

DESAIN DAN ANALISIS *LIFTING* STRUKTUR JACKET EMPAT KAKI DI LAUT JAWA

DESIGN AND LIFTING ANALYSIS FOUR LEG JACKET STRUCTURE ON THE JAVA SEA

Irfan Muhammad Yusuf¹ dan Ricky Lukman Tawekal¹

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

¹irfan.muhammadyusuf@gmail.com dan ²ricky@ocean.itb.ac.id

Abstrak: Struktur anjungan lepas pantai merupakan salah satu fasilitas pendukung kegiatan eksplorasi, eksploitasi, dan produksi minyak dan gas. Pada saat beroperasi, struktur anjungan lepas pantai akan menanggung beban, baik beban operasi maupun beban lingkungan. Maka dari itu, dalam proses desain dan perencanaan anjungan lepas pantai perlu dilakukan analisis struktur untuk menganalisa kekuatan struktur terhadap beban yang bekerja. Beberapa analisis yang dilakukan dalam perencanaan anjungan lepas pantai antara lain analisis *in-place*, analisis seismik, dan analisis *fatigue*. Beberapa parameter yang menggambarkan kekuatan struktur dalam menanggung beban yang bekerja antara lain UC member, UC joint, dan kapasitas tiang pancang. Selain itu beberapa parameter yang diperiksa dalam proses desain dan analisis struktur yaitu *defleksi* dan juga *fatigue life* struktur. Pada saat struktur sedang dalam tahap konstruksi, struktur akan mengalami proses *lifting* sehingga dalam proses perencanaan struktur anjungan lepas pantai, perlu dilakukan analisis *lifting* terhadap struktur agar tidak mengalami kegagalan saat proses *lifting* berlangsung. Untuk struktur *jacket* empat kaki, analisis *lifting* dilakukan secara terpisah untuk komponen *topside* dan *jacket*. Dalam analisis *lifting* turut dilakukan desain alat penunjang kegiatan *lifting* yakni tali *sling*, *shackle*, dan juga *padeye*. Makalah ini akan membahas proses desain dan analisis *in-place*, seismik, *fatigue*, dan *lifting* pada struktur anjungan lepas pantai tipe *jacket* empat kaki di Laut Jawa. Analisis struktur dilakukan dengan mengacu pada standar desain API RP-2A WSD dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SACS 5.6. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, seluruh parameter kekuatan struktur telah memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh API-RP 2A WSD.

Kata kunci: analisis *fatigue*, analisis *in-place*, analisis *lifting*, analisis seismik, *jacket* empat kaki

Abstract: Offshore platform is one of the offshore facilities that support oil and gas exploration, exploitation, and production activities. When the structure operating, it will bear the load either from the operating equipment or environment. Remembering the circumstance, it is exceptionally important to analyze the strength of the structure in terms of bearing the load. Several structures analysis which always performed over offshore platforms is *in-place* analysis, seismic analysis, and *fatigue* analysis. Some of the parameters that represent the strength of the structure and will be assessed during the analysis are member UC, Joint UC, and pile axial capacity. Not limited to those parameters, deflection and *fatigue life* of the structure also assessed in the process. During the construction and fabrication, the structure will go through *lifting* process hence in the process of offshore structure planning, it is necessary to conduct *lifting* analysis over the structure to prevent the failure when the *lifting* process takes place. The process of *lifting* analysis involving the design of supporting *lifting* tools, for instance, *sling*, *shackle*, and *padeye*. This paper will put on the focus on *in-place* analysis, seismic analysis, *fatigue* analysis, and *lifting* analysis of four leg jacket structure on the Java Sea. The analysis refers to recommended practice API RP-2A WSD and performed using SACS 5.6 The results of the analysis indicate that the entire strength parameter of the structure fulfills the requirements that issued by API RP-2A WSD.

Keywords: *fatigue* analysis, four leg jacket structure, *in-place* analysis, *lifting* analysis, seismic analysis

PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari BP *Statistical Review of World Energy* 2017, sebesar 0,2% cadangan minyak di dunia berada di Indonesia. Sementara itu, sebesar 1,5% cadangan gas di dunia berada di Indonesia. Pada tahun 2018, Pemerintah Indonesia menargetkan *lifting* minyak dan gas bumi sebesar dua juta barel per hari. Untuk dapat mencapai target tersebut, sangat dimungkinkan untuk dilakukannya penambahan dan peningkatan fasilitas pendukung kegiatan eksplorasi, eksploitasi, dan produksi minyak dan gas, baik di darat maupun di lepas pantai. Salah satu fasilitas pendukung kegiatan eksplorasi, eksploitasi, dan produksi minyak dan gas bumi di lepas pantai adalah anjungan lepas pantai. Di Indonesia, jenis anjungan lepas pantai yang umum digunakan adalah jenis *fixed platform*.

Pada saat beroperasi, anjungan lepas pantai akan menanggung beban, baik berupa beban lingkungan maupun beban operasi. Maka dari itu, dalam proses perencanaan struktur anjungan lepas pantai perlu dilakukan analisis struktur untuk mengetahui kekuatan struktur dalam menanggung beban yang bekerja. Beberapa analisis struktur yang dilakukan dalam proses desain struktur anjungan lepas pantai antara lain analisis *in-place*, analisis seismik, dan analisis *fatigue*.

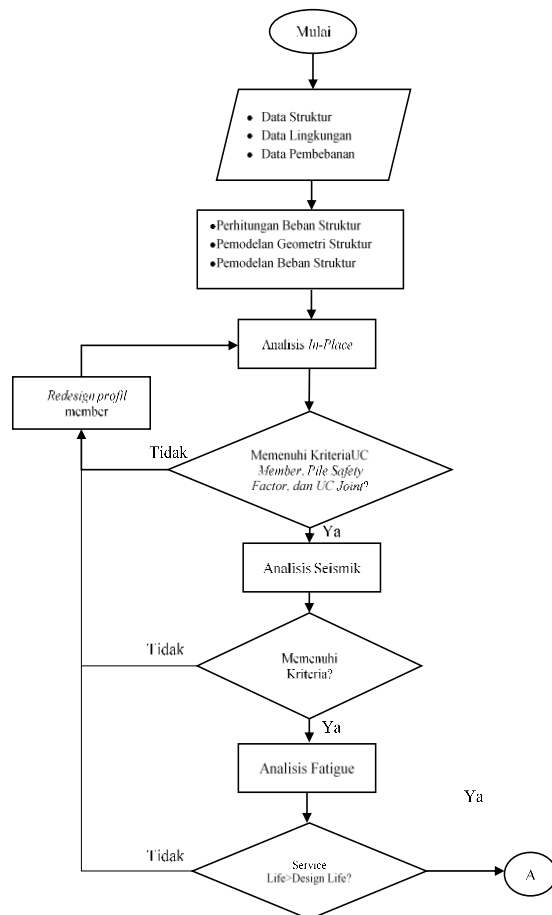
Sebelum struktur beroperasi, struktur akan melalui tahap konstruksi dan fabrikasi. Dalam tahap tersebut, struktur mengalami proses *lifting* seperti saat proses *load-out* atau instalasi. Maka dari itu, analisis *lifting* perlu dilakukan untuk mengetahui apakah struktur yang didesain cukup kuat saat proses *lifting* berlangsung. Analisis *lifting* juga dilakukan untuk mengetahui konfigurasi pengangkatan yang tepat sehingga struktur tidak mengalami kegagalan saat proses pengangkatan.

Dalam makalah ini pembahasan meliputi desain dan analisis struktur anjungan lepas pantai tipe *jacket* empat kaki di Laut Jawa. Analisis yang dilakukan

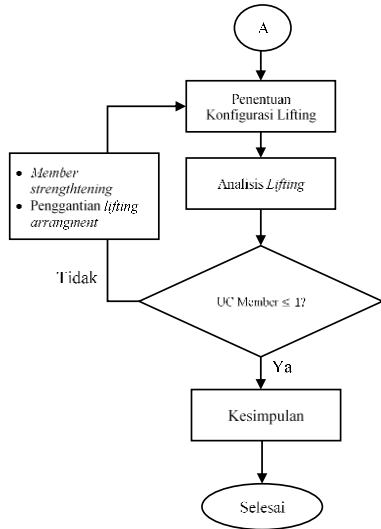
meliputi analisis *in-place*, analisis seismik, analisis *lifting*. Analisis *lifting* dilakukan secara terpisah untuk komponen struktur *topside* dan *jacket*. Pada analisis *lifting* dilakukan pula desain *sling*, *shackle*, dan *padeye*. Analisis dilakukan dengan merujuk pada standar desain API RP-2A WSD 21st Edition, 2007 dengan menggunakan perangkat lunak SACS 5.6.

METODOLOGI

Secara umum, metodologi yang digunakan dalam proses desain dan analisis struktur anjungan lepas pantai dapat dilihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.



Gambar 1 Diagram Alir Metodologi Pengerjaan Desain dan Analisis Struktur Anjungan Lepas Pantai



Gambar 2 Diagram Alir Metodologi Pengerjaan Desain dan Analisis Struktur Anjungan Lepas Pantai (Lanjutan)

DESAIN STRUKTUR BAJA

Dalam industri lepas pantai, material yang umum digunakan untuk struktur lepas pantai adalah material baja. Terlebih lagi, di Indonesia struktur lepas pantai didominasi oleh struktur *fixed platforms* yang secara keseluruhan terdiri dari material baja. Untuk struktur *fixed platforms* sendiri umumnya terdiri dari elemen tubular. Dalam menerima menerima beban-beban yang bekerja elemen struktur tersebut harus memenuhi syarat-syarat agar struktur tidak mengalami kegagalan.

Berdasarkan API RP 2A-WSD, desain kekuatan elemen struktur harus memenuhi persyaratan berikut:

1) Tarik Aksial

Elemen tubular yang dikenai gaya Tarik aksial harus memenuhi syarat tegangan Tarik ijin seperti pada **Persamaan 1** berikut:

$$F_a = 0,6 F_y \quad (1)$$

Dengan,

F_a =Tegangan Tarik aksial ijin [MPa]

F_y =Tegangan leleh material baja [MPa]

2) Tekan Aksial

Syarat tegangan tekan aksial ijin untuk $\frac{D}{t} \leq 60$ dan $Kl/r < C_c$ ditunjukkan oleh **Persamaan 2** dan **Persamaan 3** untuk $Kl/r \geq C_c$.

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} \quad (2)$$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} \quad (3)$$

Nilai C_c ditentukan melalui **Persamaan 5**.

$$C_c = \left(\frac{2\pi^2 E}{F_y}\right)^{1/2} \quad (4)$$

Untuk nilai $300 > \frac{D}{t} > 60$, elemen tekan perlu dicek terhadap kegagalan *local buckling*. Untuk kondisi ini perlu ditentukan tegangan *local buckling* elastis (F_{xe}) dan tegangan *local buckling* inelastis (F_{xc}).

3) Bending

Elemen tubular yang diberi gaya tekan akan mengalami *bending*. Tegangan ijin bending ditentukan berdasarkan rumus pada **Persamaan 5**, **Persamaan 6** dan **Persamaan 7** sebagai berikut:

$$F_b = 0,75 F_y \text{ untuk } \frac{D}{t} \leq \frac{1500}{F_y} \quad (5)$$

$$\left(\frac{D}{t} \leq \frac{10.340}{F_y} \text{ dalam satuan SI}\right)$$

$$F_b = \left[0,84 - 1,74 \frac{F_y D}{Et} \right] F_y \text{ untuk } \quad (6)$$

$$\frac{1500}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{3000}{F_y}$$

$$\left(\frac{10.340}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{20.680}{F_y} \text{ dalam satuan SI} \right)$$

$$F_b = \left[0,72 - 0,58 \frac{F_y D}{Et} \right] F_y \text{ untuk } \quad (7)$$

$$\frac{3000}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300$$

$$\left(\frac{20.680}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300 \text{ dalam satuan SI} \right)$$

4) Unity Check Ratio

Unity Check Ratio secara umum dapat diterangkan sebagai rasio gaya dan tegangan yang terjadi terhadap gaya dan tegangan yang diijinkan. Berdasarkan AISC ASD Manual 9th Edition dan API RP 2A-WSD persamaan untuk menentukan nilai unity check dapat dituliskan dalam **Persamaan 8** dan **Persamaan 9**.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m \sqrt{f_{by}^2 + f_{bz}^2}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_e'} \right) F_b} \leq 1,0 \quad (8)$$

Untuk nilai $\frac{f_a}{F_a} \leq 0,15$:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{\sqrt{f_{by}^2 + f_{bz}^2}}{F_b} \leq 1,0 \quad (9)$$

Dengan,

f_a = tegangan tarik/tekan aksial [MPa]

F_a = tegangan izin aksial [MPa]

f_{by} = tegangan lentur terhadap sumbu y [MPa]

f_{bz} = tegangan lentur terhadap sumbu z [MPa]

F_b = tegangan izin lentur [MPa]

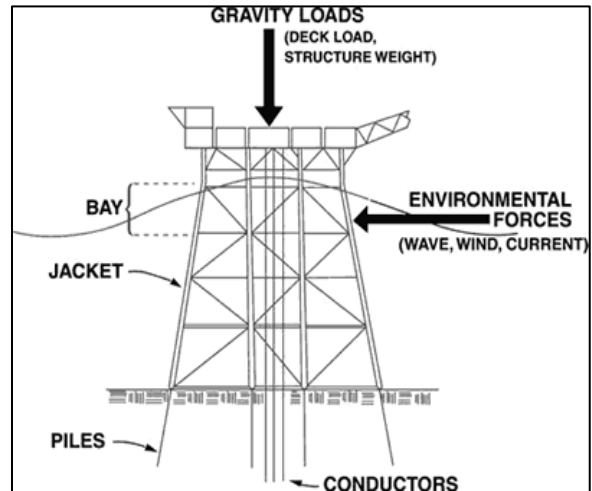
F_e' = tegangan euler [MPa]

C_m = Nilai faktor reduksi

Nilai faktor reduksi C_m ditentukan dengan menggunakan Tabel dari API RP-2A WSD.

PEMBEBANAN STRUKTUR

Sebuah struktur anjungan lepas pantai harus didesain untuk mampu menopang beban yang diaplikasikan pada struktur tersebut. Adapun beban yang bekerja pada struktur anjungan lepas pantai terdiri dari *gravity loads* (terdiri dari beban mati dan beban hidup), beban angin, beban gelombang dan arus, beban gempa, dan beban pada saat fabrikasi dan instalasi (API RP 2A-WSD 21st Edition, 2007). Ilustrasi beban yang bekerja pada struktur anjungan lepas pantai secara umum dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Ilustrasi Beban pada Anjungan Lepas Pantai

Secara umum, beban yang diperhitungkan dalam proses desain dan analisis struktur menurut API RP-2A WSD adalah sebagai berikut:

Beban mati, merupakan gabungan dari berat sendiri struktur dan peralatan yang terpasang tetap pada anjungan dan tidak berubah selama operasi berlangsung untuk berbagai macam kondisi.

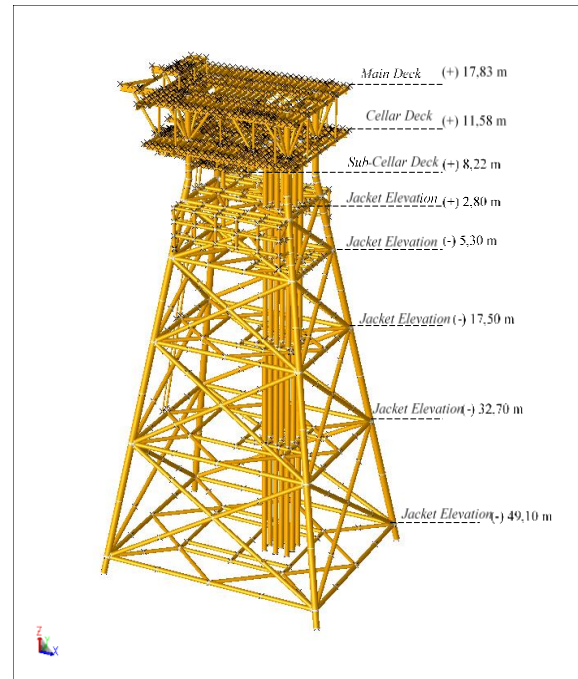
Beban hidup, Beban hidup merupakan gaya yang bekerja pada anjungan pada saat anjungan mulai digunakan dan dapat berubah sewaktu-waktu pada saat kondisi operasi.

Beban Lingkungan, Beban lingkungan merupakan beban yang timbul akibat fenomena alam seperti gelombang, angin, es, arus, dan gempa bumi yang bekerja pada struktur.

STUDI KASUS

Dalam makalah ini akan dilakukan studi kasus berupa desain, analisis *in-place*, seismik, dan *fatigue* struktur lepas pantai tipe *fixed platform* berupa struktur jacket empat kaki. Adapun struktur ini merupakan *well platform*. Lokasi dari struktur berada di wilayah kerja *West Madura Offshore* (WMO).

Struktur direncanakan beroperasi pada kedalaman 49,10 m (MSL). Struktur di desain dengan perbandingan *rise* dan *run* (kemiringan) struktur sebesar 7:1. Struktur di desain dengan kemiringan *double batter*, yakni *jacket* memiliki kemiringan pada arah sumbu-y dan arah sumbu-x. Struktur Platform ini memiliki tiga level deck, yakni *subcellar deck*, *cellar deck*, dan *main deck*. Beban lingkungan didesain dengan menggunakan 8 arah pembebanan dengan periode ulang 1 tahun dan 100 tahun. Struktur didesain untuk menerima beban gempa dengan level *strength level earthquake* (SLE) berupa beban gempa dengan periode ulang 200 tahun dan *ductility level earthquake* (DLE) berupa beban gempa dengan periode ulang 1000 tahun. Umur layan struktur di desain untuk 20 tahun. Untuk menentukan *fatigue life* struktur digunakan data distribusi gelombang 8 arah dengan periode ulang 100 tahun. Model struktur hasil desain dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Model Struktur

Data data gelombang, kecepatan angin, data arus, dan data gempa disajikan berturut-turut pada **Tabel 1** hingga **Tabel 5**.

Tabel 1 Data Tinggi Gelombang

Periode Ulang (tahun)	H(m)	T(s)
1	3,74	5,79
100	8,78	8,98

Tabel 2 Data Kecepatan Angin

Periode Ulang (tahun)	Arah	Kecepatan Angin Rata-Rata 1 menit (m/s)
1	Omni	12,95
100	Omni	19,32

Tabel 3 Data Distribusi Arus Terhadap Kedalaman

Arah		Omni	
Layer dan Jarak diukur dari Muka Air, z (m) Kedalaman Perairan (D)=49,10 m		Kecepatan Arus (m/s)	
		Periode Ulang 1 Tahun	Periode Ulang 100 Tahun
Layer 10 – Muka Air (1D)	0	0,6589	1,1514
Layer 9 (0,9D)	-4,91	0,6491	1,1342
Layer 8 (0,8D)	-9,82	0,6382	1,1153
Layer 7 (0,7D)	-14,73	0,6262	1,0942
Layer 6 (0,6D)	-19,64	0,6125	1,0704
Layer 5 (0,5D)	-24,55	0,5968	1,0429
Layer 4 (0,4D)	-29,46	0,5781	1,0101
Layer 3 (0,3D)	-34,37	0,5548	0,9695
Layer 2 (0,2D)	-39,28	0,5236	0,9149
Layer 1 (0,1D)	-44,19	0,4742	0,8286
1 m Diatas Dasar Perairan	-48,10	0,4195	0,7331

Tabel 4 Data Gempa SLE dan DLE

PSA (g)		
T (sec)	SLE (200 years RP)	DLE (1000 years RP)
0,01	0,11	0,17
0,12	0,28	0,43
0,62	0,28	0,43
0,7	0,24	0,4
1,1	0,15	0,27
2,4	0,07	0,13
4	0,04	0,08
6	0,03	0,05
8	0,02	0,04
10	0,02	0,03

HASIL DAN ANALISIS

Analisis In-Place

Dalam analisis *in-place* dilakukan empat jenis pemeriksaan, yaitu pemeriksaan *unity check* tegangan pada *member*, pemeriksaan *unity check joint punching shear*, kapasitas *pile* yang digunakan, dan defleksi.

Tegangan Member

Dari hasil analisis *in-place* untuk kondisi operasi dan badai didapatkan *member* yang memiliki UC lebih besar dari 1. Rangkuman dari *member* yang lebih besar dari 1 dari seluruh kondisi operasi dan badai dirangkum dalam **Tabel 5**

Tabel 5 Rangkuman Member UC Lebih Besar dari 1

Unity Check >1				
Location	Group	Member	Profil	Max UC
Cellar Deck	C3	C130-0031	W18X35	1,95
	C10	C204-C205	W6X12	1,71
Sub-Cellar Deck	SC2	R010-0016	W12X26	1,27
	SC3	S039-CS01	W10X17	3,39
	SC4	R013-R014	C6X8	3,08

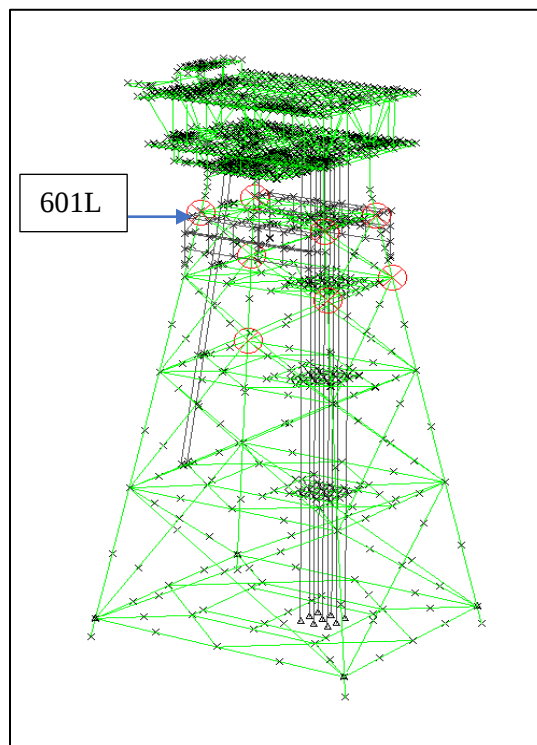
Karena terdapat *member* yang memiliki UC lebih besar dari 1 maka dari itu perlu dilakukan proses *redesign* yakni dengan mengganti profil dari *member-member* tersebut. Proses *redesign* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SACS. *Member-member* hasil *redesign* yang memenuhi nilai UC ditampilkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Rangkuman Profil yang Memenuhi Kriteria UC

No.	Location	Group	Profil Akhir
1	Cellar Deck	C3	W18X50
2		C10	W6X20
3	Sub-Cellar Deck	SC2	W12X35
4		SC3	W12X45
5		SC4	C10X20

Joint Punching Shear

Dari hasil analisis *in-place* didapatkan nilai UC *joint* terbesar terjadi pada *joint* 603L yakni dengan nilai UC *load* sebesar 0,291 dan UC *strength* sebesar 1. Dengan begitu, struktur dapat dikatakan masih memenuhi kriteria UC *joint*. Hasil ini didapatkan untuk kondisi badai kedalaman perairan minimum. Lokasi dari *joint* 601L ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5 Lokasi Joint 601L

Kapasitas Tiang Pancang

Dari hasil pengecekan kapasitas tiang pancang, *safety factor* terkecil didapatkan untuk kondisi badai kedalaman perairan minimum, yakni sebesar 2,46. Nilai ini masih memenuhi nilai yang disyaratkan yakni sebesar 1,5 untuk kondisi badai.

Defleksi Horizontal

Nilai defleksi dicek untuk memeriksa *serviceability* struktur. Pengecekan dilakukan dengan merujuk standar SNI, yakni defleksi horizontal yang terjadi tidak boleh lebih besar dari $L/200$ dimana L adalah jarak dari titik yang ditinjau terhadap titik acuan. Nilai defleksi terbesar pada struktur terjadi saat kondisi badai kedalaman perairan minimum, yakni 0,97 cm. Nilai ini masih melebihi nilai yang disyaratkan, yakni sebesar 5,2 cm. Dengan begitu, struktur memenuhi kriteria *serviceability*.

Analisis Seismik

Dalam analisis seismik dilakukan tiga jenis pemeriksaan, yaitu pemeriksaan *unity check* tegangan pada *member*, pemeriksaan *unity check joint punching shear*, dan kapasitas *pile* yang digunakan.

Tegangan Member

Dari hasil pengecekan tegangan member untuk kondisi gempa SLE didapatkan nilai UC member terbesar yaitu 0,68 sementara itu untuk kondisi gempa DLE didapatkan UC member terbesar yaitu 0,70. Lokasi dari member ini yaitu pada member di *cellar deck*. Dari hasil tersebut dapat dikatakan peningkatan level gempa akan memperbesar tegangan yang terjadi pada struktur walaupun dalam kasus ini tidak terlalu signifikan. Kedua nilai maksimum UC member untuk kondisi gempa SLE dan DLE telah memenuhi kriteria UC.

Joint Punching Shear

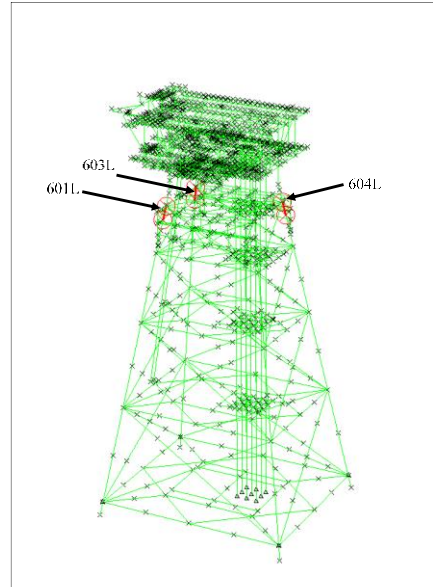
Dari hasil analisis seismik didapatkan nilai UC *joint* terbesar untuk kondisi gempa SLE terjadi pada *joint* 204L yakni dengan nilai UC *load* sebesar 0,274 dan UC *strength* sebesar 0,903. Sementara itu, untuk kondisi gempa DLE didapatkan *joint* dengan UC *joint* terbesar adalah *joint* 204L yakni dengan UC *load* sebesar 0,279 dan UC *strength* sebesar 0,902. Dari hasil tersebut dapat dikatakan peningkatan level gempa akan memperbesar tegangan yang terjadi pada *joint* walaupun dalam kasus ini tidak terlalu signifikan. Kedua nilai maksimum UC *joint* untuk kondisi gempa SLE dan DLE telah memenuhi kriteria UC.

Kapasitas Tiang Pancang

Dari hasil pengecekan kapasitas tiang pancang, *safety factor* terkecil untuk level gempa SLE adalah sebesar 4,41 sementara untuk level gempa adalah sebesar 4,28. Berdasarkan nilai tersebut, dapat dikatakan peningkatan level gempa memperbesar tegangan aksial pada *pile* yang menyebabkan nilai *safety factor* menjadi lebih kecil. Nilai *safety factor* tersebut didapatkan telah memenuhi kriteria *safety factor minimum* untuk analisis seismik yakni 2.

Analisis Fatigue

Analisis *fatigue* dilakukan dengan menggunakan metode *fatigue deterministic* menggunakan data distribusi gelombang 8 arah dengan periode 1 tahun. Umur layan struktur didesain 20 tahun. Dari hasil analisis didapatkan *fatigue life* terkecil dari struktur adalah 494 tahun. *Joint* tersebut merupakan *joint* 604L. Lokasi *joint* 604L dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6 Lokasi Joint 604L

Analisis Lifting Topside

Hasil perhitungan dari SACS untuk *centre of gravity* dan berat komponen struktur *topside* disajikan pada **Tabel 7**.

Tabel 7 Berat Struktur dan Centre of Gravity Struktur Topside

Berat Struktur (kN)	Centre of Gravity (m)	
	X	Y
7.212,02	6,05	4,46

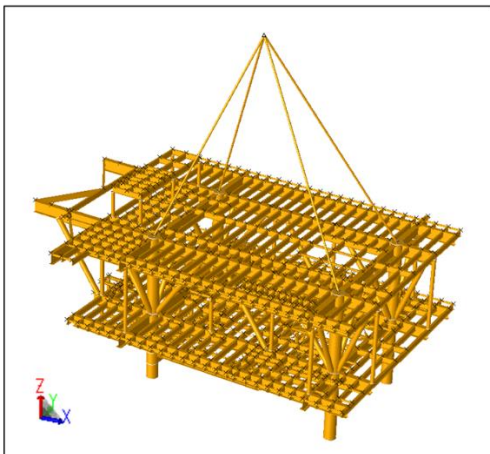
Konfigurasi *lifting* untuk struktur *topside* menggunakan *single hook point* dan empat *lifting point* yang berada pada elevasi *main deck*. Rangkuman dari koordinat *hook point* dan sudut *sling* struktur *topside* dapat dilihat pada **Tabel 8** dan **Tabel 9** sementara itu konfigurasi yang digunakan dalam analisis *lifting* struktur *topside* dapat dilihat pada **Gambar 7**.

Tabel 8 Koordinat Hook Point Struktur Topside

No	Member Sling	Koordinat Hook Point		
		X (m)	Y (m)	Z (m)
1	811L-HK1	6,05	4,46	38,29
2	812L-HK1	6,05	4,46	38,29
3	813L-HK1	6,05	4,46	38,29
4	814L-HK1	6,05	4,46	38,29

Tabel 9 Rangkuman Sudut Sling Struktur Topside

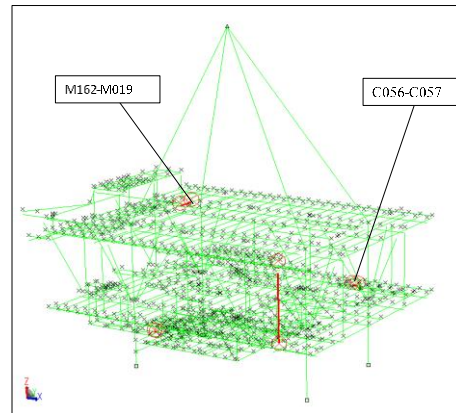
No	Member Sling	Panjang Sling (m)	Sudut (deg)
1	811L-HK1	21,79	69,88
2	812L-HK1	22,87	63,46
3	813L-HK1	21,84	69,52
4	814L-HK1	22,91	63,26



Gambar 7 Konfigurasi Lifting Topside

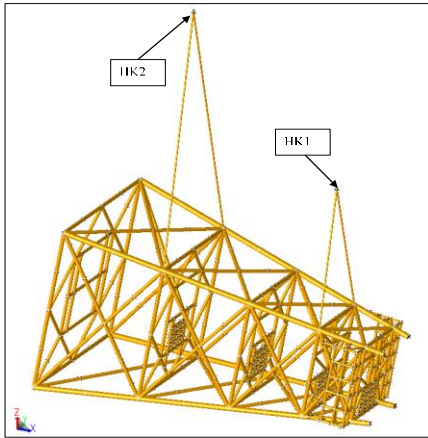
Dari hasil pengecekan UC *member* untuk analisi *lifting topside* didapatkan dua member yang memiliki UC lebih besar dari 1 yang terjadi akibat beban dengan *dynamic load factor* 2. Hal ini dapat diabaikan karena *load case* dengan *dynamic load factor* 2 ditujukan untuk member yang terhubung langsung

dengan *sling*, sementara member yang mengalami UC lebih dari 1 bukanlah *member* yang terhubung langsung dengan *sling*. Sehingga dapat dikatakan struktur *topside* dengan konfigurasi yang ditentukan dapat diangkat tanpa mengalami kegagalan. Lokasi member yang mengalami UC lebih besar dari 1 dapat dilihat pada **Gambar 8**.



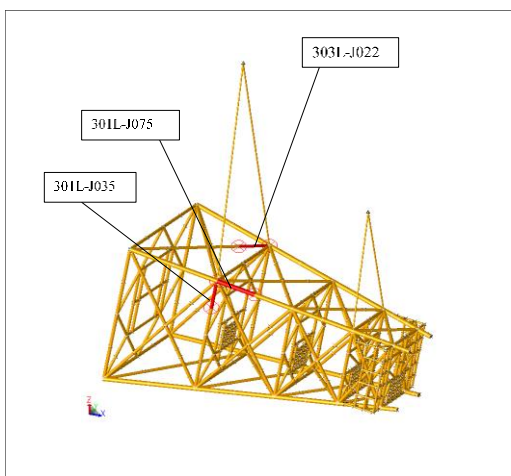
Gambar 8 Lokasi Member dengan UC Lebih Besar dari 1

Dari hasil analisis statik didapatkan pula besar *maximum static sling load* sebesar 4.681,38 kN yang selanjutnya digunakan untuk mendesain *sling*, *shackle*, dan *padeye*. Untuk struktur *topside* dipilih tali *sling* dari katalog KTL *Offshore* dengan diameter 160 mm. Sementara itu, *shackle* yang dipilih untuk *lifting* struktur berdasarkan perhitungan kapasitas dan beban yang bekerja dipilih *shackle* P-6031 dari katalog *Green Pin* dengan kapasitas 700 ton. Ilustrasi dari *padeye* yang dipilih untuk *lifting* struktur *topside* dapat dilihat pada **Gambar 9**.



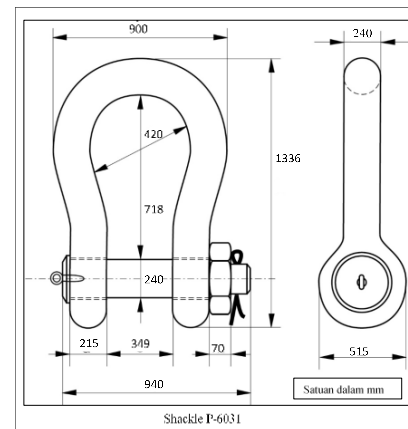
Gambar 11 Konfigurasi *Lifting Jacket*

Dari hasil analisis statik didapatkan bahwa UC member yang terhubung dengan sling telah memenuhi kriteria UC. Member yang langsung langsung terhubung dengan sling dengan UC terbesar adalah member 301L-J075 dengan UC terbesar untuk load case 2 sebesar 0,49. Sementara itu, member lainnya yang tidak terhubung langsung dengan tali sling pun memiliki nilai UC dibawah 1. Lokasi dari member yang mengalami UC terbesar untuk *load case 1* dan *load case 2* pada struktur jacket dapat dilihat pada **Gambar 12**.



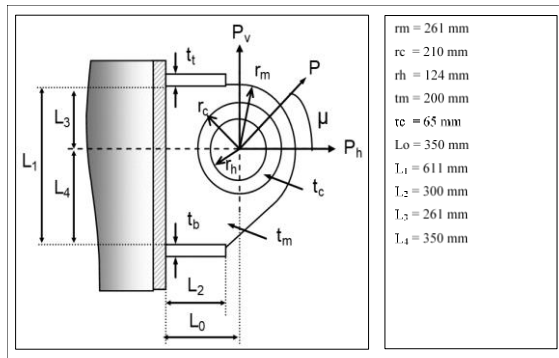
Gambar 12 Lokasi Member dengan UC Lebih Besar dari 1 struktur *Jacket*

Dari hasil analisis statik didapatkan pula besar *maximum static sling load* sebesar 7.514,60 kN yang selanjutnya digunakan untuk mendesain *sling*, *shackle*, dan *padeye*. Untuk struktur *topside* dipilih tali *sling* dari katalog BEXCO dengan diameter 200 mm dengan konfigurasi *grommet*. Sementara itu, *shackle* yang dipilih untuk *lifting* struktur *jacket* berdasarkan perhitungan kapasitas dan beban yang bekerja dipilih *shackle* P-6031 dari katalog *Green Pin* dengan kapasitas 1000 ton. Ilustrasi dari *padeye* yang dipilih untuk *lifting* struktur *topside* dapat dilihat pada **Gambar 13**.



Gambar 13 Dimensi Shackle P-6031 Kapasitas 1.000 ton

Dari hasil perhitungan kekuatan dan kapasitas *padeye* didapatkan dimensi *padeye* dengan dimensi seperti yang ditampilkan pada **Gambar 14**.



Gambar 14 Dimensi *Padeye* Struktur Jacket

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:
2. Model struktur jacket empat kaki yang didesain memenuhi kriteria analisis in-place yakni kriteria unity check member, dengan UC terbesar terjadi pada member S039-CS01 di sub-cellar deck dengan UC sebesar 0,97 yang terjadi pada kondisi badai kedalaman perairan maksimum
3. Model struktur jacket empat kaki yang didesain memenuhi kriteria analisis in-place yakni kriteria unity check joint punching shear, dengan UC terbesar terjadi pada joint 603L yang berada di bagian jacket dengan besar UC load 0,291 dan UC strength 1 yang terjadi pada kondisi badai kedalaman perairan minimum
4. Model struktur jacket empat kaki yang didesain memenuhi kriteria analisis in-place yakni kriteria defleksi horizontal struktur dengan defleksi terbesar terjadi pada elevasi main deck dengan besar defleksi horizontal sebesar 0,972 cm yang terjadi pada kondisi badai kedalaman perairan minimum
5. Model struktur jacket empat kaki yang didesain memenuhi kriteria analisis in-place yakni kriteria kapasitas tiang pancang dengan safety factor terkecil terjadi pada pilehead joint 201P sebesar 2,46 yang terjadi pada kondisi badai kedalaman perairan minimum
6. Dari analisis seismik didapatkan periode natural struktur sebesar 1,57 detik
7. Model struktur jacket empat kaki yang didesain memenuhi kriteria analisis seismik, yakni kriteria unity check member, dengan UC terbesar terjadi pada member C2014-C205 di cellar deck dengan UC sebesar 0,70 yang terjadi pada kondisi gempa ductility level earthquake (DLE)
8. Model struktur jacket empat kaki yang didesain memenuhi kriteria analisis seismik, yakni kriteria unity check joint punching shear, dengan UC terbesar terjadi pada joint 201L yang berada di bagian dasar jacket dengan besar UC load 0,279 dan UC strength 0,902 yang terjadi pada kondisi gempa ductility level earthquake (DLE)
9. Model struktur jacket empat kaki yang didesain memenuhi kriteria analisis seismik, yakni kriteria kapasitas tiang pancang dengan safety factor terkecil terjadi pada pilehead joint 203P sebesar 3,31 yang terjadi pada kondisi gempa ductility level earthquake (DLE)
10. Model struktur jacket empat kaki yang didesain memenuhi kriteria analisis fatigue, yakni struktur memiliki service life lebih besar dibandingkan dengan masa layan struktur yang direncanakan dengan besar service life terkecil adalah 494 tahun

11. Konfigurasi lifting yang ditentukan untuk komponen topside (lihat sub bab 7.3.2) dapat dikatakan aman karena memenuhi kriteria analisis lifting, yakni memberikan unity check member komponen struktur dibawah 1 dengan UC terbesar untuk lifting topside terjadi pada member M162-M019 di maindeck sebesar 0,91
12. Konfigurasi lifting yang ditentukan untuk komponen jacket (lihat sub bab 7.4.2) dapat dikatakan aman karena memenuhi kriteria analisis lifting, yakni memberikan unity check member komponen struktur dibawah 1 dengan UC terbesar untuk lifting jacket terjadi pada member 301L-J305 di jacket sebesar 0,49
13. Desain tali sling untuk komponen topside yang memenuhi kriteria desain yakni tali sling dengan diameter 160 mm yang dipilih berdasarkan katalog sling KTL Offshore dengan kapasitas sebesar 20.400 kN
14. Desain tali sling untuk komponen jacket yang memenuhi kriteria desain yakni tali sling diameter 200 mm dengan konfigurasi grommet kapasitas 41.692 kN yang dipilih berdasarkan katalog sling BEXCO
15. Desain shackle untuk komponen topside yang memenuhi kriteria desain yakni shackle P-6031 dengan working limit load 700 ton yang dipilih dari katalog Green Pin Heavy Duty Shackles
16. Desain shackle untuk komponen jacket yang memenuhi kriteria desain yakni shackle P-6031 dengan working limit load 1.000 ton yang dipilih dari katalog Green Pin Heavy Duty Shackles
17. Desain padeye untuk komponen topside telah memenuhi kriteria desain kekuatan yakni index ratio bearing padeye sebesar 0,406 , index ratio shear padeye sebesar 0,947 , dan index ratio out-plane bending padeye sebesar 0,47
18. Desain padeye untuk komponen topside telah memenuhi kriteria dimensional cek yakni spasi antara sling dengan shackle sebesar 120 mm (minimum 12,7 mm) , spasi antara sling dengan padeye sebesar 428,5 mm (minimum 12,7 mm), spasi antara padeye dengan shackle sebesar 34 mm (minimum 6,35 mm)
19. Desain padeye untuk komponen jacket telah memenuhi kriteria desain kekuatan yakni index ratio bearing padeye sebesar 0,425 , index ratio shear padeye sebesar 0,981 , dan index ratio out-plane bending padeye sebesar 0,24
20. Desain padeye untuk komponen jacket telah memenuhi kriteria dimensional cek yakni spasi antara sling dengan shackle sebesar 119 mm (minimum 12,7 mm) , spasi antara sling dengan padeye sebesar 440 mm (minimum 12,7 mm), spasi antara padeye dengan shackle sebesar 9,5 mm (minimum 6,35 mm).

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction, I. (2005). *Steel Construction Manual Thirteenth Edition*. United States of America: American Institute of Steel Construction, Inc.
- Chakrabarti, S. K. (2005). *Handbook of Offshore Engineering*. Planfield:Elsevier.
- Institute, A. P. (2007). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore*

Platforms-Working Stress Design.
Washington, D.C.: American
Petroleum Institute.

Mohamed A. El-Reedy, P. (2015). *Marine Structural Design Calculation.*
Oxford,UK: Elvesier,Ltd.

Tawekal, R. L. (n.d.). *Catatan Kuliah Bangunan Lepas Pantai.* Bandung: Penerbit ITB Bandung.

Tawekal, R. L. (n.d.). *Studi Perbandingan Metoda WSD dan LRFD Dalam Analisis Struktur Anjungan Lepas Pantai.* . Media Komunikasi Teknik Sipil, Volume 12, Edisi XXIX Juli 2004.