

STRUCTURE STRENGTH ANALYSIS CONVENTIONAL PILE FIXED JACKET PLATFORM IN NATUNA SEA USING FINITE ELEMENT METHOD

Berlian AA, ST, MT ¹⁾ Redi Yuniansyah Elyanto, ST ²⁾

¹⁾ Staf Pengajar S1 Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro

²⁾ Alumni S1 Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro

ABSTRAK

Offshore Platform is a structure or construction which build in offshore territory to support the exploration process or the exploitation of mine. The main function of the offshore platform is to support the top construction including the operational facilities on the water during the operational time safely, in operational condition (normal) even in stormy condition.

Modelling of the structure fixed jacket platform, the environment load and the analysis system using Finite Element Methode software. The environmental load (wind, wave, steam) according to 8 eyes wind (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, and 315°).

From the software analysis we can conclude that the biggest value of the Unity Check in stormy condition is 0.464 state in 766 member and the biggest value in Unity Check in operational condition is 0.396 state in 766 member. It is a good point because it suited with API RP2A WSD 2007, UC value (Unity Check) ≤ 1.00 . So in operational condition even in stormy, fixed jacket platform still be able to withstand the material which is accepted.

Another result from the minimum of Safety Factor in operational condition in 766 member has SF 2.00, beside in stormy condition which state in 766 member has 1.66 SF value. This result has a good point because it suited with API RP2A WSD 2007 which is in operational condition the minimum of SF value is 2.00 and in stormy condition the minimum of SF value is 1.5.

Key words: *Structure Strength Analysis, Conventional Pile, Fixed Jacket Platform, Unity Check, Safety Factor, Natuna Sea*

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Bangunan Lepas Pantai (*Offshore*) adalah struktur atau bangunan yang di bangun di lepas pantai untuk mendukung proses eksplorasi atau eksploitasi bahan tambang. Pada saat operasionalnya di laut, ada beberapa faktor utama yang selalu mempengaruhi kinerja dari *offshore* tersebut. Faktor tersebut antara lain, faktor operasional (berkaitan dengan fungsi *offshore* tersebut dan beban perlengkapan yang ada di bagian deck) dan faktor lingkungan (angin, gelombang, kedalaman, gempa serta faktor tanah / *seabed*).

Pile (Pondasi) pada bangunan lepas pantai secara umum ada 2 tipe yang sering digunakan yaitu : *Pile Through Leg* (*Conventional Pile*) dan *Skirt Pile*. Perbedaan diantara keduanya terletak pada pemasangan pile pada *jacket leg*, bila pada *conventional pile*, pile

dimasukkan di dalam *jacket leg*, maka pada *skirt pile* dipasang diluar dan sekitar *jacket leg*. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh A. R. Chaudry dari Universitas Oxford, dijelaskan bahwa *pile* merupakan salah satu komponen penting pada bangunan lepas pantai, namun juga merupakan salah satu komponen paling rawan. Hal ini dikarenakan *pile* berkaitan erat dengan kondisi tanah atau *seabed* yang mana kondisinya berbeda – beda dan tidak stabil. Ketidakstabilan kondisi *seabed* dan lingkungan ini akan mengakibatkan perbedaan kekuatan pada bangunan lepas pantai pada umumnya maupun pada *pile* / pondasi pada khususnya pada saat bangunan lepas pantai tersebut beroperasi.

Secara umum ada beberapa kondisi operasional yang sering terjadi pada bangunan lepas pantai, antara lain : kondisi operasi (normal), kondisi gempa dan kondisi badai. Masing – masing kondisi tersebut akan menimbulkan

perbedaan pengkondisian operasional bangunan lepas pantai tersebut. Sehingga akan mengakibatkan perubahan kekuatan struktur bangunan lepas pantai pada umumnya serta *pile* pada umumnya. Sebagai seorang *naval architect* atau *marine engineer* sudah sewajarnya bila kita harus mampu menganalisa serta merencanakan desain bangunan lepas pantai yang mampu bekerja secara optimal pada beberapa kondisi operasional tersebut diatas.

Pada penyusunan tugas akhir ini, saya selaku penulis akan berusaha menganalisa tentang kekuatan struktur *conventional pile* pada saat kondisi operasi dan badai. Untuk studi kasusnya diambil dari *Fixed Jacket Platform* yang sedang dalam proses pembangunan di wilayah kepulauan Natuna. Hasil dari analisa ini diharapkan mampu memberikan informasi yang bermanfaat bagi pihak yang terkait langsung maupun tidak langsung terkait mengenai kondisi dari *conventional pile* struktur / bangunan tersebut. Serta memberikan masukan positif agar bangunan lepas pantai tersebut mampu bekerja secara optimal pada saat kondisi operasi maupun pada saat kondisi badai.

I.2. PERUMUSAN MASALAH

Faktor operasional dan faktor lingkungan sangat berpengaruh terhadap proses operasional dari *offshore* tersebut. Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan maka dibuat perumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa harga atau nilai kekuatan struktur (*Unity Check* dan *Safety Factor*). Baik pada saat kondisi operasi (normal) maupun pada kondisi badai (*storm*)?
2. Bagaimanakah faktor operasional dan faktor lingkungan mempengaruhi operasional *offshore* tersebut dan bagaimana respon yang diberikan *conventional pile* pada saat kondisi operasi (normal) dan badai (*storm*)?

I.3. BATASAN MASALAH

Dalam Tugas Akhir ini, ruang lingkupnya antara lain :

1. Perhitungan & analisa hanya memperhitungkan kekuatan struktur pada *conventional pile* di area *mudline / mudmat*.
2. Perhitungan & analisa ini hanya menggunakan satu obyek *pile* jenis *conventional pile*.
3. Perhitungan & analisa ini hanya membandingkan kekuatan struktur *pile* pada kondisi operasi (normal) dengan kondisi badai (*storm*).
4. Perhitungan & analisa ini tidak membandingkan dalam segi ekonomi dari *structure* tersebut.
5. Perhitungan & analisa kekuatan *structure pile* ini menggunakan bantuan *software* berbasis metode elemen hingga.
6. Regulasi yang digunakan adalah API RP 2A WSD.

I.4. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penulisan dan pengerjaan tugas akhir ini, yaitu :

1. Memperoleh hasil analisa teknis kekuatan struktur (*Unity Check & Safety Factor*) pada saat kondisi operasi (normal) dan kondisi badai (*storm*).
2. Mengetahui pengaruh faktor operasional dan faktor lingkungan terhadap operasional *offshore* tersebut dan respon yang diberikan oleh *conventional pile*. Baik pada saat kondisi operasi (normal) maupun pada kondisi badai (*storm*).

II. TINJAUAN PUSTAKA

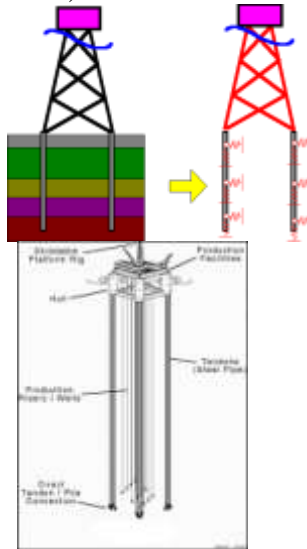
II.1. *Pile*

II.1.A. Definisi & Jenis *Pile*

Pile merupakan salah satu komponen terpenting pada Bangunan Lepas Pantai (*Offshore Structure*) khususnya untuk tipe *Fixed Jacket Platform*. Karena *Pile* inilah yang akan melindungi dan menahan *Offshore Structure* dari beban – beban yang mempengaruhi kinerja *Offshore Structure* tersebut, baik itu beban operasional maupun beban lingkungan.

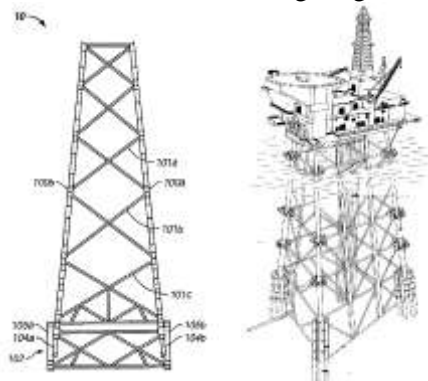
Secara umum ada 2 jenis *pile* yang sering digunakan pada *Fixed Offshore Structure*, antara lain yaitu :

1. **Conventional Pile / Pile Through Leg**
Merupakan sebuah *pile* yang terpasang langsung lurus dari bagian *topsides* hingga ke bagian paling dasar (*foundation*)



Gambar 2.1. *Conventional Pile*

2. **Skirt Pile**
Merupakan sebuah *pile* tambahan yang dipasang mengelilingi *main pile* pada bagian dasar Bangunan Lepas Pantai (*Offshore Structure*). Panjang *pile* tambahan ini lebih pendek daripada *main pile*. Penambahan *pile* tambahan ini tujuan utamanya adalah untuk melawan beban lateral yang berlebihan dari kondisi lingkungan.



Gambar 2.2. *Skirt Pile*

II.1.B. Elemen *Pile*

Secara umum, tiang pancang (*pile*) memiliki beberapa bagian atau

elemen yang harus diperhatikan pada saat desain, yaitu :

1. **Ukuran Pile**
Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada saat perencanaan / perancangan *pile* antara lain berkaitan langsung dengan :
 - a. Diameter
 - b. Kedalaman
 - c. Jarak antar *pile*
 - d. Jumlah *pile*
 - e. Lokasi
 - f. Material *pile*
2. **Response Pile**

Dalam penentuan / perhitungan response *pile* harus memperhitungkan sifat tanah yang tidak linier (tetap) dan menjamin kompatibilitas defleksi antara struktur dan sistem tanah.

Dengan demikian maka salah satu faktor yang mempunyai peran vital terhadap response *pile* adalah kondisi tanah (*seabed*), hal ini dikarenakan *pile* merupakan salah satu bagian pada *jacket platform* yang berinteraksi langsung dengan bagian tanah (*seabed*).

3. **Defleksi dan Rotasi**
Defleksi & Rotasi dari tiap *pile* harus di cek pada lokasi - lokasi kritis. Lokasi – lokasi kritis tersebut antara lain : ujung atas *pile*, titik infleksi, dan pada batas lumpur (*mud line*).
4. **Penetrasi**
Desain *pile* harus mampu menerima beban tekan dan tarik dengan menggunakan faktor keamanan yang sesuai.

Tabel 2.1. Daftar *Safety Factor*
Sumber. *API RP 2A WSD, 2007*

Kondisi Pembebanan	Faktor Keamanan
Design environmental conditions with appropriate drilling loads	1.5
Operating environmental conditions during drilling operations	2.0
Design environmental conditions with appropriate producing	1.5

loads	
Operating environmental conditions during producing operations	2.0
Design environmental conditions with minimum load (for pull-out)	1.5

II.1.C. Kapasitas Beban Aksial Tiang Pancang (Pile)

Kapasitas daya dukung ultimate pile :

$$Q_d = Q_f + Q_p = f A_s + q A_p \dots\dots (2.1.)$$

Dimana :

Q_f : Total tahanan gesek kulit, lb (kN)

Q_p : Total tahanan ujung pile, lb (kN)

F : unit tahanan kulit, lb/ft² (kPa)

A_s : luasan kulit pile, ft² (m²)

q : unit tahanan ujung pile, lb/ft² (kPa)

A_p : Total luas penampang ujung pile, ft² (m²)

II.1.D. Performance Aksial Pile

- Kelakuan beban statis-defleksi

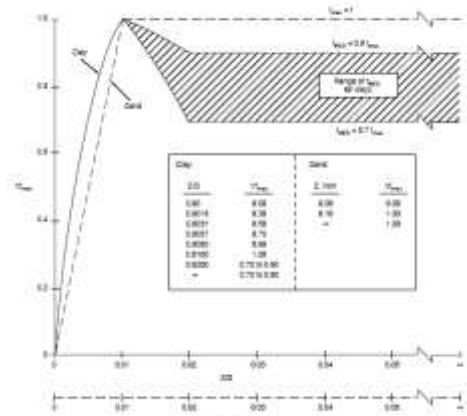
Defleksi aksial pile harus pada batas yg diterima dan defleksi ini harus kompatibel dengan gaya - gaya dari struktur dan deformasinya.

- Respon Dinamis

Beban dinamis bisa memberikan efek yg berbeda tergantung dari sifatnya. Pembebanan yg berulang-ulang dapat menimbulkan pengurangan daya dukung sementara atau permanen dan atau deformasi sementara atau permanen. Beban dinamis yg cepat dapat meningkatkan resistan dari pile atau kekakuan pile. Pembebanan yg lambat dapat menunjukkan berkurangnya resistan atau kekakuan pile.

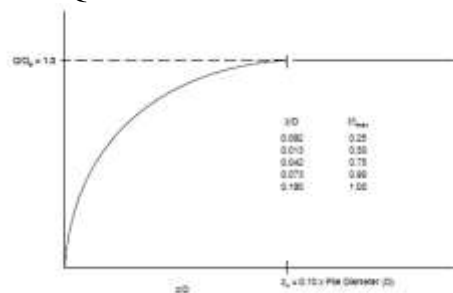
II.1.E. Reaksi Tanah pada Pile dengan Beban Aksial

- Pondasi pile harus mampu menerima beban aksial statis dan dinamis
- Kapasitas aksial didapat dari adesi tanah dg pile dan tahanan ujung pile
- Hubungan deformasi dg transfer gesekan tanah-pile pd tiap kedalaman dinyatakan dg kurva t-z



Gambar 2.3. Kurva t – z

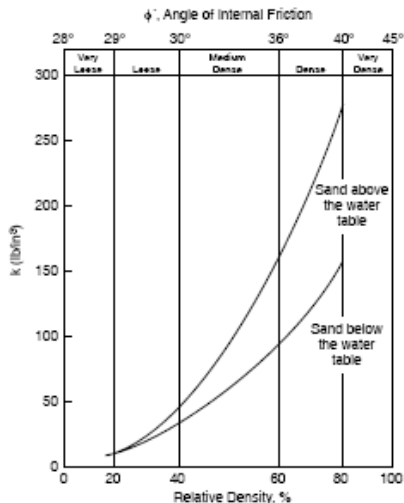
- Hubungan deformasi ujung pile dg tahanan ujung pile dinyatakan dg kurva Q-z



Gambar 2.4. Kurva Q – z

II.1.F. Reaksi Tanah pada Pile dg Beban Lateral

- Pondasi pile harus mampu menerima beban lateral statis maupun dinamis.
- Pengaruh kondisi permukaan tanah sangat berpengaruh pada kapasitas lateral pile, sehingga pengaruh scour dan perubahan tanah saat instalasi perlu diperhitungkan.
- Kurva yg menunjukkan hubungan deformasi lateral pile dg resistannya dinyatakan dg kurva p-y



Gambar 2.5. Kurva p – y

Kurva p-y dari pasir dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P = A P_u \tanh (k H y / (A P_u)) \quad (2.2.)$$

$$A = 0.9 \text{ untuk beban dinamis} \\ = (3 - 8 H/D) \geq 0.9 \text{ untuk} \\ \text{beban statis}$$

Dimana : y: defleksi pile, (m)

H: kedalaman, (m)

k: initial subgrade reaction modulus, lb/in³ (kN/m³)

III. METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Data Struktur

No.	Horizontal Load (Load case)	Calculate Weight
1.	Structural steel (incl. Allowance)	380.8 ton
2.	Mechanical equipment	80.6 ton
3.	Instrument equipment & Bulk Material	44.4 ton
4.	Electrical bulk material	5.2 ton
5.	Piping (incl. Allowance)	131.6 ton
6.	Safety equipment	1.9 ton
7.	Telecommunication equipment	2.3 ton
8.	Anode	54.72 ton
9.	Jacket	1085 ton
10.	Bridge	67.69 ton
11.	Live load	132.01 ton
12.	Painting	5.7 ton
	Total weight	1962.38 ton

Bangunan lepas pantai pada Tugas Akhir ini merupakan jenis terpancang

di dasar laut (*Fixed Offshore Structure*). Spesifikasi dari bangunan lepas pantai jenis *jacket* ini adalah:

1. Jumlah Kaki : *Jacket* dengan jumlah kaki 4

2. Panjang Kaki : 86,97 meter

3. Sudut Kemiringan :
 - Pile 1 : 84.3°
 - Pile 2 : 84.3°
 - Pile 3 : 81.9°
 - Pile 4 : 81.9°

4. Jarak Antar Pile :

- Elevasi (+) 6.670 m
 - Pile 1 – 2 : 12.687 m
 - Pile 3 – 4 : 12.687 m
 - Pile 1 – 3 : 15.593 m
 - Pile 2 – 4 : 15.593 m

- Elevasi (-) 10.090 m
 - Pile 1 – 2 : 16.039 m
 - Pile 3 – 4 : 16.039 m
 - Pile 1 – 3 : 17.988 m
 - Pile 2 – 4 : 17.988 m

- Elevasi (-) 29.293 m
 - Pile 1 – 2 : 19.879 m
 - Pile 3 – 4 : 19.879 m
 - Pile 1 – 3 : 20.731 m
 - Pile 2 – 4 : 20.731 m

- Elevasi (-) 51.238 m
 - Pile 1 – 2 : 24.268 m
 - Pile 3 – 4 : 24.268 m
 - Pile 1 – 3 : 23.866 m
 - Pile 2 – 4 : 23.866 m

- Elevasi (-) 80.300 m
 - Pile 1 – 2 : 30.081 m
 - Pile 3 – 4 : 30.081 m
 - Pile 1 – 3 : 28.018 m
 - Pile 2 – 4 : 28.018 m

5. Deck : pada Tugas Akhir ini bagian *deck* tidak dimodelkan

6. Jumlah *boatlanding* : pada Tugas Akhir ini tidak dimodelkan

7. *Riser* : 1 buah dengan ukuran OD 6"

8. *Conductor* : 6 buah dengan ukuran OD 36"

9. Beban yang diterima *fixed jacket platform* tersebut tersaji di tabel berikut.

Table 3.1. Beban pada struktur *fixed jacket platform*

(Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia
 Sumber : Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta

80.30	0.86	1.03
40.15	0.60	0.70
0	0.60	0.70

III.1.2. Data Lingkungan

Lingkungan sangat besar pengaruhnya terhadap kinerja Bangunan Lepas Pantai pada saat beroperasi. Data Lingkungan yang dipergunakan dalam Tugas Akhir ini antara lain:

- Lokasi : Kepulaun Natuna (*Natuna Sea*, Indonesia)
- Koordinat : 553,926.13mN 565,372.74mE
- Kedalaman:
 - Kondisi Operasi: 85.35 meter
 - Kondisi Badai : 85.65 meter
 - Kedalaman (*Water Depth*) : 80.30 meter at LAT
 - Horizontal Framing Level : EL (-) 80.300 meter
 - EL (-) 51.238 meter
 - EL (-) 29.293 meter
 - EL (-) 10.090 meter
 - EL (+) 6.670 meter

meter

Mudmat Framing Level : EL (-) 80.300 meter

- Tinggi Gelombang Maksimum :
 - Kondisi Operasi: 6.86 meter
 - Kondisi Badai : 10.00 meter
- Periode Gelombang Maksimum :
 - Kondisi Operasi: 9.60 meter
 - Kondisi Badai : 10.50 meter
- Data Angin untuk durasi selama 1 jam :
 - Kondisi Operasi: 13.29 m/s
 - Kondisi Badai / Ekstrim: 17.65 m/s

- Data Arus (*Current Data*) :
Tabel 3.2. Tabel Data Arus (*sumber : Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta*)

Height Above Seabed (m)	1 Year Return (m/s) Kondisi Operasi	100 Year Return (m/s) Kondisi Ekstrim
-------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------

h. Design Water Depth

Tabel 3.3. Tabel Design Water Depth (*sumber : Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta*)

LIST	1 Year Return Max (m)	100 Year Return Max (m)
Water Depth at LAT	+ 80.30	+ 80.30
Highest Astronomical Tide (HAT)	+ 3.11	+ 3.11
Surge Level	+ 0.54	+ 0.84
Depth Tolerance	+ 0.50	+ 0.50
Scouring	+ 0.90	+ 0.90
In-place Design Water Depth	+ 85.35	+ 85.65

i. Koefisien Hidrodinamika (*Hydrodynamics Coefficient*)

Tabel 3.4. Tabel Koefisien Hidrodinamika (*sumber : Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta*)

	Smooth Tubulars	Rough Tubulars	Fatigue
Koefisien Drag (CD) saat operasi, badai dan Ekstrim	0.65	1.05	0.5
Extreme and Operating Inertia Coefficients (CM)	1.6	1.2	2.0

j. Profile Marine Growth

Tabel 3.5. Tabel Profile Marine Growth (*sumber : Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta*)

Kedalaman (Depth) (m)	Marine Growth Thickness (mm)
-----------------------	------------------------------

MSL – 16.76	75
16.76 – 35.05	150
-35.05 – mud line	75

- k. Densitas Air Laut (*Density*)
: 1025.2 kg/m³
- l. Viskositas Kinematik (*Kinematic Viscosity*) : 1.60 x 10⁻⁶ m²/s

III.2. Studi Pustaka / Literatur

Studi literatur yaitu mempelajari buku, jurnal, diktat, ataupun laporan Tugas Akhir, Thesis atau Disertasi terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang sama atau mirip dengan Tugas Akhir ini.

III.3. Pemodelan Struktur *Fixed Jacket Platform*

Pemodelan struktur *fixed jacket platform* menggunakan bantuan *software*. *Software* ini merupakan salah satu *software* struktur yang berbasis *finite element hingga* (FEM). Data-data yang dipergunakan diperoleh dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Jakarta.

III.4. Pembebanan Pada *Jacket*

Setelah model *fixed jacket platform* terbentuk, selanjutnya akan *jacket* tersebut akan diberikan beban yang diterima oleh *jacket* tersebut. Beban – beban tersebut antara lain :

1. Beban yang diterima *jacket* (Tabel III.1.)
2. Beban Lingkungan,

Adapun beban lingkungan yang digunakan adalah gelombang (*wave*), arus (*current*), angin (*wind*) dan tanah (*soil*). Pada Tugas Akhir ini arah datangnya beban gelombang diasumsikan ada 8 macam, yaitu : 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 315°.

III.5. Analisa

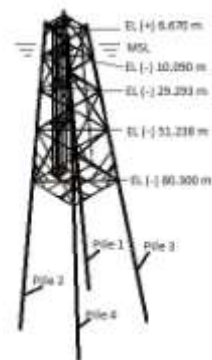
Analisa yang dilakukan ada 2 macam analisa, yaitu analisa statis (*Inplace Analysis*) dan analisa *pile* (*running pile / pile analysis*). Kedua tipe analisis ini bertujuan untuk

mengecek kekuatan *pile* pada saat kondisi operasi (*normal condition*), dan kondisi badai (*storm condition*).

Adapun *output* dari analisa ini adalah untuk mendapatkan nilai UC (*Unity Check*) dan SF (*Safety Factor*) yang disesuaikan dengan regulasi dari API RP 2A WSD 2007 untuk tiap masing – masing kondisi operasional *fixed jacket platform* tersebut.

BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil Pemodelan *Offshore Structure*



Gambar 4.2. *Isometric View Fixed Jacket Platform* dengan member properties (Sumber: Model *Jacket Redi Yuniansyah*)

IV.2. Hasil *Running* Beban Lingkungan Pada Kondisi Operasi

Tabel 4.1. Maximum Overturning Moment pada kondisi operasi

Arah Angin	Time (sec)	Distance (ft)	Moment Overturning (kip.rad/sec)
0 deg.	- 0.450	22.575	-97250.047
45 deg.	- 2.100	105.352	-166277.359
90 deg.	- 3.300	165.553	-150372.844
135 deg.	- 3.600	180.603	-57844.281

180 deg.	2.100	- 105.352	74565.906
225 deg.	3.600	- 180.603	144542.953

Pile	Member	Code	Act. Stresses	Allow. Stress
1	760	APIWSD 20	0.25 3	0.034
1	774	APIWSD 20	0.32 5	0.013
2	736	APIWSD 20	0.24 3	0.340
2	763	APIWSD 20	0.28 4	0.482
3	761	APIWSD 20	0.26 3	0.034
3	771	APIWSD 20	0.32 2	0.013
4	737	APIWSD 20	0.30 0	0.034
4	766	APIWSD 20	0.39 6	0.013
270 deg.	4.800	- 240.805	127998.203	
315 deg.	- 4.500	225.754	35917.109	

- **Pada Kondisi Badai**

Tabel 4.2. Maximum Overturning Moment pada kondisi badai

Arah Angin	Time (sec)	Distance (ft)	Moment Overturning (kip.rad/sec)
0 deg.	- 0.330	18.233	-113599.031
45 deg.	- 1.806	99.783	-182360.984

90 deg.	- 2.954	163.211	-166635.641
135 deg.	- 3.282	181.333	-73635.922
180 deg.	2.622	- 144.868	79596.398
225 deg.	3.934	- 217.357	149664.125
270 deg.	5.246	- 289.846	132891.812
315 deg.	- 5.250	290.067	40783.980

IV.3. Hasil Analisa Statis

Tabel 4.3. Hasil *Static Analysis* pada kondisi operasi
(Sumber : Hasil Analisa Model *Jacket* Redi Yuniansyah)

Tabel 4.4. Hasil *Static Analysis* pada kondisi badai
(Sumber : Hasil Analisa Model *Jacket* Redi Yuniansyah)

Pile	Member	Code	Act. Stress	Allow. Stress
1	760	APIWSD20	0.297	0.034
1	774	APIWSD20	0.381	0.013
2	736	APIWSD20	0.393	0.340
2	763	APIWSD20	0.434	0.482
3	761	APIWSD20	0.309	0.034
3	771	APIWSD20	0.377	0.013
4	737	APIWSD20	0.352	0.034
4	766	APIWSD20	0.464	0.013

Tabel 4.5. Hasil nilai *safety factor* di area mudmat.

(Sumber : Hasil Analisa Model *Jacket*
Redi Yuniansyah)

BAB V PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Nilai kekuatan struktur *fixed jacket platform*, yaitu:
 - a. Pada kondisi operasi (tinggi gelombang 6.86 m dan periode gelombang 9.6 m).
Didapatkan hasil penelitian : $UC_{max} = 0.396$ pada member 766, dan $SF_{min} = 2.00$ pada member 766
 - b. Pada kondisi badai (tinggi gelombang 10.00 m dan periode gelombang 10.50 m).
Didapatkan hasil penelitian : $UC_{max} = 0.464$ pada member 766, dan $SF_{min} = 1.66$ pada member 766

Dari masing – masing kondisi diatas, telah memenuhi standar dari *API RP2A WSD 2007* yaitu nilai $UC \leq 1.00$. Serta pada kondisi operasi nilai $SF \geq 2.0$ dan pada kondisi badai nilai $SF \geq 1.5$.

2. Respon dari *pile* terhadap beban yang diterima adalah berupa *Overtuning Moment*, dimana nilai *Overtuning Moment* maksimal adalah sebagai berikut :
 - a. Pada kondisi operasi (normal), nilai *Overtuning Moment* maksimal adalah senilai -166277.359 kip.rad/s pada sudut datangnya beban sebesar 45° .
 - b. Pada kondisi badai (*storm*) nilai *Overtuning Moment* maksimal adalah senilai -182360.984 kip.rad/s pada sudut datangnya beban sebesar 45° .
Dari hasil diatas dapat kita lihat bahwa untuk arah datangnya beban yang sama, pada saat kondisi badai (*storm*) pasti akan memiliki nilai *overtuning moment* yang lebih besar daripada saat kondisi operasi (normal). Hal ini dikarenakan karena semakin besar beban yang diterima oleh struktur, maka struktur tersebut akan merespon lebih agar struktur tersebut tidak mengalami kegagalan.

V.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian,

Pile	Member	Code	<i>Safety Factor</i> (kondisi operasi)	<i>Safety Factor</i> (kondisi badai)
1	760	APIWSD20	3.04	2.59
1	774	APIWSD20	2.37	2.02
2	736	APIWSD20	3.17	1.96
2	763	APIWSD20	2.71	1.77
3	761	APIWSD20	2.92	2.49
3	771	APIWSD20	2.39	2.04
4	737	APIWSD20	2.56	2.18
4	766	APIWSD20	2.00	1.66

disarankan :

1. Perlu diadakan perhitungan ulang / *recalculated* secara berkala untuk dapat tetap memantau kondisi dari struktur *conventional pile* tersebut mengingat saat ini kondisi lingkungan dapat berubah secara ekstrim dalam waktu singkat.
2. Pada penelitian selanjutnya untuk lebih detail dalam pemodelan bangunan lepas pantai. Perlu ditambahkan pemodelan *Topside (Main Deck, Helideck, Cellar Deck, Wheelhead Acces, dan Sub Cellar Deck), riser, dan boatlanding*. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan valid.
3. Diadakan penelitian lebih lanjut mengenai analisa dinamis kelelahan *conventional pile*.
4. Diadakan penelitian lebih lanjut mengenai analisa *push-over* dengan semua member pada struktur anjungan lepas pantai (*Offshore*). Untuk mengetahui perkiraan usia operasi dari bangunan lepas pantai tersebut.
5. Diadakan penelitian lebih lanjut mengenai analisa statis kekuatan *conventional pile* akibat adanya *subsidence*.

DAFTAR PUSTAKA

1. American Institute Of Steel Construction, 2010. "Specification for Structural Steel Buildings". Chichago, Illinois, USA
2. API Recommended Practice 2A-WSD (RP 2A-WSD), Twenty-First Edition, December 2007
3. Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. 2006. "*Rules for The Classification Contruction of Sea Going Stell Ship Volume II*". Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia
4. Chai, Tan Chun. 2005. "A Numerical Analysis of Fixed Offshore Structure Subjected To environmental Loading In Malaysian Waters". A Thesis for The Award of The Degree of Master of Engineering. Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia
5. Chakrabarti, Subrata K. 2005. "Handbook Of Offshore Engineering (Volume I)". Plainfield, Illinois, USA
6. Chakrabarti, Subrata K. 2005. "Handbook Of Offshore Engineering (Volume II)". Plainfield, Illinois, USA
7. Chaudhry, Anjum Rashid. 1994. "Static Pile – Soil – Pile Interaction In Offshore Pile Groups". PhD Thesis. Univ. Of Oxford. United Kingdom
8. Corte, Carsten., Grilli, Stephan T. 2006. "Numerical Modeling of Extreme Wave Slamming on Cylindrical Offshore Support Structures". Int. Journal for Ocean Engineering. University of Rhode Island (URI). USA
9. Dawson, Thomas H. "Offshore Structural Engineering". Prentice Hall Inc. New Jersey. United State
10. Deeks, A.D., White, D.J. and Bolton M.D. "A comparison of jacked, driven and bored piles in sand". Int. Journal for Civil Engineering. University of Cambridge. United Kingdom
11. Popov, E.P, 1996, *Mekanika Teknik (Mechanics of Materials) Edisi Kedua (Versi SI)*, Erlangga, Jakarta, Indonesia
12. Tawekal, Ricky L. 2005. "Proposed Procedure For Assessment of Existing Platforms In Indonesia". Technical Note for Civil Engineering. Institut Teknologi Bandung (ITB). Indonesia