001P	0.0795	6.0821	6.08262	9.14
	Max WD	410	001P	0.06	5.9342	5.934503	9.14

Nilai defleksi dari *pilehead* yang terjadi pada seluruh kondisi lebih kecil daripada defleksi izin. Sehingga nilai defleksi telah memenuhi kriteria desain. Nilai defleksi *pilehead* maksimum terbesar terdapat pada kondisi badai karena beban lingkungan yang lebih ekstrim saat kondisi badai.

Berdasarkan pengecekan *joint punching shear*, berikut nilai *unity check* sambungan *joint can* ditunjukkan pada Tabel 21 dan Tabel 22.

Tabel 21 Load dan Strength UC Joint Punching Shear untuk Kondisi Operasi

Location (m)	Joint	Operating Min Water Depth			Joint	Operating Max Water Depth		
		LOAD UC	STRN UC	LC		LOAD UC	STRN UC	LC
(+) 7.000	903L	0.151	0.954	110	903L	0.154	0.953	210
(-) 3.000	802L	0.209	0.865	103	803L	0.212	0.804	205
(-) 9.833	703L	0.202	0.879	110	703L	0.197	0.876	210
(-) 19.667	602L	0.278	0.887	107	602L	0.266	0.887	207
(-) 29.500	502L	0.276	0.885	107	502L	0.265	0.885	207
(-) 39.330	402L	0.259	0.883	107	402L	0.249	0.837	207
(-) 49.167	302L	0.269	0.882	107	302L	0.26	0.882	207
(-) 59.000	202L	0.207	0.904	112	202L	0.193	0.901	212

Tabel 22 Load dan Strength UC Joint Punching Shear untuk Kondisi Badai

Location (m)	Joint	Storm Min Water Depth			Joint	Storm Max Water Depth		
		LOAD UC	STRN UC	LC		LOAD UC	STRN UC	LC
(+) 7.000	903L	0.158	0.985	310	903L	0.164	0.981	410
(-) 3.000	802L	0.238	0.742	304	802L	0.237	0.739	404
(-) 9.833	703L	0.228	0.881	310	703L	0.227	0.875	410
(-) 19.667	603L	0.269	0.838	310	603L	0.257	0.833	410
(-) 29.500	503L	0.279	0.792	310	503L	0.265	0.788	410
(-) 39.330	401L	0.306	0.772	306	401L	0.294	0.778	406
(-) 49.167	301L	0.338	0.774	310	301L	0.321	0.774	410
(-) 59.000	202L	0.26	0.884	312	202L	0.238	0.882	412

Seluruh nilai UC sambungan *joint can* bernilai kurang dari 1 sehingga struktur telah memenuhi kriteria desain. Nilai UC *joint can* terbesar terdapat pada kondisi badai karena beban lingkungan yang lebih ekstrim dari kondisi operasi.

Berdasarkan pengecekan kapasitas tiang pancang, berikut nilai kapasitas tiang pancang setiap kondisi dapat dilihat pada Tabel 23 hingga Tabel 26.

Tabel 23 Kapasitas Pile Kondisi Operasi Kedalaman Minimum

Joint	Compression				Tension				Min. SF
	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	LC	SF	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	LC	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

Tabel 24 Kapasitas Pile Kondisi Operasi Kedalaman Maksimum

Joint	Compression				Tension				Min. SF
	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	LC	SF	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	LC	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

Tabel 25 Kapasitas Pile Kondisi Badai Kedalaman Minimum

Joint	Compression				Tension				Min. SF
	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	LC	SF	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	LC	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

Tabel 26 Kapasitas Pile Kondisi Badai Kedalaman Maksimum

Joint	Compression				Tension				Min. SF
	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	LC	SF	Capacity (kN)	Max. Load (kN)	LC	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

Berdasarkan kriteria nilai *safety factor* yang terjadi pada kondisi operasi harus lebih dari 2 dan pada kondisi badai harus lebih dari 1,5, maka berdasarkan tabel di atas, menunjukkan bahwa ukuran *pile* yang dikenakan gaya-gaya interaksi pada tanah memenuhi kriteria yang disyaratkan API RP-2A WSD.

Analisis seismik

Pada analisis seismik, terdapat analisis dinamik yang mengeluarkan *output* berupa periode natural struktur sebesar 2,617 detik.

Berdasarkan pengecekan *unity check member* akibat beban gempa, didapatkan nilai *unity check member* untuk kondisi SLE dan kondisi RIE dapat dilihat pada Tabel 27.

Tabel 27 Nilai Tegangan Member dari Analisis Seismik

Description	Group	SLE			RIE		
		Critical Member No.	LC	UC	Critical Member No.	LC	UC
Deck Beam	C25	6190-6192	2	0.69	6190-6192	2	0.69
Vertical Cone Bracing at Deck	CN2	L056-L055	2	0.64	L056-L055	2	0.66
Crane Pedestal Leg	CPL	8043-L058	1	0.49	8043-L058	1	0.49
Diagonal Bracing at Deck	DGD	7506-8010	2	0.31	7506-8010	2	0.33
Diagonal Bracing at Jacket	DGJ	203L-301L	1	0.08	203L-301L	1	0.1
Diagonal Bracing at Jacket (Splash Zone)	DGS	902L-803L	1	0.07	902L-803L	1	0.09
Horizontal Tubular Bracing at Deck	DHB	6235-6106	1	0.13	6235-6106	1	0.14
Deck Leg	DLG	7067-L055	2	0.38	7067-L055	2	0.39
Deck Beam	H10	6185-6183	2	0.09	6185-6183	2	0.1
Horizontal Bracing at Jacket	HOR	0564-802L	2	0.13	0564-802L	2	0.14
Jacket Walkway	JW	0150-903L	2	0.08	0150-903L	2	0.09
Deck Beam	L6	8058-8060	2	0.2	8058-8060	2	0.2
Jacket Leg	LG9	901L-A01L	1	0.07	901L-A01L	1	0.1
Jacket Leg at Splash Zone	LGS	0143-0141	1	0.06	0143-0141	1	0.08
Mudmat	MDM	803L-0144	2	0.06	0035-203L	2	0.14
Pile	PL3	203P-303P	2	0.15	203P-303P	2	0.19
Deck Beam	UB7	6328-6123	2	0.45	6328-6123	2	0.49
Vertical Bracing at Deck	VB2	6173-7083	1	0.39	6173-7083	1	0.41

Dari hasil analisis UC member akibat beban gempa di atas menunjukkan bahwa nilai *unity check member* tidak ada yang bernilai lebih dari 1 baik pada kondisi SLE dan RIE. Hal ini menunjukkan bahwa struktur memenuhi kriteria desain dan tidak mengalami kegagalan pada dua kondisi gempa yang berbeda.

Berdasarkan pengecekan *unity check joint can* saat dikenakan beban gempa, didapatkan nilai *unity check joint can* kondisi SLE dan RIE yang ditunjukkan pada Tabel 28.

Tabel 28 Rekapitulasi Nilai UC pada Joint Can Akibat Beban Seismik

Location (m)	Joint	SLE			Joint	RIE		
		LOAD UC	STRN UC	LC		LOAD UC	STRN UC	LC
(+) 7.000	903L	0.046	0.88	4	903L	0.061	0.886	4
(-) 3.000	801L	0.04	0.817	4	801L	0.064	0.866	4
(-) 9.833	702L	0.058	0.85	4	702L	0.084	0.862	4
(-) 19.667	602L	0.057	0.845	4	601L	0.086	0.866	4
(-) 29.500	502L	0.057	0.842	4	501L	0.087	0.87	4
(-) 39.330	402L	0.057	0.831	4	402L	0.087	0.874	4
(-) 49.167	301L	0.065	0.818	4	301L	0.107	0.88	4
(-) 59.000	202L	0.037	0.883	4	202L	0.06	0.886	4

Berdasarkan hasil analisis *joint punching shear* saat dikenakan beban gempa, disimpulkan bahwa tidak ada nilai UC *joint can* yang bernilai lebih dari 1 untuk kondisi SLE maupun RIE. Hal ini menunjukkan struktur memenuhi kriteria desain dan tidak mengalami kegagalan pada dua kondisi gempa yang berbeda.

Berdasarkan pengecekan kapasitas tiang pancang, berikut nilai *pile safety factor* dua kondisi gempa dapat dilihat pada Tabel 29.

Tabel 29 Rangkuman Nilai Pile Axial Safety Factor Terbesar dari Analisis Seismik

Condition	Joint	Capacity (kN)	Maximum Load (kN)	Safety Factor	Min SF
Strength Level Earthquake	001P	-26940.8	-2522.7	10.68	2.00
	002P	-26940.8	-2852.6	9.44	2.00
	003P	-26887.6	-4102.5	6.55	2.00
Rare Intense Earthquake	001P	-26940.8	-3208.9	8.4	2.00
	002P	-26940.8	-3559.7	7.57	2.00
	003P	-26887.6	-5063.7	5.31	2.00

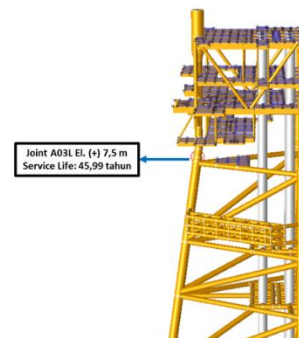
Berdasarkan hasil analisis kapasitas *pile* di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai *pile safety factor* tidak ada yang kurang dari 1,00 baik pada kondisi SLE dan RIE. Hal ini menunjukkan struktur memenuhi kriteria desain dan tidak mengalami kegagalan pada dua kondisi gempa yang berbeda.

Analisis fatigue

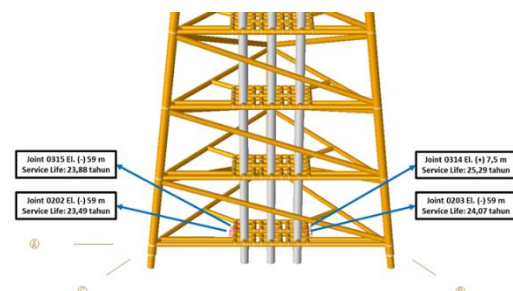
Hasil dari analisis *fatigue* ditunjukkan pada Tabel 30. Sedangkan lokasi *joint* dengan *service life* terkecil ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.

Tabel 30 Analisis Fatigue – Lima Joint dengan Service Life Terkecil

Joint	Member	Member Group	Safety Factor	Damage	Service Life (tahun)
0202	0008-0202	MDM	5	0.639	23.491
0315	0202-0315	MDM	5	0.628	23.875
0203	0027-0203	MDM	5	0.623	24.071
0314	0203-0314	MDM	5	0.593	25.293
A03L	903L-A03L	LG9	2	0.326	45.991



Gambar 11 Lokasi Joint dengan Service Life Terkecil dengan Safety Factor 2



Gambar 12 Lokasi Joint dengan Service Life Terkecil dengan Safety Factor 5

Berdasarkan hasil analisis *fatigue*, disimpulkan bahwa nilai *service life* terkecil masih lebih besar daripada *design life* yaitu 15 tahun. Hal ini menunjukkan struktur sudah memenuhi kriteria standar desain dalam analisis *fatigue*. Selain itu dapat disimpulkan bahwa struktur memiliki umur layan sebesar 23,49 tahun dengan *safety factor* 5 (*not-inspectable condition*).

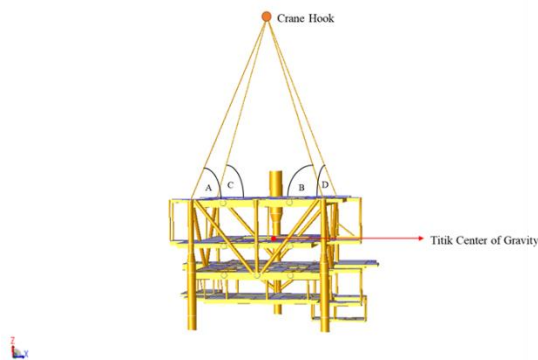
Analisis Instalasi pada Topside

1. Konfigurasi crane hook

Letak dari crane hook ideal (tepat di atas center of gravity struktur) ditunjukkan pada Tabel 31. Ilustrasi dan nilai sudut dari crane hook ditunjukkan pada Gambar 13 dan Tabel 32.

Tabel 31 Koordinat Posisi Crane Hook Pada Topside kondisi Balanced

Koordinat X (m)	Koordinat Y (m)	Koordinat Z (m)	Jarak Vertikal dari Main Deck (m)
7,08	7,47	42	20

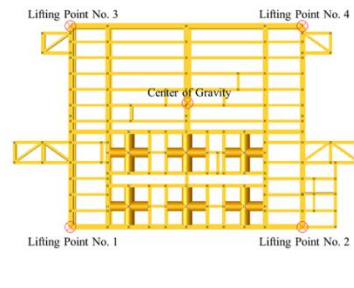


Gambar 13 Tampak Isometrik Konfigurasi Lifting Topside untuk Kondisi Balanced

Tabel 32 Rekapitulasi Besar Sudut Antara Tali Sling dengan Bidang Horizontal Topside Kondisi Balanced

Sudut	Besar Sudut (°)
A	62,91
B	63,19
C	67,25
D	67,54

Titik pengangkatan pada struktur topside ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Letak Lifting Point dan CoG pada Topside untuk Kondisi Balanced

2. Analisis Konfigurasi Lifting Balanced

Hasil perhitungan UC member ditunjukkan pada Tabel 33. Kode L001 adalah load combination dengan faktor pembebanan 1,35. Sedangkan L002 adalah load combination 2 dengan faktor pembebanan 2.

Tabel 33 Nilai Tegangan Member Maksimum untuk Proses Lifting Topside Kondisi Balanced

Description	Group	Critical Member No.	UC
Load Combination L001			
Deck Beam	UB7	8057-8058	0.61
Vertical Bracing at Deck	VB4	7019-8611	0.51
Deck Beam	UB6	8334-8094	0.38
Load Combination L002			
Deck Beam	UB7	8053-8054	0.88
Vertical Bracing at Deck	VB2	7083-8045	0.89
Diagonal Bracing at Deck	DGD	7507-8045	0.88

Berdasarkan hasil pengecekan UC member, tidak ada nilai *unity check member* pada topside yang bernilai lebih dari 1 baik member yang berhubungan langsung dengan sling maupun yang tidak berhubungan langsung dengan sling. Sehingga dapat disimpulkan bahwa konfigurasi sling memenuhi syarat API RP-2A WSD.

Nilai gaya yang bekerja pada sling, yang dijadikan acuan pemilihan komponen lifting, ditunjukkan pada Tabel 34.

Tabel 34 Gaya Tali Sling pada Topside Kondisi Balanced

No. Sling	Member	Gaya (kN)
1	8001-COG1	986,49
2	8054-COG1	981,52
3	8010-COG1	1498,86
4	8045-COG1	1552,51

Sehingga, berdasarkan pengecekan gaya pada tali sling pada kondisi *balanced* sebesar 1552,51 kN.

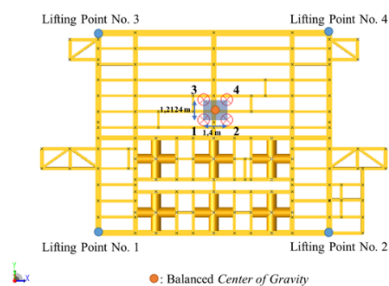
3. Analisis Konfigurasi Lifting Unbalanced

Pada kondisi *unbalanced*, diasumsikan titik CoG mengalami pergeseran dari titik CoG riil dengan

toleransi sebesar 10% dari jarak antar *lifting point*. Koordinat dari keempat titik dan posisi skenario kondisi *unbalanced* ditunjukkan pada Tabel 35. Ilustrasi pergeseran titik CoG ditunjukkan pada Gambar 15.

Tabel 35 Koordinat CoG dan Crane Hook untuk Lifting Topside Kondisi Unbalanced

Kondisi	Koordinat X CoG & Crane Hook (m)	Koordinat Y CoG & Crane Hook (m)	Koordinat Z CoG & Crane Hook (m)	Koordinat Z pada Crane Hook (m)
Balanced	7,08	7,47		
1	6,38	6,8638	17,62	42
2	7,78	6,8638		
3	6,38	8,0762		
4	7,78	8,0762		



Gambar 15 Letak Titik Lifting Point dan CoG pada Topside Kondisi Unbalanced

Selanjutnya dilakukan pengecekan UC ratio member untuk keempat kondisi *unbalanced*, yang ditunjukkan pada Tabel 36.

Tabel 36 Nilai Tegangan Member Maksimum pada Topside Kondisi Unbalanced

Kondisi	Description	Group	Critical Member No.	UC
Load Combination L001				
1	Vertical Bracing at Deck	VB2	6135-7020	0.63
2	Vertical Bracing at Deck	VB2	6173-7083	0.63
3	Vertical Bracing at Deck	VB2	6135-7020	0.65
4	Vertical Bracing at Deck	VB2	6173-7083	0.64
Load Combination L002				
1	Diagonal Bracing at Deck	DGD	7506-8010	0.87
2	Diagonal Bracing at Deck	DGD	7507-8045	0.91
3	Diagonal Bracing at Deck	DGD	7506-8010	0.89
4	Diagonal Bracing at Deck	DGD	7507-8045	0.93

Berdasarkan hasil di atas dapat disimpulkan bahwa pada seluruh kondisi *unbalanced* dan kombinasi pembebanan tidak ada UC member yang melebihi nilai 1. Maka dapat disimpulkan bahwa konfigurasi *lifting* ini memenuhi syarat API RP-2A WSD pada semua kondisi *unbalanced*. Nilai gaya yang bekerja pada *sling* kondisi *unbalanced*, yang dijadikan acuan pemilihan komponen *lifting*, ditunjukkan pada Tabel 37.

Tabel 37 Gaya Tali Sling Paling Kritis pada Topside Kondisi Unbalanced

Kondisi	Gaya Sling Kritis (kN)	Member
1	1502,44	8010-COG1
2	1555,69	8045-COG1
3	1584,94	8010-COG1
4	1637,94	8045-COG1

Gaya terbesar yang terjadi pada *sling* adalah sebesar 1637,94 kN. Gaya ini akan menjadi acuan dalam pemilihan komponen *lifting*.

4. Pemilihan Tali Sling

Pemilihan tali *sling* dilakukan berdasarkan gaya tali *sling* maksimum kondisi *unbalanced* yang diberi *safety factor* 4 yaitu sebesar 668,09 metrik ton. katalog milik KTL Offshore PTE LTD dengan spesifikasi diameter 102 mm dan nilai *minimum breaking load* sebesar 743 metrik ton. Ilustrasi tali *sling* ditunjukkan pada Gambar 16.

Grommet diameter	CGBL		Unit Weight (In Double Part)
	EEIPS		
(inches)	(mm)	(metric tons)	(kg/m)
4.0	102	743	50
4.4	112	933	63
5.0	128	1,148	77

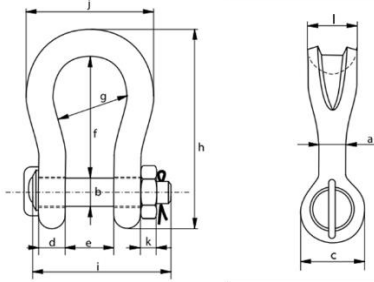


Gambar 16 Katalog Spesifikasi Tali Sling (KTL Offshore PTE LTD)

5. Pemilihan Shackle

Penentuan *working load limit* dari *shackle* ditentukan oleh gaya *sling*. Berdasarkan analisis gaya pada *sling*, didapatkan gaya maksimum sebesar 1637,94 kN atau sekitar 184,11 metrik ton. Dipilih *shackle* dari katalog Van Beest Green Pin dengan *working load limit* sebesar 400 ton sudah termasuk *safety factor* sebesar 5. Ilustrasi *shackle* ditunjukkan pada Gambar 17.

working load limit	diameter body	diameter pin	diameter eye	width eye	width inside	length inside	width bow	length bow	length bolt	width nut	thickness nut	bearing surface	weight each
t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	kg
7	22	22	46	19	32	96	64	153	115	110	19	41	2
12.5	28	28	61	25	44	121	82	197	151	146	24	54	4
18	35	35	69	30	54	148	102	239	175	180	29	64	7
30	40	42	90	35	69	165	126	279	211	200	34	79	13
40	55	51	109	45	84	199	140	331	252	235	38	97	21
55	60	57	115	55	90	240	160	389	299	270	45	100	30
75	68	70	125	54	110	290	185	475	317	317	40	120	45
125	85	80	154	85	137	366	220	583	413	390	40	150	84
150	94	95	179	89	147	391	235	645	445	434	50	170	117
200	110	105	199	100	158	481	280	759	480	462	50	205	179
250	126	120	227	110	179	542	300	859	535	530	60	240	260
300	135	134	245	122	195	601	350	947	590	600	70	265	350
400	160	160	293	145	231	576	370	985	675	690	80	320	580
500	190	200	320	160	269	689	450	1197	740	750	90	399	760
600	190	200	348	170	289	741	490	1254	809	865	100	370	980
700	200	215	392	190	315	751	540	1284	879	901	100	400	1360
800	218	230	420	200	342	851	554	1426	942	947	110	420	1430
900	242	255	466	220	368	851	580	1488	1023	1023	120	440	1650
1000	260	270	490	240	399	851	614	1532	1103	1107	120	460	2970
1250	285	300	510	260	452	931	650	1666	1227	1182	150	530	3700
1500	285	320	550	280	483	950	680	1710	1300	1253	150	560	4000



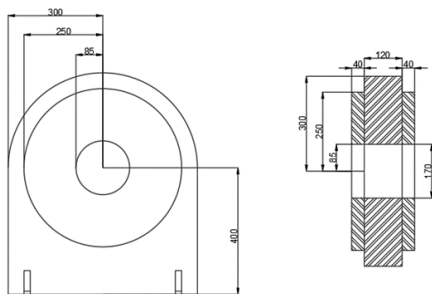
Gambar 17 Katalog Spesifikasi Shackle (Van Beest Green Pin)

6. Desain Padeye

Desain *padeye* ditentukan oleh gaya *sling* yang bekerja. Desain *padeye* berikut telah memperhitungkan *clearance area*, kapasitas geser, kapasitas *bearing*, dan *bending* pada *main plate*. Desain *padeye* ditunjukkan pada Tabel 38 dan Gambar 18.

Tabel 38 Rangkuman Desain Dimensi Padeye pada Topside

Deskripsi	Variabel	Nilai
Tegangan Leleh	F_y	36 ksi
Diameter Lubang	d_h	170 mm
Radius Lubang	r_h	85 mm
Tebal Main Plate	t_m	120 mm
Tebal Cheek Plate	t_c	40 mm
Radius Main Plate	r_m	300 mm
Radius Cheek Plate	r_c	250 mm
Jarak Pusat Lubang ke Dasar Padeye	L_o	400 mm



Gambar 18 Ilustrasi Desain Dimensi Padeye

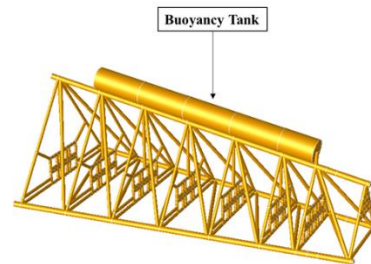
Analisis Instalasi pada Jacket

Pada analisis *floatation* dan *upending* pada *jacket*, dilakukan dengan metode kombinasi dimana terdapat *buoyancy tank* sebagai pemberi gaya apung dan *upending* pada *jacket*, serta *crane hook* yang berfungsi memikul beban *jacket*.

1. Konfigurasi *Buoyancy Tank* dan Tali *Sling*
Diperlukan perancangan dimensi serta posisi dari *buoyancy tank* (*floaters*) dan panjang tali *sling*. Dimensi serta fungsi dari *buoyancy tank* adalah sebagai berikut.

- Nama/Label : BT
- Dimensi :
 - Outside diameter : 450 cm
 - Wall thickness : 2 cm
 - Length : 46,635 m
- Fungsi : Memberikan *buoyancy force* pada bagian bawah hingga bagian atas *jacket* saat *initial floatation* dan memberikan gaya *upending* pada bagian bawah *jacket*.

Ilustrasi letak pemasangan *buoyancy tank* pada *jacket* ditunjukkan pada Gambar 19.

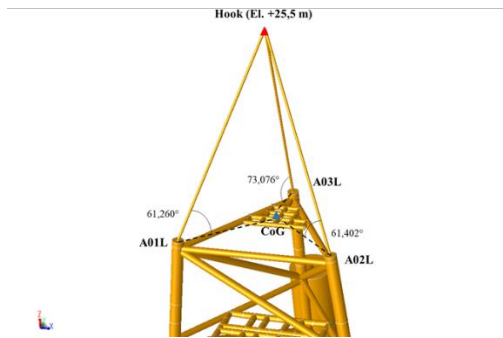


Gambar 19 Distribusi Peletakan Buoyancy Tank pada Struktur Jacket

Penentuan panjang *sling* dari *main hook* didasarkan pada GL Noble Denton 0027/ND bahwa sudut kerja *sling* minimum yang direkomendasikan terhadap bidang datar adalah sebesar 60°. Nilai panjang *sling* yang dipakai saat proses *upending* dan ilustrasi sudut kerja *sling* ditunjukkan pada Tabel 39 dan Gambar 20.

Tabel 39 Nilai Perhitungan Panjang Sling Tiap Joint

Joint	Jarak ke CoG (m)	Panjang Sling Minimum (m)	Panjang Sling Sebenarnya (m)
A01L	9,87124	20,529	21
A02L	9,81332	20,501	21
A03L	5,47701	18,815	19



Gambar 20 Sudut-sudut pada Joint yang dikaitkan dengan Sling

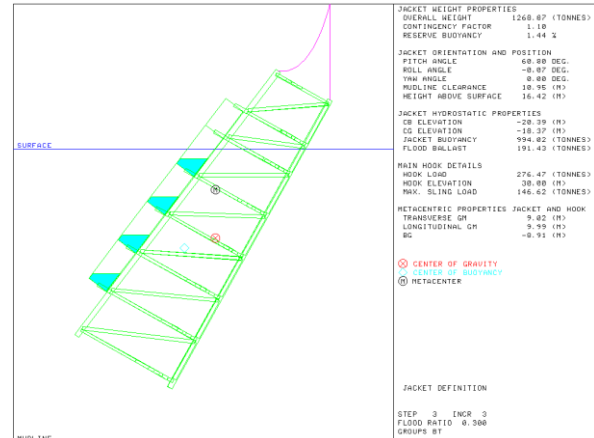
2. Simulasi dan Analisis Floatation dan Upending

Setelah menentukan konfigurasi komponen floatation dan upending, perlu ditentukan pergerakan dari crane hook dan fase pembocoran buoyancy tank saat upending. Tahapan upending yang dirancang ditunjukkan pada Tabel 40.

Tabel 40 Rincian Tahapan Upending dan Post-Upending dengan Metode Kombinasi

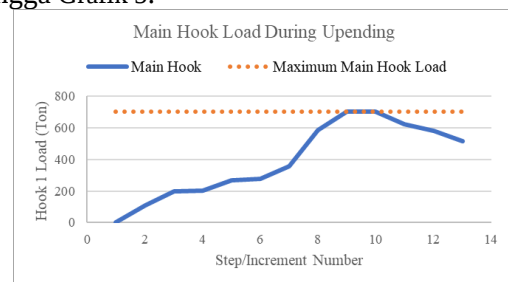
Langkah/Increment	Elevasi Main Hook (m)	Pembocoran Buoyancy Tank
Tahap Upending		
1	0	0%
2	10,5	0%
3	21	0%
4	24	10%
5	27	20%
6	30	30%
7	35	50%
8	40	70%
9	40	85%
10	40	100%
Tahap Post-Upending		
1	35,4	100%
2	30,8	100%
3	26,2	100%

Setelah menentukan langkah upending, disimulasikan proses upending dan menghasilkan output berupa plot tiap langkah upending dengan menampilkan nilai seperti gaya pada main hook, mudline clearance, transverse dan longitudinal GM. Salah satu output plot simulasi upending ditunjukkan pada Gambar 21.

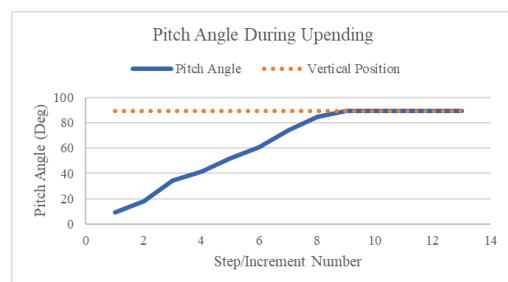


Gambar 21 Contoh Output Simulasi Upending pada Program SACS

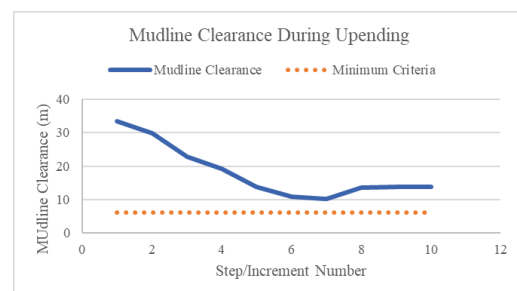
Nilai parameter-parameter yang disebutkan sebelumnya perlu diperiksa terhadap kriteria GL Noble Denton 0028/ND. Grafik rekapitulasi dari nilai-nilai tersebut ditunjukkan pada Grafik 1 hingga Grafik 5.



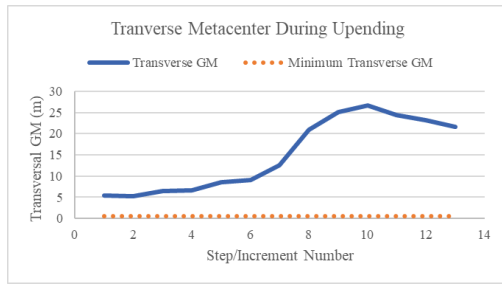
Grafik 1 Grafik Report Main Hook Load



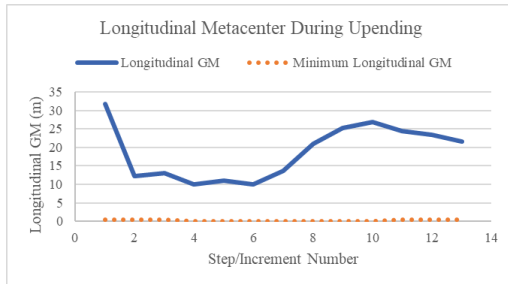
Grafik 2 Grafik Report Pitch Angle Selama Proses Upending



Grafik 3 Grafik Report Seabed Clearance Selama Proses Upending



Grafik 4 Grafik Report Transverse GM Selama Proses Upending



Grafik 5 Grafik Report Longitudinal GM Selama Proses Upending

Berdasarkan grafik *report* yang didapatkan dari *output* SACS, dapat disimpulkan mengenai nilai terhadap kriteria yang terdapat pada GL Noble Denton 0028/ND sebagai berikut.

- **Pitch Angle:** Berdasarkan *report* pada Grafik 2, terlihat *pitch angle* pada posisi tegak *jacket* adalah sebesar $89,48^\circ$.
- **Mudline Clearance:** Berdasarkan *report* pada Grafik 3, disimpulkan bahwa pada fase *upending* memenuhi kriteria *mudline clearance* dengan nilai terendah adalah 10,1 m pada saat *pitch angle jacket* sebesar $74,21^\circ$ yang berarti masih memenuhi kriteria yaitu minimum yaitu 10% kedalaman perairan atau sebesar 6,05 m.
- **Minimum Stability:** Berdasarkan *report* pada Grafik 4 dan Grafik 5, didapatkan nilai *transverse GM* terendah untuk fase *upending* terdapat pada *step/increment* nomor 2 dengan nilai sebesar 5,29 m. Begitu pula nilai *longitudinal GM* paling kecil terdapat pada *step/increment* 6 dengan nilai sebesar 9,99 m. Pada fase *post-upending*, nilai *transverse GM* terendah yaitu sebesar 21,63 m dan *longitudinal GM* sebesar 21,67 m. Seluruh nilai kestabilan telah memenuhi kriteria minimum GL Noble Denton yaitu sebesar 0,5 m.
- **Reserve Buoyancy:** Nilai *reserve buoyancy* selama *upending* tidak diatur oleh GL Noble Denton 0028/ND (Tabel 2). Pada metode

kombinasi, lebih ditekankan pemenuhan kriteria *mudline/seabed clearance* dan stabilitas.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa perancangan simulasi *upending* telah memenuhi kriteria GL Noble Denton 0028/ND.

3. Pemilihan Crane

Penggunaan *crane barge* diaplikasikan pada tahap instalasi baik untuk bagian *topside* maupun *jacket*. Pemilihan *crane barge* untuk instalasi *topside* bergantung pada beban total *lifting topside* dan gaya pada *main hook* selama *upending*.

Kebutuhan spesifikasi *crane* baik untuk instalasi *topside* maupun *jacket* terangkum pada Tabel 41.

Tabel 41 Kebutuhan Spesifikasi Crane untuk Instalasi

Deskripsi	Hook	Maksimum Hook Load (tonnes)	Lifting Radius (m)	Maximum Lifting Height (m)
<i>Topside</i>	*	465,50	*	*
<i>Jacket</i>	Main	703,14	40	40

*parameter mengikuti *main hook* pada *jacket*

Crane barge yang dipilih yaitu kapal *Bokalift 1 DP-2 3000 T Crane Vessel* milik *Boskalis Heavy Lift Vessel*. Kapal yang bertipe *Class 1D* ini dapat digunakan untuk pengangkatan benda berat (*heavy lifting*) seperti *topside* dan *jacket platform* serta peralatan bawah laut (*subsea equipment*). Kapal ini memiliki *crane* dengan kapasitas *main hook* maksimum sebesar 1200 metrik ton dan *auxiliary hook* sebesar 800 metrik ton.

Rincian spesifikasi dari *crane barge Bokalift 1 DP-2 3000 T* adalah sebagai berikut.

- Model : BV, *CleanShip Ice, Class 1D*
- Panjang tiang crane : main 50 m; aux 81 m; whip 94 m.
- Kapasitas hook : 1200 MT up to 50 m radius (main); 800 MT up to 81 m radius (aux); 200 MT @ 92 m radius (whip single); 80 MT @ 94 m radius (whip double).
- Kapasitas *lifting* : 90 m dari atas deck (main) @ 30 m radius; 99 m dari atas deck @ 35 m radius & 230 m di bawah permukaan laut (aux);

Ilustrasi dari *Bokalift 1 DP-2 3000 T* yang dipakai untuk mengangkat *topside* dan *jacket* ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22 Tampak Samping dan Atas dari Bokalift 1
DP-2 3000 T
(Boskalis Heavy Lift Vessel Catalogue)

Hasil perbandingan kriteria kebutuhan dengan kapasitas *crane* untuk instalasi *topside* dan *jacket* ditunjukkan pada Tabel 42.

Tabel 42 Perbandingan Kebutuhan dan Kapasitas
Crane yang Dipilih

Deskripsi	Maksimum Hook Load (tonnes)		Lifting Radius (m)		Maximum Lifting Height (m)		Cek
	Kebutuhan	Kapasitas	Kebutuhan	Kapasitas	Kebutuhan	Kapasitas	
<i>Topside</i>	465,50	1200	40	50	(+) 40	(+) 90	OK
<i>Jacket</i>	703,14						

Sehingga, dapat disimpulkan *crane barge* yang dipilih mampu mengakomodir proses instalasi *topside* dan *jacket*.

V. PENUTUP

Kesimpulan

1. Model struktur memenuhi kriteria desain tegangan *member* API RP-2A WSD pada analisis *in-place* dengan nilai *unity check* maksimum sebesar 0,96 pada kondisi operasi kedalaman minimum, 0,95 pada kondisi operasi kedalaman maksimum, 0,88 pada kondisi badai kedalaman perairan minimum, serta 0,93 pada kondisi badai kedalaman perairan maksimum.
2. Model struktur memenuhi kriteria desain defleksi SNI 03-1729-2000 dan ISO 9001 pada analisis *in-place* dengan nilai defleksi horizontal *joint* terbesar adalah 36,15 cm pada *joint* 8017 kondisi badai kedalaman perairan maksimum, defleksi vertikal *joint* terbesar adalah 0,7686 cm pada *joint* 6182 dengan *joint* referensi 6186 pada kondisi badai kedalaman perairan minimum, serta defleksi *pilehead* terbesar adalah 6,08262 cm pada *joint* 001P kondisi badai kedalaman perairan minimum.
3. Model struktur memenuhi kriteria desain sambungan API RP-2A WSD pada analisis *in-place* dengan *Load UC joint punching shear* maksimum terjadi pada kondisi badai kedalaman perairan minimum, tepatnya pada *joint* 903L dengan nilai *Load UC* sebesar 0,158 dan *Strength UC* sebesar 0,985.
4. Model tiang pancang (*pile*) struktur memenuhi kriteria desain kapasitas *pile* dan tegangan *pile* API RP-2A WSD pada analisis *in-place* dengan nilai kapasitas *pile* minimum sebesar 1,55 pada *joint pilehead* 003P kondisi badai kedalaman perairan minimum. Nilai *UC Ratio Pile* di bawah tanah maksimum sebesar 0,842 pada kondisi badai kedalaman perairan minimum.
5. Model struktur memiliki nilai periode natural struktur sebesar 2,617 detik berdasarkan hasil analisis *seismic*.
6. Model struktur memenuhi kriteria desain tegangan *member* API RP-2A WSD pada analisis *seismic* dengan nilai *unity check* maksimum sebesar 0,69 pada kondisi gempa SLE maupun RIE.
7. Model struktur memenuhi kriteria desain sambungan API RP-2A WSD pada analisis *seismic* dengan *Load UC joint punching shear* maksimum terjadi pada kekuatan gempa RIE, tepatnya pada *joint* 903L dengan nilai *Load UC* sebesar 0,061 dan *Strength UC* sebesar 0,886.
8. Model tiang pancang (*pile*) struktur memenuhi kriteria desain kapasitas *pile* dan tegangan *pile* API RP-2A WSD pada analisis *seismic* dengan nilai kapasitas *pile* minimum sebesar 5,31 pada *joint pilehead* 003P pada kondisi gempa RIE. Nilai *UC Ratio Pile* di bawah tanah maksimum sebesar 0,186 pada kondisi gempa RIE.
9. Model struktur memenuhi kriteria desain API RP-2A WSD pada analisis *fatigue* dengan *damage* maksimum sebesar 0,6385566 dengan *safety factor* 5,00 pada *joint* 0202 yang terletak pada *mudmat*. *Service life* didapat sebesar 23,49 tahun yang lebih besar dari *design life* selama 15 tahun.
10. Model struktur *topside* memenuhi kriteria desain API RP-2A WSD dan GL Noble Denton 0027/ND pada analisis konfigurasi *lifting topside*. Spesifikasi komponen *lifting* yang digunakan adalah sebagai berikut.
 - a. Tali *sling* yang dipilih mengacu pada katalog milik KTL Offshore PTE LTD dengan diameter sebesar 103 mm dan nilai *Calculated Grommet Breaking Load (CGBL)* sebesar 743 ton.
 - b. *Shackle* yang dipilih mengacu pada katalog milik Van Beest Green Pin

dengan nilai *working load limit* 400 ton dan *safety factor* sebesar 5.

- c. Desain *padeye* dalam satuan milimeter yang digunakan pada proses *lifting* kondisi *balanced* ditunjukkan pada Gambar 18.

Komponen-komponen *lifting* ini masih memenuhi standar API RP-2A WSD ketika dilakukan simulasi *unbalanced lifting*, yaitu ketika titik *crane hook* bergeser dengan toleransi sebesar 10% dari jarak antar *lifting point* atau sebesar $\pm 0,7$ meter pada sumbu X dan $\pm 0,6062$ meter pada sumbu Y.

11. Model struktur *jacket* memenuhi kriteria desain GL Noble Denton 0028/ND pada simulasi *floatation* dan *upending* dengan metode kombinasi atau disebut *single hook with jacket initially floating* (SHJF). *Crane vessel* yang digunakan untuk mengangkat *topside* maupun *jacket* adalah kapal *Bokalift 1 DP-2 3000 T* milik *Boskalis Heavy Lift Vessel* dengan *main hook* berkapasitas 1200 metrik ton dan *auxiliary hook* berkapasitas 800 metrik ton.

Saran

1. Data perlengkapan (*equipment*) sebaiknya lebih lengkap agar menyerupai kondisi pembebanan struktur yang sebenarnya.
2. Desain *padeye* dapat dilakukan dengan metoda elemen hingga untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif.
3. Modul *floatation program* pada perangkat lunak SACS terbatas pada pemodelan *upending* di perairan tenang (tanpa bangkitan *seastate*). Sehingga untuk mendapatkan simulasi secara real diperlukan simulasi secara dinamik pada perangkat lunak tambahan.

American Petroleum Institute (2000): *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design 21st Edition* (21st ed.). (2007). Washington DC: American Petroleum Institute.

American Petroleum Institute (2004): *Specification for Line Pipe* (43rd ed.). (2004). Washington DC: American Petroleum Institute.

Chakrabarti, S. K. (2005). *Handbook of Offshore Engineering Vol. I*. Oxford: Elsevier.

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

GL Noble Denton (2015): *Guideline for Marine Lifting & Lowering Operations*. Hamburg: Noble Denton Group Limited.

GL Noble Denton (2016): *Guideline for Steel Jacket Transportation & Installation*. Hamburg: Noble Denton Group Limited.

Goda, Y. (2000). *Advanced Series on Ocean Engineering – Volume 15: Random Seas and Design of Maritime Structures*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Ramadhini, H. D. (2016). *Tugas Akhir: Analisis Instalasi Struktur Jacket 8 Kaki di Lahan Kepodang*. Bandung: Program Studi Teknik Kelautan-FTSL-ITB.

Standar Nasional Indonesia (2000): *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.

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

Wisambudhi, M. Y. (2015). *Tugas Akhir: Analisis Upending pada Wellhead Platform Tiga Kaki*. Bandung: Program Studi Teknik Kelautan-FTSL-ITB.