

DESAIN STRUKTUR *FIXED PLATFORM TANGO* PADA WILAYAH OPERASI SEPINGGAN, KALIMANTAN TIMUR

Muhamad Ali Zarkasyi

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan, FTSL, ITB

alizarkasyi@gmail.com

Kata Kunci : *inplace, seismic, fatigue, pushover*

ABSTRAK

Bangunan lepas pantai umum digunakan sebagai fasilitas penunjang kegiatan eksploitasi minyak dan gas bumi. Diperlukan analisis-analisis tertentu dalam mendesain bangunan lepas pantai agar kokoh menerima beban-beban luar baik beban lingkungan maupun beban tak terduga. Analisis yang dilakukan mencakup analisis *inplace*, analisis *seismic*, analisis *fatigue*, dan analisis *pushover*. Analisis *inplace* merupakan analisis statik struktur anjungan lepas pantai. Pada analisis *inplace* dibagi menjadi dua kondisi yaitu *operating* dan *storm*. Untuk kondisi *operating* digunakan data gelombang dan angin 1 tahunan sedangkan kondisi *storm* menggunakan data 100 tahunan. Hasil dari analisis *inplace* salah satunya berupa rasio tegangan *member* berbanding tegangan izin (*unity check*). Selain itu faktor keamanan *pile* juga merupakan keluaran dari analisis *inplace*. Analisis *seismic* merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur terhadap gerakan tanah (*Ground Motion*). Analisis *seismic* memiliki parameter keluaran yang identik dengan analisis *inplace*. Selain itu, dalam proses analisis *seismic* terdapat analisis dinamik yang memiliki keluaran berupa perioda alami struktur. Analisis *fatigue* merupakan analisis untuk mengetahui kekuatan struktur terhadap beban yang berulang (siklik). Umur beroperasi suatu struktur lepas pantai dapat diketahui melalui analisis ini. Analisis *pushover* merupakan analisis untuk mengetahui cadangan kekuatan struktur dari kondisi *ultimate* hingga *collapse*. Keseluruhan analisis tadi dilakukan dengan bantuan program SACS.

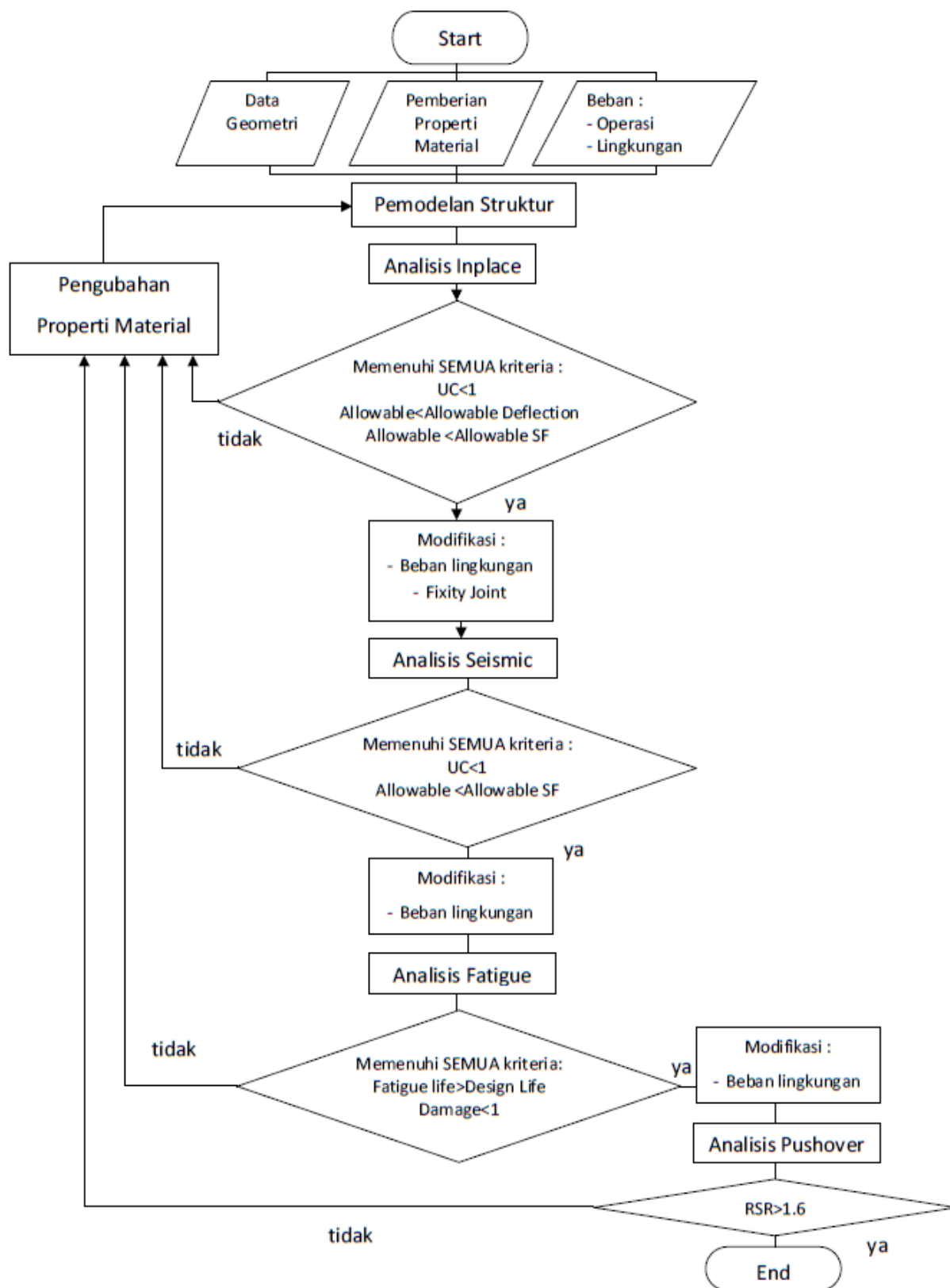
PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan di Asia Tenggara yang memiliki wilayah perairan terbesar. Di samping itu, sumber daya yang berada di Indonesia juga berlimpah dan sering menjadi sasaran eksploitasi perusahaan-perusahaan energi. Salah satu sumber daya energi yang relatif banyak di Indonesia adalah minyak bumi. Untuk mendukung kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi lepas pantai diperlukan infrastruktur yaitu anjungan lepas pantai (*offshore platform*). Anjungan ini menjadi suatu infrastruktur untuk melakukan kegiatan pengeboran, pengolahan, penyimpanan, serta akomodasi. Banyaknya cadangan minyak di perairan dangkal membuat anjungan lepas pantai tipe jacket merupakan pilihan yang ekonomis dibandingkan struktur anjungan lepas pantai lainnya.

Dalam kegiatan nantinya, anjungan lepas pantai tipe *jacket* menerima beban-beban luar baik beban lingkungan, beban kegiatan, bahkan beban yang tidak terduga. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan tiap desain anjungan lepas pantai agar kokoh dalam menerima beban-beban tersebut baik dalam kondisi statik (analisis *inplace*) maupun kondisi dinamik. Selain itu, ada probabilitas struktur terutama struktur baja untuk lelah (*fatigue*) akibat beban siklik dalam jangka waktu tertentu. Analisis struktur dalam kondisi saat pengoperasian merupakan analisis yang penting dalam melakukan analisis struktur anjungan lepas pantai. Hasil analisis ini dapat dijadikan pertimbangan-pertimbangan dalam iterasi desain struktur apabila masih dianggap riskan.

METODOLOGI

Dalam mendesain anjungan lepas pantai terutama struktur *jacket*, digunakan standar internasional *API Recommended Practice 2A* untuk syarat kelayakan struktur yang didesain. Analisis desain struktur memerlukan bantuan perangkat lunak, salah satunya SACS. Secara umum terdapat empat tahapan analisis struktur yang perlu dilakukan. Analisis statik *inplace* digunakan untuk menguji kekuatan struktur dalam kondisi statik. Analisis seismik digunakan untuk menguji kekuatan struktur apabila terjadi gempa bumi. Analisis *fatigue* digunakan untuk mengetahui masa layan struktur apabila dikenai beban siklik. Analisis *pushover* untuk mengetahui cadangan kekuatan struktur. Analisis dari desain struktur harus memenuhi syarat masing-masing agar dinyatakan layak. Struktur pada karya tulis ini sudah memenuhi syarat masing-masing analisis terutama nilai UC dan *joint punching shear*. Metodologi pengerjaan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Alur pengerjaan desain

HASIL DAN ANALISIS

Pada analisis inplace, unity check member untuk kondisi operating disyaratkan kurang dari 1 sedangkan untuk kondisi storm batasnya dinaikkan 33.33 % menjadi 1.33. Semua member baik tubular dan non-tubular akan ditampilkan nilai unity check nya. Rasio tegangan (unity check) merupakan perbandingan antara tegangan aktual member dengan tegangan izin.

Dari hasil run yang telah dilakukan, tidak terdapat member yang memiliki $UC > 1$ seperti yang disyaratkan API RP2A. Nilai UC dapat dilihat pada table 1.

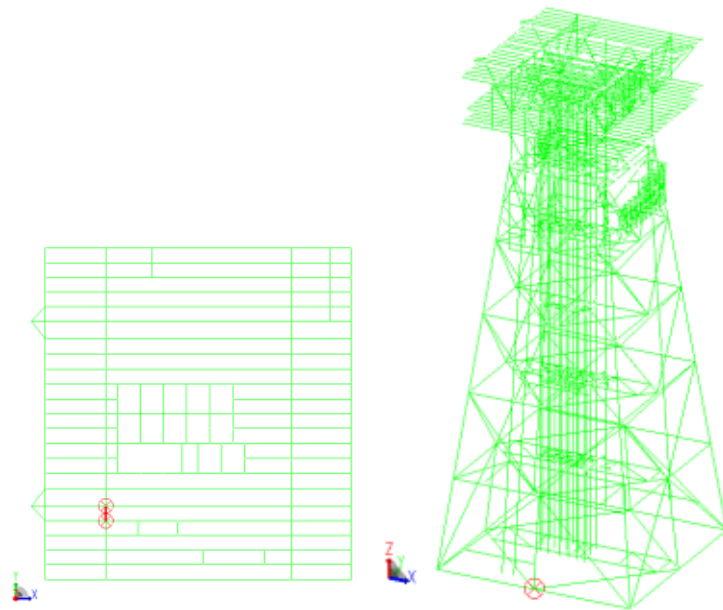
Tabel 1 Member UC

<i>1 Year Operating</i>					
<i>Member</i>	<i>Group</i>	<i>Properties</i>	<i>Unity Check</i>	<i>Load Case</i>	<i>Description</i>
7029-7000	W02	W 24 x 100	0.995	1004	Main deck beam
<i>100 Year Storm Condition</i>					
<i>Member</i>	<i>Group</i>	<i>Properties</i>	<i>Unity Check</i>	<i>Load Case</i>	<i>Description</i>
7029-7000	W02	W 24 x 100	0.747	4004	Main deck beam

Sambungan yang ditinjau hanya sambungan tubular saja dan dipilih dengan input file joint can option. Besaran yang menjadi output adalah unity check joint can. Untuk kondisi operating disyaratkan kurang dari 1 sedangkan untuk kondisi storm batasnya dinaikkan 33.33 % menjadi 1.33.

Tabel 2 Maximum Joint UC

<i>Condition</i>	<i>Joint</i>	<i>Unity Check</i>	<i>Location</i>
<i>1 YEAR OPERATIONAL</i>	10	0.914	EL (-) 41'-0"
<i>100 YEARS OPERATIONAL AND NO WOR CONDITION</i>	10	0.807	EL (-) 41'-0"



Gambar 2 letak member 7029-7000 dan Joint 10

Akibat pembebanan yang terjadi, baik akibat beban *equipment* maupun beban lingkungan, akan mengakibatkan adanya defleksi yang terjadi pada struktur anjungan.

Defleksi vertical yang diijinkan :

$$\delta_{izin} = L / 240 \text{ (SNI 03-1729-2002)}$$

Untuk cantilever, defleksi vertical yang diijinkan :

$$\delta_{izin} = 2 * L / 240$$

Defleksi :

$$\begin{aligned} \delta_{izin (7003-7005)} &= 40 \text{ ft} / 240 \\ &= 2 \text{ in.} \end{aligned}$$

Tabel 3 Defleksi Vertikal

Condition	Begin Joint	End Joint	Span Length (ft)	Maximum Deflection (in)	Allowable Deflection (in)	Remarks
<i>1 Year Operational</i>	7003	7005	40	0.181	2.00	OK
<i>100 Years Storm</i>	7003	7005	40	0.181	2.00	OK

Defleksi Lateral yang diijinkan :

$$\delta_{izin} = H / 200 \quad (\text{SNI 03-1729-2002})$$

dimana H = jarak antara *joint* yang dihitung dengan *reference Joint*.

$$H_{200-300} = 37.57 \text{ ft}$$

Sehingga didapat defleksi lateral yang diijinkan :

$$\begin{aligned} \delta_{izin (0296-204L)} &= 37 \text{ ft} / 200 \\ &= 2.25 \text{ in.} \end{aligned}$$

Tabel 4 Defleksi Lateral

<i>Condition</i>	<i>Begin Joint</i>	<i>End Joint</i>	<i>Span Length (ft)</i>	<i>Relative (in)</i>	<i>Allowable Deflection (in)</i>	<i>Remarks</i>
<i>1 Year Operational</i>	200	300	37.57	0.116	2.25	OK
<i>100 Years Storm</i>	200	300	37.57	0.159	2.25	OK

Pile memiliki kapasitas tertentu dalam menahan beban axial yang terjadi. Rasio antara kapasitas aksial pile dengan beban maksimum yang terjadi merupakan nilai safety factor untuk pile. Safety factor untuk kondisi operating disyaratkan minimum 2.0 sedangkan untuk kondisi storm dan seismik disyaratkan minimum 1.50. Nilai UC dapat dilihat pada table 5 dan table 6.

Tabel 5 *Pile Axial Safety Factor (1 year)*

<i>Description</i>	<i>Vertical Penetration (Ft)</i>	<i>Pile Weight Maximum Below Axial Load</i>	<i>Ultimate Axial Capacities (Kips)</i>	<i>Factor Of Safety</i>	
				<i>Design</i>	<i>Minimum Requirement</i>
Pile A1	385.00	1110.60	6360.8	5.73	1.5
Pile A2	298.00	1127.20	5148.8	4.57	1.5
Pile B1	385.00	1137.20	6360.8	5.59	1.5
Pile B2	385.00	1198.90	6360.8	5.31	1.5

Tabel 6 *Pile Axial Safety Factor (100 year)*

<i>Description</i>	<i>Vertical Penetration (Ft)</i>	<i>Pile Weight Maximum Below Axial Load</i>	<i>Ultimate Axial Capacities (Kips)</i>	<i>Factor Of Safety</i>	
				<i>Design</i>	<i>Minimum Requirement</i>
Pile A1	385.00	1209.30	6360.8	5.26	1.5
Pile A2	298.00	1227.90	5148.8	4.19	1.5
Pile B1	385.00	1239.20	6360.8	5.13	1.5
Pile B2	385.00	1295.20	6360.8	4.91	1.5

Analisa seismik untuk kondisi *strength* dengan perioda ulang 200 tahun dan kondisi *ductility* dengan perioda ulang 2000 tahun menggunakan perangkat lunak SACS 5.3 memperoleh hasil tidak terdapat member yang memiliki $UC > 1$ seperti yang disyaratkan API RP2A. Nilai UC dapat dilihat pada table 7 dan table 8.

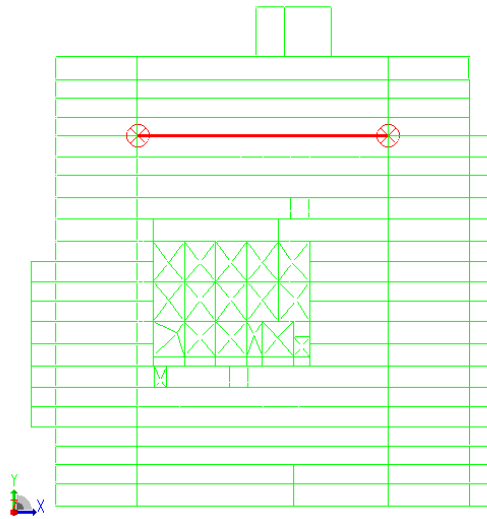
Tabel 7 Rasio tegangan maksimum *member* untuk Analisis *Seismic-Strength*

<i>Member</i>	<i>Group</i>	<i>Unity Check</i>
5126-5127	W03	0.741

Tabel 8 Rasio tegangan maksimum *member* untuk Analisis *Seismic-Ductility*

<i>Member</i>	<i>Group</i>	<i>Unity Check</i>
5126-5127	W03	0.781

Baik kondisi *strength* maupun *ductility* mempunyai *member* yang sama untuk nilai UC maksimumnya, *member* yang mempunyai nilai maksimum ditunjukkan dengan garis merah pada gambar 3.



Gambar 3 *Member* yang mempunyai nilai UC maksimum

Seluruh sambungan (*joint*) telah memenuhi persyaratan dari API RP 2A yaitu memiliki nilai $UC < 1.0$. Rangkuman nilai *Unity Checks* (UC) hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 9 dan tabel 10.

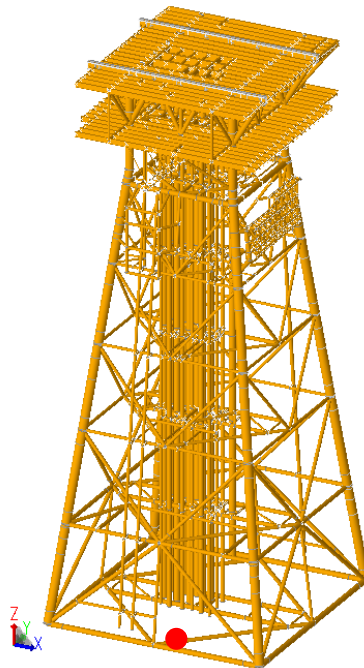
Tabel 9 Rasio tegangan maksimum *joint* untuk Analisis *Seismic-Strength*

<i>Condition</i>	<i>Joint</i>	<i>Unity Check</i>
<i>SEISMIC SLE CONDITION</i>	10	0.727
	156	0.654
	105	0.541
	106	0.532
	244	0.529
	157	0.516
	209	0.462

Tabel 10 Rasio tegangan maksimum *joint* untuk Analisis *Seismic-Ductility*

<i>Condition</i>	<i>Joint</i>	<i>Unity Check</i>
<i>SEISMIC DLE CONDITION</i>	10	0.958
	13	0.920
	234	0.744
	105	0.736
	106	0.681
	156	0.653
	238	0.643

Baik kondisi *strength* maupun *ductility* mempunyai *joint* yang sama untuk nilai UC maksimumnya, *joint* yang mempunyai nilai maksimum ditunjukkan dengan titik merah pada gambar 4.



Gambar 4 *Joint* yang mempunyai nilai UC maksimum

Pile memiliki kapasitas tertentu dalam menahan beban axial yang terjadi. Rasio antara kapasitas aksial *pile* dengan beban maksimum yang terjadi merupakan nilai *safety factor* untuk *pile*. Faktor keamanan (SF) untuk analisis *strength* dan *ductility* dapat dilihat pada tabel 11 dan tabel 12.

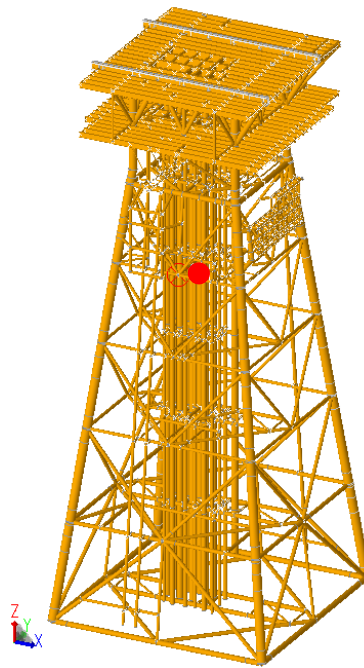
Tabel 11 *Pile Axial Ultimate Capacity Safety Factor (Strength)*

Description	Vertical Penetration (Ft)	Pile Weight Maximum Below Axial Load	Ultimate Axial Capacities (Kips)	Factor Of Safety	
				Design	Minimum Requirement
Pile A1	385.00	952.90	6360.8	6.68	1.5
Pile A2	298.00	989.30	5148.8	5.20	1.5
Pile B1	385.00	1006.20	6360.8	6.32	1.5
Pile B2	385.00	1044.90	6360.8	6.09	1.5

Tabel 12 *Pile Axial Ultimate Capacity Safety Factor (Ductility)*

Description	Vertical Penetration (Ft)	Pile Weight Maximum Below Axial Load	Ultimate Axial Capacities (Kips)	Factor Of Safety	
				Design	Minimum Requirement
Pile A1	385.00	1253.30	6360.8	5.08	1.5
Pile A2	298.00	1289.40	5148.8	3.99	1.5
Pile B1	385.00	1304.80	6360.8	4.87	1.5
Pile B2	385.00	1345.40	6360.8	4.73	1.5

Hasil analisis *fatigue* tidak memperlihatkan *joint* yang memiliki nilai usia layan kurang dari 20 tahun. Hampir semua *joint* pada struktur memiliki usia layan sebesar ribuan tahun. Ada satu *joint* yang usia layannya mendekati 20 tahun, yakni *joint* 108 dengan masa layan 21.95 tahun. Lokasi *joint* 108 dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Lokasi *joint* 108

Pada analisis *pushover*, nilai RSR dapat dilihat pada table 13 untuk 8 kondisi arah pembebanan.

Tabel 13 Nilai RSR

Arah	Jumlah Peningkatan		Jumlah Step	FX	FY	Base Shear	FZ	RSR
	Operasi	Lingkungan						
0	1.1	0.15	109	-2673.88	2.01	2673.88	5522.56	2.229757
45	1.1	0.15	121	-1921.47	-1949.22	2737.061	5823.21	2.493628
90	1.1	0.15	113	-2.41	-2763.16	2763.161	5226.56	2.308212
135	1.1	0.15	135	2052	-2045.55	2897.409	5778.62	2.803469
180	1.1	0.15	108	2711.67	0.57	2711.67	5767.04	2.220751
225	1.1	0.15	130	2169.75	2165.11	3065.211	5818.09	2.677011
270	1.1	0.15	107	0.92	2717.63	2717.63	5494.97	2.186295
315	1.1	0.15	144	-2202.11	2192.07	3107.163	5877.78	2.952785

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang didapatkan dalam studi kasus, maka secara garis besar dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada analisis *inplace* untuk kondisi *operating* (1 tahun) tidak ditemukan nilai *unity check* baik pada *member* maupun *joint punching shear* yang lebih besar dari 1,0, begitu juga untuk nilai *safety factor* dari *pile*, tidak ditemukan *safety factor* dari *pile* yang nilainya lebih kecil dari 2,0, sehingga struktur aman dan memenuhi standar untuk kondisi *operating*.
2. Pada analisis *inplace* untuk kondisi *storm* (100 tahun) tidak ditemukan nilai *unity check* baik pada *member* maupun *joint punching shear* yang lebih besar dari 1,0, begitu juga untuk nilai *safety factor* dari *pile*, tidak ditemukan *safety factor* dari *pile* yang nilainya lebih kecil dari 1,5, sehingga struktur aman dan memenuhi standar untuk kondisi *storm*.
3. Pada analisis *seismic* untuk kondisi *strength* (200 tahun) tidak ditemukan nilai *unity check* baik pada *member* maupun *joint punching shear* yang lebih besar dari 1,0, begitu juga untuk nilai *safety factor* dari *pile*, tidak ditemukan *safety factor* dari *pile* yang nilainya lebih kecil dari 2,0, sehingga struktur aman dan memenuhi standar untuk kondisi *strength*.
4. Pada analisis *seismic* untuk kondisi *ductility* (2000 tahun) tidak ditemukan nilai *unity check* baik pada *member* maupun *joint punching shear* yang lebih besar dari 1,0, begitu juga untuk nilai *safety factor* dari *pile*, tidak ditemukan *safety factor* dari *pile* yang nilainya lebih kecil dari 2,0, sehingga struktur aman dan memenuhi standar untuk kondisi *ductility*.
5. Pada analisis *fatigue*, nilai dari *fatigue life* lebih besar dari *design life* 20 tahun sehingga seluruh *joint* tubular memenuhi kriteria *fatigue*.
6. Pada analisis *plastic collapse* nilai dari RSR (*Reserve Strength Ratio*) struktur adalah 2,18. Sehingga secara keseluruhan struktur masih dapat dikatakan aman dan memenuhi kriteria yang mensyaratkan nilai RSR lebih besar dari 1,6.
7. Dari keempat analisis diatas dapat dikatakan bahwa secara keseluruhan baik *member*, *joint*, dan *pile*, mampu menahan beban yang ada baik beban mati, beban hidup, beban gelombang, beban angin, beban arus, beban *seismic* dan beban *fatigue* serta memenuhi semua kriteria yang disyaratkan dalam *codes*.

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan Tugas Akhir ini adalah :

1. Pemahaman terhadap struktur anjungan lepas pantai harus ditingkatkan karena proses pembebanannya lebih kompleks dibandingkan dengan struktur di daratan.
2. Diperlukan data yang lebih lengkap dengan *platform* yang dianalisis. Data tersebut dapat berupa data lingkungan, data *seismic* ataupun kondisi dan lokasi pembebanan pada struktur, sehingga tidak diperlukan asumsi.
3. Dapat dilakukan studi yang serupa tetapi dengan menggunakan program yang berbeda sehingga dapat dibandingkan hasil dan cara kerja dari tiap program tersebut terhadap struktur studi kasus.

DAFTAR PUSTAKA

1. API RP 2A – WSD
American Petroleum Institute, “Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design”, API RP 2A – WSD, 21st Edition, December 2000.
2. AISC – ASD
American Institute of Steel Construction (AISC), “Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design”, 9th Edition.
3. AWS D1.1.90 American Welding Society (AWS-D1.1.90), “Structural Welding Codes – Steel”.
4. SNI 03-1729-2002
Standar Nasional Indonesia (SNI), “Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung “
5. Spesifikasi Perusahaan (Chevron Engineering Standards)
FFS-DU-5217-B *Design of Fixed Platform Structures – Application Fixed Platforms*