

Analisis Respon Dinamik Tension Leg Platform

STUDI KASUS: Kondisi Operasional dan Extrim TLP di Selat Makassar

Adi Bramastra¹⁾

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan, FTSL, ITB

bramastra,adi@gmail.com

Kata Kunci: *Tension Leg Platform, Respon Dinamik, API RP2T, OrcaFlex*

PENDAHULUAN

Perkembangan peradaban manusia merupakan suatu hal yang pasti akan terjadi. Namun seiring dengan perkembangan tersebut, muncul masalah-masalah baru. Salah satu permasalahan tersebut adalah meningkatnya kebutuhan akan energy. Dalam rangka pemenuhan kebutuhan energy ini, manusia telah melakukan pengambilan sumber energy berupa minyak dan gas bumi di darat dan laut. Pada awalnya, pengambilan ini hanya dilakukan di laut dangkal saja. Namun setiap sumur memiliki kapasitas yang terbatas dan pasti akan habis. Untuk mengatasi masalah tersebut, pencarian akan sumber energy mulai bergerak menuju laut dalam.

Berbeda dengan laut dangkal, pengeboran minyak dan gas bumi di laut dalam memerlukan suatu struktur khusus. Fixed platform yang biasa digunakan di laut dangkal tidak dapat digunakan di laut dalam karena akan memakan biaya yang sangat besar dan sulit untuk di instalasi. Hal ini disebabkan kondisi perairan di laut dangkal dan dalam sangatlah berbeda. Struktur yang dianggap *feasible* untuk diaplikasikan di laut dalam adalah struktur terapung (*floating platform*). Salah satu jenis struktur tipe ini adalah TLP (*Tension Leg Platform*).

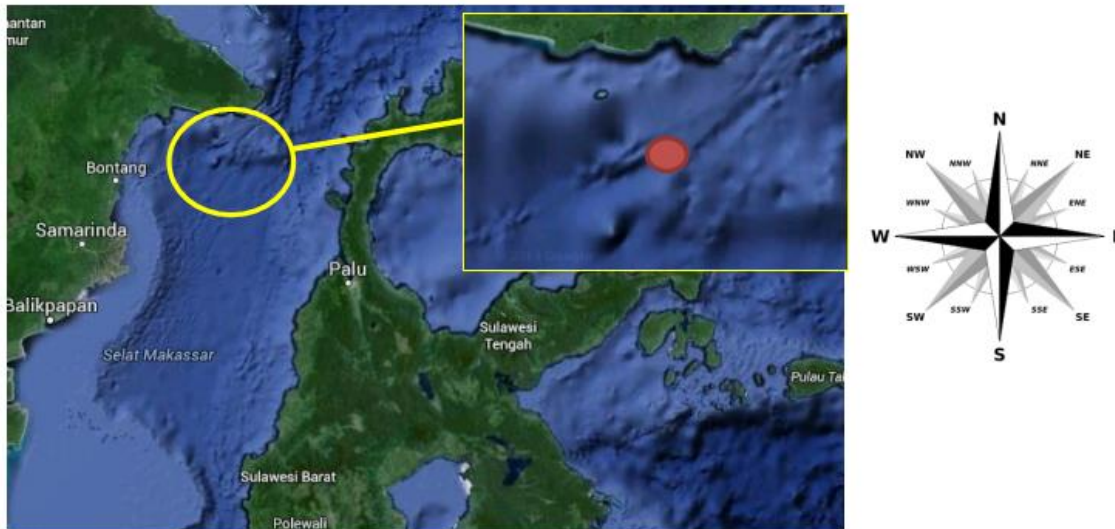
Dalam tugas akhir ini digunakan struktur *Tension Leg Platform*. TLP merupakan sebuah struktur terapung yang terdiri dari komponen-komponen platform, tendon (tether) dan template. TLP terkenal akan kestabilannya yang didapat dari ketegangan tendon yang besar. Tendon ini menjaga stabilitas TLP dengan menegangkan tendon tersebut lebih dahulu. Tegangan awal ini disebut *pretension*. *Pretension* didapat dari berlebihnya gaya apung dibandingkan dengan beban yang di topang.

Idealnya kekakuan tendon akan mengakibatkan sistem hanya memiliki satu derajat kebebasan yaitu pada arah surge (maju-mundur). Sistem akan dinilai stabil apabila respons yang dialami dalam arah heave dan pitch sangatlah kecil.

Sedangkan tendon akan dinilai aman apabila tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan batas yang ditetapkan pada API-RP 2T.

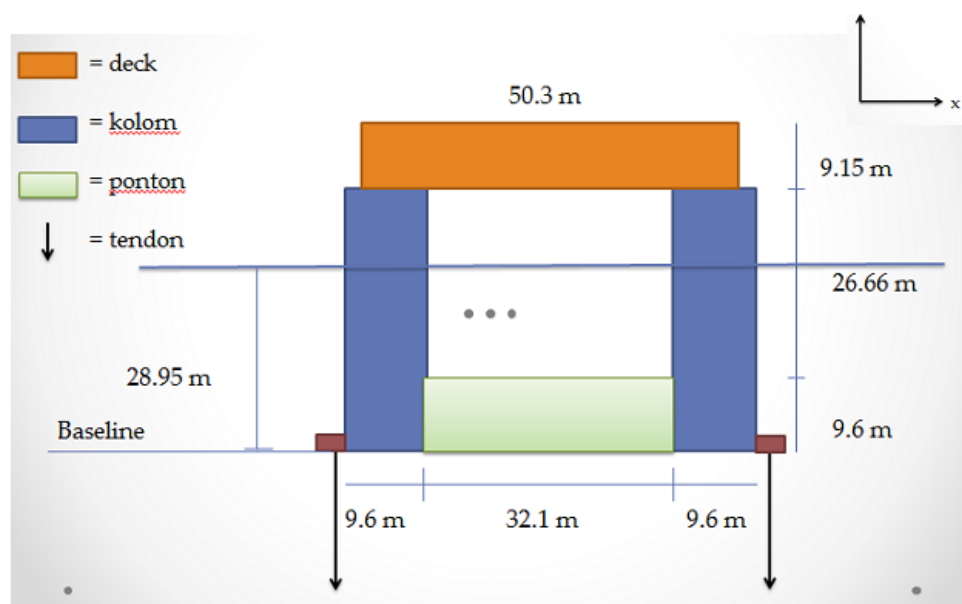
Tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui respons yang terjadi pada struktur akibat pengaruh gaya-gaya lingkungan yang bekerja serta nilai tegangan yang terjadi pada tendon akibat kombinasi pembebanan tersebut

TLP tersebut terletak pada lokasi yang tertera di peta berikut



Gambar 1 Lokasi TLP .

Sumber: maps.google.com.



Gambar 2 dimensi TLP

Kriteria Kegagalan API RP2T

API RP2T mengatur tegangan yang diizinkan terjadi pada tendon berdasarkan presentase dari yield stress material. Tendon dinyatakan aman apabila nilai tegangan yang terjadi masih berada di bawah nilai tegangan izin walaupun nilai tersebut bukan menyatakan nilai tegangan failure dari material. Kriteria tersebut terbagi dalam tiga kategori yaitu:

- Kategori A

Digunakan untuk kondisi yang umum terjadi setiap hari

$$\sigma_p \leq \text{MIN } 0.6F_y, 0.5F_u$$

$$\sigma_s \leq \text{MIN } 0.9F_y, 0.7F_u$$

- Kategori B

Digunakan untuk kondisi yang jarang terjadi/ekstrem

$$\sigma_p \leq \text{MIN } 0.8F_y, 0.6F_u$$

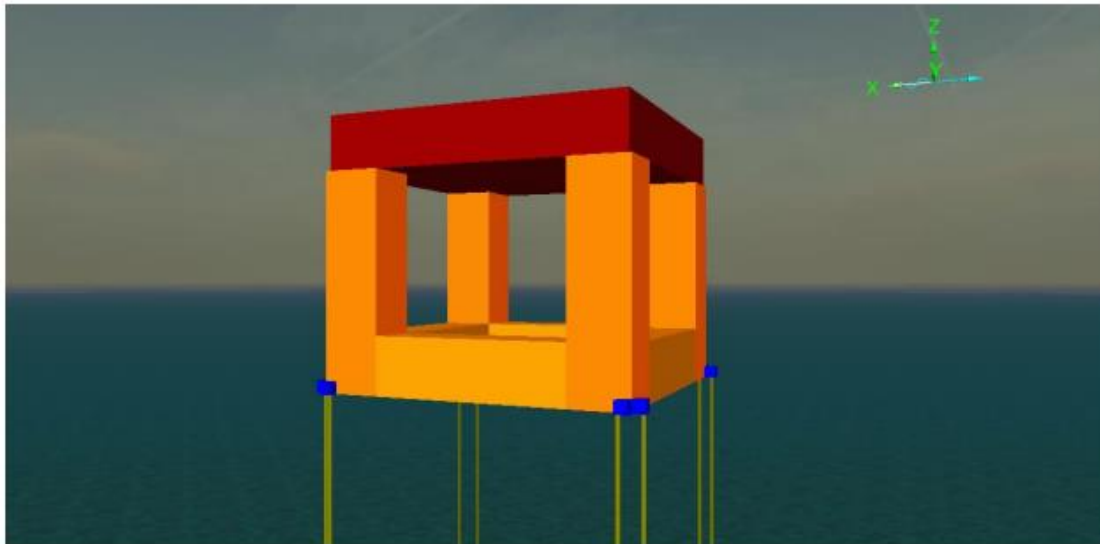
$$\sigma_s \leq \text{MIN } 1.2F_y, 0.9F_u$$

- Kategori C

Digunakan untuk kondisi yang dapat menyebabkan fatigue

PEMODELAN TLP

Pemodelan untuk mendapatkan nilai respon TLP dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak orcaflex. Orcaflex memiliki kemampuan untuk mensimulasikan pergerakan struktur serta gaya-gaya yang terjadi akibat kombinasi pembebanan. Pada pengerjaan Tugas Akhir ini, Struktur dimodelkan sebagai Lumped Buoy shape sedangkan Tendon dimodelkan sebagai elemen line yang memiliki elemen segmen tertentu. Semakin banyak elemen yang digunakan maka hasil pemodelan akan semakin akurat, namun konsekuensi dari penggunaan elemen yang banyak adalah besarnya kebutuhan komputasional power serta waktu simulasi.



Gambar 3 Model yang telah dibuat di dalam program

Pemodelan yang dilakukan mencakup dua belas kasus dengan detail sebagai berikut:

Tabel 1 Detail Kasus yang digunakan dalam pemodelan

Kondisi	Jenis Kondisi	Sudut datang gelombang	Kondisi pasang surut
Kondisi 1	Operating	0	LWL
Kondisi 2	Operating	0	MSL
Kondisi 3	Operating	0	HWL
Kondisi 4	Operating	45	LWL
Kondisi 5	Operating	45	MSL
Kondisi 6	Operating	45	HWL
Kondisi 7	Operating	90	MSL
Kondisi 8	Operating	180	MSL
Kondisi 9	Extreme	0	LWL
Kondisi 10	Extreme	0	MSL
Kondisi 11	Extreme	0	HWL
Kondisi 12	Extreme	45	LWL
Kondisi 13	Extreme	45	MSL
Kondisi 14	Extreme	45	HWL
Kondisi 15	Extreme	90	MSL
Kondisi 16	Extreme	180	MSL

HASIL DAN ANALISIS/DISKUSI

Analisis respon dinamik dan tegangan yang dihasilkan dilakukan dengan menggunakan software orcaflex. Sebelum memulai pemodelan lebih jauh, dilakukan verifikasi model. Verifikasi dilakukan dengan cara men-setup model sederhana yang dapat dianalisis dengan perhitungan manual. Hal ini

dilakukan untuk mengetahui apakah model yang telah kita bangun didalam program memang dibentuk seperti yang kita inginkan atau tidak serta memverifikasi apakah teori perhitungan yang kita miliki dapat diaplikasikan di dalam program.

- Kasus 1

Tabel 2 Hasil Kasus 1

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.38837	0.516174	m
	Heave	-0.01819	0.025415	m
	Pitch	-0.34521	0.261304	m
Tegangan	Tendon A	1336.099	5422.921	KN
	Tendon B	1305.143	5243.539	KN
	Tendon C	1336.099	5422.921	KN
	Tendon D	1305.143	5243.539	KN
	Tendon E	1305.143	5243.539	KN
	Tendon F	1305.143	5243.539	KN
	Tendon G	1103.212	5405.064	KN
	Tendon H	1103.212	5405.064	KN
Limit Tegangan		7021		KN
Aman ?		ya		

- Kasus 2

Tabel 3 Hasil Kasus 2

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.35117	0.402283	m
	Heave	-0.01494	0.019056	m
	Pitch	-0.33272	0.259258	m
Tegangan	Tendon A	2500.167	6249.601	KN
	Tendon B	2426.435	6031.727	KN
	Tendon C	2500.167	6249.601	KN
	Tendon D	2426.435	6031.727	KN
	Tendon E	2294.853	6422.988	KN
	Tendon F	2294.853	6422.988	KN
	Tendon G	2238.172	6188.721	KN
	Tendon H	2238.172	6188.721	KN
Limit Tegangan		7021		KN
Aman ?		ya		

- Kasus 3

Tabel 4 Hasil Kasus 3

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.32144	0.318085	m
	Heave	-0.01488	0.016459	m
	Pitch	-0.31928	0.253867	m
Tegangan	Tendon A	3668.119	7238.781	KN
	Tendon B	3557.439	6999.983	KN
	Tendon C	3668.119	7238.781	KN
	Tendon D	3557.439	6999.983	KN
	Tendon E	3467.439	7403.913	KN
	Tendon F	3467.439	7403.913	KN
	Tendon G	3371.951	7200.313	KN
	Tendon H	3371.951	7200.313	KN
Limit Tegangan		7021		KN
Aman ?		tidak		

- Kasus 4

Tabel 5 Hasil Kasus 4

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.29184	0.410645	m
	Heave	-0.0156	0.025624	m
	Pitch	-0.23876	0.182174	m
Tegangan	Tendon A	2804.045	4203.449	KN
	Tendon B	486.0243	5946.017	KN
	Tendon C	622.1005	6095.878	KN
	Tendon D	2803.665	4172.86	KN
	Tendon E	2792.634	4253.747	KN
	Tendon F	617.349	6099.967	KN
	Tendon G	488.8671	5942.692	KN
	Tendon H	2825.987	4118.126	KN
Limit Tegangan		7021		KN
Aman ?		ya		

- Kasus 5

Tabel 6 Hasil Kasus 5

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.25302	0.308899	m
	Heave	-0.01295	0.017868	m
	Pitch	-0.23183	0.179998	m
Tegangan	Tendon A	3886.88	5028.468	KN
	Tendon B	1662.644	6685.099	KN
	Tendon C	1829.594	6845.945	KN
	Tendon D	3870.068	4988.276	KN
	Tendon E	3883.052	5074.234	KN
	Tendon F	1823.779	6850.319	KN
	Tendon G	1665.418	6681.32	KN
	Tendon H	3884.739	4938.612	KN
Limit Tegangan		7021		KN
Aman ?		ya		

- Kasus 6

Tabel 7 Hasil Kasus 6

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.22281	0.234314	m
	Heave	-0.013	0.014595	m
	Pitch	-0.22584	0.176548	m
Tegangan	Tendon A	5013.745	6005.537	KN
	Tendon B	2850.586	7736.134	KN
	Tendon C	3006.39	7819.057	KN
	Tendon D	4992.044	5934.544	KN
	Tendon E	5017.612	6035.72	KN
	Tendon F	3000.544	7824.961	KN
	Tendon G	2852.771	7741.933	KN
	Tendon H	4993.351	5909.6	KN
Limit Tegangan		7021		KN
Aman ?		tidak		

- Kasus 7

Tabel 8 Hasil Kasus 7

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.05991	0.279175	m
	Heave	-0.04135	0.045933	m
	Pitch	-0.02872	-0.02003	m
Tegangan	Tendon A	2500.167	6249.601	KN
	Tendon B	2426.435	6031.727	KN
	Tendon C	2500.167	6249.601	KN
	Tendon D	2426.435	6031.727	KN
	Tendon E	2294.853	6422.988	KN
	Tendon F	2294.853	6422.988	KN
	Tendon G	2238.172	6188.721	KN
	Tendon H	2238.172	6188.721	KN
Limit Tegangan		7021		KN
Aman ?		ya		

- Kasus 8

Tabel 9 Hasil Kasus 8

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.65421	0.772827	m
	Heave	-0.06527	0.046721	m
	Pitch	-0.88543	0.507878	m
Tegangan	Tendon A	2500.167	6249.601	KN
	Tendon B	2426.435	6031.727	KN
	Tendon C	2500.167	6249.601	KN
	Tendon D	2426.435	6031.727	KN
	Tendon E	2294.853	6422.988	KN
	Tendon F	2294.853	6422.988	KN
	Tendon G	2238.172	6188.721	KN
	Tendon H	2238.172	6188.721	KN
Limit Tegangan		7021		KN
Aman ?		ya		

- Kasus 9

Tabel 10 Hasil Kasus 9

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.946228	0.6016846	m
	Heave	-0.026730537	0.027107716	m
	Pitch	-0.714208282	0.591842348	m
Tegangan	Tendon A	-850.1159668	7104.850098	KN
	Tendon B	-738.9747925	7285.01416	KN
	Tendon C	-850.1159668	7104.850098	KN
	Tendon D	-738.9747925	7285.01416	KN
	Tendon E	-1298.891968	7474.400391	KN
	Tendon F	-1298.891968	7474.400391	KN
	Tendon G	-1146.88147	7663.850098	KN
	Tendon H	-1146.88147	7663.850098	KN
Limit Tegangan		8705.101		KN
Aman ?		ya		

- Kasus 10

Tabel 11 Hasil Kasus 10

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.6465149	0.7805481	m
	Heave	-0.045027256	0.055964947	m
	Pitch	-0.692236791	0.543335679	m
Tegangan	Tendon A	778.6901245	8337.322266	KN
	Tendon B	453.4672241	8195.807617	KN
	Tendon C	778.6901245	8337.322266	KN
	Tendon D	453.4672241	8195.807617	KN
	Tendon E	386.0217285	8657.655273	KN
	Tendon F	386.0217285	8657.655273	KN
	Tendon G	55.30400085	8528.664063	KN
	Tendon H	55.30400085	8528.664063	KN
Limit Tegangan		8705.101		KN
Aman ?		ya		

- Kasus 11

Tabel 12 Hasil Kasus 11

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.62	0.727387	m
	Heave	-0.04326	0.050843	m
	Pitch	-0.67768	0.531908	m
Tegangan	Tendon A	2099.416	9116.026	KN
	Tendon B	1601.16	8853.679	KN
	Tendon C	2099.416	9116.026	KN
	Tendon D	1601.16	8853.679	KN
	Tendon E	1709.252	9440.916	KN
	Tendon F	1709.252	9440.916	KN
	Tendon G	1210.339	9174.435	KN
	Tendon H	1210.339	9174.435	KN
Limit Tegangan		8705.101		KN
Aman ?		tidak		

- Kasus 12

Tabel 13 Hasil Kasus 12

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.47571	0.600037	m
	Heave	-0.03665	0.05095	m
	Pitch	-0.45928	0.383305	m
Tegangan	Tendon A	2444.508	5576.842	KN
	Tendon B	-1821.81	9150.861	KN
	Tendon C	-2074.07	9085.511	KN
	Tendon D	2566.75	5424.84	KN
	Tendon E	2434.845	5624.234	KN
	Tendon F	-2082.4	9093.586	KN
	Tendon G	-1820.49	9146.412	KN
	Tendon H	2519.554	5429.625	KN
Limit Tegangan		8705.101		KN
Aman ?		tidak		

- Kasus 13

Tabel 14 Hasil Kasus 13

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.4758	0.649048	m
	Heave	-0.0368	0.050399	m
	Pitch	-0.45634	0.37773	m
Tegangan	Tendon A	3483.828	6264.266	KN
	Tendon B	-871.196	9645.445	KN
	Tendon C	-774.299	9667.148	KN
	Tendon D	3539.336	6090.494	KN
	Tendon E	3483.987	6296.259	KN
	Tendon F	-781.053	9675.824	KN
	Tendon G	-867.847	9639.983	KN
	Tendon H	3546.912	6103.133	KN
Limit Tegangan		8705.101		KN
Aman ?		tidak		

- Kasus 14

Tabel 15 Hasil Kasus 14

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.44684	0.558136	m
	Heave	-0.05199	0.066595	m
	Pitch	-0.53342	0.406891	m
Tegangan	Tendon A	4281.426	7268.036	KN
	Tendon B	-646.684	11288.55	KN
	Tendon C	-474.888	10627.64	KN
	Tendon D	4407.113	7038.199	KN
	Tendon E	4448.872	7242.801	KN
	Tendon F	-486.747	10636.15	KN
	Tendon G	-644.213	11299.98	KN
	Tendon H	4278.775	7076.759	KN
Limit Tegangan		8705.101		KN
Aman ?		tidak		

- Kasus 15

Tabel 16 Hasil Kasus 15

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.05991	0.279175	m
	Heave	-0.04135	0.045933	m
	Pitch	-0.02872	-0.02003	m
Tegangan	Tendon A	-46.1823	8774.72	KN
	Tendon B	33.27081	8642.343	KN
	Tendon C	-649.991	8704.436	KN
	Tendon D	-490.582	8566.587	KN
	Tendon E	366.9374	8445.536	KN
	Tendon F	-181.458	8397.923	KN
	Tendon G	456.5541	8295.839	KN
	Tendon H	-2.36469	8243.052	KN
Limit Tegangan		8705.101		KN
Aman ?		tidak		

- Kasus 16

Tabel 17 Hasil Kasus 16

		Min	Max	Unit
Respon	Surge	-0.65421	0.772827	m
	Heave	-0.06527	0.046721	m
	Pitch	-0.88543	0.507878	m
Tegangan	Tendon A	801.6578	8684.525	KN
	Tendon B	-126.063	8363.458	KN
	Tendon C	801.6578	8684.525	KN
	Tendon D	-126.063	8363.458	KN
	Tendon E	433.3982	9201.979	KN
	Tendon F	433.3982	9201.979	KN
	Tendon G	-623.553	8821.844	KN
	Tendon H	-623.553	8821.844	KN
Limit Tegangan		8705.101		KN
Aman ?		tidak		

Dapat dilihat dari tabel di atas, tendon dinyatakan tidak memenuhi kriteria keamanan pada saat berada dalam kondisi HWL. Perubahan orientasi struktur menjadi diagonal terhadap arah gelombang juga berpengaruh langsung pada tegangan yang terjadi pada tendon. Berdasarkan percobaan apabila orientasi struktur berubah menjadi diagonal terhadap arah gelombang, tendon

akan mengalami tegangan tambahan akibat mengalami pergerakan tambahan yaitu gerakan arah sway dan yaw. Apabila memiliki pemahaman bahwa kestabilan suatu TLP yang ideal adalah memiliki respon yang sangat kecil dalam arah heave dan pitch, maka TLP yang ditinjau dapat dinyatakan stabil.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis, dapat disimpulkan beberapa poin di bawah ini :

- 1) Desain Tension Leg Platform ini mampu memberikan stabilitas yang dibutuhkan dalam menghadapi beban lingkungan. Hal ini terlihat dari respon struktur yang tergolong kecil.
- 2) Nilai respons paling besar terjadi pada saat kondisi gelombang datang dari arah 180, baik pada kondisi operasi maupun kondisi ekstrim. Berturut-turut dengan nilai surge = $\pm 0.5\text{m}$, heave = $\pm 0.03\text{m}$, dan pitch = $\pm 1^\circ$ untuk kondisi operasi dan dengan nilai surge = $\pm 0.8\text{m}$, heave = $\pm 0.04\text{m}$, dan pitch = $\pm 1.3^\circ$ untuk kondisi ekstrim.
- 3) Pada kondisi HWL, pada kedua kondisi ekstrim dan operasi, tegangan yang terjadi pada tendon melebihi batas aman yang diatur oleh API RP2T yaitu 7824.961 Kn untuk kondisi operasi dan 11300 kN untuk kondisi ekstrem, sedangkan batas aman tegangan adalah 7021,223 kN untuk kondisi operasi dan 10531,835 kN untuk kondisi ekstrim.
- 4) Perbedaan ketinggian muka air berpengaruh langsung terhadap tegangan yang terjadi pada tendon. Selain itu perubahan muka air juga mengubah periode gerakan dari struktur namun tidak mempengaruhi besar respons yang terjadi pada struktur.
- 5) Perubahan orientasi struktur dalam menghadapi arah gelombang datang berpengaruh besar terhadap tegangan yang terjadi pada tendon. Tegangan yang dihasilkan akan lebih kecil apabila struktur menghadap tegak lurus arah datang gelombang. . Contohnya pada kondisi 0 operasi, tegangan maksimum yang terjadi sebesar 7403.913 kN dan pada kondisi 45 operasi tegangan maksimum yang terjadi sebesar 7824.961 kN
- 6) Faktor yang paling mempengaruhi besar tegangan yang terjadi pada tendon adalah gelombang (tinggi, periode, arah datang) sedangkan arus kecil pengaruhnya terhadap perubahan tegangan pada tendon

5.1. Saran

- 1) Pemodelan selanjutnya dapat menyertakan riser dalam model.
- 2) Analisis lebih lanjut dapat meninjau kekuatan tiap komponen TLP.
- 3) Dalam memodelkan bentuk kompleks, sebaiknya dimodelkan menggunakan Vessel. Hal ini dikarenakan Buoy pada program tidak dapat mendefine bentuk geometri dengan sempurna. Selain itu perhitungan gaya pada Buoy tidak dapat memperhitungkan pengaruh difraksi.
- 4) Sebaiknya perlu diadakan perbandingan antara hasil pemodelan dengan kondisi lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

American Petroleum Institute (API), 1997. *Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Tension Leg Platform*. Washington, D.C.

Chakrabarti, S.K.1987. “*Hydrodynamics of Offshore Structures*” . Springer-Verlag:Computational Mechanics Publication

Orcina, Ltd., “*Orcaflex Manual version 9.7d*”.

Tawekal, Ricky Lukman. KL-4131 “*Diktat Bangunan Lepas Pantai*”. Bandung : Penerbit Institut Teknologi Bandung