

DESAIN DAN ANALISIS UPENDING STRUKTUR PLATFORM TIPE JACKET EMPAT KAKI DI PERAIRAN LAUT NATUNA

DESIGN AND UPENDING ANALYSIS OF FOUR LEG JACKET PLATFORM ON THE NATUNA SEA

Muhammad Noor Yuliansyah

ABSTRACT

This final project aims to obtain an optimum design of four leg jacket platform on the Natuna Sea and feasible jacket upending scenario based on GL Noble Denton 0028/ND "Guidelines for the Transportation and Installation of Steel Jackets" criteria and compare the technical terms for the controlled ballasting method. Before upending analysis conducted, first the structure to be declared eligible to be constructed able to resist earthquake force and meet the service life design, 20 years, based on American Petroleum Institute "Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms" (API RP2A) with in place analysis, seismic analysis and fatigue analysis. Buoyancy tank flooding scheme provide upending force for controlled ballasting upending method. The results shows the structure is able to resist external forces (environment, equipment, earthquake, continuous wave, etc) and the controlled ballasting upending method possibly to be conducted based on DNV GL Noble Denton No. 0028/ND criteria.

Key words: *in-place, seismic, fatigue, upending, ballasting*

PENDAHULUAN

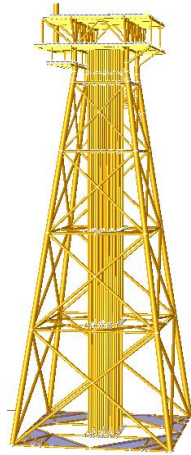
Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki luas wilayah perairan sebesar 2/3 dari luas wilayah total. Wilayah laut Indonesia juga memiliki sumber daya alam yang berlimpah. Salah satu sumber daya alam tersebut adalah minyak dan gas bumi (migas) yang tersimpan di bawah lautan Indonesia. Sumber daya alam berupa migas bawah laut Indonesia tersebar di beberapa wilayah seperti Laut Jawa, Laut Natuna, Selat Malaka dan Selat Makassar. Wilayah-wilayah tersebut tergolong dalam perairan dengan kedalaman dangkal hingga menengah, sehingga penggunaan struktur anjungan lepas pantai tipe tetap (*fixed platform*) cocok untuk dibangun di Indonesia. Struktur anjungan lepas pantai perlu didesain secara tepat, agar kegiatan yang berada diatas struktur tidak terganggu. Dalam proses desain struktur

anjungan lepas pantai, perlu dilakukan beberapa analisis untuk mengetahui kemampuan layan struktur akibat pembebanan yang bekerja pada struktur. Analisis-analisis tersebut antara lain analisis *in-place*, *seismic*, dan *fatigue*. Setelah memenuhi tiga kriteria tersebut, dapat dilakukan langkah desain berikutnya, salah satunya analisis *upending*. Upending adalah kegiatan di laut lepas untuk menegakkan jacket dari posisi horizontalnya setelah diluncurkan maupun masih di atas barge. Proses perancangan kegiatan upending turut mempertimbangkan ukuran struktur, ketersediaan alat berat, kondisi perairan, dan geometri struktur. Aspek-aspek tersebut akan menjadi pertimbangan utama dalam analisis desain upending dan juga mempengaruhi rancangan konfigurasi upending. Analisis pada kegiatan upending

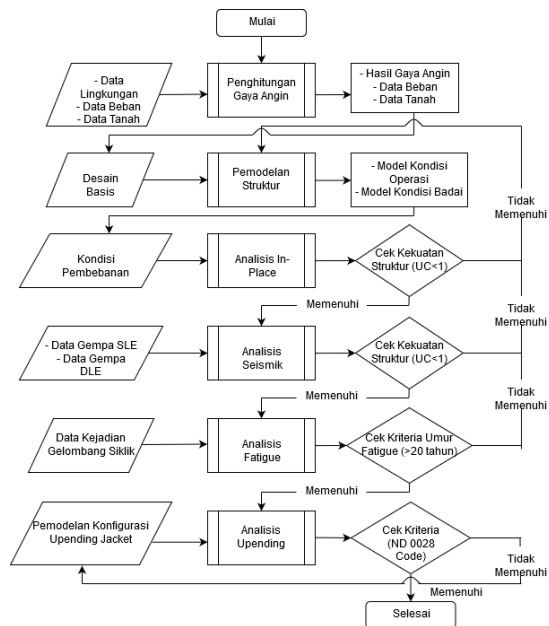
yang tepat akan menghasilkan metode yang paling efektif dan efisien dan terhindar dari kecelakaan pengerjaan.

TEORI DAN METODOLOGI

Tugas akhir ini menganalisis inplace, seismic, fatigue, dan upending pada WHP-D Platform 4 kaki (Lihat Gambar 1) di perairan laut Natuna.



Gambar 1 Model struktur WHP-D platform



Gambar 2 Diagram alir metodologi penelitian

Analisis In-Place

Analisis in place merupakan simulasi gaya gaya yang terjadi pada saat struktur beroperasi. API RP 2A merekomendasikan untuk melakukan

analisis pada kondisi *operating* dan *storm*. Adapun beban-beban yang terjadi pada struktur antara lain beban mati, beban hidup, dan beban lingkungan (gelombang, arus, dan angin).

Beban mati dan beban hidup berasal dari peralatan dan juga aktivitas manusia di atas lantai *deck* dan *jacket walkway*. Beban mati nilainya tidak berubah pada kedua kondisi analisis dimana beban hidup akan berkurang ketika dilakukan analisis kondisi *storm*. Beban gelombang, arus, dan angin terdiri dari data 1 tahunan dan data 100 tahunan. Masing-masing set data untuk analisis pada kondisi *operating* dan *storm*. Kehadiran *marine growth* juga harus dipertimbangkan.

Penghitungan gaya-gaya akibat gelombang dan arus tidak dapat dipisahkan dan akan dibangkitkan bersamaan menjadi gaya global pada struktur oleh *software*. Gaya hidrodinamika lokal pada silinder dapat dihitung menggunakan persamaan Morisson di bawah ini.

$$F = F_D + F_I = C_D \frac{\rho}{2g} AU|U| + C_M \frac{\rho}{g} V \frac{\delta U}{\delta t} \quad (1)$$

Gaya angin didapat dari penghitungan data kecepatan angin pada elevasi rencana terhadap area struktur di atas muka air. Koreksi data kecepatan angin pada elevasi referensi (10 m) terhadap elevasi rencana menggunakan persamaan (2) di bawah ini:

$$U(z) = U_o \left[1 + C \times \ln \left(\frac{z}{32.8} \right) \right] \quad (2)$$

Kalkulasi gaya angin dilakukan dengan persamaan (3) dengan kecepatan angin pada elevasi desain.

$$F = \frac{\rho}{2} U(z)^2 C_s A \quad (3)$$

Beban lingkungan (gelombang, arus, dan angin) disimulasikan pada 8 arah, berdasarkan API RP 2A, pada struktur jacket 4 kaki. Seluruh beban dikombinasikan (termasuk beban hidup dan beban mati) baik pada kondisi *operating* maupun kondisi *storm*.

Analisis Seismik

Analisis seismik merupakan analisis yang akan meninjau ketahanan struktur apabila mengalami gempa selama sedang beroperasi. Pada area yang memiliki aktivitas gempa yang rendah, perencanaan anjungan lebih mengacu pada badai atau beban lingkungan.

Pengaruh dari aktivitas seismik pada struktur adalah akan menghasilkan beban statis lateral pada bagian dasar struktur, dan nilainya dihitung dari properti dinamik (periode natural dan ragam getar) yang dihitung dari analisis seismik.

Pada analisis seismik, beban lingkungan tidak diperhitungkan. Sedangkan beban hidup memiliki faktor 0.75. Oleh karena itu kombinasi pembebanan yang terjadi adalah,

$$D + (0.75L + EQ) \quad (4)$$

Sementara itu, pada dasarnya setiap benda fisik memiliki nilai frekuensi atau periode natural tertentu. Besar periode natural ini dipengaruhi oleh massa dan kekakuan benda tersebut, yang ditunjukkan oleh rumus berikut.

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (5)$$

Sama seperti beban lingkungan gelombang, arus dan angin yang memiliki perioda ulang baik tahunan maupun ratusan tahun, beban gempa bumi juga terbagi menjadi dua macam perioda ulang yang dijelaskan sebagai berikut.

- *Strength Level Earthquake* (SLE), merupakan kekuatan gempa yang memiliki perioda ulang sebesar 100 tahun. Kekuatan gempa bumi dengan perioda ulang SLE sering digunakan untuk menganalisis struktur akibat beban gempa tanpa mengalami kerusakan struktur yang signifikan.
- *Ductility Level Earthquake* (DLE), merupakan kekuatan gempa yang memiliki perioda ulang 800 – 1000 tahun. Kekuatan gempa bumi ini digunakan untuk menentukan kapasitas sisa yang dimiliki oleh struktur akibat menerima gempa bumi yang cukup besar. Beberapa kerusakan struktur diizinkan terjadi, dengan batasan struktur tidak sampai runtuh.

Pada analisis seismik, terdapat beberapa hal yang ditinjau, yaitu: tegangan member, joint punching shear, dan kapasitas pile.

Secara umum, pengecekan yang dilakukan sama dengan yang dilakukan pada analisis *in-place*. Pada pengecekan tegangan

member, hal yang membedakan adalah faktor tegangan izinnnya, yaitu bernilai 1.70. Pada pengecekan kapasitas *pile*, nilai *safety factor* pada analisis seismik adalah 1.50 untuk tingkat SLE dan 1.00 untuk tingkat DLE. Pada pengecekan *joint punching shear*, faktor tegangan izin *joint punching shear* bernilai 1.70. Faktor tegangan izin tersebut dimodelkan dengan AMOD.

Analisis Fatigue

Analisis *fatigue* bertujuan untuk mendapatkan masa layan dari struktur. Kriteria yang harus dipenuhi adalah masa layan aktual > masa layan rencana.

Beban lingkungan hanya berupa beban gelombang siklik dengan seluruh rentang kelas gelombang yang terjadi pada periode ulang tertentu tanpa beban arus.

Fenomena *fatigue* pada member didefinisikan dengan *cumulative damage ratio* (D) dari perbandingan jumlah beban siklik yang terjadi (n) dengan jumlah beban siklik yang diijinkan (N) pada rentang *hot spot stress* yang terjadi:

$$D = \sum_{i=1}^I \frac{n_i}{N_i} \quad (6)$$

Maka, nilai masa layan (*service life*) didapat dari nilai *damage* (D) dengan persamaan (7):

$$Service\ Life = \frac{Design\ Life}{D} \quad (7)$$

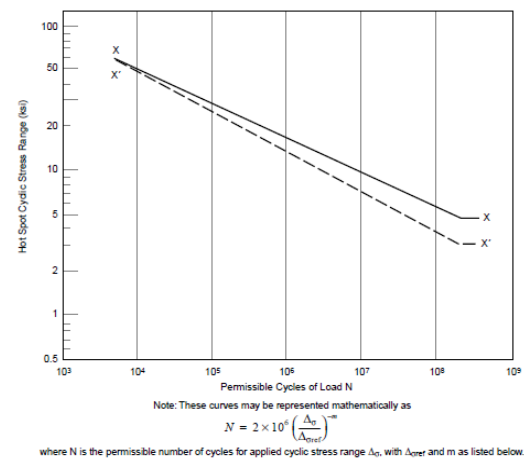
Tegangan pada sambungan las sangat rawan dengan kondisi *fatigue* dimana terjadi kondisi tegangan terkonsentrasi pada tiap sambungan tubular. Nilainya didapat dari tegangan lokal member yang dikalikan dengan suatu *stress*

concentration factor (SCF). Tegangan tersebut dinamakan *hot spot stress* (HSSR).

$$HSSR = SCF \times Nominal\ Brace\ Stress\ Range \quad (8)$$

SCF didapatkan dari formula yang telah banyak diajukan oleh para ahli misalnya Kuang, Alpha Kellog, dan Efthymiou. Formula SCF merupakan fungsi dari geometri sambungan, property member, dan kondisi pembebanan (*loading pattern*). API RP2A merekomendasikan untuk menggunakan formula SCF Efthymiou karena dinilai lebih akurat dan meliputi komponen variable dari fungsi-fungsi formula SCF.

Nilai HSSR digunakan untuk menentukan jumlah beban siklik ijin dari kurva S-N berikut:



Gambar 3 Kurva S-N

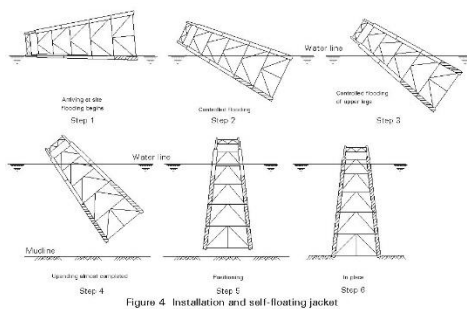
Nilai tegangan pada kondisi statik dilipatgandakan pada kondisi dinamik dengan *dynamic amplification factor* (DAF). DAF merupakan fungsi dari frekuensi gelombang dan frekuensi alamiah struktur. DAF didapat dengan persamaan (9) di bawah ini:

$$DAF = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{T_n^2}{T_w^2}\right)^2 + \left(2 \frac{T_n}{T_w} Q\right)^2}} \quad (9)$$

Analisis Upending

Upending dapat dilakukan dengan 3 metode yaitu, controlled ballasting, tandem crane upend, dan controlled ballasting-crane assisted. Prinsip upending cukup sederhana dimana aspek-aspek yang terlibat hanya komponen gaya vertical *buoyancy* dan *selfweight*. Orientasi struktur diwakilkan melalui *pitch angle* dan *roll angle*, dimana fase akhir upending di tandai dengan pitch angle struktur mencapai 90°. Prinsip kesetimbangan struktur di rumuskan sebagai berikut:

$$\sum F_b \geq \sum F_w \quad (10)$$



Gambar 4 Ilustrasi controlled ballasting upending

Kriteria yang harus dipenuhi pada analisis upending berasal dari dokumen GL Noble Denton 0028/ND *Guidelines for The Transportation and Installation of Steel Jackets*. Kode ini memberikan kriteria minimum pada *reserve buoyancy*, *seabed clearance*, dan *minimum stability*.

Tabel 1 Kriteria Minimum Reserve Buoyancy
(Sumber: GL Noble Denton 0028/ND)

Case	Intact	Damaged
Launched Jacket after launch	15%	5%
During upend by ballasting, without crane assistance	Sufficient to maintain required seabed clearance criteria (See Tabel 2)	
Lifted jacket, if required to be re-rigged prior to upend	10%	5%

Tabel 2 Kriteria Minimum Seabed Clearance
(Sumber: GL Noble Denton 0028/ND)

Case	Intact	Damaged
During launch	Greater 10% of water depth or 5 meter	> 0 m
During upend by controlled ballasting, with or without crane assist	5 m	> 0 m
Self-upending jacket during upend	Greater 10% of water depth or 5 m	> 0 m

Tabel 3 Kriteria Minimum Stability
(Sumber: GL Noble Denton 0028/ND)

Case	Intact GM	Damaged GM
After launch, transverse and longitudinal	0.5 m	0.2 m
During upend, transverse	0.5 m	0.2 m
During upend, longitudinal	> 0 m	> 0 m
After upending, before final position, both directions	0.5 m	0.2 m

HASIL DAN ANALISIS

Analisis In-Place

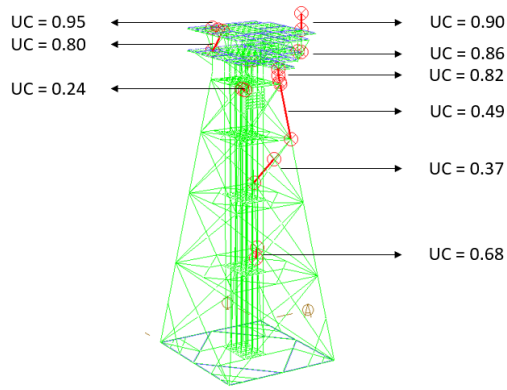
Kriteria *unity check ratio* (UC) < 1 harus dipenuhi pada analisis statik in place. Dimana UC adalah:

$$\text{Unity check ratio} = \frac{\text{Tegangan aktual}}{\text{Tegangan izin}} \quad (11)$$

Untuk tegangan izin (*allowable stress*) didapatkan dari:

$$F_{\text{allowable}} = \frac{F_y}{SF} \quad (12)$$

Hasilnya adalah UC maximum terjadi pada main girder di top deck dengan UC **0.95** pada kondisi operasi dan **0.86** pada kondisi badai.



Gambar 5 Lokasi nilai UC terbesar

Analisis kekuatan juga dilakukan pada sambungan tubular yang dinamakan *joint can analysis*. Dimana nilai UC ratio didapatkan dari persamaan (13) di bawah ini:

$$UC = \frac{v_p}{v_{pa}} \quad (13)$$

Dengan punching shear didapatkan dari persamaan (14):

$$v_p = \tau f \sin \theta \quad (14)$$

Untuk allowable punching shear menggunakan persamaan (15):

$$v_{pa} = Q_q Q_f \frac{F_{yc}}{0.6\gamma} \quad (15)$$

Hasilnya, UC maksimum sebesar 0.318 pada kondisi **operasi** dan 0.499 untuk kondisi **badai**.

Untuk mengetahui interaksi antara *pile* dengan tanah juga dilakukan analisis *pile-soil interaction* dimana akan didapat nilai gaya aksial tanah terhadap *pile*. Kemudian gaya aksial tersebut akan dibandingkan terhadap nilai kapasitas *pile*, nilai perbandingan itu disebut *safety factor*. Berikut adalah rumus *safety factor* (SF) untuk interaksi tanah dan *pile* menggunakan persamaan (16):

$$\frac{\text{Kapasitas Pile}}{\text{Gaya Aksial}} = SF \quad (16)$$

Dan berikut adalah syarat dari API RP2A untuk *axial pile capacity* untuk masing-masing kondisi:

- Kondisi 1-year operating
SF ≥ 2.00
- Kondisi 100-years storm
SF ≥ 1.50

Hasilnya, *safety factor* terkecil sebesar 4.67 pada kondisi **operasi** dan 3.73 untuk kondisi **badai**.

Kemudian dilakukan perhitungan defleksi yang terjadi, dengan pembagian beberapa kriteria sebagai berikut

- Defleksi Vertikal

Defleksi vertikal merupakan defleksi yang terjadi pada arah sumbu vertikal dari struktur, yakni sumbu z. Nilai defleksi izin arah vertikal yang disyaratkan berdasarkan SNI – 03 – 1729 – 2000 (*Tata cara perencanaan struktur baja*) ditunjukkan pada persamaan (17) berikut.

$$\delta_{izin} = \frac{L}{240} \quad (17)$$

Pada struktur *platform* defleksi maksimum arah vertikal biasa terjadi pada *member* ujung yang bersifat kantilever. Untuk perhitungan defleksi izin arah vertikal pada *member* kantilever ditunjukkan pada persamaan (18).

$$\delta_{izin} = \frac{2 \times L}{240} \quad (18)$$

Dimana nilai L merupakan jarak lateral antara *acting joint* dengan *joint* acuan. *Joint*

acuan yang digunakan terletak pada bagian *member* utama atau *main beam*.

Hasilnya adalah defleksi maksimum terjadi pada **joint 0022** di cellar deck sebesar **-1.186 cm**.

- Defleksi Lateral

Defleksi lateral merupakan defleksi yang terjadi pada arah sumbu lateral struktur, yakni x dan y. Nilai defleksi arah lateral yang disyaratkan berdasarkan SNI – 03 – 1729 – 2000 ditunjukkan pada persamaan (19) berikut.

$$\delta_{izin} = \frac{H}{200} \quad (19)$$

Dimana nilai H merupakan jarak dalam arah vertikal antara acting joint dengan joint acuan. Joint acuan yang digunakan terletak pada bagian *pile*.

Hasilnya adalah defleksi maksimum terjadi pada **joint 0977** di top deck sebesar **-6.369 cm**.

- Defleksi Pilehead

Selain nilai defleksi pada bagian *topside*, perlu dilakukan pula pengecekan terhadap defleksi pada bagian *pilehead* yang terdapat pada bagian *mudline*. Nilai defleksi izin *pilehead* yang disyaratkan ditunjukkan pada Persamaan (20) berikut.

$$\delta_{izin} = \frac{D}{10} \quad (20)$$

Hasilnya adalah defleksi maksimum terjadi pada **joint 104P** di pilehead sebesar **4.855 cm**.

Analisis Seismik

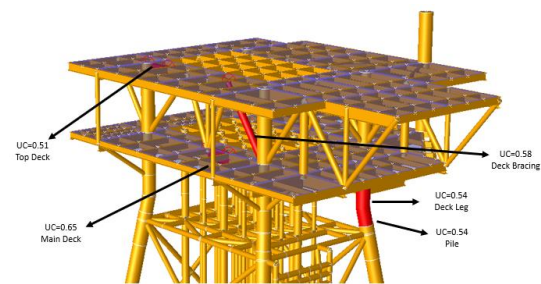
Sama seperti analisis in-place, kriteria *unity check ratio* (UC) < 1 harus dipenuhi pada analisis seismik. Dimana UC adalah:

$$Unity\ check\ ratio = \frac{Tegangan\ aktual}{Tegangan\ izin} \quad (21)$$

Untuk tegangan izin (*allowable stress*) didapatkan dari:

$$F_{allowable} = \frac{F_y}{SF} \quad (22)$$

Hasilnya adalah UC maximum terjadi pada main girder di top deck dengan UC **0.58** pada kondisi SLE dan **0.65** pada kondisi DLE.



Gambar 6 Lokasi member dengan UC tertinggi analisis seismik

Analisis kekuatan juga dilakukan pada sambungan tubular yang dinamakan *joint can analysis*. Dimana nilai UC ratio didapatkan dari persamaan (23) di bawah ini:

$$UC = \frac{v_p}{v_{pa}} \quad (23)$$

Dengan punching shear didapatkan dari persamaan (24):

$$v_p = \tau f \sin \theta \quad (24)$$

Untuk allowable punching shear menggunakan persamaan (25):

$$v_{pa} = Q_q Q_f \frac{F_{yc}}{0.6\gamma} \quad (25)$$

Hasilnya, UC maksimum sebesar 0.221 pada kondisi **SLE** dan 0.288 untuk kondisi **DLE**.

Untuk mengetahui interaksi antara *pile* dengan tanah juga dilakukan analisis *pile-soil interaction* dimana akan didapat nilai gaya aksial tanah terhadap *pile*. Kemudian gaya aksial tersebut akan dibandingkan terhadap nilai kapasitas *pile*, nilai perbandingan itu disebut *safety factor*. Berikut adalah rumus *safety factor* (SF) untuk interaksi tanah dan *pile* menggunakan persamaan (26):

$$\frac{\text{Kapasitas Pile}}{\text{Gaya Aksial}} = SF \quad (26)$$

Dan berikut adalah syarat dari API RP2A untuk *axial pile capacity* untuk masing-masing kondisi gempa adalah:

- Kondisi SLE
SF $\geq$ 1.50
- Kondisi DLE
SF $\geq$ 1.00

Hasilnya, *safety factor* terkecil sebesar 5.80 pada kondisi **SLE** dan 5.31 untuk kondisi **DLE**.

Berdasarkan hasil iterasi yang telah dilakukan didapatkan faktor pembebanan *deadload* untuk kondisi gempa SLE pada Tabel 4 dan DLE pada Tabel 5 adalah sebagai berikut.

Tabel 4 Nilai faktor *deadload* untuk kondisi gempa SLE

Arah	Faktor	Hasil Superelement	Base Shear	Galat (%)
Arah X	0,1054	2040 kN	2032.01 kips	0,392
Arah Y	0,1147	2220 kN	2225.54 kips	0,249

Tabel 5 Nilai faktor *deadload* untuk kondisi gempa DLE

Arah	Faktor	Hasil Superelement	Base Shear	Galat (%)
Arah X	0,1757	3400 kN	3406.04 kips	0,179
Arah Y	0,1917	3710 kN	3715.68 kips	0,153

Faktor partisipasi massa **telah mencapai nilai 90% secara kumulatif**. Sehingga telah memenuhi syarat minimum yang ditentukan. Periode natural struktur terbesar senilai **2.134** untuk kondisi **SLE** dan **2.263** untuk kondisi **DLE**.

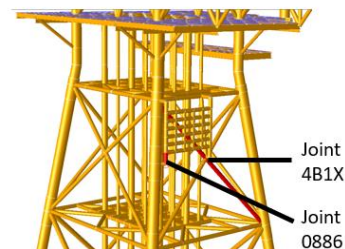
Analisis Fatigue

Struktur mengalami modifikasi dari desain awal struktur pada analisis in place pada member-member berikut:

Tabel 6 Daftar Modifikasi Member

Group Member	Penampang awal (cm)	Penampang akhir (cm)
BL2	Ø61 x 2	Ø61 x 3
CGJ	Ø20 x 0.8	Ø20 x 1.6
XB1	Ø61 x 1.6	Ø61 x 3.5

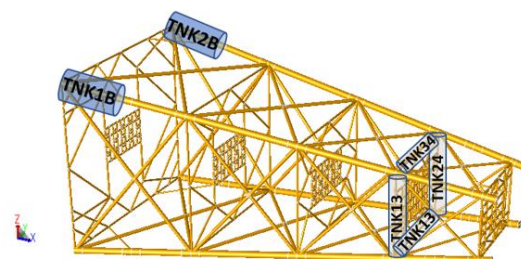
Sehingga, seluruh member memiliki masa layan > 20 tahun. Joint dengan service life terkecil adalah joint **4B1X** sebesar **22 tahun**.



Gambar 7 Lokasi joint-joint dengan service life terkecil

Analisis Upending

Metode ini menggunakan konfigurasi buoyancy tank seperti pada Gambar 3.



Gambar 8 Konfigurasi upending (metode controlled ballasting)

Detail spesifikasi tank dan rate pembocoran tank diberikan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

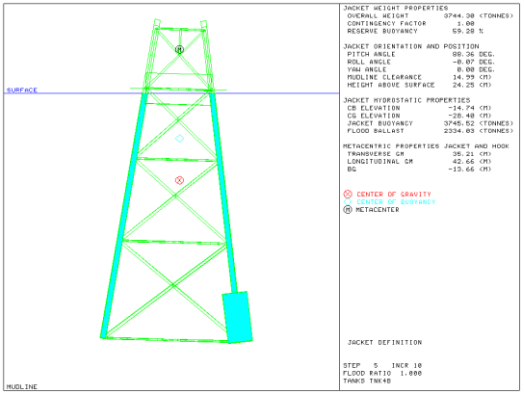
Tabel 7 Spesifikasi buoyancy tank

Simbol	Buoyancy Tank	Dimensi	Fungsi
	TNK1B	Outside diameter = 800 cm	Memberikan <i>buoyancy</i> sesaat setelah <i>launching</i> dan memberikan gaya <i>upending</i>
	TNK2B	Wall thickness = 2.5 cm Length = 16.25 m	
	TNK12	Outside diameter = 1000 cm	Memberikan <i>buoyancy</i> selama proses <i>upending</i> di samping fungsi utama yang menyediakan <i>buoyancy</i> saat posisi tegak
	TNK13	Wall thickness = 2.5 cm	
	TNK24		
	TNK34	Length TNK12 & TNK34 = 26.5 m Lengt TNK13 & TNK24 = 21 m	

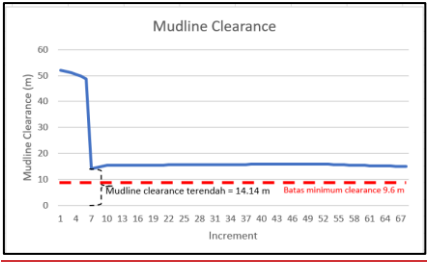
Tabel 8 Rate pembocoran tank upending

Langkah	Increment	Pembocoran buoyancy tank	
		TNK1B	TNK2B
1	10	75%	75%
2	20	80%	80%
3	20	85%	85%
4	8	93%	93%
5	10	100%	100%

Fase upending dengan metode ini ditunjukkan pada Gambar 4 dimana pitch angle posisi akhir jacket adalah 89.91°.



Gambar 9 Tahap terakhir upending



Gambar 10 Mudline clearance jacket saat upending

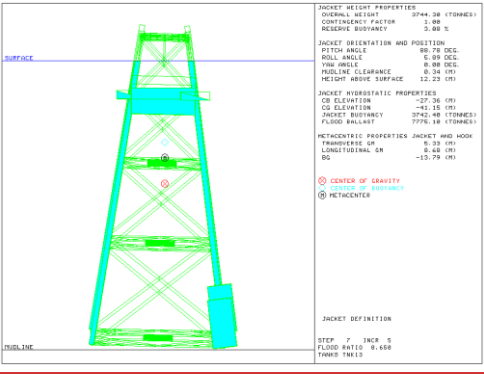
Hasil simulasi menunjukkan skenario upending diatas memenuhi seluruh kriteria.

Tahapan pasca upending adalah membuat jacket set-down dengan tahapan seperti pada Tabel 9.

Tabel 9 Rate Pembocoran Untuk Jacket Set-Down

Langkah	Pembocoran buoyancy tank			
	TNK12	TNK13	TNK24	TNK34
1	60%	55%	60%	60%
2	75.8%	65%	75.8%	63%

Hasilnya jacket dapat diturunkan pada elevasi mudline seperti pada Gambar 5.



Gambar 11 Jacket Set-Down

KESIMPULAN

- Berdasarkan analisis statik *in-place*, didapatkan nilai UC (*unity check*) *member*, UC *joint punching shear*, dan kapasitas *pile* yang telah memenuhi

standar API RP2A – WSD, serta nilai defleksi yang memenuhi standar SNI – 03 – 1729 – 2000.

- a. Nilai *UC member* maksimum hasil analisis *in-place* terjadi pada kondisi operasi kedalaman perairan maksimum, tepatnya pada *member* bagian *top deck* dengan nilai *UC* sebesar 0.95. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
- b. Nilai *unity check joint punching shear* maksimum hasil analisis *in-place* terjadi pada kondisi badai dengan kedalaman perairan minimum, tepatnya pada *joint bracing* 503L dengan nilai *UC* sebesar 0.499. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
- c. Nilai kapasitas *pile* minimum hasil analisis *in-place* terjadi pada kondisi badai dengan kedalaman perairan minimum, tepatnya pada *joint pilehead* dengan nilai *safety factor* sebesar 3.73. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
- d. Nilai defleksi vertikal maksimum dan lateral maksimum terjadi pada kondisi badai dengan kedalaman perairan minimum, sedangkan defleksi *pilehead* maksimum terjadi

pada kondisi badai dengan kedalaman perairan maksimum. Defleksi vertikal maksimum terjadi pada *joint* bagian *cellar deck* dengan nilai defleksi relatif sebesar 1.186 cm. Defleksi lateral maksimum terjadi pada *joint* bagian *top deck* dengan nilai defleksi relatif sebesar 6.369 cm. Sedangkan untuk defleksi *pilehead* maksimum terjadi pada *joint* bagian *pilehead* dengan nilai defleksi sebesar 4.855 cm. Ketiga nilai defleksi tersebut telah memenuhi standar SNI – 03 – 1729 – 2000.

2. Berdasarkan hasil analisis *seismic*, didapatkan nilai perioda natural struktur sebesar 2.263 detik. Selain itu, berdasarkan hasil analisis *seismic* didapatkan pula nilai *unity check member*, *unity check joint punching shear*, dan kapasitas *pile* yang telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
 - a. Nilai *unity check member* maksimum hasil analisis *seismic* terjadi pada kondisi kekuatan gempa DLE, tepatnya pada *member* bagian *main deck* dengan nilai *UC* sebesar 0.65. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.

- b. Nilai *unity check joint punching shear* maksimum hasil analisis *seismic* terjadi pada kondisi kekuatan gempa DLE, tepatnya pada *joint bracing* 401L dengan nilai *UC* sebesar 0.288. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
 - c. Nilai kapasitas *pile* minimum hasil analisis *seismic* terjadi pada kondisi kekuatan gempa DLE, tepatnya pada *joint pilehead* dengan nilai *safety factor* sebesar 5.31. Nilai tersebut telah memenuhi standar API RP2A – WSD.
3. Berdasarkan hasil analisis *fatigue*, didapatkan nilai *service life* yang lebih besar dari 20 tahun (*design life*). Nilai *service life* minimum hasil analisis *fatigue* terjadi pada *joint* 4B1X bagian *x bracing* dengan nilai sebesar 22 tahun.
4. Metode *upending controlled ballasting* memenuhi seluruh kriteria GL Noble Denton 0028/ND “Guidelines for The Transportation and Installation of Steel Jackets” dengan pendistribusian dan pembocoran tank yang merata.

SARAN

1. Flotation program SACS 5.7 hanya terbatas pada pemodelan di perairan tenang saja (tidak dapat membangkitkan *seastate*) maka untuk mendapatkan simulasi secara real perlu

dilakukan simulasi secara dinamik dengan *software* lain.

2. Data *equipment* yang digunakan sebaiknya disertai dimensi agar pemodelan lebih baik dan hasil lebih akurat

DAFTAR PUSTAKA

American Institute of Steel Construction. 1989. *AISC 9th Edition Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design*. New York: American Institute of Steel Construction

American Petroleum Institute. 2007. *API RP 2A 21th Edition (WSD) Recommended Practice for Planning, Designing, and Construction Fixed Offshore Platform*. Washington D.C.: SAI Global – ILI Publishing

Noble Denton. 2002. No: 0028/NDI *Guidelines for the Transportation and Installation of Steel Jacket*.

Tawekal, Prof. Ir. Rcky Lukman. 2018. *Anjungan Lepas Pantai*. Bandung: Penerbit ITB