

# PENGUNAAN STRUCTURAL ANALYSIS COMPUTER SYSTEM UNTUK MENENTUKAN JACKET RIG 4 KAKI PADA LAPANGAN BLOK NATUNA

Muhamad Zhorif Virza Tama<sup>1</sup>, Rafly Candra<sup>1</sup>, Muhammad Aulia Prathista<sup>1</sup>, Henk Subekti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Produksi Migas, PEM Akamigas, Jl Gajah Mada No.38, Cepu, Blora, Jawa Tengah, 58315

\*E-mail: zhorifvirza33@gmail.com

## ABSTRAK

Analisis struktur dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur anjungan lepas pantai. Penelitian ini membahas salah satu tahapan analisis yaitu analisis in situ. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menilai kekuatan struktur terhadap beban lingkungan seperti gelombang, arus dan beban angin. Dua kondisi yang diperiksa dalam analisis in situ adalah kondisi operasi dan kondisi badai. Perangkat lunak SACS 16, salah satu program komputer paling populer untuk pemodelan struktur lepas pantai, digunakan dalam penelitian ini untuk memodelkan struktur platform lepas pantai. Hasil analisis dan perhitungan di lapangan menunjukkan bahwa seluruh parameter memenuhi standar API RP2A WSD. Untuk kondisi operasi, uji anggota seragam dibatasi 1,0 dan kondisi badai dibatasi 1,333, sedangkan uji geser pukulan sambungan seragam juga dibatasi 1,0 dan kondisi badai dibatasi 1,333. Selain itu, faktor keselamatan tiang lebih besar dari 2 pada kondisi operasi dan lebih dari 2.33 pada kondisi badai.

**Kata kunci:** *Fixed Jacket, Production Platform, Inplace Analysis, API RP 2A-WSD*

## 1. PENDAHULUAN

Data pelaksanaan produksi migas yang dimuat dalam laporan tahunan SKK Migas tahun 2021 menunjukkan produksi migas mengalami penurunan selama 10 tahun terakhir[1]. Oleh karena itu, otoritas dan pelaku utama industri migas memerlukan peningkatan kinerja dan tata kelola yang baik untuk memperkuat fondasi industri migas saat ini dan masa depan. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan meningkatkan produksi di wilayah produksi yang ada dan meningkatkan upaya eksplorasi untuk menemukan cadangan migas baru[2]. Perkiraan potensi migas pada blok-blok yang masih beroperasi masih menjanjikan berdasarkan perkembangan teknologi di bidang migas. Pengembangan lapangan operasional terus dioptimalkan untuk menahan laju penurunan produksi, termasuk di Wilayah Kerja (WK) Blok Natuna di Kepulauan Riau[2].

Pengembangan lapangan migas lepas pantai memerlukan anjungan lepas pantai dan fasilitas lainnya. Membangun anjungan lepas pantai Anda sendiri memerlukan perencanaan yang matang karena risikonya sangat tinggi. Sebagai negara maritim, Indonesia memiliki wilayah laut yang sebagian besar dangkal. Oleh karena itu, Indonesia merupakan negara yang cocok untuk pembangunan anjungan lepas pantai tipe jaket.

Dalam penelitian ini, struktur anjungan lepas pantai tipe jaket berkaki empat dimodelkan. Platform yang terletak di blok Natuna ini memiliki empat kaki. Selain itu, struktur akan dimodelkan untuk mencegah kegagalan struktural akibat pembebanan dan kondisi lokasi. Berbagai analisis, yaitu analisis in situ, dilakukan. Gunakan perangkat lunak SACS untuk pemodelan.

Penggunaan software SACS dalam perancangan dan analisis struktur anjungan lepas pantai sangat penting. SACS memungkinkan perhitungan yang akurat terhadap kekuatan dan stabilitas struktur, serta memodelkan berbagai kondisi operasional untuk memastikan keselamatan dan efisiensi operasi[2].

Untuk meningkatkan produksi minyak dan gas bumi di Indonesia, pemerintah telah mengeluarkan berbagai kebijakan baru. Salah satunya adalah keputusan dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) dengan nomor 110.K/MG.01/MEM.M/2024 yang menetapkan pedoman untuk memanfaatkan kembali area kerja yang berpotensi namun belum dimanfaatkan[3].

Pada struktur lepas pantai, tantangan utama muncul dari beban lingkungan yang kompleks seperti tekanan air laut, kecepatan arus, serta variasi tinggi dan periode gelombang yang memengaruhi stabilitas dan keamanan struktur platform. Oleh karena itu, pengembangan struktur platform tipe jacket di lingkungan ini memerlukan perencanaan yang mendalam untuk memastikan daya tahan dan keselamatan operasi. Dalam desain dan konstruksi jacket, manajemen risiko sangat penting. Untuk membuat strategi mitigasi yang efektif, risiko lingkungan, teknis, dan operasional harus diidentifikasi. Dengan cara ini, proyek di luar negeri dapat berjalan dengan lebih baik dan lebih efektif.

Penelitian ini berfokus pada pemodelan struktur jacket dengan empat kaki di lapangan Blok Natuna menggunakan perangkat lunak SACS versi 16. Pemodelan dilakukan untuk menilai ketahanan struktur terhadap beban operasional dan badai, di mana standar API RP2A WSD digunakan sebagai acuan dalam menetapkan faktor keamanan serta batas defleksi maksimum. Harapannya, penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan produksi dan efisiensi operasi lapangan *offshore* di Indonesia.

## 2. METODE

### A. Beban Lingkungan

Metode pemodelan struktural yang dipilih dalam penelitian ini adalah perangkat lunak SACS 16, yang menawarkan kemampuan analisis mendetail terhadap berbagai parameter yang mempengaruhi struktur lepas pantai. Pada analisis beban lingkungan, variabel utama yang dipertimbangkan meliputi:

#### 1. Angin

Beban angin dihitung menggunakan model distribusi angin omnidirectional yang diadaptasi berdasarkan lokasi dan kondisi Blok Natuna. Perhitungan dilakukan untuk memperkirakan tekanan lateral pada tiap anggota struktur. Beban angin dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$U(z) = U_0x \left[1 + Cx \ln\left(\frac{z}{32.8}\right)\right] \quad (2)$$

$$C = 5I_u(z) = 0.06x \left[1 + 0.0131xU_0\right]x \left(\frac{z}{32.8}\right)^{-0.22} \quad (3)$$

$$C = 5.73x10^{-2}x(1 + 0.0457xU_0)^{0.5} \quad (4)$$

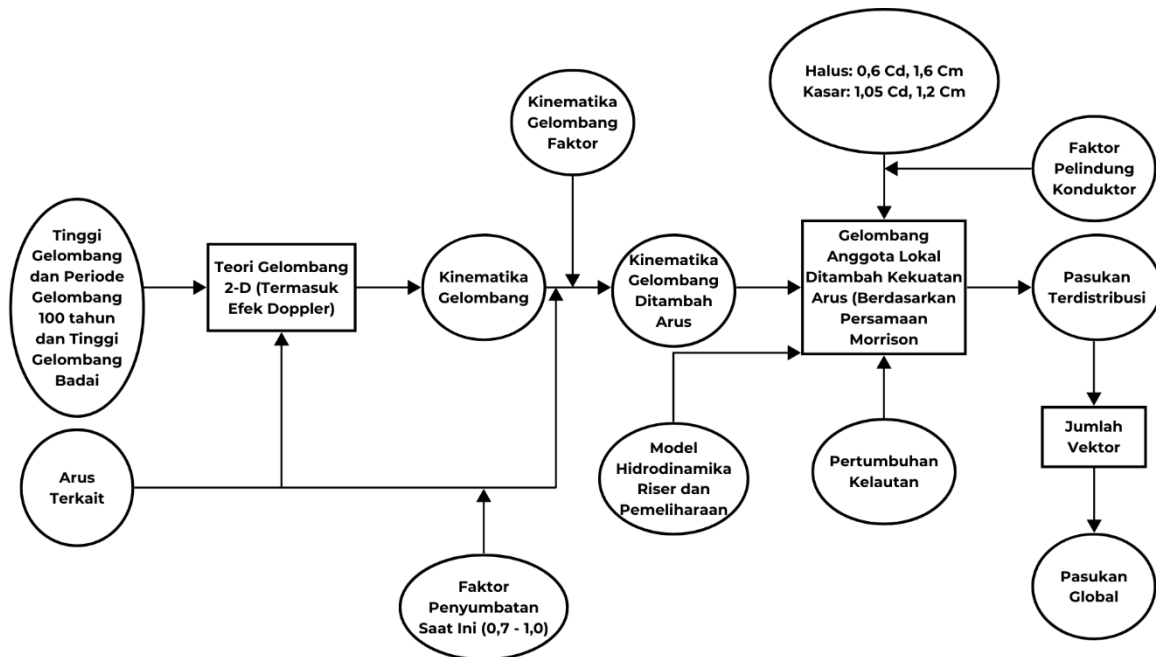
$$F = \left(\frac{\rho}{2}\right) U^2(z, t) C_s A \quad (5)$$

#### 2. Arus

SACS 16 mengakomodasi input variabel kecepatan arus laut pada berbagai kedalaman untuk memodelkan pengaruh arus secara lebih akurat, sehingga beban lateral yang diterima oleh struktur dapat dihitung dengan presisi[4].

### 3. Gelombang

Beban gelombang dimodelkan menggunakan parameter tinggi dan periode gelombang yang mencerminkan kondisi operasional dan badai. Skema pembebanan gelombang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Dari Perhitungan Gelombang

## B. Analisis Struktur

Melalui analisis in situ, perangkat lunak ini menghitung beberapa parameter seperti unity check pada anggota dan sambungan, kapasitas tumpuan, dan defleksi struktur pada kondisi operasi dan kondisi ekstrem (badai). Dengan memanfaatkan SACS, perhitungan ketahanan struktur ini dapat dioptimalkan untuk memastikan stabilitas dan keamanan platform pada kondisi *offshore* yang ekstrem.

### 1. Inplace Analysis

*Inplace Analysis* menghasilkan output berupa unity check member dan joint can, kapasitas tanah dan defleksi. Unity check member dapat dihitng menggunakan persamaan sebagai berikut[5]:

$$UC = \frac{f_a}{f_c} + \frac{Cm\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{\left(1 - \frac{f_a}{\pi^2 EI} F_b\right) \frac{(KL)^2}} \quad (6)$$

$$UC = \frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \quad (7)$$

Jika member memiliki nilai  $f_a/F_a \leq 0.15$ , maka UC dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut[6]:

$$UC = \frac{f_a}{F_a} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \tag{8}$$

Untuk nilai UC dari pile, dapat dihitung dengan UC single pile analysis dengan menggunakan persamaan sebagai berikut[6]:

$$UC = \frac{P}{F_{xc}} + \frac{2}{\pi} \left| \sin^{-1} \frac{M}{F_{xc}} \right| \tag{9}$$

Perhitungan unity check joint can dapat digunakan persamaan sebagai berikut[6]:

$$Strength UC = \frac{F_{yb} \gamma \tau \sin \theta}{F_{yb} \left( 11 + \frac{1.5}{\beta} \right)} \leq 1.0 \tag{10}$$

Tujuan dari pengujian kapasitas tiang pancang ini adalah untuk mengetahui apakah kapasitas sebenarnya dari tiang pancang melebihi kapasitas yang diizinkan. Nilai minimum faktor keamanan ini diperlukan untuk API RP-2A WSD berdasarkan kondisi yang terjadi. Batas nilai *safety factor* dapat dilihat pada Tabel 1[7].

**Tabel 1. Kapasitas Pile Minimum**

Kondisi	Safety Faktor
Operating	2
Strom	2.33

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

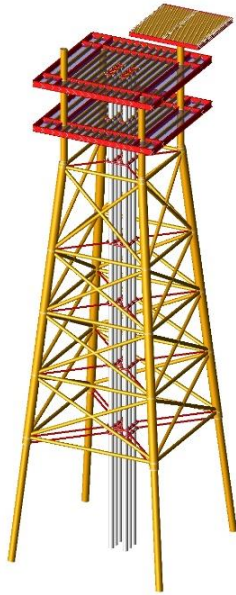
$$\delta_{\text{vertikal}} = \frac{L}{100} \tag{11}$$

$$\delta_{\text{horizontal}} = \frac{H}{200} \tag{12}$$

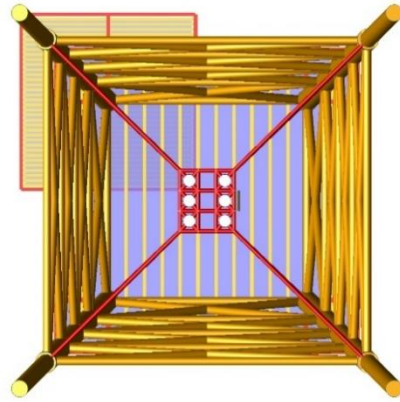
$$\delta_{\text{pilehead}} = \frac{OD}{10} \tag{13}$$

### 3. PEMODELAN

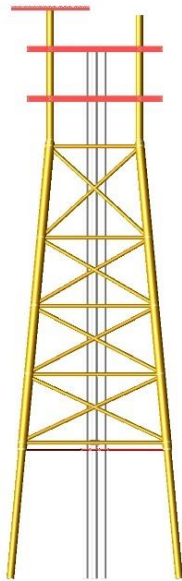
Gambar 2-6 berikut ini merupakan pemodelan struktur desain jacket rig 4 kaki. Struktur ini dirancang untuk memenuhi empat kondisi kedalaman: operasi maksimum dan minimum, hujan maksimum dan minimum, dan badai maksimum dan minimum. Tabel 2 dan 3 merupakan data perairan dari Lapangan Natuna.



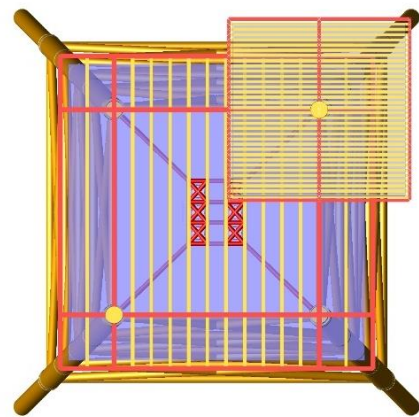
**Gambar 2. Bentuk Isometric Dari Desain Jacket Rig 4 Kaki**



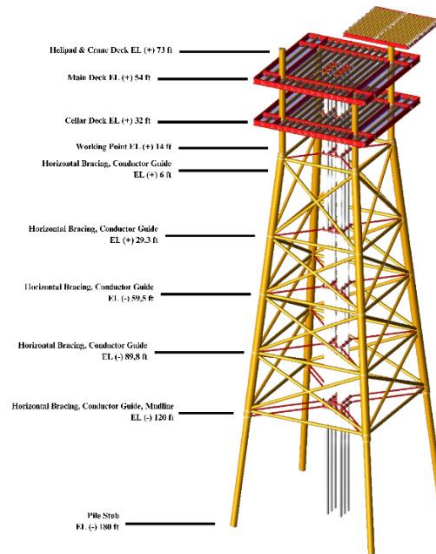
**Gambar 3. Bagian Bawah Dari Desain Jacket Rig 4 Kaki**



**Gambar 4. Bagian Samping Dari Desain Jacket Rig 4 Kaki**



**Gambar 5. Bagian Atas Dari Desain Jacket Rig 4 Kaki**



Gambar 6. Merupakan Elevasi Pada Jacket Rig 4 Kaki

Tabel 2. Data Perairan Dari Lapangan Blok Natuna

Deskripsi	Jumlah / Besaran
Kedalaman perairan (MSL)	120 ft
Jumlah Kaki	4
Jumlah Konduktor	8
<i>Jacket Elevation</i>	EL. (+) 6 ft
	EL. (-) 29.3 m
	EL. (-) 59.5 m
	EL. (-) 89.8 m
<i>Deck Elevation</i>	EL. (+) 32 ft ( <i>Cellar Deck</i> )
	EL. (+) 54 ft ( <i>Main Deck</i> )
<i>Crane Leg &amp; Helipad Deck Elevation</i>	EL. (+) 73 ft

Tabel 3. Data Water Level Dari Lapangan Blok Natuna

<i>Water Level</i>	<i>1-year Operating</i>	<i>100-year Storm</i>
<i>Level Astronomical Tide (LAT)</i>	96.1 m	96.1 m
<i>Mean Sea Level (MSL)</i>	+ 1.3 m	+ 1.3 m
<i>Highest Astronomical Tide (HAT)</i>	+ 2.6 m	+ 2.6 m
<i>Storm Surge (SS)</i>	+ 0.2 m	+ 0.3 m
<i>Depth Tolerance</i>	± 0.5 m	± 0.5 m
<i>Minimum Water Depth</i>	96.3 m	96.4 m
<i>Maximum Water Depth</i>	99.4 m	99.5 m

Dalam analisis *in-place*, data gelombang mencakup parameter tinggi gelombang maksimum dan periode gelombang dengan arah yang tidak terarah. Dengan asumsi bahwa kondisi yang diterapkan adalah gempa tropis, faktor kinetik gelombang yang digunakan ditetapkan sebesar satu. Tabel 4 berikut merupakan data angin dan data arus yang digunakan hanya mencakup parameter kecepatan *omnidirectional*[8].

**Tabel 4. Wave Parameter Dari Lapangan Blok Natuna**

<i>Wave Parameter</i>	<i>Return Period</i>	
	<i>1-year Return Period (In-Place Operating)</i>	<i>100-year Return Period (In-Place Storm)</i>
<b>Hmax (ft)</b>	20	36.4
<b>Perioda (s)</b>	8.8	10.8

**Tabel 5. Periode Ulang Dari Lapangan Blok Natuna**

<b>Periode Ulang (tahun)</b>	<b>Durasi 1 menit (knot)</b>
<i>1-year Operating</i>	33.62
<i>100-year Storm</i>	47.62

Data *marine growth* yang digunakan mencakup parameter ketebalan dan kepadatan. Kepadatan pertumbuhan laut yang dipakai adalah 5,9 ton/m<sup>3</sup>, sementara ketebalan pertumbuhan laut dari garis dasar hingga permukaan adalah 2 cm[8]. Profil anggota pada Tabel 7 adalah hasil optimasi yang telah memenuhi kriteria yang diizinkan.

**Tabel 6. Elevasi Deck Pada Jacket Rig 4 Kaki**

<i>Deck</i>	<b>Elevasi (ft)</b>
<i>Cellar Deck</i>	(+) 32
<i>Main Deck</i>	(+) 54
<i>Crane Leg &amp; Heli Deck</i>	(+) 73

**Tabel 7. Member Group**

<b>No</b>	<b>Member Group</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Jenis</b>	<b>Ukuran (in)</b>
1	MGC	Main Girder Cellar	Wide Flange	W33x130
2	MGM	Main Girder Main Deck	Wide Flange	W33x130
3	MGH	Main Girder Helipad Deck	Wide Flange	W33x130
4	SGC	Support Girder Cellar Deck	Wide Flange	W33x130
5	SGM	Support Girder Main Deck	Wide Flange	W24x68
6	SGH	Support Girder Helipad and Crane Deck	Wide Flange	W10x39
7	PLC	Cellar Deck Plate	Isotropic	0,375
8	PLM	Main Deck Plate	Isotropic	0,375
9	PLH	Helipad Deck Plate	Isotropic	1
10	BR1	Horizontal Bracing	Tubular	20x0,625
11	BR2	Horizontal Bracing	Tubular	20x0,625
12	BR3	Horizontal Bracing	Tubular	20x0,625
13	BR4	Horizontal Bracing	Tubular	20x0,625
14	BR5	Horizontal Bracing	Tubular	20x0,625
15	XB1	Diagonal Bracing	Tubular	20x0,625
16	XB2	Diagonal Bracing	Tubular	20x0,625
17	XBA	Diagonal Bracing	Tubular	20x0,625
18	XBB	Diagonal Bracing	Tubular	20x0,625
19	W.B	Wishbone	Tubular	50x0,88
20	P1A	Elevation Pile	Tubular	40x0,625

21	P1B	Elevation Pile	Tubular	40x0,625
22	P2A	Elevation Pile	Tubular	40x0,625
23	P2B	Elevation Pile	Tubular	40x0,625
24	L1A	Elevation Leg	Tubular	50x0,875
25	L1B	Elevation Leg	Tubular	50x0,875
26	L2A	Elevation Leg	Tubular	50x0,875
27	L2B	Elevation Leg	Tubular	50x0,875
28	DLC	Cellar Deck Leg	Tubular	40x0,875
29	DUM	Main Deck Leg	Tubular	40x0,875
30	DUH	Hellipad and Crane Deg Leg	Tubular	40x0,875
31	CON	Conductor	Tubular	29x0,625
32	CSU	Conductor Support	Tubular	10x0,25

#### 4. HASIL INPLACE ANALYSIS

##### A. Unity Check Member

Unity Check (UC) adalah perbandingan antara tegangan aktual member dengan regangan izin.

**Tabel 8. Hasil UC Member Kondisi Operasi Kedalaman Maksimum**

Deskripsi	Member Group	Critical Member	Unity Check
Main Girder Cellar	MGC	901L-903L	2.83
Main Girder Main Deck	MGM	A01L-A03L	2.82
Main Girder Helipad Deck	MGH	B04L-0178	1.57
Support Girder Cellar Deck	SGC	0034-0324	2.58
Support Girder Main Deck	SGM	0094-0281	3.56
Support Girder Helipad and Crane Deck	SGH	0179-0178	0.62
Horizontal Bracing	BR1	601L-603L	0.27
Horizontal Bracing	BR2	503L-504L	0.13
Horizontal Bracing	BR3	401L-402L	0.11
Horizontal Bracing	BR4	302L-304L	0.11
Horizontal Bracing	BR5	203L-204L	0.25
Diagonal Bracing	XB1	203L-2C1X	0.53
Diagonal Bracing	XB2	204L-2C2X	0.53
Diagonal Bracing	XBA	201L-2A1X	0.64
Diagonal Bracing	XBB	203L-2B1X	0.64
Elevation Pile	P1A	001P-101P	2.29
Elevation Pile	P1B	003P-103P	2.30
Elevation Pile	P2A	002P-102P	2.32
Elevation Pile	P2B	004P-104P	2.33
Elevation Leg	L1A	101L-201L	0.68
Elevation Leg	L1B	103L-203L	0.69
Elevation Leg	L2A	102P-202P	0.90
Elevation Leg	L2B	104P-204P	0.90
Cellar Deck Leg	DLC	801L-901L	0.50
Main Deck Leg	DUM	901L-A01L	0.64
Helipad and Crane Deg Leg	DUH	A01L-0231	0.90

**Tabel 9. Hasil UC Member Kondisi Operasi Kedalaman Minimum**

Deskripsi	Member Group	Critical Member	Unity Check
Main Girder Cellar	MGC	0000-0012	0.14
Main Girder Main Deck	MGM	0061-0068	0.14
Main Girder Helipad Deck	MGH	0128-0214	0.03
Support Girder Cellar Deck	SGC	0014-0015	0.12
Support Girder Main Deck	SGM	0105-0115	0.09



<i>Support Girder Helipad and Crane Deck</i>	SGH	0214-0198	0.13
<i>Horizontal Bracing</i>	BR1	601L-602L	0.24
<i>Horizontal Bracing</i>	BR2	503L-504L	0.12
<i>Horizontal Bracing</i>	BR3	401L-402L	0.10
<i>Horizontal Bracing</i>	BR4	301L-302L	0.10
<i>Horizontal Bracing</i>	BR5	202L-204L	0.21
<i>Diagonal Bracing</i>	XB1	401L-4C1X	0.14
<i>Diagonal Bracing</i>	XB2	402L-4C2X	0.14
<i>Diagonal Bracing</i>	XBA	301L-3A1X	0.19
<i>Diagonal Bracing</i>	XBB	303L-3B1X	0.19
<i>Elevation Pile</i>	P1A	603P-703L	0.30
<i>Elevation Pile</i>	P1B	403P-503P	0.31
<i>Elevation Pile</i>	P2A	602P-702L	0.28
<i>Elevation Pile</i>	P2B	604P-704L	0.29
<i>Elevation Leg</i>	L1A	301L-401L	0.12
<i>Elevation Leg</i>	L1B	303L-403L	0.12
<i>Elevation Leg</i>	L2A	302L-402L	0.12
<i>Elevation Leg</i>	L2B	304L-404L	0.12
<i>Cellar Deck Leg</i>	DLC	802L-902L	0.46
<i>Main Deck Leg</i>	DUM	902L-A02L	0.30
<i>Hellipad and Crane Deg Leg</i>	DUH	A04L-B04L	0.17

**Tabel 10. Hasil UC Member Kondisi Badai Kedalaman Maksimum**

<b>Deskripsi</b>	<b>Member Group</b>	<b>Critical Member</b>	<b>Unity Check</b>
<i>Main Girder Cellar</i>	MGC	901L-903L	2.830
<i>Main Girder Main Deck</i>	MGM	A01L-A03L	2.824
<i>Main Girder Helipad Deck</i>	MGH	B04L-0178	1.567
<i>Support Girder Cellar Deck</i>	SGC	0034-0324	2.581
<i>Support Girder Main Deck</i>	SGM	0094-0281	3.556
<i>Support Girder Helipad and Crane Deck</i>	SGH	0179-0178	0.622
<i>Horizontal Bracing</i>	BR1	601L-603L	0.269
<i>Horizontal Bracing</i>	BR2	503L-504L	0.128
<i>Horizontal Bracing</i>	BR3	401L-402L	0.105
<i>Horizontal Bracing</i>	BR4	302L-304L	0.108
<i>Horizontal Bracing</i>	BR5	203L-204L	0.253
<i>Diagonal Bracing</i>	XB1	203L-2C1X	0.534
<i>Diagonal Bracing</i>	XB2	204L-2C2X	0.534
<i>Diagonal Bracing</i>	XBA	201L-2A1X	0.641
<i>Diagonal Bracing</i>	XBB	203L-2B1X	0.644
<i>Elevation Pile</i>	P1A	001P-101P	2.292
<i>Elevation Pile</i>	P1B	003P-103P	2.305
<i>Elevation Pile</i>	P2A	002P-102P	2.320
<i>Elevation Pile</i>	P2B	004P-104P	2.333
<i>Elevation Leg</i>	L1A	101L-201L	0.682
<i>Elevation Leg</i>	L1B	103L-203L	0.685
<i>Elevation Leg</i>	L2A	102P-202P	0.896
<i>Elevation Leg</i>	L2B	104P-204P	0.901
<i>Cellar Deck Leg</i>	DLC	801L-901L	0.495
<i>Main Deck Leg</i>	DUM	901L-A01L	0.645
<i>Hellipad and Crane Deg Leg</i>	DUH	A01L-0231	0.904

**Tabel 11. Hasil UC Member Kondisi Badai Kedalaman Minimum**

Deskripsi	Member Group	Critical Member	Unity Check
Main Girder Cellar	MGC	0000-0012	0.139
Main Girder Main Deck	MGM	0061-0068	0.144
Main Girder Helipad Deck	MGH	0128-0214	0.029
Support Girder Cellar Deck	SGC	0014-0015	0.140
Support Girder Main Deck	SGM	0105-0115	0.093
Support Girder Helipad and Crane Deck	SGH	0214-0198	0.126
Horizontal Bracing	BR1	601L-602L	0.237
Horizontal Bracing	BR2	503L-504L	0.128
Horizontal Bracing	BR3	401L-402L	0.105
Horizontal Bracing	BR4	301L-302L	0.107
Horizontal Bracing	BR5	202L-204L	0.209
Diagonal Bracing	XB1	401L-4C1X	0.144
Diagonal Bracing	XB2	402L-4C2X	0.145
Diagonal Bracing	XBA	301L-3A1X	0.192
Diagonal Bracing	XBB	303L-3B1X	0.192
Elevation Pile	P1A	603P-703L	0.299
Elevation Pile	P1B	403P-503P	0.310
Elevation Pile	P2A	602P-702L	0.284
Elevation Pile	P2B	604P-704L	0.294
Elevation Leg	L1A	301L-401L	0.124
Elevation Leg	L1B	303L-403L	0.124
Elevation Leg	L2A	302L-402L	0.118
Elevation Leg	L2B	304L-404L	0.118
Cellar Deck Leg	DLC	802L-902L	0.463
Main Deck Leg	DUM	902L-A02L	0.303
Helipad and Crane Deg Leg	DUH	A04L-B04L	0.175

**B. Kapasitas Pile**

Kapasitas tiang dan beban aktual yang dialami oleh tiang, bersama dengan nilai faktor keamanan untuk setiap kondisi[9].

**Tabel 12. Nilai Pile Axial dan Safety Factor Kondisi Badai**

Pile Head Joint	OD (in)	Beban Aksial (kN)	Safety Factor
P1A	40.000	-18202,1592192	2.33
P1B	40.000	-18271,106792	2.33
P2A	40.000	-18202,1592192	2.33
P2B	40.000	-18340,0543648	2.33

**Tabel 13. Nilai Pile Axial dan Safety Factor Kondisi Operasi**

Pile Head Joint	OD (in)	Beban Aksial (kN)	Safety Factor
P1A	40.000	-18202,1592192	2
P1B	40.000	-18271,106792	2
P2A	40.000	-18202,1592192	2
P2B	40.000	-18340,0543648	2

**C. Defleksi**

Defleksi vertikal maksimum yang terjadi pada struktur di setiap kondisi dan batasan ditampilkan dalam tabel berikut[10].

**Tabel 14. Defleksi X Maksimum**

<i>Condition</i>	<i>Load Combination</i>	<i>Joint</i>	<i>Def x(in)</i>	<i>Def Izin (in)</i>
<i>100-Years Strom</i>	CB01	0231	1.2520	3.9055
	CB02	0590	5.5748	3.9055
	CB03	0589	7.9350	3.9055
	CB04	0589	5.5756	3.9055
	CB05	0231	1.3387	3.9055
	CB06	0587	-5.5393	3.9055
	CB07	0586	-7.9029	3.9055
	CB08	0586	-5.5371	3.9055
<i>1-Year Operating</i>	CO01	0231	1.2903	3.9055
	CO02	0231	1.5241	3.9055
	CO03	0590	1.9254	3.9055
	CO04	0231	1.5305	3.9055
	CO05	0231	1.3006	3.9055
	CO06	0587	-1.3343	3.9055
	CO07	0587	-1.8828	3.9055
	CO08	0587	-1.3391	3.9055

Berdasarkan nilai defleksi vertikal maksimum yang telah disebutkan, didapat bahwa semua defleksi vertikal yang terjadi pada struktur tetap berada di bawah batas defleksi yang diizinkan. Defleksi horizontal maksimum yang terjadi pada struktur dalam setiap kondisi dan batasan ditampilkan dalam tabel 15 berikut[10].

**Tabel 15. Defleksi Y Maksimum**

<i>Condition</i>	<i>Load Comb</i>	<i>Joint</i>	<i>Def y(in)</i>	<i>Def Izin (in)</i>
<i>100-Years Strom</i>	CB01	2C2X	9.2357	1.5748
	CB02	2C1X	6.4532	1.5748
	CB03	0120	0.7748	1.5748
	CB04	2C1X	-6.1910	1.5748
	CB05	2C1X	-8.9769	1.5748
	CB06	2C1X	-6.1903	1.5748
	CB07	0123	1.0064	1.5748
	CB08	2C1X	6.4539	1.5748
<i>1-Year Operating</i>	CO01	2C2X	2.3836	1.5748
	CO02	201P	1.7600	1.5748
	CO03	0120	0.3143	1.5748
	CO04	204P	-1.4843	1.5748
	CO05	2C1X	-2.1208	1.5748
	CO06	204P	-1.4525	1.5748
	CO07	0123	0.4101	1.5748
	CO08	0585	1.7533	1.5748

Berdasarkan nilai defleksi horizontal maksimum yang ada, didapat bahwa semua defleksi horizontal yang terjadi pada struktur tetap berada di bawah batas defleksi yang diizinkan. Hasil dari analisis in situ menunjukkan bahwa struktur platform yang dirancang memiliki ketahanan terhadap kondisi operasional dan badai sesuai standar API RP2A WSD. Nilai *unity check* yang dihasilkan berada dalam batas toleransi standar industri, menunjukkan bahwa desain ini memadai untuk aplikasi di lapangan *offshore*.

Implementasi model ini di lapangan Blok Natuna dapat direalisasikan, mengingat parameter-parameter seperti *unity check* member, faktor keselamatan tumpuan, serta defleksi vertikal dan horizontal memenuhi persyaratan standar. Meski demikian, uji lapangan lebih lanjut disarankan untuk memastikan keandalan struktur terhadap kondisi lingkungan yang

dinamis dan ekstrem. Selain itu, diperbarui atau tidaknya API RP2A WSD sebagai acuan perlu diperiksa secara berkala untuk menjamin kesesuaian dengan praktik industri terkini.

## 5. KESIMPULAN

Struktur anjungan memenuhi kriteria desain yang ditetapkan dalam pemeriksaan analisis inplace, dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Nilai Rasio UC Tegangan Member: Komponen di upper deck memiliki nilai rasio UC terbesar sebesar 3.56 untuk kondisi operasi, sedangkan komponen horizontal bracing memiliki nilai rasio UC terbesar sebesar 0.269 untuk kondisi ekstrem.
2. Nilai Safety Factor Pile: Pile P1A memiliki nilai safety factor terendah sebesar 2 untuk kondisi operasi, sedangkan pile P1B memiliki nilai safety factor terendah sebesar 2,3 untuk kondisi ekstrem.
3. Nilai Defleksi X Maksimum: Joint 0231 pada kondisi operasi dan kondisi badai memiliki nilai defleksi maksimum untuk yaitu 1.2903 in dan 1.2520 in.
4. Nilai Defleksi Y Maksimum: Joint 2C2X pada kondisi operasi dan kondisi badai memiliki nilai defleksi maksimum untuk yaitu 2.3836 in dan 9.2357 in.

Studi ini berhasil menunjukkan bahwa *platform* tipe jacket berkaki empat yang dirancang untuk lapangan *offshore* Blok Natuna memenuhi standar API RP2A WSD dalam hal ketahanan struktural. Nilai faktor keamanan dan defleksi maksimum pada kondisi operasional dan kondisi badai berada di dalam batas toleransi, menunjukkan bahwa desain ini siap diimplementasikan di lapangan dengan keamanan yang memadai. Kesimpulan ini diharapkan dapat mendorong pengembangan lebih lanjut pada desain platform lepas pantai di Indonesia, sekaligus memberikan alternatif solusi bagi peningkatan produksi migas di lingkungan *offshore*.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tawekal, Ricky Lukman, "Bangunan Lepas Pantai", Institut Teknologi Bandung.
- [2] Djatmiko, E. B. (2012). Fatigue Analysis on Ocean Structure (PowerPoint). ITS, Teknik Kelautan, Surabaya.
- [3] W., D. S., Ibrahim, R., & Utami, M. (2016). Laporan Perancangan Struktur Lepas Pantai Dinamis. ITS, Jurusan Teknik Kelautan, Surabaya.
- [4] American Petroleum Institut, "Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platform Working Stress Design", API RP2A WSD 21<sup>st</sup> edition, American Petroleum Institut, December 2000.
- [5] American Institute of Steel Construction Inc. (2005). AISC Steel Construction Manual
- [6] International Organization for Standarization. (2007). ISO 19902: Petroleum and Natural Gas Industries - Fixed Steel Offshore Structures 1st Edition. Switzerland.
- [7] Chakrabarti, S. K. (2005). Handbook of Offshore Engineering. Elsevier.
- [8] Gerwick, B. C. (2007). Construction of Marine and Offshore Structures. CRC Press.
- [9] Goda, Y. (2010). Random Seas and Design of Maritime Structures. World Scientific.
- [10] Reddy, D. V., & Swamidas, A. S. J. (2014). Essentials of Offshore Structures: Framed and Gravity Platforms. CRC Press.

### Daftar Simbol

F = Gaya angin (kips)  
 $\rho$  = Massa jenis angin (0.0023668 slugs/ft<sup>3</sup> untuk tekana dan temperatur standar)  
u = Kecepatan angin (ft/s)  
C<sub>s</sub> = Koefisien bentuk  
A = Luas permukaan objek (ft<sup>2</sup>)  
f<sub>a</sub> = Axial loading (kips)  
F<sub>a</sub> = Allowable axial stress (ksi)  
C<sub>m</sub> = Reduction factor

$f_{bx}$  = X axis bending moment (kips-ft)  
 $f_{by}$  = Y axis bending moment (kips-ft)  
 $K$  = effective length factor  
 $E$  = Elastic modulus (ksi)  
 $I$  = Moment of Inertia (ft<sup>4</sup>)  
 $F_b$  = Allowable bending stress (ksi)  
 $F_y$  = Yield Strength (ksi)  
 $F_{xc}$  = Inelastic local buckling stress (ksi)  
 $P$  = Non-linear analysis axial loading  
 $A$  = Cross-sectional area (ft<sup>2</sup>)  
 $M$  = Non-linear bending moment (kips-ft)  
 $Z$  = Plastic sectional modulus (ft<sup>3</sup>)  
 $f_a$  = Yield strength pada joint chord  
 $F_a$  = Yield strength pada brace member  
 $\gamma$  = Diameter chord 2(Tebal Chord)  
 $\tau$  = Tebal Chord  
 $\beta$  = Perbandingan diameter brace dengan chord  
 $\theta$  = Sudut brace  
 $\delta_{vertikal}$  = Defleksi vertical  
 $\delta_{horizontal}$  = Defleksi Horizontal  
 $\delta_{pilehead}$  = Defleksi pilehead  
 $L$  = Jarak lateral antara acting joint dengan joint acuan  
 $OD$  = Diameter luar tiang pancang  
 $H$  = Jarak dalam arah vertical antrara - acting joint dengan joint acuan