

ANALISIS PERBANDINGAN *RESERVE STRENGTH RATIO* STRUKTUR JENIS *BRACED MONOPOD* DAN *TRIPOD JACKET* PADA AREA *WEST MADURA OFFSHORE*

Bintang Wiratama Hendarko dan Prof. Ricky Lukman Tawekal, Ph. D.

Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganeca no. 10, Bandung 40132
bintangwh@gmail.com dan ricky@ocean.itb.ac.id

PENDAHULUAN

Jenis substruktur yang umum digunakan dalam bangunan lepas pantai tipe *fixed platform* adalah tipe *jacket*, substruktur jenis tersebut memiliki 2 komponen untuk menahan beban yang berasal dari *topside* maupun lingkungan yaitu *jacket* itu sendiri dan *pile*. Oleh karena itu, proses transportasi dan instalasi terkena dampak menjadi 2 tahap, *jacket* terlebih dahulu barulah pemancangan *pile*, yang berakibat pada biaya yang bertambah juga.

Alternatif jenis substruktur yang bisa digunakan adalah tipe *braced monopod*, yaitu sebuah *monopod* (atau disebut juga sebagai *caisson* karena ukurannya yang besar) dengan 2 *pile* sebagai penahan beban lateral. Pada substruktur *braced monopod* ini secara umum seharusnya biaya yang digunakan lebih kecil karena tahapan yang dilakukan saat transportasi dan instalasi lebih sedikit.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis *in-place*, *seismic*, dan *fatigue* pada substruktur jenis *braced monopod* dan *tripod jacket* serta membandingkan *reserve strength ratio* yang dimiliki oleh kedua jenis substruktur melalui analisis *pushover*. Lokasi yang digunakan dalam melakukan analisis adalah Pertamina Hulu Energi *West Madura Offshore* dengan koordinat UTM zona 49: 708,291.41 m Timur dan 9,278,393.53 m Utara.

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mendapatkan desain struktur lepas pantai tipe *braced monopod* dan *tripod jacket* yang memenuhi kriteria analisis *in-place*, *seismic*, dan *fatigue* pada API RP2A dengan masa layan 20 tahun.
2. Mengetahui dan membandingkan nilai *reserve strength ratio* yang dimiliki pada struktur jenis *braced monopod* dan *tripod jacket* melalui analisis *pushover*.

DASAR TEORI

Jenis beban yang perlu diperhitungkan dalam melakukan desain suatu platform berdasarkan API (2007) dalam kode Recommended Practice 2A-Working Stress Design diantaranya adalah beban mati, beban hidup, beban lingkungan, beban konstruksi, dan beban removal/reinstallation. Pada tugas akhir ini beban konstruksi dan beban removal tidak diperhitungkan. Beban lingkungan terdiri dari beban gelombang, arus, dan angin.

Salah satu cara untuk menghitung gaya gelombang dan arus adalah menggunakan persamaan Morison. Morison (1950) mengemukakan rumus berikut untuk menghitung gaya gelombang total, yang merupakan penjumlahan dari gaya drag dan inertia seperti yang tertulis dalam persamaan 1 dan 2.

$$dF = dF_D + dF_I \quad (1)$$

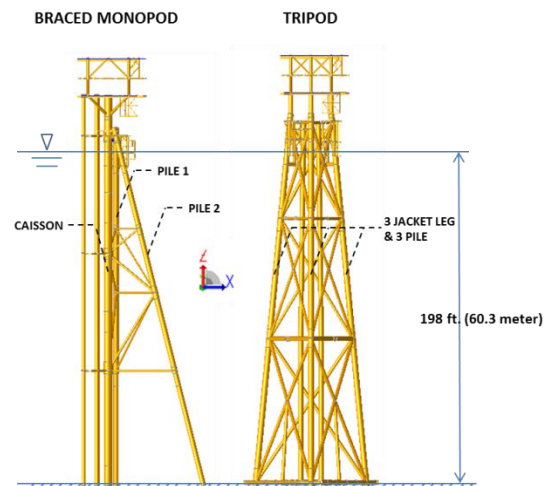
$$dF = \frac{1}{2} C_D \rho A u |u| + C_M \rho V \frac{Du}{Dt} \quad (2)$$

Dan untuk menghitung besar gaya angin yang terjadi menggunakan persamaan

$$F = \frac{\rho}{2} V^2 C_S A \quad (3)$$

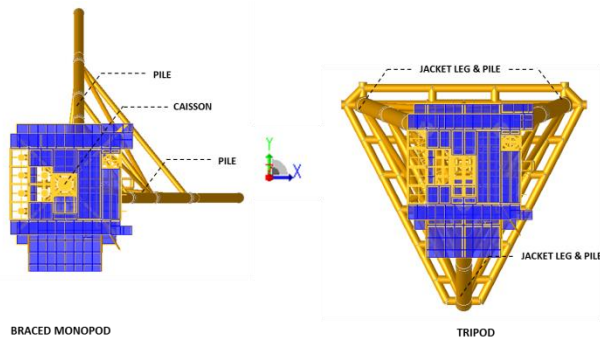
MODEL STRUKTUR

Substruktur yang digunakan terdiri dari 2 jenis, yaitu *Braced Monopod* dan *Tripod*. Kedua jenis substruktur memiliki 3 kaki, untuk *Braced Monopod* terdiri dari 1 buah *caisson* dengan diameter 56 inch, yang merupakan struktur utama dengan 2 buah *pile* dengan diameter 36 inch sebagai kekuatan tambahan yang menahan beban lateral dan *Tripod* merupakan substruktur yang menahan beban melalui 3 kaki *jacket* dan 3 buah *pile* yang berdiameter 42 inch di dalamnya. Kedua jenis substruktur tersebut digunakan pada kedalaman perairan 198 feet. Model struktur yang digunakan terdapat dalam Gambar 1.



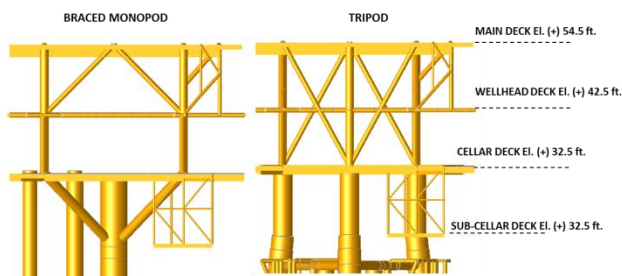
Gambar 1

Dan untuk tampak atas dari kedua struktur dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2

Model *topside* yang digunakan menggunakan memiliki berat yang sama untuk kedua jenis substruktur yaitu sebesar 161 kips dan memiliki 3 elevasi *deck* yang memiliki framing *deck* sama, yaitu *Main Deck* pada elevasi (+) 54.5 ft., *Wellhead Deck* pada elevasi (+) 42.5 ft., dan *Cellar Deck* pada elevasi (+) 32.5 ft. ditambah dengan sebuah elevasi *deck* yang terpasang menggantung pada *Cellar Deck*, yang disebut dengan *Sub-Cellar Deck* pada elevasi (+) 20.5 ft. Model *topside* yang digunakan dan perbedaannya terdapat dalam gambar 3.



Gambar 3

Kedua struktur memiliki fondasi yang berupa *pile* dan ditanam hingga kedalaman 316 feet. Data interaksi antara struktur dengan tanah yang berupa interaksi antara gesekan tanah arah aksial dengan perpindahan (T-Z), *end bearing pile* dengan perpindahan (Q-Z), dan gesekan tanah arah lateral dengan perpindahan (P-Y) diaplikasikan kedalam model fondasi struktur.

PEMBEBANAN MODEL STRUKTUR

Pembebanan yang diberikan pada model struktur terdiri dari:

1. Berat Sendiri Struktur

Berat sendiri struktur tercantum dalam tabel 1 untuk *braced monopod* dan Tabel 2 untuk *tripod jacket*.

Tabel 1

Load Case	Deskripsi	Total Beban (kips)	
		1-Tahun Operasi	100-Tahun Badai
1	Beban Mati Struktur	1609.886	1609.886
	<i>Buoyancy</i>	600.34	620.491
Total		1009.55	989.395

Tabel 2

Load Case	Deskripsi	Total Beban (kips)	
		1 Tahun Operasi	100 Tahun Badai
1	Beban Mati Struktur	3343.688	3343.688
	<i>Buoyancy</i>	1321.812	1342.095
Total		2021.883	2001.593

Untuk beban sendiri struktur yang tidak dimodelkan (*non-generated*) dicantumkan dalam Tabel 3.

Tabel 3

Load Case	Deskripsi	Total Beban (kips)
21	Beban Mati <i>Non-Generated</i> - <i>Main Deck</i>	25.171
22	Beban Mati <i>Non-Generated</i> - <i>Wellhead Deck</i>	8.391
23	Beban Mati <i>Non-Generated</i> - <i>Cellar Deck</i>	23.186
24	Beban Mati <i>Non-Generated</i> - <i>Deck Stairs</i>	8.400

2. Beban Peralatan

Beban peralatan yang berada pada struktur tercantum dalam Tabel 4.

Tabel 4

Load Case	Deskripsi	Total Beban (kips)
111	Beban Peralatan - <i>Main Deck</i>	9.654
112	Beban Peralatan - <i>Wellhead Deck</i>	4.140
113	Beban Peralatan - <i>Cellar Deck</i>	86.489
114	Beban Peralatan - <i>Sub Cellar Deck</i>	2.480

3. Beban Perpipa

Beban perpipa yang berada pada struktur tercantum dalam Tabel 5.

Tabel 5

Load Case	Deskripsi	Total Beban (kips)
201	Beban Perpipa - <i>Cellar Deck</i>	11.991

4. Beban Hidup

Beban hidup yang berada pada struktur tercantum dalam Tabel 6 sebesar 100 psf.

Tabel 6

Load Case	Deskripsi	Total Beban (kips)
301	Beban Hidup - <i>Main Deck</i> (100 psf)	69.423
302	Beban Hidup - <i>Wellhead Deck</i> (100 psf)	13.152
303	Beban Hidup - <i>Cellar Deck</i> (100 psf)	37.990

5. Beban *Work Over Rig*
Beban *WOR* tercantum dalam Tabel 7.

Tabel 7

Load Case	Deskripsi	Total Beban (kips)
401	<i>Work Over Rig</i> 01 - Beban Operasi	285.000
402	<i>Work Over Rig</i> 02 - Beban Operasi	285.000
403	<i>Work Over Rig</i> 03 - Beban Operasi	285.000
411	<i>Work Over Rig</i> 01 - Beban Mati	265.008
412	<i>Work Over Rig</i> 02 - Beban Mati	265.074
413	<i>Work Over Rig</i> 03 - Beban Mati	265.074
415	<i>Work Over Rig</i> 01 - Beban Mati (100 Tahun)	293.003
416	<i>Work Over Rig</i> 02 - Beban Mati (100 Tahun)	293.001
417	<i>Work Over Rig</i> 03 - Beban Mati (100 Tahun)	293.001

6. Beban *Crane*
Beban *crane* yang berada pada struktur tercantum dalam Tabel 8.

Tabel 8

Load Case	Deskripsi	Total Beban
501	Beban Mati <i>Crane</i>	14.0Kips
502	Beban Operasi <i>Crane</i>	24.0Kips
503	Momen Operasi <i>Crane</i> Arah X	705.0 Kips.in
504	Momen Operasi <i>Crane</i> Arah Y	702.5 Kips.in

7. Beban Angin
Beban angin yang diberikan pada struktur telah dihitung berdasarkan elevasi *deck* dan besar proyeksi luas *deck* yang terkena gaya angin. Kecepatan angin yang digunakan untuk menghitung gaya angina adalah 48 mph pada kondisi operasi dan 73 mph pada kondisi badai. Gaya angin tersebut terdapat dalam Tabel 9.

Tabel 9

Load Case	Deskripsi	Total Beban (kips)	
		X	Y
601	Beban Angin Arah X (1 Tahun)	7.840	
602	Beban Angin Arah Y (1 Tahun)		7.600
611	Beban Angin Arah X (100 Tahun)	18.120	
612	Beban Angin Arah Y (100 Tahun)		17.480

8. Beban Gelombang dan Arus
Beban gelombang dan arus dihitung oleh *software* yang digunakan. Parameter gelombang yang digunakan adalah tinggi 17 ft dan periode 7.2 s kondisi operasi dan 30 ft dengan periode 10 s

kondisi badai Parameter arus yang digunakan untuk menghitung gaya yang diterima oleh struktur tercantum pada Tabel 10.

Tabel 10

Kecepatan Arus			
Operasi		Badai	
Persen Kedalaman (%)	Kecepatan (ft/s)	Persen Kedalaman (%)	Kecepatan (ft/s)
0	3.5	0	4.5
10	3.3	10	4.2
20	3.1	20	3.9
30	2.9	30	3.2
40	2.7	40	3.6
50	2.4	50	3.3
60	2.2	60	2.9
70	2.0	70	2.6
80	1.8	80	2.3
90	1.5	90	2.0
100	0.8	100	0.8

HASIL ANALISIS *IN-PLACE*

Analisis *in-place* dilakukan dengan memberikan kombinasi pembebanan berdasarkan kondisi lingkungan saat struktur sudah berada pada lokasi yang direncanakan. Kondisi pembebanan yang diberikan pada struktur ada lah kondisi operasi dan badai. Terdapat 4 jenis kondisi operasi dan badai struktur dikombinasikan dengan 12 arah beban lingkungan. Kombinasi pembebanan untuk kondisi operasi adalah sebagai berikut:

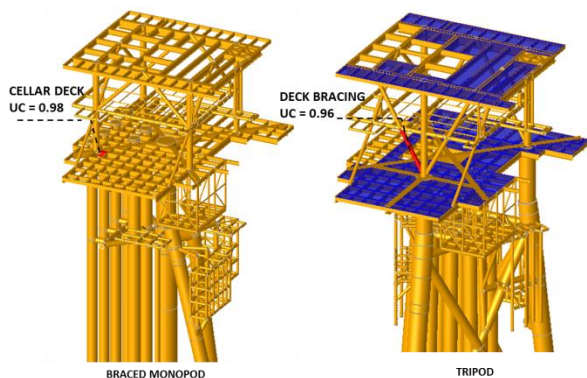
1. Beban mati + beban hidup + beban mati dan operasi rig lokasi 1 + beban lingkungan kondisi operasi 12 arah (Kombinasi Pembebanan 2001 – 2012)
2. Beban mati + beban hidup + beban mati dan operasi rig lokasi 2 + beban lingkungan kondisi operasi 12 arah (Kombinasi Pembebanan 2101 – 2112)
3. Beban mati + beban hidup + beban mati dan operasi rig lokasi 3 + beban lingkungan kondisi operasi 12 arah (Kombinasi Pembebanan 2201 – 2212)
4. Beban mati + beban hidup + beban mati dan operasi crane + beban lingkungan kondisi operasi 12 arah (Kombinasi Pembebanan 2301 – 2312)

Kombinasi pembebanan untuk kondisi badai adalah sebagai berikut:

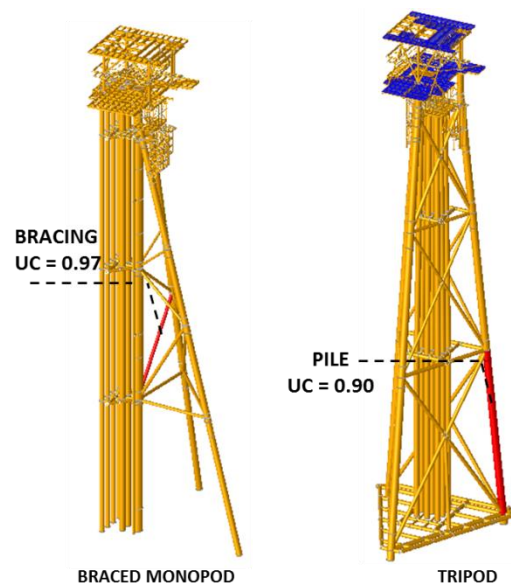
1. Beban mati + beban hidup + beban mati lokasi 1 + beban lingkungan kondisi operasi 12 arah (Kombinasi Pembebanan 3001 – 3012)
2. Beban mati + beban hidup + beban mati lokasi 2 + beban lingkungan kondisi operasi 12 arah (Kombinasi Pembebanan 3101 – 3112)

3. Beban mati + beban hidup + beban mati lokasi 3 + beban lingkungan kondisi operasi 12 arah (Kombinasi Pembebanan 3201 – 3212)
4. Beban mati + beban hidup + beban mati crane + beban lingkungan kondisi operasi 12 arah (Kombinasi Pembebanan 3301 – 3312)

Setelah diberikan kombinasi pembebanan, didapatkan hasil dari analisis *in-place* berupa *unity check* dari tiap *member* dan *joint* yang merupakan rasio antara tegangan yang terjadi dibandingkan tegangan yang diizinkan pada struktur dan *safety factor* pada *pile*. *Unity check* yang diizinkan pada struktur maksimal 1 dengan pemberian faktor pada tegangan izin saat kondisi badai sebesar 1.33 dan *safety factor* pada *pile* minimal 2 untuk kondisi operasi dan 1.5 untuk kondisi badai. *Unity check* terbesar yang didapatkan pada *member* untuk *braced monopod* kondisi operasi terdapat pada *cellar deck* dengan besar 0.98 dan kondisi badai sebesar 0.97 terdapat pada *guardian structure bracing*. Pada struktur *tripod jacket* *unity check* terbesar terdapat pada *deck bracing* untuk kondisi operasi dengan besar 0.96 dan pada *pile* dengan besar 0.90 untuk kondisi badai. Lokasi *member* dengan *unity check* terbesar terdapat pada Gambar 4 untuk kondisi operasi dan Gambar 5 untuk kondisi badai

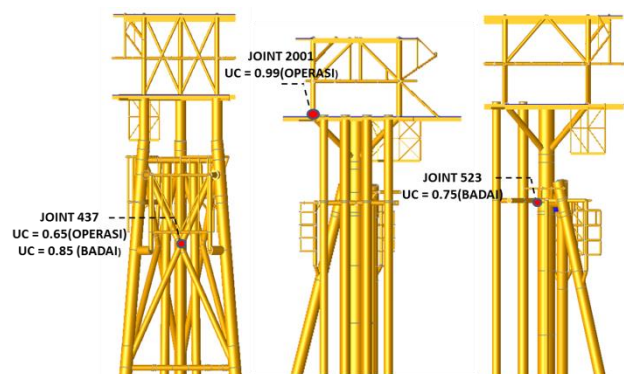


Gambar 4



Gambar 5

Unity check joint terbesar pada struktur *braced monopod* kondisi operasi adalah pada *joint* 2001 dengan besar 0.99 dan kondisi badai pada *joint* 523 dengan besar 0.75. Pada struktur *tripod jacket*, *unity check* terbesar terjadi pada *joint* 437 untuk kondisi operasi dan badai. Lokasi *joint* tercantum dalam Gambar 6.



Gambar 6

Safety factor terkecil pada struktur *braced monopod* adalah sebesar 2.27 dan pada struktur *tripod jacket* sebesar 1.54.

HASIL ANALISIS SEISMIC

Parameter gempa bumi yang harus diperhitungkan dalam tahap ini. Analisis pada tahap ini dilakukan dengan memperhitungkan PGA sebesar 0.33G dan redaman sebesar 2% untuk kondisi DLE. Berdasarkan data tersebut didapatkan *base shear* dari kedua struktur yang tercantum dalam Tabel 11 untuk *braced monopod* dan Tabel 12 untuk *tripod jacket*.

Tabel 11

Deskripsi	Kondisi DLE
Base Shear Arah X (kips)	188.00

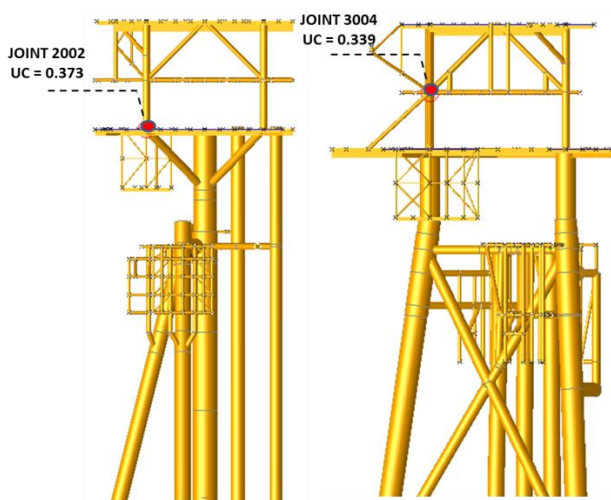
Base Shear Arah Y (kips)	144.00
Overturning Moment Arah X (kips.in)	232000.00
Overturning Moment Arah Y (kips.in)	282000.00

Tabel 12

Description	Kondisi DLE
Base Shear Arah X (kips)	405.00
Base Shear Arah Y (kips)	442.00
Overturning Moment Arah X (kips.in)	655000.00
Overturning Moment Arah Y (kips.in)	600000.00

Berdasarkan beban gempa bumi tersebut, dilakukan pengecekan tegangan pada member, *joint*, dan kapasitas *pile*. *Unity check* pada member dan *joint* tidak boleh melebihi 1 dengan pemberian faktor sebesar 1.7 pada tegangan izin. *Safety factor* yang didapatkan minimal 1 untuk analisis *seismic*.

Pada struktur *braced monopod* dan *tripod jacket*, didapatkan bahwa UC terbesar terdapat pada *pile* yang berada di bawah *mudline* dengan besar masing-masing 0.81 dan 0.92. Untuk UC pada *joint* struktur *braced monopod* terdapat pada *joint* 2002 dan untuk struktur *tripod jacket* pada *joint* 3004. Lokasi *joint* tercantum dalam Gambar 7.



Gambar 7

Safety factor terkecil pada struktur *braced monopod* adalah sebesar 5.49 dan pada struktur *tripod jacket* sebesar 3.48.

HASIL ANALISIS FATIGUE

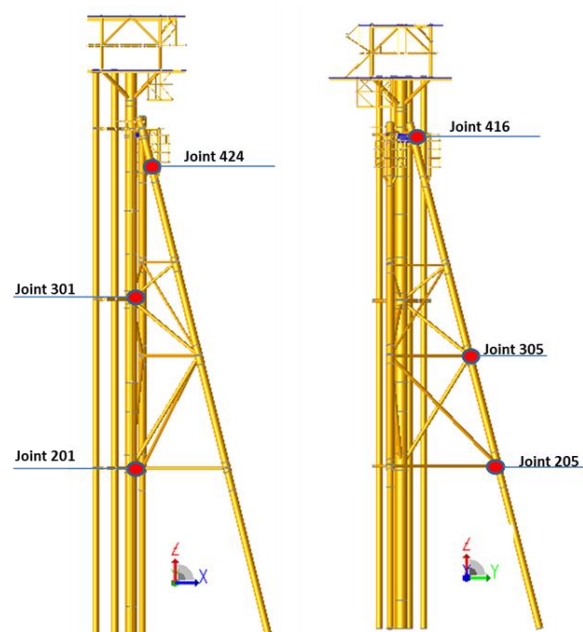
Metode analisis yang dilakukan menggunakan metode deterministik dari hipotesis Palmgren-Miner yang menyatakan perhitungan kerusakan (*damage*) akibat beban siklik dihitung secara kumulatif dan linear. Kurva S-N yang digunakan untuk mengetahui jumlah beban siklik yang diperbolehkan adalah kurva WJ (*Welded Joint*) yang tercantum dalam API RP 2A, serta menggunakan rumus Efthymiou untuk menghitung

stress concentration factor. Beban gelombang yang digunakan untuk analisis ini menggunakan 8 arah, dengan masing-masing arah memiliki 16 kelas gelombang, data gelombang yang digunakan ini adalah data gelombang yang terjadi dalam 100 tahun sesuai dengan desain basis. Hasil analisis *fatigue* untuk struktur *braced monopod* tercantum dalam Tabel 13.

Tabel 13

Joint	Member		Kerusakan	Masa Layan (Tahun)
	Brace	Chord		
424	424-414	423-424	0.983	20.35
416	426-416	416-436	0.857	23.34
301	305-301	212-301	0.853	23.45
201	201-205	111-201	0.643	31.10
305	201-305	216-305	0.506	39.50

Lokasi *joint braced monopod* dengan masa layan terendah tercantum dalam Gambar 8.

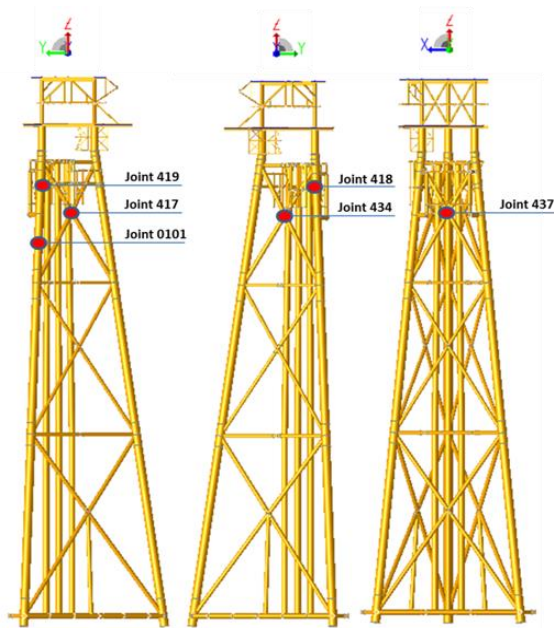


Gambar 8

Hasil analisis *fatigue* untuk struktur *braced monopod* tercantum dalam Tabel 14 dan lokasi *joint* dengan masa layan terendah tercantum dalam Gambar 9.

Tabel 14

Joint	Member		Kerusakan	Masa Layan (Tahun)
	Brace	Chord		
434	434-420	434-302	0.821	24.35
437	336-437	320-437	0.473	42.29
417	417-335	415-417	0.461	43.34
419	0101-419	419-411	0.164	122.27
101	309-0101	0101-419	0.139	143.9



Gambar 9

HASIL ANALISIS PUSHOVER

Analisis pushover dilakukan dengan memberikan beban secara 2 tahap. Tahap pertama adalah memberikan beban vertikal (beban mati & beban hidup) pada struktur. Selanjutnya memberikan beban lingkungan kondisi desain/badai pada struktur yang secara bertahap dinaikkan hingga didapatkan base shear maksimum pada struktur. Base shear maksimum yang didapatkan adalah besar beban maksimum yang mampu diterima struktur. Perbandingan base shear maksimum dengan base shear pada kondisi badai adalah RSR dari struktur yang digunakan.

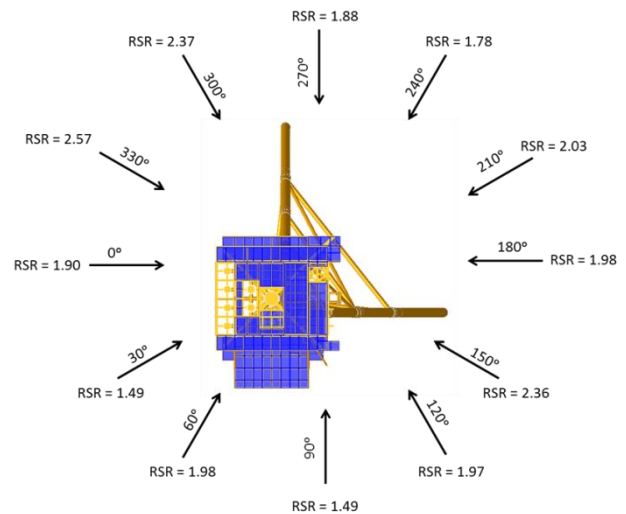
$$RSR = \frac{\text{Base Shear Maksimum}}{\text{Base Shear Kondisi Desain/Badai}}$$

Analisis dilakukan sebanyak arah beban lingkungan yang diperhitungkan, dalam kasus ini digunakan 12 arah sesuai dengan kondisi in-place. Hasil analisis pushover untuk struktur *braced monopod* tercantum dalam Tabel 15 dan Gambar 10 dan struktur *tripod jacket* pada Tabel 16 dan Gambar 11.

Tabel 15

Arah	Base Shear Desain (Kips)	Base Shear Maksimum (Kips)	RSR
0°	575.54	1091.52	1.90
30°	552.53	822.26	1.49
60°	542.34	1073.81	1.98
90°	541.12	806.63	1.49
120°	531.89	1050.20	1.97
150°	535.63	1261.65	2.36
180°	549.85	1088.68	1.98
210°	549.61	1115.25	2.03
240°	545.17	972.76	1.78

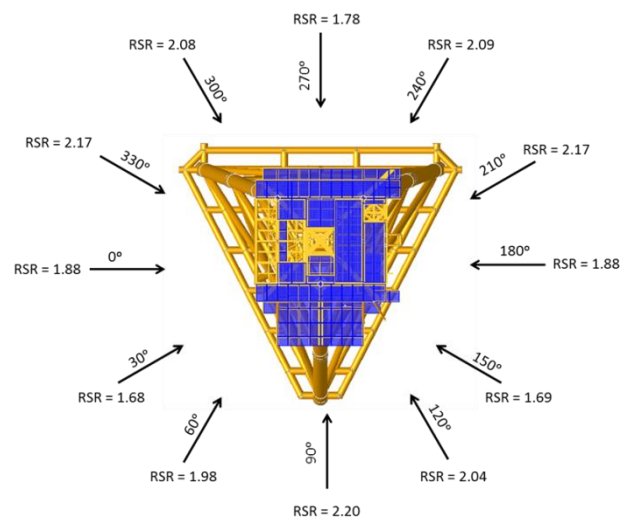
270°	539.91	1016.46	1.88
300°	531.44	1261.82	2.37
330°	536.56	1379.23	2.57



Gambar 10

Tabel 16

Arah	Base Shear Desain (Kips)	Base Shear Maksimum (Kips)	RSR
0°	1051.61	1974.21	1.88
30°	1041.55	1754.82	1.68
60°	1036.41	2050.08	1.98
90°	1040.36	2293.92	2.20
120°	1034.33	2111.95	2.04
150°	1036.51	1746.63	1.69
180°	1052.12	1978.30	1.88
210°	1045.73	2272.04	2.17
240°	1043.62	2178.44	2.09
270°	1047.60	1868.41	1.78
300°	1041.12	2163.16	2.08
330°	1040.63	2261.42	2.17



Gambar 11

KESIMPULAN

1. Struktur braced monopod telah memenuhi kriteria API RP2A pada analisis in-place, seismic, dan fatigue.
 - a. Pada analisis *in-place*, struktur *braced monopod* memiliki UC terbesar kondisi operasi pada *cellar deck* sebesar 0.98 dan kondisi badai pada *bracing guardian structure* sebesar 0.97. Untuk *safety factor pile* minimal 2.27 pada kondisi badai. Pada struktur *tripod jacket* memiliki UC terbesar kondisi operasi pada *deck bracing* sebesar 0.96 dan kondisi badai pada pile sebesar 0.90. *Safety factor pile* minimal 1.54 pada kondisi badai. analisis seismic struktur braced monopod, UC terbesar dengan nilai 0.81 terjadi pada member 104-104P yang terletak pada pile dibawah mudline dan joint yang memiliki UC terbesar adalah 2002 dengan nilai 0.373, untuk *safety factor* pada pile, didapatkan bahwa *safety factor* terkecil adalah 5.49 pada caisson.
 - b. Pada analisis seismic struktur tripod jacket, UC terbesar dengan nilai 0.92 terjadi pada member 511-511P yang terletak pada pile dibawah mudline dan joint yang memiliki UC terbesar adalah 3004 dengan nilai 0.34, untuk *safety factor* pada pile, didapatkan bahwa *safety factor* terkecil adalah 3.62 pada pile 512-512P.
 - c. Pada analisis *fatigue* didapatkan bahwa pada struktur *braced monopod joint* 424 memiliki masa layan terkecil yaitu sebesar 20.35 tahun dan pada struktur *tripod jacket joint* 434 memiliki masa layan terkecil yaitu sebesar 24.35 tahun. Perhitungan masa layan pada analisis *fatigue* dilakukan dengan memberikan *safety factor* sebesar 2 pada nilai kerusakan yang didapatkan.
2. *Braced monopod* memiliki nilai RSR paling besar pada arah datang beban lingkungan 330° dengan nilai 2.57 dan RSR paling kecil pada arah 30° dan 90° dengan nilai 1.49. Untuk struktur *tripod jacket*, nilai RSR terbesar adalah 2.2 pada arah datang beban lingkungan 90° dan nilai RSR terkecil adalah 1.68 pada arah datang beban lingkungan 30°. Struktur braced monopod memiliki berat total yang lebih ringan, yaitu sebesar 1609.886 Kips, oleh karena itu konfigurasi struktur jenis braced monopod adalah alternatif struktur yang memiliki material yang lebih efisien tetapi tidak memiliki penahan beban yang merata pada 12 arah datang beban lingkungan sehingga kekuatan struktur tidak terbagi dengan baik. Struktur tripod jacket memiliki berat total yang lebih besar, yaitu sebesar 3343.688 Kips, pada konfigurasi struktur jenis tripod jacket memungkinkan struktur untuk memiliki penahan

pada 3 arah yang merupakan 3 buah jacket leg dan pile, sehingga kekuatan struktur dalam menahan beban lingkungan pada 12 arah terbagi lebih baik bila dibandingkan dengan struktur jenis braced monopod.

SARAN

Beberapa hal yang bisa dilakukan atau dilanjutkan dari topik Tugas Akhir ini adalah:

1. Melakukan analisis pre-service seperti analisis transportasi, analisis lifting, dan analisis instalasi untuk kedua struktur
2. Melakukan analisis pushover dengan beban berupa gempa
3. Perbandingan kekuatan reserve strength ratio bisa dilakukan antara jenis struktur braced monopod dan tarpon monopod. Kedua struktur tersebut didesain sebagai struktur untuk marginal field dengan material yang lebih ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. 2007. *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform – Working Stress Design, API RP 2A-WSD, 21ST Edition*. Washington D.C.: American Petroleum Institute
- Pertamina PHE WMO. 2011. *KE-38B Field Development: Structural Design Basis*. Jakarta: Pertamina PHE WMO.
- Chakrabarti, Subrata K. 2005. *Handbook of Offshore Engineering*. Plainfield: Elsevier
- Dean, Robert G. dan Robert A. Dalrymple. 1991. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientist*. Singapura: World Scientific
- Tawekal, Ricky Lukman. 2011. SI 7173 Perencanaan Bangunan Lepas Pantai. Bandung: Penerbit ITB.
- Tawekal, Ricky Lukman. 2010. KL 4121 Bangunan Lepas Pantai I. Bandung: Penerbit ITB.
- Nallayarasu, Seeninaidu. *Offshore Structures: Analysis and Design*. India: Indian Institute of Technology Madras
- Hutama, Albert. 2014. Desain Struktur Central Production Platform di Kepadang Field, Laut Jawa. Laporan Tugas Akhir Tidak Diterbitkan. Bandung: Institut Teknologi Bandung.