

DESAIN DAN ANALISIS *LIFTING* STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE JACKET EMPAT KAKI DI LAUT JAWA

Design and Lifting Analysis of Four-Legged Jacket-Type Offshore Platform Structure in the Java Sea

Steven Jansen Benjamin¹ dan Ricky Lukman Tawekal²

Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa 10 Bandung 40132

¹stevenjansen10@gmail.com dan ²ricky@ocean.itb.ac.id

Abstrak: Desain dari sebuah struktur anjungan lepas pantai membutuhkan banyak pertimbangan dalam pelaksanaannya sehingga struktur tersebut dapat digunakan untuk proses eksplorasi maupun eksploitasi sumber daya alam tipe minyak dan gas alam. Struktur tersebut harus direncanakan sedemikian rupa untuk dapat menerima bermacam-macam tipe kondisi lingkungan laut lepas selama masa layannya. Analisis-analisis dilakukan dalam perencanaan struktur tersebut sehingga struktur tersebut dapat sesuai dengan kriteria desain yang sesuai standar. Permasalahan yang akan dikaji pada tugas akhir ini adalah proses desain dari sebuah struktur anjungan lepas pantai tipe *jacket* empat kaki di Laut Jawa, Indonesia. Analisis-analisis yang dilakukan melibatkan proses pemodelan dengan perangkat lunak yang sesuai sehingga mendapatkan desain struktur yang laik. Pengerjaan tugas akhir ini menggunakan perangkat lunak SACS versi 5.6 dalam pengerjaan pemodelan struktur. Pemodelan digunakan agar mempermudah perhitungan dan mendapatkan keluaran parameter-parameter yang akan diiterasi selama proses desain agar mendapatkan desain struktur yang optimal dan layak sesuai standar yang digunakan. Standar yang digunakan adalah API RP-2A dengan konsep desain *Working Stress Design* (WSD).

Struktur didesain sedemikian rupa agar memenuhi standar yang berlaku. Iterasi dilakukan dalam kasus-kasus tertentu sebagai metode optimalisasi beberapa parameter struktur. Pengerjaan dilengkapi dengan perhitungan sesuai dengan kebutuhan serta gambar-gambar dan tabel untuk memudahkan visualisasi dan pemeriksaan. Data yang dibutuhkan diakuisisi dari berbagai sumber, dilengkapi dengan referensi sesuai kebutuhan. Hasil pengerjaan tugas akhir ini adalah sebuah model struktur yang memenuhi kriteria analisis *in-place*, seismik, dan *fatigue* sesuai standar. Selain itu, pengerjaan tugas akhir ini dilengkapi dengan hasil analisis *lifting* berupa konfigurasi *lifting* serta desain komponen-komponen *lifting* yang dibutuhkan untuk proses instalasi.

Kata Kunci: Anjungan, analisis, *in-place*, seismik, *fatigue*, *lifting*, *jacket*, Laut Jawa.

Abstract: Multiple considerations are needed in the process of designing an offshore platform to be used in exploration and exploitation of non-renewable oil & gas resources. The structure is designed as is to be able to avoid collapse and various types of failure when introduced with various loads related to environmental conditions of offshore areas over its design lifetime. Analyses are conducted in the design process to ensure that the structure conforms to the criteria from international standards. This work introduces a design process of a four-legged jacket type offshore platform located in Java Sea, Indonesia. Modeling processes are used to make complicated calculations easier and more precise. The work uses SACS version 5.6 software in its modeling processes. Output parameters from the modeling process are checked according to API RP-2A standard, using *Working Stress Design* (WSD).

Iteration calculations are performed when applicable as a way of optimization of parameters. Calculation processes are explained thoroughly, complete with general principles of related topics such as offshore platform types and principles behind the numerous calculation processes. Tables and figures are generated when applicable, as to simplify data checking and visualizations. Data acquisition comes from many sources that are all listed in the bibliography at the end of the work. The results of this work is a model design of the structure that conforms to the need of the structure and the standards. The structure meets many criteria of *in-place* analysis, seismic forcing analysis and *fatigue* effects analysis on the structure. Installation analysis and results are also provided, complete with *lifting* configurations of the structure as well as the design of *lifting* components to support installation of the structure in a safe manner.

Keyword: Platform, analysis, *in-place*, seismic, *fatigue*, *lifting*, *jacket*, Java Sea.

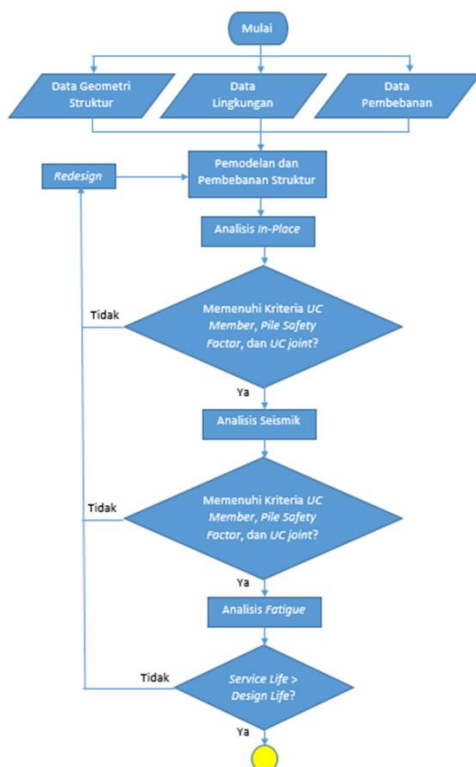
PENDAHULUAN

Indonesia terbukti memiliki 0.2% total cadangan minyak dunia dan 1.4% total cadangan gas alam dunia. Untuk dapat mengakses sumber daya tersebut, dibutuhkan fasilitas penunjang kegiatan eksplorasi dan eksploitasi migas, misalnya struktur anjungan lepas pantai tipe *jacket* empat kaki. Kemampuan layan struktur ini ditentukan dengan analisis *in-place*, seismik, dan *fatigue*.

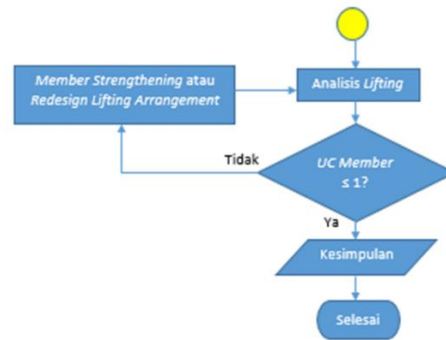
Struktur akan menanggung beban lingkungan seperti beban gelombang, arus, angin, dan gempa. Pada saat yang bersamaan, struktur juga akan menanggung beban struktur sendiri dan beban operasional. Seluruh beban akan dikombinasikan pada struktur sesuai dengan standar yang berlaku agar struktur dipastikan aman dan dapat beroperasi. Selain menganalisis kemampuan layan, dilakukan juga analisis *lifting*, guna memeriksa kekuatan struktur pada saat melalui tahap instalasi. Hasil dari analisis *lifting* berupa konfigurasi proses *lifting* serta penentuan komponen-komponen yang digunakan saat *lifting*, yaitu *sling*, *shackle*, dan *padeye*. Proses desain dan analisis struktur *jacket platform* ini berdasarkan standar desain API RP2A-WSD dan AISI; *Allowable Stress Design*.

TEORI DAN METODOLOGI

Secara umum, metodologi penulisan tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



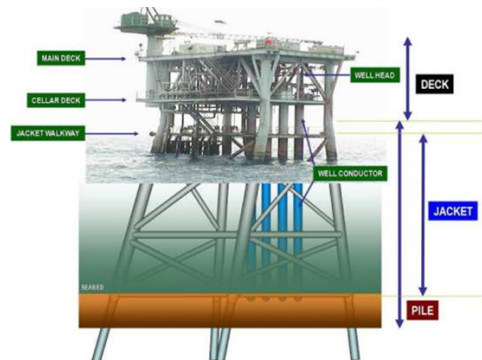
Gambar 1 Metodologi Penulisan Tugas Akhir



Gambar 2 Metodologi Penulisan Tugas Akhir (Lanjutan)

Anjungan lepas pantai adalah struktur yang terletak pada area lepas pantai sebagai fasilitas eksplorasi dan eksploitasi migas. Terdapat 2 jenis yaitu struktur terapung yang perlu ditambatkan ke dasar laut dan struktur tetap (*fixed platform*). Berdasarkan fungsinya terbagi menjadi *exploratory drilling structure*, *production structure*, *storage structure*, dan *loading structure*. Berdasarkan konfigurasi terbagi atas *bottom-supported structure* dan *floating offshore structure*.

Anjungan lepas pantai tipe *jacket platform* adalah salah satu jenis fasilitas proses eksploitasi dan produksi minyak dan gas alam tipe *bottom-supported structure*. Struktur ini terdiri dari tiga komponen utama yaitu *pile*, *jacket*, dan *deck*. Ilustrasi komponen-komponen struktur *jacket platform* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Komponen-Komponen Struktur Jacket

Pada proses desain struktur anjungan lepas pantai, dilakukan pembebanan pada struktur, sesuai beban-beban yang akan diterima struktur pada berbagai kondisi. Beban dapat berupa *gravity loads* seperti beban mati dan beban hidup, juga *environmental loads* seperti beban gelombang, arus, angin, dan gempa.

Beban mati pada struktur anjungan lepas pantai dapat didefinisikan sebagai beban sendiri struktur dan beban peralatan tetap pada struktur, dimana peralatan tersebut selalu ada setiap saat dan kondisi.

Beban hidup merupakan beban pada struktur, yang dapat berubah besarnya sewaktu-waktu, sesuai dengan kondisi dan kegiatan yang sedang terjadi.

Beban lingkungan merupakan beban yang timbul akibat kondisi alam seperti adanya gelombang, arus, angin, gempa bumi, hujan, dan salju. Untuk proses perhitungan beban gelombang, diperlukan data parameter gelombang berupa tinggi gelombang dan periode gelombang. Dibutuhkan juga data kedalaman perairan dan profil arus di lokasi rencana struktur. Salah satu persamaan untuk menghitung gaya gelombang dapat dilihat pada persamaan 1.

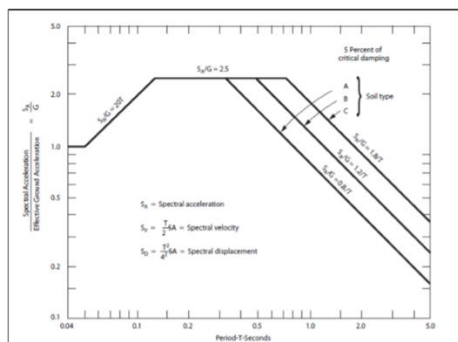
$$F = F_D + F_I = \left(\frac{1}{2} C_D \times \rho \times A \times |u| \times u \right) + \left(C_M \times \rho \times V \times \frac{\partial u}{\partial t} \right) \quad (1)$$

Beberapa jenis arus yang terjadi di laut adalah arus akibat angin, arus pasang surut, arus sirkulasi laut global, dan arus akibat kondisi cuaca seperti badai. Untuk menghitung besar beban arus, dibutuhkan profil arus berupa distribusi kecepatan arus terhadap kedalaman perairan.

Angin memberikan gaya pada struktur anjungan lepas pantai sesuai besar luas proyeksi elemen struktur yang terkena angin. Berdasarkan standar API RP2A WSD, kecepatan angin desain yang digunakan adalah kecepatan angin dengan durasi satu jam, pada elevasi 10 m atau 32,8 feet di atas MSL. Persamaan untuk menghitung kecepatan angin desain dapat dilihat pada persamaan 2.

$$F = \left(\frac{\rho}{2} \right) \times [u(z, t)]^2 \times C_s \times A \quad (2)$$

Gempa bumi diperhitungkan untuk melakukan analisis seismik. Besar beban gempa pada struktur didapatkan dari analisis dinamis respon spektrum, menggunakan grafik spektrum gempa, untuk mendapatkan nilai respon maksimum struktur. Grafik spektrum gempa dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik Spektrum Gempa

3 tahapan analisis pada pemodelan struktur anjungan lepas pantai ini yaitu analisis *in-place* pada 2 kondisi yaitu *operating* (periode ulang 1 tahun) dan *storm* (periode ulang 100 tahun) dengan kombinasi beban, analisis seismik meninjau kekuatan struktur akibat

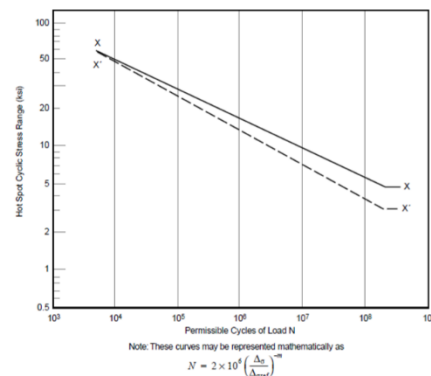
beban gempa untuk daerah dengan PGA di atas 0,05g. Terdapat 2 level gempa yaitu SLE (*Strength Level Earthquake*) dengan periode ulang 100 tahun dan DLE (*Ductility Level Earthquake*) dengan periode ulang 800 tahun. Dan analisis *fatigue* yang dilakukan adalah *fatigue deterministic* dengan beban gelombang siklik. Salah satu faktor yang dihitung adalah DAF (*Dynamic Amplification Factor*) dengan rumus:

$$DAF = \frac{1}{\sqrt{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2}} \quad (3)$$

β = Rasio periode natural dengan periode beban

ξ = Rasio redaman (0.02 – 0.05)

Nilai kerusakan dan *fatigue life* dihitung berdasarkan persamaan 4, dengan nilai N_i yang didapat dari grafik pada gambar 5.



Gambar 5 Kurva S-N

$$Damage = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} \quad (4)$$

m = Jumlah kelas beban siklik yang diperhitungkan

n = Jumlah beban siklik yang terjadi dalam 1 tahun

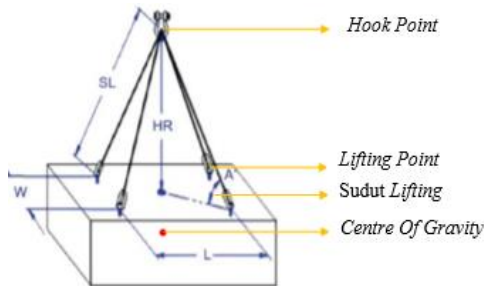
N = Jumlah beban siklik yang dibutuhkan untuk mencapai kegagalan

$$Fatigue Life = \frac{Rencana\ masa\ layan\ struktur}{Damage \times Safety\ Factor} \quad (5)$$

Analisis *lifting* dilakukan untuk memastikan bahwa tidak terjadi kegagalan pada setiap elemen struktur ketika dilakukan pengangkatan bagian struktur menggunakan *crane* dengan metode dan konfigurasi *lifting* yang telah ditentukan. Beban yang ada pada proses *lifting* adalah berat sendiri struktur tanpa memperhitungkan *buoyancy* dan beban semua peralatan yang telah terpasang pada struktur pada saat proses *lifting*. Untuk menentukan konfigurasi *lifting* struktur, diperlukan parameter seperti COG (*Center Of Gravity*), sudut *lifting*, *hook point*, dan *lifting point*. Lokasi COG ditentukan oleh

konfigurasi elemen struktur dan letak berbagai peralatan yang telah terpasang. Lokasi COG perlu diketahui untuk menetapkan lokasi *hook point*, agar pada saat struktur melalui proses *lifting*, tidak ada momen tambahan.

Pada proses *lifting*, dibutuhkan peralatan penunjang seperti *sling*, *shackle*, dan *padeye*. Lokasi COG dan *hook point* akan digunakan untuk mendesain konfigurasi *sling* atau tali baja pada proses *lifting*. Ilustrasi konfigurasi *lifting* beserta posisi parameter dan peralatan proses *lifting* dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6 Ilustrasi Konfigurasi Lifting



Gambar 7 Ilustrasi Sling, Shackle, dan padeye

HASIL DAN ANALISIS

A. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan berdasarkan data sekunder. Tercantum pada Tabel 1 sampai Tabel 8.

Tabel 1 Data EMA

Water Level from Seabed (ft)			
MSL			100
In-place	Operating	Min WD	96,13
		Max WD	104,53
	Storm	Min WD	96,13
		Max WD	105,25
Seismik			100
Fatigue			100

Tabel 2 Data Gelombang

Parameter Gelombang	Periode Ulang	
	1 Tahun	100 Tahun
H max (ft)	14,83	20,87
T max (s)	8	9,1

Tabel 3 Data Arus

Kedalaman (ft)	Kecepatan Arus (ft/s)	
	Operating	Storm
0	2,07	2,56
10	2,039077	2,521757
20	2,005054	2,47968
30	1,967168	2,432826
40	1,924322	2,379837
50	1,874848	2,318653
60	1,816025	2,245905
70	1,742904	2,155475
80	1,644817	2,034169
90	1,489749	1,842395
100	0	0

Tabel 4 Data Angin

Periode Ulang	Kecepatan Angin (ft/s)
1 tahun	42,19
100 tahun	56,14

Tabel 5 Data Marine Growth

Elevasi (-ft)	Ketebalan (in)
10	2,125
15	2,125
20	2,625
25	2,25
40	2,75
55	2,5
70	2,875
85	3,75
96	2

Tabel 6 Current Blockage Factor

Arah	Faktor
End-on	0,7
Diagonal	0,85
Broadside	0,8

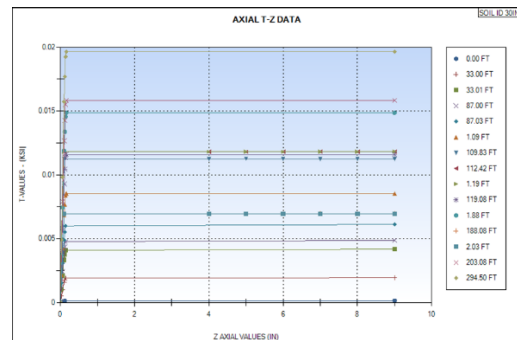
Tabel 7 Koefisien Hidrodinamika

Kondisi	C _D	C _M
Smooth	0,65	1,6
Rough	1,05	1,2

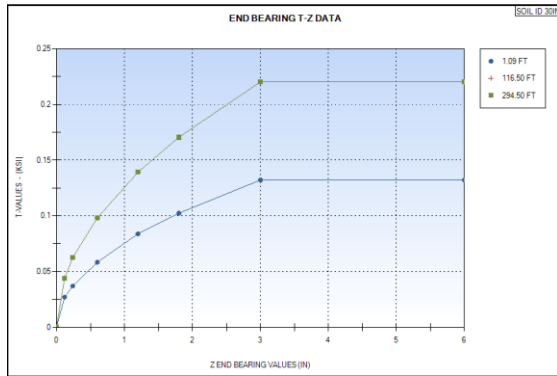
Tabel 8 Data Gempa

Periode (s)	PSV (in/s/g)	
	SLE	DLE
0,03	1,845	1,845
0,05	3,075	3,075
0,125	15,238	15,238
0,5	54,714	60,952
5	54,714	60,952
10	23,357	30,476

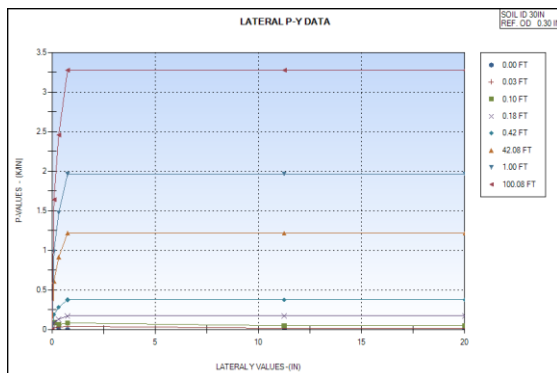
Kemudian data tanah T-Z, Q-Z, dan P-Y ditunjukkan Gambar 8 sampai Gambar 10.



Gambar 8 Data T-Z Tanah



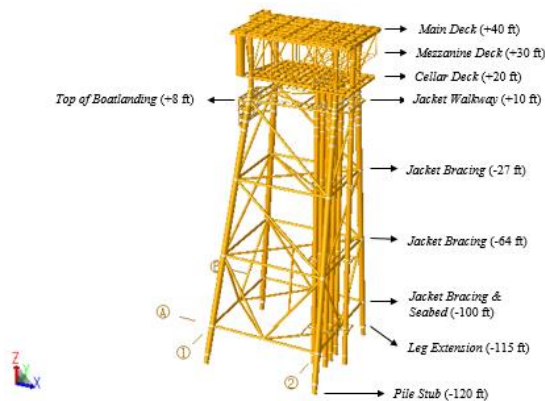
Gambar 9 Data Q-Z Tanah



Gambar 10 Data P-Y Tanah

B. Hasil Pemodelan dan Pembebanan

Hasil pemodelan struktur ditunjukkan oleh Gambar 11.



Gambar 11 Struktur Jacket Platform 4 Kaki

Profil member dicantumkan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9 Profil Member Elemen Jacket

Member Group	Deskripsi	Dimensi
BL1	Boat Landing	OD 8"x0.3"
BL2		OD 6"x0.3"
BL3		OD 8"x0.3"
BL4		OD 6"x0.3"
BL5		OD 8"x0.3"
BL6		OD 6"x0.3"
BL7		OD 8"x0.3"
BL8		OD 6"x0.3"
BL9		OD 5"x0.3"
CGD	Conductor Guide	OD 8"x3"
CSB	Conductor Guide pada Seabed	OD 14"x3.5"

Member Group	Deskripsi	Dimensi
HB1	Horizontal Bracing	OD 14"x2.5"
HB2		OD 12"x3"
HB3		OD 8"x2"
HB4		OD 14"x4"
HB5		OD 7"x0.125"
HB6		OD 8"x2"
HB7		OD 16"x5"
HB8		OD 10"x1.5"
HB9		OD 9"x3"
JW1	Jacket Walkway	OD 16"x0.4"
JW2		OD 9"x0.75"
JW3		OD 8"x0.75"
LG2	Jacket Leg	OD 36"x0.5"
LG3		
LG4		
LG5		
LG6		
LG7		
LG8		
LG9		
LGA		
PL1	Pile	OD 30"x1.75"
PL2		
PL3		
PL4		
PL5		
PL6		
PL7		
PL8		
PL9		
PLA		
PLB		
VB1	Diagonal Bracing	OD 14"x0.5"
VB2		OD 14"x0.45"
VB3		OD 14"x1.25"
W.B	Wishbone	OD 30"x1"

Tabel 10 Profil Member Elemen Topside

Member Group	Deskripsi	Dimensi
CCD	Conductor Guide pada Cellar Deck	OD 12"x2"
CD1	Cellar Deck	W36x232
CD2		W24x84
CD3		W16x89
CGD	Conductor Guide	OD 8"x3"
CMD	Conductor Guide pada Main Deck	OD 10"x0.75"
CR1	Crane Support	OD 25"x3"
CR2		OD 20"x0.75"
CR3		OD 25"x3"
CRN	Crane Pedestal	OD 48"x1"
DB1	Diagonal Bracing	OD 7"x0.5"
DLC	Deck Leg	OD 30"x1.75"
DLD		
DLE		
MD1	Main Deck	W33x201
MD2		W21x68
MD3		W18x76

Member Group	Deskripsi	Dimensi
MZ1	Mezzanine Deck	T070703
MZ2		T070705
MZ3		T060405
VB5	Vertical Bracing	OD 7"x0.3"
VB6		

Beban yang bekerja didefinisikan dalam SACS sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Kombinasi Beban

Load Conditions	Load Description
1	Structural self weight
2	Beban hidup
3	Beban vertikal crane
4	Beban operasi crane
5	Momen operasi crane arah sumbu x
6	Momen operasi crane arah sumbu y
7	Crane boom rest
8	Beban equipment
9	Beban wellhead
10	Beban pelat
11	Beban grating
12	Work over rig load
13	Topside appurtenances
14	Jacket appurtenances
15	Beban angin 1 tahunan arah sumbu x
16	Beban angin 1 tahunan arah sumbu y
17	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 0° - Min. WD
18	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 45° - Min. WD
19	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 90° - Min. WD
20	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 135° - Min. WD
21	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 180° - Min. WD
22	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 225° - Min. WD
23	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 270° - Min. WD
24	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 315° - Min. WD
25	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 0° - Max. WD
26	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 45° - Max. WD
27	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 90° - Max. WD
28	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 135° - Max. WD
29	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 180° - Max. WD
30	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 225° - Max. WD
31	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 270° - Max. WD
32	Beban lingkungan kondisi operasi (1 tahun) arah 315° - Max. WD
33	Beban angin 100 tahunan arah sumbu x
34	Beban angin 100 tahunan arah sumbu y
35	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 0° - Min. WD
36	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 45° - Min. WD
37	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 90° - Min. WD
38	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 135° - Min. WD
39	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 180° - Min. WD
40	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 225° - Min. WD
41	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 270° - Min. WD
42	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 315° - Min. WD
43	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 0° - Max. WD
44	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 45° - Max. WD
45	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 90° - Max. WD
46	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 135° - Max. WD
47	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 180° - Max. WD
48	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 225° - Max. WD
49	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 270° - Max. WD
50	Beban lingkungan kondisi badai (100 tahun) arah 315° - Max. WD

Untuk besar beban peralatan didapatkan dari data sekunder, sedangkan beban lingkungan dihitung menggunakan persamaan yang sudah dijelaskan pada bagian teori.

C. Analisis In-place

Hasil UC analisis dapat dilihat pada Tabel 12 sampai Tabel 20.

Tabel 12 UC Member Kondisi Operating Minimum WD

Operating - Minimum Water Depth				
Elemen Struktur	Group Name	Member	Load Condition	UC Maksimal
Boat Landing	BL1	0488-503L	1008	0.42
	BL2	0496-0488	1008	0.12
	BL3	0474-603L	1006	0.39
	BL4	0484-0485	1008	0.09
	BL5	0459-703L	1005	0.42
	BL6	0457-0466	1005	0.1
	BL7	0446-803L	1005	0.49
	BL8	0451-0446	1005	0.13
	BL9	0486-0472	1008	0.5
Conductor Guide Cellar Deck	CCD	C107-0388	1002	0.55
Cellar Deck	CD1	C115-C116	1007	0.89
	CD2	C062-C063	1008	0.72
	CD3	C109-C096	1008	0.57
Conductor Guide	CGD	0550-401C	1008	0.45
Conductor Guide Main Deck	CMD	M078-E07C	1008	0.37
Conductor	CON	002C-102C	1008	0.41
Crane Support	CR1	C114-C115	1007	0.8
	CR2	C114-C009	1005	0.69
	CR3	B01L-C114	1006	0.75
Crane Pedestal	CRN	C114-M101	1006	0.9
Conductor Guide Sea Bed	CSB	0013-207C	1008	0.64
Diagonal Bracing Cellar Deck-Main Deck	DB1	C009-M070	1005	0.69
Topside Pile	DLC	B01L-C115	1007	0.55
Horizontal Bracing Elevasi -100 ft	HB1	0002-0013	1008	0.53
	HB2	0010-0005	1003	0.72
	HB3	0412-0008	1008	0.51
Horizontal Bracing Elevasi -64 ft	HB4	0033-0034	1003	0.47
	HB5	0025-304L	1008	0.49
	HB6	0543-0030	1008	0.47
Horizontal Bracing Elevasi -27 ft	HB7	0058-0060	1003	0.4
	HB8	0049-0046	1008	0.48
	HB9	0049-0550	1008	0.47
Jacket Walkway	JW1	901L-0076	1007	0.83
	JW2	0019-0150	1003	0.49
	JW3	0037-0039	1003	0.54
Jacket Leg	LG7	602L-702L	1007	0.58
Main Deck	MD1	M024-M025	1004	0.6
	MD2	M012-M013	1004	0.79
	MD3	M004-M005	1008	0.79
Mezzanine Deck	MZ1	MZ57-MZ49	1007	0.84
	MZ2	MZ35-MZ36	1002	0.85
	MZ3	MZ52-MZ44	1007	0.91
Pile	PLB	A01L-B01L	1008	0.95
Vertical Bracing -100 ft to -64 ft	VB1	0002-302L	1002	0.72
Vertical Bracing -64 ft to -27 ft	VB2	302L-401L	1008	0.8
Vertical Bracing -27 ft to +10 ft	VB3	402L-901L	1002	0.91
Vertical Bracing Cellar Deck - Main Deck	VB5	C118-M104	1007	0.77
Vertical Bracing Mezzanine Deck - Main Deck	VB6	MZ52-M107	1007	0.88

Tabel 13 UC Member Kondisi Operating Maximum WD

Operating - Maximum Water Depth				
Elemen Struktur	Group Name	Member	Load Condition	UC Maksimal
Boat Landing	BL1	0488-503L	2008	0.42
	BL2	0496-0488	2008	0.12
	BL3	0474-603L	2006	0.39
	BL4	0484-0485	2008	0.09
	BL5	0459-703L	2005	0.42
	BL6	0457-0466	2005	0.1
	BL7	0446-803L	2005	0.49
	BL8	0451-0446	2005	0.13
	BL9	0486-0472	2008	0.5
Conductor Guide Cellar Deck	CCD	C107-0388	2002	0.54
Cellar Deck	CD1	C115-C116	2007	0.89
	CD2	C062-C063	2008	0.72
	CD3	C109-C096	2008	0.57
Conductor Guide	CGD	0550-401C	2008	0.45
Conductor Guide Main Deck	CMD	M078-E07C	2008	0.37
Conductor	CON	002C-102C	2008	0.4
Crane Support	CR1	C114-C115	2007	0.8
	CR2	C114-C009	2005	0.69
	CR3	B01L-C114	2006	0.75
Crane Pedestal	CRN	C114-M101	2006	0.9
Conductor Guide Sea Bed	CSB	0013-207C	2008	0.63
Diagonal Bracing Cellar Deck-Main Deck	DB1	C009-M070	2005	0.69
Topside Pile	DLC	B01L-C115	2007	0.55
Horizontal Bracing Elevasi -100 ft	HB1	0002-0013	2008	0.52
	HB2	0010-0005	2003	0.7
	HB3	0411-0008	2004	0.5
Horizontal Bracing Elevasi -64 ft	HB4	0033-0034	2003	0.46
	HB5	0025-304L	2008	0.49
	HB6	0543-0030	2008	0.46
Horizontal Bracing Elevasi -27 ft	HB7	0058-0060	2003	0.39
	HB8	0049-0046	2008	0.47
	HB9	0049-0550	2008	0.46
Jacket Walkway	JW1	901L-0076	2007	0.83
	JW2	0019-0150	2003	0.49
	JW3	0037-0039	2003	0.54
Jacket Leg	LG7	602L-702L	2007	0.58
Main Deck	MD1	M024-M025	2004	0.6
	MD2	M012-M013	2004	0.79
	MD3	M004-M005	2008	0.79
Mezzanine Deck	MZ1	MZ57-MZ49	2007	0.84
	MZ2	MZ35-MZ36	2002	0.85
	MZ3	MZ52-MZ44	2007	0.91
Pile	PLB	A01L-B01L	2008	0.95
Vertical Bracing -100 ft to -64 ft	VB1	0002-302L	2002	0.7
Vertical Bracing -64 ft to -27 ft	VB2	302L-401L	2008	0.8
Vertical Bracing -27 ft to +10 ft	VB3	402L-901L	2002	0.91
Vertical Bracing Cellar Deck - Main Deck	VB5	C118-M104	2007	0.77
Vertical Bracing Mezzanine Deck - Main Deck	VB6	MZ52-M107	2007	0.88

Tabel 14 UC Member Kondisi Badai Minimum WD

Storm - Minimum Water Depth				
Elemen Struktur	Group Name	Member	Load Condition	UC Maksimal
Boat Landing	BL1	0488-503L	3002	0.27
	BL2	0496-0488	3002	0.08
	BL3	0474-603L	3001	0.25
	BL4	0472-0485	3001	0.05
	BL5	0459-703L	3003	0.23
	BL6	0457-0466	3005	0.06
	BL7	0446-803L	3003	0.25
	BL8	0451-0446	3003	0.07
	BL9	0486-0472	3001	0.31
Conductor Guide Cellar Deck	CCD	0314-C034	3008	0.73
Cellar Deck	CD1	C115-C116	3006	0.23
	CD2	C062-C063	3008	0.69
	CD3	C109-C096	3008	0.56
Conductor Guide	CGD	0550-401C	3008	0.7
Conductor Guide Main Deck	CMD	M078-E07C	3008	0.48
Conductor	CON	002C-102C	3008	0.52
Crane Support	CR1	C114-C115	3007	0.14
	CR2	C114-C009	3002	0.07
	CR3	B01L-C114	3003	0.15
Crane Pedestal	CRN	C114-M101	3002	0.07
Conductor Guide Sea Bed	CSB	0013-207C	3008	0.76
Diagonal Bracing Cellar Deck-Main Deck	DB1	C009-M023	3004	0.49
Topside Pile	DLC	B01L-C115	3006	0.17
Horizontal Bracing Elevasi -100 ft	HB1	0002-0013	3008	0.64
	HB2	0010-0005	3004	0.58
	HB3	0412-0008	3008	0.77
Horizontal Bracing Elevasi -64 ft	HB4	0033-0034	3008	0.57
	HB5	0025-304L	3008	0.5
	HB6	0543-0030	3008	0.73
Horizontal Bracing Elevasi -27 ft	HB7	0058-0060	3003	0.5
	HB8	0049-0046	3008	0.7
	HB9	0049-0550	3008	0.73
Jacket Walkway	JW1	0074-902L	3003	0.31
	JW2	0051-0127	3003	0.62
	JW3	0037-0039	3003	0.72
Jacket Leg	LG2	102L-202L	3001	0.46
Main Deck	MD1	M023-M024	3004	0.56
	MD2	M012-M013	3004	0.57
	MD3	M004-M003	3004	0.45
Mezzanine Deck	MZ1	MZ13-MZ05	3003	0.52
	MZ2	MZ27-MZ28	3008	0.62
	MZ3	MZ52-MZ44	3004	0.56
Pile	PLB	A01L-B01L	3006	0.32
Vertical Bracing -100 ft to -64 ft	VB1	0002-304L	3008	0.62
Vertical Bracing -64 ft to -27 ft	VB2	302L-401L	3002	0.63
Vertical Bracing -27 ft to +10 ft	VB3	402L-901L	3002	0.57
Vertical Bracing Cellar Deck - Main Deck	VB5	C019-M028	3008	0.43
Vertical Bracing Mezzanine Deck - Main Deck	VB6	MZ52-M107	3004	0.54

Tabel 15 UC Member Kondisi Badai Maximum WD

Storm - Maximum Water Depth				
Elemen Struktur	Group Name	Member	Load Condition	UC Maksimal
Boat Landing	BL1	0488-503L	4002	0.27
	BL2	0496-0488	4002	0.08
	BL3	0474-603L	4001	0.25
	BL4	0472-0485	4002	0.05
	BL5	0459-703L	4002	0.23
	BL6	0457-0466	4005	0.06
	BL7	0446-803L	4006	0.25
	BL8	0451-0446	4003	0.07
	BL9	0486-0472	4001	0.31
Conductor Guide Cellar Deck	CCD	0314-C034	4008	0.7
Cellar Deck	CD1	C115-C116	4006	0.23
	CD2	C062-C063	4008	0.66
	CD3	C109-C096	4008	0.55
Conductor Guide	CGD	0550-401C	4008	0.67
Conductor Guide Main Deck	CMD	M078-E07C	4008	0.46
Conductor	CON	002C-102C	4008	0.5
Crane Support	CR1	C114-C115	4007	0.14
	CR2	C114-C009	4002	0.07
	CR3	B01L-C114	4003	0.15
Crane Pedestal	CRN	C114-M101	4004	0.07
Conductor Guide Sea Bed	CSB	0013-207C	4008	0.73
Diagonal Bracing Cellar Deck-Main Deck	DB1	C009-M023	4004	0.49
Topside Pile	DLC	B01L-C115	4006	0.17
Horizontal Bracing Elevasi -100 ft	HB1	0002-0013	4008	0.62
	HB2	0010-0005	4004	0.57
	HB3	0412-0008	4008	0.73
Horizontal Bracing Elevasi -64 ft	HB4	0033-0034	4008	0.56
	HB5	0025-304L	4008	0.49
	HB6	0543-0030	4008	0.7
Horizontal Bracing Elevasi -27 ft	HB7	0058-0060	4003	0.48
	HB8	0049-0046	4008	0.67
	HB9	0049-0550	4008	0.7
Jacket Walkway	JW1	0074-902L	4003	0.3
	JW2	0051-0127	4003	0.59
	JW3	0037-0039	4003	0.7
Jacket Leg	LG2	102L-202L	4001	0.44
Main Deck	MD1	M023-M024	4004	0.55
	MD2	M012-M013	4004	0.57
	MD3	M004-M005	4003	0.45
Mezzanine Deck	MZ1	MZ57-MZ49	4008	0.52
	MZ2	MZ27-MZ28	4008	0.61
	MZ3	MZ52-MZ44	4004	0.56
Pile	PLB	A01L-B01L	4006	0.32
Vertical Bracing -100 ft to -64 ft	VB1	0002-302L	4002	0.6
Vertical Bracing -64 ft to -27 ft	VB2	302L-401L	4002	0.62
Vertical Bracing -27 ft to +10 ft	VB3	402L-901L	4002	0.56
Vertical Bracing Cellar Deck - Main Deck	VB5	C069-M067	4004	0.42
Vertical Bracing Mezzanine Deck - Main Deck	VB6	MZ52-M107	4004	0.54

Tabel 16 UC Joint Can Kondisi Operasi Minimum WD

<i>Operating - Minimum water depth</i>			
<i>Joint</i>	<i>Load Condition</i>	<i>Load UC</i>	<i>Strength UC</i>
302L	1003	0.047	0.921
304L	1005	0.044	0.921
402L	1003	0.031	0.907
404L	1005	0.021	0.907
202L	1008	0.081	0.847
204L	1001	0.079	0.847
201L	1008	0.052	0.777
203L	1001	0.05	0.777
403L	1007	0.036	0.674
301L	1001	0.047	0.603
303L	1001	0.045	0.603
401L	1002	0.035	0.416
901L	1002	0.147	0.41
903L	1005	0.097	0.408
904L	1004	0.025	0.361
902L	1004	0.086	0.268

Tabel 17 UC Joint Can Kondisi Operasi Maximum WD

<i>Operating - Maximum water depth</i>			
<i>Joint</i>	<i>Load Condition</i>	<i>Load UC</i>	<i>Strength UC</i>
302L	2003	0.047	0.921
304L	2005	0.042	0.921
402L	2003	0.031	0.907
404L	2005	0.021	0.907
202L	2008	0.079	0.847
204L	2001	0.077	0.847
201L	2008	0.052	0.777
203L	2001	0.05	0.777
403L	2007	0.036	0.674
301L	2001	0.047	0.603
303L	2001	0.045	0.603
401L	2002	0.035	0.418
901L	2002	0.147	0.41
903L	2005	0.096	0.408
904L	2004	0.025	0.361
902L	2004	0.085	0.268

Tabel 18 UC Joint Can Kondisi Badai Minimum WD

<i>Storm- Minimum water depth</i>			
<i>Joint</i>	<i>Load Condition</i>	<i>Load UC</i>	<i>Strength UC</i>
302L	3003	0.041	0.922
304L	3007	0.04	0.921
402L	3004	0.021	0.908
404L	3006	0.017	0.907
202L	3001	0.072	0.847
204L	3001	0.072	0.847
201L	3001	0.048	0.777
203L	3001	0.047	0.777
403L	3008	0.029	0.675
401L	3008	0.029	0.674
301L	3001	0.043	0.603
303L	3001	0.043	0.603
903L	3008	0.063	0.409
904L	3007	0.02	0.361
902L	3004	0.025	0.269
901L	3002	0.075	0.143

Tabel 18 UC Joint Can Kondisi Badai Maximum WD

<i>Strom - Maximum water depth</i>			
<i>Joint</i>	<i>Load Condition</i>	<i>Load UC</i>	<i>Strength UC</i>
302L	4004	0.039	0.922
304L	4006	0.038	0.922
402L	4004	0.02	0.908
404L	4006	0.017	0.908
202L	4001	0.072	0.847
204L	4001	0.071	0.847
203L	4001	0.047	0.777
201L	4008	0.048	0.777
403L	4008	0.029	0.675
401L	4008	0.029	0.674
301L	4001	0.043	0.603
303L	4001	0.043	0.603
903L	4008	0.062	0.41
904L	4007	0.019	0.361
902L	4004	0.024	0.269
901L	4002	0.074	0.143

Tabel 19 Pile Safety Factor

Operating - Minimum Water Depth					
Pile Joint	Pile Group	Kapasitas Pile	Beban Maksimum Pile	Load Condition	Safety Factor
001P	PL1	1830.7	705.1	1007	2.6
002P	PL1	1802.7	462.7	1008	3.9
003P	PL1	1830.7	651.6	1005	2.81
004P	PL1	1802.7	460.9	1003	3.91
Operating - Maximum Water Depth					
Pile Joint	Pile Group	Kapasitas Pile	Beban Maksimum Pile	Load Condition	Safety Factor
001P	PL1	1830.7	691.6	2007	2.65
002P	PL1	1802.7	454.3	2008	3.97
003P	PL1	1830.7	638.4	2005	2.87
004P	PL1	1802.7	452.8	2003	3.98
Storm - Minimum Water Depth					
Pile Joint	Pile Group	Kapasitas Pile	Beban Maksimum Pile	Load Condition	Safety Factor
001P	PL1	1830.7	702.7	3006	2.61
002P	PL1	1802.7	533.4	3008	3.38
003P	PL1	1830.7	706.1	3004	2.59
004P	PL1	1802.7	517.1	3002	3.49
Storm - Maximum Water Depth					
Pile Joint	Pile Group	Kapasitas Pile	Beban Maksimum Pile	Load Condition	Safety Factor
001P	PL1	1830.7	-687.1	4005	2.56
002P	PL1	-1802.7	-520.8	4008	3.46
003P	PL1	-1830.7	-688.3	4004	2.66
004P	PL1	-1802.7	-505.9	4002	3.56

Tabel 20 Pengecekan Defleksi

Kondisi	Load Combination	Acting Joint		Reference Joint		Relative Resultant Deflection (in)	Defleksi ijin (in)			
		Joint	Defleksi X	Defleksi Y	Joint			Defleksi X	Defleksi Y	
Operasi	Max WD	2001	C003	1.295	-0.0328	B03L	1.307	0.0159	0.0502	0.3
	Min WD	3001	C003	1.2897	-0.0329	B03L	1.302	0.0158	0.0502	0.3
	Max WD	4001	C004	1.1968	0.0175	B03L	1.9259	0.0757	0.0502	0.3
	Min WD	3001	C004	1.1848	0.0175	B03L	1.9458	0.0766	0.0502	0.3
Kondisi	Load Combination	Acting Joint		Reference Joint		Relative Deflection (in)	Defleksi ijin (in)			
		Joint	Defleksi (in)	Joint	Defleksi (in)					
Operasi	Max WD	2001	M222	-1.5653	M200	-0.4103	-1.155	1.2		
	Min WD	1001	M222	-1.5649	M200	-0.41	-1.1549	1.2		
Storm	Max WD	4001	M222	-1.323	M200	-0.4044	-0.9186	1.2		
	Min WD	3001	M222	-1.3223	M200	-0.4045	-0.9178	1.2		

D. Analisis Seismic

Perioda natural struktur sebesar 1,80402 detik.

Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 21 hingga Tabel 23.

Tabel 21 UC Member Kondisi DLE

Seismik - DLE			
Elemen Struktur	Group Name	Member	UC Maksimal
Boat Landing	BL7	801L-0445	0.35
Cellar Deck	CD1	C115-C116	0.5
Conductor	CON	107C-207C	0.24
Crane Support	CR3	B01L-C114	0.41
Crane Pedestal	CRN	C114-M101	0.5
Deck Leg	DB1	C115-M070	0.61
Jacket Horizontal Bracing	HB2	0010-0005	0.64
Jacket Walkway	JW1	901L-0076	0.42
Jacket Leg	LG5	602L-702L	0.76
Main Deck	MD2	M012-M013	0.54
Mezzanine Deck	MZ3	MZ52-MZ44	0.43
Pile	PL2	101P-201P	0.53
Vertical Bracing	VB2	302L-401L	0.89

Tabel 22 UC Joint Can Kondisi SLE dan DLE

Joint	UC	
	SLE	DLE
402L	0.102	0.128
901L	0.09	0.123
401L	0.089	0.121
403L	0.088	0.115
903L	0.081	0.11
404L	0.076	0.108
202L	0.075	0.106
204L	0.073	0.103
301L	0.073	0.102
302L	0.068	0.096
303L	0.067	0.091
304L	0.06	0.083
201L	0.052	0.08
203L	0.051	0.078
902L	0.043	0.061
904L	0.02	0.03

Tabel 23 Pile Safety Factor

Kondisi	Pile Joint	Kapasitas Pile (Kips)	Beban Maksimum Pile (Kips)	Safety Factor
SLE	001P	1830.7	958.2	1.91
	002P	1802.7	525.1	3.43
	003P	1830.7	871.4	2.1
	004P	1802.7	473.7	3.81
DLE	001P	1830.7	1212.2	1.51
	002P	1802.7	655.4	2.75
	003P	1830.7	1137.9	1.61
	004P	1802.7	590.3	3.05

E. Analisis Fatigue

Umur layan struktur berdasarkan umur rencana selama 25 tahun. Hasil analisis *fatigue* dapat dilihat pada Tabel 24.

Tabel 24 Joint dengan Damage Terbesar

Joint	Member	Member Group	Damage	Service Life (Tahun)
0034	0033-0034	HB4	0.948	54.879
0407	0010-0407	HB3	0.757	68.648
0550	0049-0550	HB9	0.715	72.753
0541	0031-0541	HB6	0.370	140.708
0014	0014-0002	HB1	0.340	152.896

F. Analisis Lifting

Koordinat COG dapat dilihat pada Tabel 25.

Tabel 25 Koordinat COG Struktur *Topside*

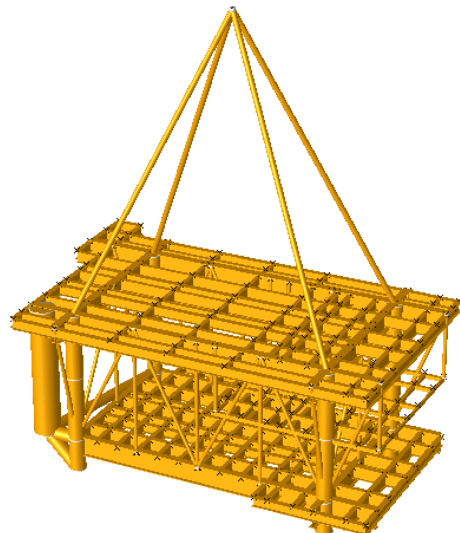
Sumbu X (ft)	Sumbu Y (ft)	Sumbu Z (ft)
19.954	11.478	32.309

Koordinat titik *hook crane* dapat dilihat pada Tabel 26.

Tabel 26 Koordinat *hook crane*

Sumbu X (ft)	Sumbu Y (ft)	Sumbu Z (ft)
19.954	11.478	85

Ilustrasi konfigurasi *lifting* dapat dilihat pada Gambar 12. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 27 dan Tabel 28.

Gambar 12 Konfigurasi *Lifting*

Tabel 27 UC Member saat *Lifting*

Lokasi	Member	Load Factor	UC	Load Factor	UC
Cellar Deck	C022-C023	1.35	0.16	2	0.23
Crane Support	C114-C115		0.03		0.04
Crane Pedestal	C114-M101		0.001		0.01
Deck Leg	C009-M023		0.44		0.16
Main Deck	M043-M044		0.97		1.92
Mezzanine Deck	MZ13-MZ05		0.5		0.74
Vertical Bracing	MZ00-M026		0.17		0.26

Tabel 28 Gaya Internal pada Sling

No.	Member	Gaya (Kips)	Gaya (kN)
1	M021-0000	357.31	1589.39
2	M032-0000	273.06	1214.63
3	M102-0000	288.22	1282.07
4	M113-0000	230.28	1024.34

Melalui perhitungan didapat jenis *sling* yang digunakan berasal dari katalog *Hendrik Veder Group* dengan diameter 103 mm.

Shackle yang digunakan dari katalog milik *Van Beest Green Pin* dengan diameter *pin* sebesar 160 mm.

Dari iterasi dimensi *padeye*, didapatkan dimensi yang memenuhi, dapat dilihat pada Tabel 29.

Tabel 29 Dimensi *padeye*

Deskripsi	Variabel	Nilai
Tegangan Leleh	F_y	36 ksi
Diameter Lubang	d_H	170 mm
Radius Lubang	r_H	90 mm
Tebal <i>Main Plate</i>	t_m	150 mm
Tebal <i>Check Plate</i>	t_c	50 mm
Radius <i>Main Plate</i>	r_m	280 mm
Radius <i>Check Plate</i>	r_c	180 mm
Jarak Pusat Lubang ke <i>Padeye</i>	L_0	450 mm

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

- Struktur ini memenuhi pemeriksaan analisis *in-place*:
 - Nilai unity check member maksimum terjadi pada kondisi operasi – kedalaman perairan maksimum, yaitu pada bagian pile pada daerah working point, dengan nilai UC sebesar 0.94.
 - Nilai unity check joint punching shear maksimum terjadi pada kondisi badai – kedalaman perairan maksimum, yaitu pada joint pada jacket leg's bracing, dengan nilai Strength UC sebesar 0.922.
 - Nilai kapasitas pile minimum terjadi pada kondisi badai – kedalaman perairan maksimum, dengan nilai safety factor sebesar 2.66.

- Nilai defleksi vertikal maksimum terjadi pada kondisi operasi – kedalaman perairan maksimum, yaitu pada mezzanine deck dengan besar defleksi relatif sebesar 1.155 inch. Nilai defleksi lateral maksimum terjadi pada kondisi badai – kedalaman perairan minimum, yaitu pada cellar deck dengan besar defleksi relatif sebesar 0.0602 inch.

- Struktur ini memenuhi pemeriksaan analisis *seismi* didapatkan nilai periode natural struktur sebesar 1.804 detik:
 - Nilai unity check member maksimum terjadi pada kondisi DLE, yaitu pada jacket's vertical bracing, dengan nilai UC sebesar 0.89.
 - Nilai unity check joint punching shear maksimum terjadi pada kondisi DLE, yaitu pada joint pada jacket leg's bracing, dengan nilai UC sebesar 0.128.
 - Nilai kapasitas pile minimum terjadi pada kondisi DLE, dengan nilai safety factor sebesar 1.51.
- Berdasarkan hasil analisis *fatigue*, diketahui nilai *service life* struktur lebih besar dari 20 tahun (*design life*). Nilai *service life* minimum elemen struktur hasil analisis *fatigue* berada pada joint bagian jacket's horizontal bracing dengan nilai *service life* sebesar 54.879 tahun.
- Berdasarkan hasil analisis *lifting*, didapatkan konfigurasi komponen proses *lifting* yang memenuhi standar API RP2A WSD, dengan spesifikasi komponen proses *lifting* sebagai berikut:
 - Detail konfigurasi *lifting* berupa lokasi hook crane dapat dilihat pada Tabel 26. Ilustrasi konfigurasi *lifting* dapat dilihat pada Gambar 12, dengan nilai sudut terkecil antara *sling* dengan bidang *deck* sebesar 62.9°.
 - Tali *sling* yang digunakan diadaptasi dari katalog milik Hendrik Veder Group dengan diameter sebesar 103 mm dan nilai minimum breaking load sebesar 800 ton.
 - Shackle* yang digunakan diadaptasi dari katalog milik Van Beest Green Pin dengan diameter pin sebesar 160 mm dan nilai working load limit sebesar 400 ton.
 - Padeye* yang digunakan memiliki dimensi seperti yang ditampilkan pada Tabel 29.

B. SARAN

- Dalam proses desain struktur, sebaiknya digunakan data peralatan yang lengkap, mulai dari list peralatan, besar beban masing-masing peralatan, hingga lokasi penempatan peralatan pada struktur.

2. Data lingkungan yang digunakan sebaiknya sesuai dengan data pada lokasi rencana struktur.
3. Pada analisis *lifting*, hasil desain akan lebih baik jika memperhitungkan kondisi struktur saat *crane barge* yang mengangkat komponen *topside* terpengaruh oleh gelombang.

REFERENSI

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