

PERANCANGAN ALTERNATIF *FLOATING PRODUCTION UNIT* (FPU) DENGAN 8 *MOORING LINE* DI LAPANGAN JANGKRIK, SELAT MAKASSAR

Reza Amarosa¹ dan Krisnaldi Idris, Ph.D²

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi
Bandung

reza.amarosa@yahoo.co.id

ABSTRAK

Perancangan *mooring line* dilakukan untuk memberikan respon yang relatif rendah terhadap struktur terapung. Laporan Tugas Akhir ini membahas studi kasus penentuan respon dan gaya tarik *mooring line* pada FPU yang diakibatkan oleh arus, angin, dan gelombang dengan menggunakan sistem penambatan yaitu *permanent mooring*. Studi ini dilakukan dengan membuat model struktur FPU dengan *mooring line* dan dilakukan simulasi dengan 2 tahapan yaitu menggunakan gelombang regular dan irregular. Penentuan respon FPU dan gaya tarik pada *mooring line* yang dijadikan tolak ukur perancangan adalah nilai maksimum atau minimum. Perancangan *mooring line* dilakukan berdasarkan standar API RP 2SK dan ABS. Pada hasil simulasi, diketahui bahwa pada penggunaan gelombang regular dan irregular, nilai respon dan gaya tarik *mooring line* sesuai dengan kriteria perancangan yang diatur pada API RP 2SK dan ABS.

Kata Kunci : *respon, gaya tarik, mooring, FPU*

PENDAHULUAN

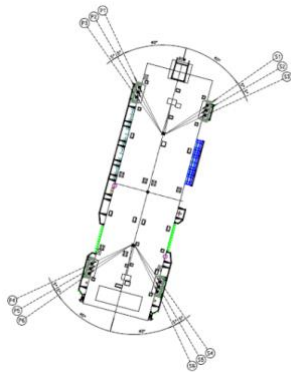
Sumber penghasil minyak bumi di Indonesia salah satunya adalah Lapangan Jangkrik. Lapangan Jangkrik adalah sumber gas yang telah dieksplorasi pada Maret 2009 dan berlokasi pada 70 km dari pantai Muara Bakau, Selat Makassar, Kalimantan.

Pada tahapan perancangan FEED menghasilkan perancangan FPU dengan 12 titik *mooring line*. Hal tersebut memiliki keterbatasan yaitu kurangnya tempat kosong pada *deck* FPU untuk mengakomodasi *winch*. Selain itu, apabila dipaksakan menggunakan 12 titik *mooring line*

¹ Mahasiswa Tugas Akhir

² Dosen Pembimbing Tugas Akhir

dibutuhkan dimensi FPU besar. Berdasarkan regulasi pemerintah Indonesia, kegiatan fabrikasi FPU dilakukan di Indonesia. Dengan keterbatasan galangan kapal, kegiatan fabrikasi FPU dengan dimensi yang mengakomodasi 12 poin *mooring line* tidak dapat dilakukan. Berdasarkan kedua alasan tersebut diatas, maka dibutuhkan kegiatan *re – design* FPU. Pada kasus ini, rancangan FPU terbaru menggunakan 8 poin *mooring*.



Gambar 1 FPU dengan 12 *mooring line*.

TEORI DAN METODOLOGI

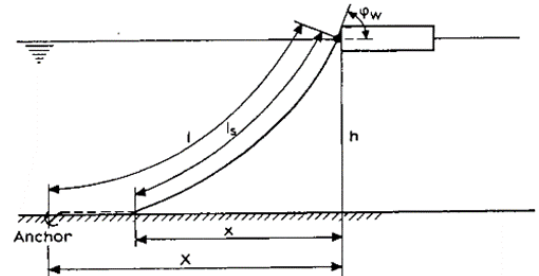
Dalam tugas akhir ini berlaku teori gelombang difraksi dimana gaya eksitasinya menurut Chakabarti dinyatakan dalam persamaan (1) berikut

$$F = - \int \rho \frac{\partial \Phi_I}{\partial t} n \, ds + - \int \rho \frac{\partial \Phi_D}{\partial t} n \, ds \quad (1)$$

Lalu dari gaya eksitasi tersebut jika diberikan pada struktur maka akan terbentuk persamaan gerak struktur terapung yang dinyatakan dalam Chakrabarti dengan persamaan (2) berikut ini.

$$(M + A)\ddot{X} + B\dot{X} + CX = F \quad (2)$$

Mooring yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *catenary mooring*, ilustrasinya bersumber dari Faltinsen ditunjukkan pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2 Sketsa Definisi Catenary Mooring

Sumber: Faltinsen, 1990

Dengan jarak vertikal tali *mooring* menurut Faltinsen pada setiap titik tinjau dinyatakan pada persamaan (3) berikut ini

$$Y = \frac{T_H}{w} \cosh \left[\frac{w}{T_H} (X - x) - 1 \right] \quad (3)$$

Gaya tarik yang terjadi pada setiap titik tinjau menurut McCormick dinyatakan pada persamaan (4) sebagai berikut

$$T = T_H \cosh \left[\frac{w}{T_H} (X - x) \right] \quad (4)$$

Setelah struktur selesai dimodelkan dihitung parameter hidrodinamik serta RAO dari model. Pada studi kasus ini, dilakukan dua pembebanan gelombang akibat gelombang *regular* dan *irregular*, konfigurasi *mooring* dari struktur adalah *spread mooring* dengan jumlah total 8 tali,

HASIL DAN ANALISIS

Untuk kekuatan *mooring line*, API RP 2SK mengatur bahwa gaya tarik maksimum adalah 60 % MBL untuk kondisi *intact* dan 80% MBL untuk kondisi *damage*. Pada studi kasus ini, gaya tarik maksimum yang digunakan adalah 1564.08 MT untuk kondisi *intact* dan 2085.44 MT untuk kondisi *damage*.

Untuk perpindahan struktur, ABS mengatur bahwa perpindahan maksimal struktur adalah 20% dari kedalaman perairan untuk kondisi *intact* dan *damage*. Pada studi kasus ini, perpindahan maksimum adalah 19.6 meter.

Proses pemodelan dilakukan dengan 8 arah datang gelombang. Dari hasil simulasi selama 3 jam didapatkan keluaran gaya tarik dan respon FPU yang tidak melebihi standar maksimal. Penentuan hasil perancangan terhadap kedua parameter tersebut dibagi menjadi 4 kondisi yaitu penggunaan gelombang regular pada kondisi intact dan damage lalu penggunaan gelombang irregular (acak) pada kondisi intact dan damage. Rekapitulasi hasil perancangan terdapat pada tabel 1 sampai 4 berikut.

Tabel 1 Rekapitulasi Gaya Tarik dan Respon kondisi intact akibat gelombang regular

Heading		Gaya Tarik (MT)										Excursion (m)				
		P1	P2	P3	P4	S1	S2	S3	S4	Batas	X	Y	Z	Resultan	Batas	
0	Selatan	Maksimum	417.48	409.17	557.24	1194.67	412.53	418.36	555.67	1193.97	2608.8	-15.89	0.13	-0.31	15.9	19.6
45	Tenggara	Maksimum	347.03	354.65	446.02	525.9	448.55	530.45	660.67	807.66	2608.8	-6.98	-8.66	-0.4	11.12	19.6
90	Timur	Maksimum	340.9	349.14	423.51	478.47	458.91	536.94	563.6	566.67	2608.8	-3.25	-7.13	-0.22	7.84	19.6
135	Timur Laut	Maksimum	449.69	415.94	535.3	632.37	989.48	1192.36	804.84	653.8	2608.8	-6.75	-15.86	-0.43	17.24	19.6
180	Utara	Maksimum	849.57	699.57	505.58	843.68	881.04	764.99	473.52	818.33	2608.8	14.95	0.55	-0.05	14.96	19.6
225	Barat Laut	Maksimum	545.73	595.93	523.5	527.66	384.89	384.1	434.68	510.57	2608.8	3.21	7.31	-0.09	7.98	19.6
270	Barat	Maksimum	608.49	783.09	754.04	676.28	335.58	355.67	437.84	508.39	2608.8	0.51	13.83	-0.01	13.84	19.6
315	Barat daya	Maksimum	405.69	481.96	596.3	915.95	335.3	355.47	405.3	639.82	2608.8	-1.65	9.32	-0.03	9.47	19.6

Tabel 2 Rekapitulasi Gaya Tarik dan Respon kondisi damage akibat gelombang regular

Heading		Gaya Tarik (MT)									Excursion (m)					
		P1	P2	P3	P4	S1	S2	S3	S4	Batas	X	Y	Z	Resultan	Batas	
0	Selatan	Maximum	539.5	565.1	1378.8	Break	509.6	512.6	809.4	1223.8	2087	-18.22	0.21	-0.39	18.2	19.6
45	Tenggara	Maximum	455.4	468.4	548	1114.6	478.9	562.8	1217.6	Break	2087	-16.07	-10.61	-0.33	19.3	19.6
90	Timur	Maximum	340.5	348.8	406.3	707.1	418.1	533.4	809	Break	2087	-11.6	-108	-0.16	16	19.6
135	Timur Laut	Maximum	583.6	570.7	701.1	782.6	2018.5	Break	1001.3	823.6	2087	-3.7	-18.59	-0.34	19	19.6
180	Utara	Maximum	683.3	740.4	545.9	671.4	Break	1136.7	581.6	795.4	2087	-6.17	-8.76	-0.2	10.7	19.6
225	Barat Laut	Maximum	994.8	Break	548.8	516.7	349	355.8	405.2	457.9	2087	8.64	15.55	-0.09	17.8	19.6
270	Barat	Maximum	1421	Break	861	541.7	551	506.7	476.6	386.4	2087	7.7	14.35	0.01	16.3	19.6
315	Barat daya	Maximum	454.5	663.6	1344.7	Break	422.6	445.8	512.1	1335.7	2087	-18.9	0.17	-0.22	18.9	19.6

Tabel 3 Rekapitulasi Gaya Tarik dan Respon kondisi intact akibat gelombang irregular.

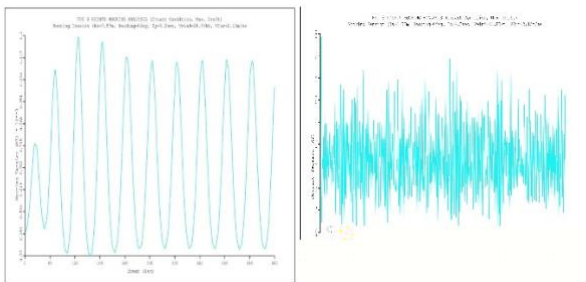
Heading	Gaya Tarik (MT)										Excursion (m)					
	P1	P2	P3	P4	S1	S2	S3	S4	Batas	X	Y	Z	Resultan	Batas		
0	Selatan	Maksimum	331.63	339.91	476.15	799.62	326.22	346.83	474.56	799.67	2608.8	-10	0.1	-0.73	10	19.6
45	Tenggara	Maksimum	331.69	339.92	408.9	514.33	373.53	428.46	515.42	617.26	2608.8	-5.05	-4.5	-0.91	6.8	19.6
90	Timur	Maksimum	331.74	339.95	396.61	446.24	399.72	454.89	473.62	514.2	2608.8	-2.41	-4.59	-0.71	5.2	19.6
135	Timur Laut	Maksimum	385.11	375.49	396.48	446.04	571.79	670.05	547.48	509.91	2608.8	-2.12	-8.95	-0.78	9.2	19.6
180	Utara	Maksimum	419.37	408.37	398.1	448.32	413.81	417.37	395.69	447.42	2608.8	2.46	0.22	-0.04	2.5	19.6
225	Barat Laut	Maksimum	434.86	462.22	446.11	469.25	354.16	365.65	395.08	445.58	2608.8	0.98	4.22	-0.08	4.3	19.6
270	Barat	Maksimum	481.31	557.26	563.76	587.32	326.26	346.79	394.98	445.58	2608.8	-0.64	9.2	0.3	9.2	19.6
315	Barat daya	Maksimum	434.56	539.5	655.31	954.38	326	346.56	394.94	606.12	2608.8	-1.63	11.34	0.11	11.5	19.6

Tabel 4 Rekapitulasi Gaya Tarik dan Respon kondisi damage akibat gelombang irregular.

Heading		Gaya Tarik (MT)										Excursion (m)				
		P1	P2	P3	P4	S1	S2	S3	S4	Batas	X	Y	Z	Resultan	Batas	
0	Selatan	Maksimum	331.32	378.83	1027.98	0	325.95	346.6	402.3	1348.11	2608.8	-18.16	0.18	-0.8	18.2	19.6
45	Tenggara	Maksimum	331.2	339.43	396.94	766.69	341.13	452.43	926.36	0	2608.8	-14.58	-10.04	-0.83	17.7	19.6
90	Timur	Maksimum	331.54	339.63	397.01	446.3	702.8	0	494.03	520.61	2608.8	-1.93	-12.77	-0.58	12.9	19.6
135	Timur Laut	Maksimum	361.01	339.63	396.89	446.12	1071.62	0	589.08	498.64	2608.8	-1.6	-16.22	-0.74	16.3	19.6
180	Utara	Maksimum	505.59	427.06	397.08	446.25	0	728.98	412.45	445.62	2608.8	8.2	0.17	0.03	8.2	19.6
225	Barat Laut	Maksimum	0	786.72	452.79	446.52	413.98	373.84	395.26	445.38	2608.8	8.34	8.26	-0.12	11.7	19.6
270	Barat	Maksimum	860.94	0	607.88	575.82	326.29	346.75	395.16	445.41	2608.8	5.68	16.35	0.18	17.3	19.6
315	Barat daya	Maksimum	394.05	659.83	1289.83	0	325.71	346.32	394.69	1187.51	2608.8	-1.77	19.48	0.05	19.6	19.6

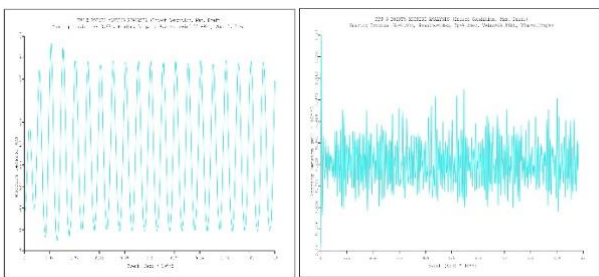
Berdasarkan tabel 1 sampai 4 diatas, didapatkan bahwa nilai gaya tarik maksimum adalah 1194.67 MT untuk kondisi intact dan 2018.48 MT untuk kondisi damage. Selain itu, respon maksimum adalah 19.26 meter untuk kondisi intact dan 19.56 meter untuk kondisi damage. Pada gaya tarik dan respon maksimum berada dibawah kriteria maksimum yang diatur pada API RP 2SK dan ABS. Oleh karena itu, perencanaan mooring dinyatakan layak. Dari

hasil simulasi didapatkan respon dan gaya tarik dalam dua pendekatan yaitu penggunaan gelombang regular dan irregular. Pada gambar 3 dan gambar 4 berikut merupakan grafik tegangan *mooring line* pada kondisi *intact* dan *damage* dengan arah datang gelombang dari selatan.



(a) (b)

Gambar 3 Grafik Tegangan mooring line kondisi intact dengan gelombang regular (a) dan irregular (b)

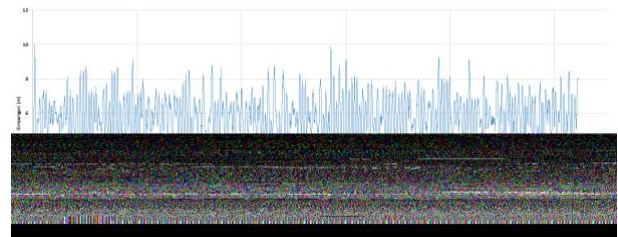


(a) (b)

Gambar 4 Grafik Tegangan mooring line kondisi damage dengan gelombang regular (a) dan irregular (b)

Untuk keperluan analisis, digunakan *sample* dari respon dan gaya tarik *mooring line* oleh satu arah datangnya gelombang tertentu. Analisis yang dilakukan adalah sebaran data dan domain frekuensi.

Pada analisis sebaran data, terdapat dua data yaitu respon resultan dari *surge* dan *sway*) dan gaya tarik *mooring line* dari arah datang gelombang selatan. Pada gambar 5 adalah respon resultan sebagai berikut.



Gambar 5 Respon resultan akibat gelombang arah selatan

Berdasarkan sebaran data pada gambar 5 diatas, dapat ditentukan sebaran distribusi data yang tercantum pada tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5 Distribusi respon resultan akibat gelombang dari selatan.

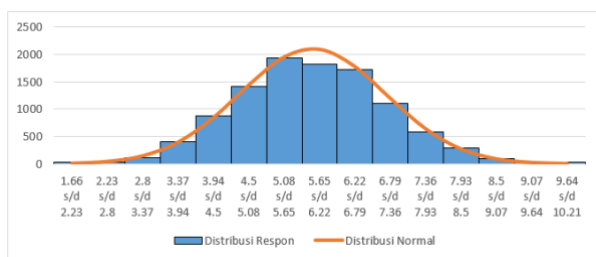
Interval Data Tension			Frekuensi	Frekuensi Relatif	Frekuensi Kerapatan (PDF)
1.66	s/d	2.23	8	0.001	0.002
2.23	s/d	2.8	30	0.003	0.007
2.8	s/d	3.37	110	0.011	0.024
3.37	s/d	3.94	409	0.039	0.064
3.94	s/d	4.5	870	0.083	0.136
4.5	s/d	5.08	1412	0.135	0.231
5.08	s/d	5.65	1932	0.185	0.313
5.65	s/d	6.22	1821	0.174	0.335
6.22	s/d	6.79	1722	0.165	0.285
6.79	s/d	7.36	1108	0.106	0.192
7.36	s/d	7.93	591	0.057	0.102
7.93	s/d	8.5	299	0.029	0.043
8.5	s/d	9.07	96	0.009	0.015

Berdasarkan grafik time series pada gambar 5 diatas, diketahui parameter statistik yang tercantum pada tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6 Parameter statistik respon resultan

Rata – rata (m)	5.82
Nilai tengah (m)	5.78
Standar Deviasi (m)	1.18
Kurtosis	-0.08
Skewness	0.10
Jarak Data (m)	8.37
Minimum (m)	1.63
Maksimum (m)	10.00
Banyak daya	10448

Berdasarkan tabel 5 dan 6 diatas, dapat diketahui grafik histogram PDF dari sebaran distribusi respon. Selain itu, diketahui pula distribusi normal secara teoritis berdasarkan parameter statistik. Kedua grafik tersebut dicantumkan pada gambar 6 sebagai berikut.

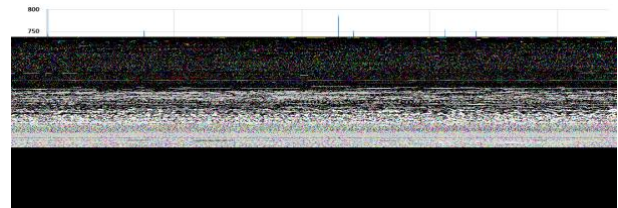


Gambar 6 Perbandingan fungsi kerapatan dari data respon dan distribusi normal

Berdasarkan gambar 6 diatas, diketahui kecenderungan distribusi data mengikuti distribusi normal Gauss. Oleh karena itu, karakteristik distribusi normal dapat digunakan pada sebaran distribusi data respon resultan. Dalam tugas akhir ini, diketahui bahwa nilai rata – rata respon ditambah dengan 3 kali standar deviasi bernilai lebih kecil dari respon resultan maksimum dan minimum yang terjadi. Nilai tersebut adalah maksimum 9.37 meter dan minimum 2.27 meter. Hal ini disebabkan proses

pemodelan dilakukan pada rentang terjadinya gelombang maksimum. Selain itu, pemodelan dilakukan selama 10800 detik yaitu sesuai dengan standar API 2L.

Selain itu, pada gambar 7 merupakan gaya tarik pada *mooring line* sebagai berikut.

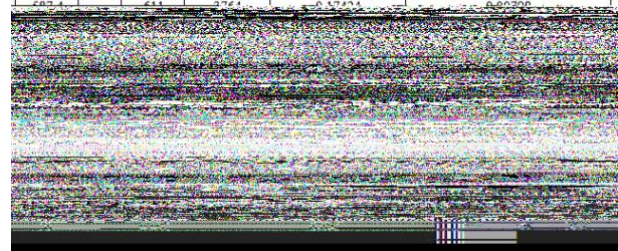


Gambar 7 Gaya tarik *mooring line* akibat gelombang arah selatan

Berdasarkan sebaran data pada gambar 7 diatas, dapat ditentukan sebaran distribusi data yang tercantum pada tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7 Distribusi gaya tarik *mooring line* akibat gelombang dari selatan.

Interval Data Tension			Frekuensi	Frekuensi Relatif	Frekuensi Kerapatan (PDF)
445.9	s/d	469.5	26	0.00120	0.00016
469.5	s/d	493.1	150	0.00694	0.00054
493.1	s/d	516.7	682	0.03157	0.00144
516.7	s/d	540.3	1770	0.08194	0.00309
540.3	s/d	563.8	3062	0.14175	0.00530
563.8	s/d	587.4	4048	0.18739	0.00727

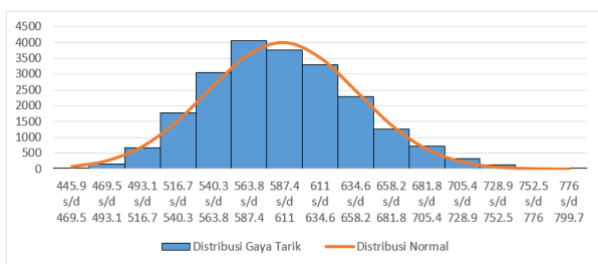


Berdasarkan grafik time series pada gambar 7 diatas, diketahui parameter statistik yang tercantum pada tabel 8 sebagai berikut.

Tabel 8 Parameter statistik gaya tarik *mooring*

Rata – rata (MT)	597.3297
Nilai tengah (MT)	593.6
Standar Deviasi (MT)	49.93496
Kurtosis	0.061499
Skewness	0.339813
Jarak Data (MT)	353.8
Minimum (MT)	445.9
Maksimum (MT)	799.7
Banyak Data	21602

Berdasarkan tabel 7 dan 8 diatas, dapat diketahui grafik histogram PDF dari sebaran distribusi respon. Selain itu, diketahui pula distribusi normal secara teoritis berdasarkan parameter statistik. Kedua grafik tersebut dicantumkan pada gambar 8 sebagai berikut.

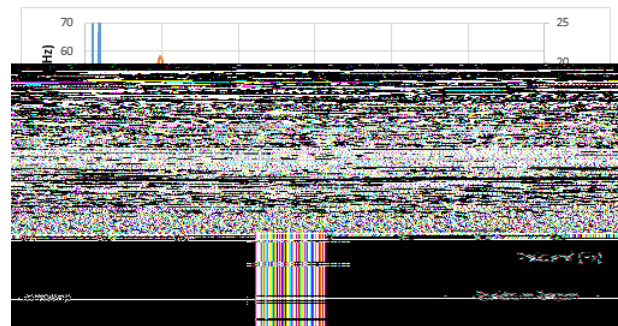


Gambar 8 Perbandingan fungsi kerapatan dari data gaya tarik dan distribusi normal

Berdasarkan gambar 8 diatas, diketahui kecenderungan distribusi data mengikuti distribusi normal Gauss. Oleh karena itu, karakteristik distribusi normal dapat digunakan pada sebaran distribusi data gaya tarik *mooring line*. Dalam tugas akhir ini, diketahui bahwa nilai rata – rata respon ditambah dengan 3 kali standar deviasi bernilai lebih kecil dari gaya tarik maksimum dan minimum yang terjadi. Nilai tersebut adalah maksimum 747.13 MT dan minimum 447.53 MT. Hal ini disebabkan proses pemodelan dilakukan pada rentang

terjadinya gelombang maksimum. Selain itu, pemodelan dilakukan selama 10800 detik yaitu sesuai dengan standar API 2L.

Analisis selanjutnya adalah domain frekuensi. Pada gambar 9 berikut adalah grafik spektrum dari respon struktur.

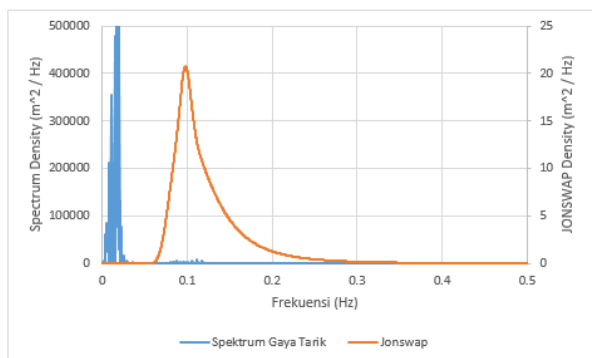


Gambar 9 Grafik spektrum respon surge dan gelombang

Dari hasil pemodelan, didapatkan spektrum kerapatan yang merepresentasikan perpindahan struktur pada domain frekuensi. Berdasarkan gambar V.58 diatas, diketahui bahwa puncak spektrum gelombang terjadi pada frekuensi 0.098 Hz. Nilai tersebut sesuai dengan periode gelombang datang yaitu 9.2 detik. Sedangkan puncak frekuensi respon terjadi pada frekuensi 0.0167 Hz. Lalu pada daerah frekuensi puncak dari spektrum gelombang terdapat nilai densitas frekuensi respon yang cukup signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat pengaruh gelombang kepada gerakan surge FPU.

Selain daripada itu, terdapat analisis domain frekuensi terhadap gaya tarik *mooring line*.

Pada gambar 10 adalah grafik spektrum dari gaya tarik *mooring line*.



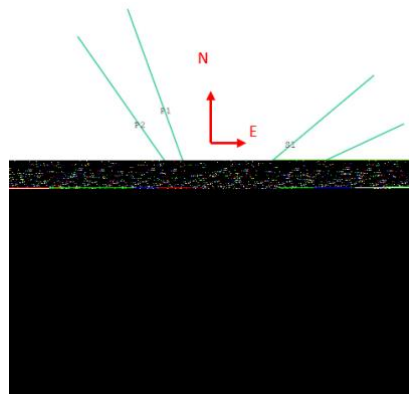
Gambar 10 Grafik spektrum respon surge dan gelombang

Dari hasil pemodelan, didapatkan spektrum kerapatan yang merepresentasikan gaya tarik line S4 pada domain frekuensi. Berdasarkan gambar V.60 diatas, diketahui bahwa puncak spektrum gelombang terjadi pada frekuensi 0.098 Hz. Nilai tersebut sesuai dengan periode gelombang datang yaitu 9.2 detik. Sedangkan puncak frekuensi respon terjadi pada frekuensi 0.0199 Hz. Lalu pada daerah frekuensi dari puncak spektrum gelombang terdapat nilai densitas frekuensi gaya tarik yang cukup signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat pengaruh gelombang pada gaya tarik line S4.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada pembahasan Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan 9 hal yaitu sebagai berikut.

1. Orientasi dan Konfigurasi *Mooring*.



Gambar 11 Konfigurasi *mooring line* hasil perancangan

Berdasarkan analisis gelombang regular dan irregular didapatkan konfigurasi seperti tercantum pada gambar 11 diatas yang didapatkan melalui analisis kondisi Intact dan Damage. Pada tabel 9 dicantumkan rekapitulasi konfigurasi mooring line.

Tabel 9 Rekapitulasi Konfigurasi Mooring Line Hasil Perancangan.

Properti Mooring Line (Statik)					
Nama Mooring Line	Sudut Mooring Line (deg)	Jarak Horizontal (m)	Kedalaman Perairan (m)	Panjang Mooring Line (m)	Gaya tarik Fairlead (MT)
P1	-145	1368.75	99	1385.8	332
P2	-130	1369.09	99	1385.8	340
P3	-75	1020.48	99	1034.96	397
P4	-35	1051.40	99	1064.31	446
S1	145	1368.53	99	1385.8	326
S2	130	1368.78	99	1385.21	347
S3	75	1020.39	99	1034.92	395
S4	35	1051.31	99	1064.24	446

2. Properti *Mooring*.

Properti mooring line untuk keseluruhan mooring line menggunakan rantai kualitas R5 dengan tipe studless endlink berdiameter 162 mm.

3. Gaya tarik maksimum yang terjadi akibat gelombang regular pada kondisi *intact* sebesar 1194.67 MT dan pada kondisi *damage* sebesar 2018.48 MT. Sedangkan gaya tarik maksimum yang terjadi akibat gelombang irregular pada kondisi *intact* sebesar 954.38 MT dan pada kondisi *damage* sebesar 1348.11 MT. Nilai tersebut lebih rendah dari kriteria desain API RP 2SK yaitu 1564.08 MT dan 2085.44 MT.
4. Nilai perpindahan struktur maksimum akibat gelombang regular untuk kondisi *intact* sebesar 17.37 meter dan pada kondisi *damage* sebesar 19.26 meter. Selain itu, Nilai perpindahan struktur maksimum akibat gelombang irregular untuk kondisi *intact* sebesar 11.46 meter dan pada kondisi *damage* sebesar 19.56 meter. Nilai tersebut lebih rendah dari kriteria desain yaitu 19.60 meter.
5. Pada penggunaan gelombang regular, hasil analisis yaitu periode respon untuk gerakan surge dan sway tidak mengikuti periode gelombang datang. Lalu, untuk gerakan heave dan rotasi terdapat dua periode. Salah satu periode mengikuti periode gelombang datang. Selain itu, hasil analisis respon FPU dengan gelombang irregular diinterpretasikan dalam grafik spektrum. Dapat diketahui bahwa pengaruh frekuensi alamiah struktur lebih dominan pada respon FPU.
6. Pada hasil rekapitulasi hasil gaya tarik dan ekskursi pada gambar V.26 diketahui bahwa ekskursi oleh gaya arah heading 315 adalah 19.56 meter. Nilai tersebut mendekati kriteria desain yaitu 19.6 meter. Oleh karena itu, diperlukan penambahan *pretension* pada *fairlead* untuk mengurangi jarak simpangan FPU oleh gaya arah heading 315.
7. Dengan menggunakan perangkat lunak MOSES, analisis gaya tarik *mooring line* dan respon FPU dapat dilakukan.
8. Pada kondisi *damage*, analisis statik berbeda dengan kondisi *intact*. Saat proses simulasi dengan putusnya 1 *mooring line*, perangkat lunak MOSES mencari posisi setimbang statik baru. Hal tersebut menyebabkan nilai *initial condition* yang berbeda.
9. Pada grafik respon surge (gambar 5) terdapat simpangan dengan frekuensi tinggi dan rendah. Hal tersebut menyebabkan adanya 2 puncak pada grafik domain spektrum (gambar 10).

DAFTAR PUSTAKA

- API Publishing Service. 2005. API RP 2A. Washington DC : USA
- API Publishing Service. 2005. API RP 2SK. Washington DC : USA
- Setia, Wisnu D. Laporan Tugas Akhir. 2015. Bandung : Perpustakaan Teknik Kelautan ITB.
- Faltinsen, O.M, 1990, Sea Loads on Ships and Offshore Structure, United Kingdom : Cambridge University Press.
- Chakrabakti, Subrata K. 2005. Handbook of Offshore Engineering Volume II. Oxford : Elsevier.
- Y, Goda. 2000. Random Seas and Design of Maritime Structure. Singapore : World Scientific Publishing Co.
- White, Frank M. Fluid Mechanics, WCB McGraw - Hill.
- Paz, Mario dan William Leigh. 2004. Structural Dynamics : Theory and Computation. Massachusetts : Kluwer Academic Publisher.
- Salim, HangTuah. Mekanika Gelombang, Pustaka ITB.