

Perancangan Konfigurasi *Mooring* untuk *Piling Barge* Pada Kawasan Pelabuhan Manyar, Gresik, Jawa Timur

Michael Suryaprawira¹ dan Krisnaldi Idris²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha No.10, Bandung 40132

Email: ¹suryaprawira.michael@gmail.com dan ²krisnaldi@ocean.itb.ac.id

Kata kunci: Struktur terapung, sistem *mooring*, gaya tarik, respon gerak, RAO

PENDAHULUAN

Terminal Pelabuhan Manyar, Gresik, Jawa Timur, merupakan salah satu solusi yang dianggap mampu membantu menyempurnakan sistem transportasi laut di daerah Jawa Timur berada di bawah naungan PT. Pelabuhan Indonesia III. Pelabuhan Manyar ini diharapkan bisa membantu meringankan operasi Pelabuhan Tanjung Perak, yang juga berada di bawah naungan Pelindo III, yang saat ini sudah terlalu padat.

Dermaga Pelabuhan Manyar ini dibuat dengan struktur *deck on pile*, dimana dek berada di atas rangkaian tiang pancang. Pemancangan di tengah laut membutuhkan *piling barge*. *Piling barge* biasanya menggunakan *mooring* agar *barge* stabil dan proses pemancangan dapat berjalan dengan lancar. *Barge* harus dapat bergerak sepanjang jalur pemancangan. Namun, di daerah dimana Pelabuhan Manyar tersebut akan dibangun, terdapat tiga jalur pipa sehingga *mooring* yang digunakan untuk membantu pemancangan tidak boleh dipindahkan terlalu banyak karena ditakutkan akan merusak pipa yang

melintasi area Pelabuhan Manyar tersebut. Disinilah diperlukan analisis *mooring* untuk memastikan bahwa *mooring* yang digunakan dapat memenuhi semua kondisi dan posisi pemancangan.

Jalur pipa tersebut menjadi kendala dan batasan tersendiri dari penelitian ini. Jalur pipa tersebut sangat riskan terhadap bencana yang ditimbulkan oleh proses pemancangan dengan konfigurasi tali *mooring* yang tidak sesuai. Contoh bencana yang dapat terjadi antara lain jatuhnya tiang pancang dari *piling barge* dan menimpa pipa tersebut. Kemudian, tali *mooring* yang putus dapat mengakibatkan *barge* oleng dan karam mengenai jalur pipa. Tali *mooring* yang melintas di atas pipa dan masih banyak kemungkinan yang dapat terjadi apabila tali *mooring* dan *piling barge* tidak sesuai dengan kriteria untuk melakukan pemancangan.

Disinilah diperlukan analisis *mooring* untuk memastikan bahwa *mooring* yang digunakan dapat memenuhi semua kondisi dan posisi pemancangan dimana terdapat posisi tali yang berbeda-beda dengan panjang yang berbeda-beda pula.

Tujuan dari abstrak ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kestabilan *piling barge*.
2. Melakukan analisis dan menentukan respon *piling barge* akibat gaya luar selama proses pemancangan.
3. Menganalisis gaya tarik yang dialami semua *mooring* pada berbagai posisi selama proses pemancangan.
4. Menentukan jenis dan parameter *mooring* yang diperlukan untuk proses pemancangan.

Ruang lingkup dalam Abstrak ini adalah:

1. Melakukan pemodelan sistem mooring pada piling barge dalam proses pemancangan di Pelabuhan Manyar. Pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan struktur terapung dan pemodelan mooring.
2. Pemodelan struktur terapung adalah pemodelan barge 180x60x12 ft untuk mendapatkan respon dari barge tersebut.
3. Pemodelan sistem mooring pada barge dilakukan saat kegiatan pemancangan tiang pancang pada 6 posisi mooring yang berbeda.
4. Terdapat jalur pipa di sekitar area pemancangan, sehingga jangkar tidak boleh dipindahkan terlalu sering karena ditakutkan akan menyebabkan kerusakan pada jalur pipa bawah laut tersebut.

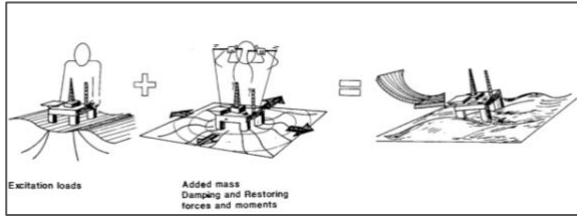
5. Pemodelan ini dilakukan untuk dua kondisi gelombang yaitu gelombang regular dan gelombang irregular.
6. Analisis yang dilakukan mencakup respon perpindahan dan gaya tarik tali mooring yang terjadi pada piling barge dengan syarat batas berdasarkan kriteria desain API RP 2SK.

TEORI DAN METODOLOGI

Abstrak dikerjakan seluruhnya dengan pemodelan menggunakan perangkat lunak pada komputer. Kriteria desain utama yang digunakan dalam pengerjaan Abstrak ini adalah API RP 2SK “Design Analysis of Stationkeeping System for Floating Structures”. Dalam Abstrak ini, terdapat dua pemodelan, yaitu pemodelan untuk mendapatkan respons barge terhadap gaya luar yang dialami, dan pemodelan mooring untuk mendapatkan diameter tali mooring, panjang total tali mooring dan gaya tarik efektif pada mooring.

Sebuah struktur lepas pantai akan dipengaruhi oleh gelombang. Respon dari struktur tersebut akibat adanya gelombang dapat ditentukan dengan menganalisa struktur berdasarkan sudut pandang hidrodinamika. Dalam kasus ini struktur terapung berada pada daerah gelombang yang teratur (*regular wave*) yang menyerupai sinusoidal. Total gaya hidrodinamika yang bekerja pada struktur terapung disusun oleh beban eksitasi (*excitation load*) dan beban radiasi (*radiation load*). Ilustrasi dari total gaya

hidrodinamika dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini



Gambar 1 Ilustrasi superposisi gaya lingkungan di laut
Sumber: Faltinsen, 1999

Dalam bentuk matematis, Gambar 1 dapat ditulis dengan persamaan:

$$F_{Hj} = F_{Wj} + F_{Rj} + F_{Vj} + F_{Hsj}$$

Dengan menjabarkan gaya radiasi yang terdiri dari koefisien added mass dan koefisien damping, maka persamaan diatas dapat ditulis menjadi:

$$\sum_{k=1}^{\theta} \{ (M_{jk} + A_{jk}) \ddot{X}_k + B_{jk} \dot{X}_k + C_{jk} X_k \} = F_j e^{i\omega t}$$

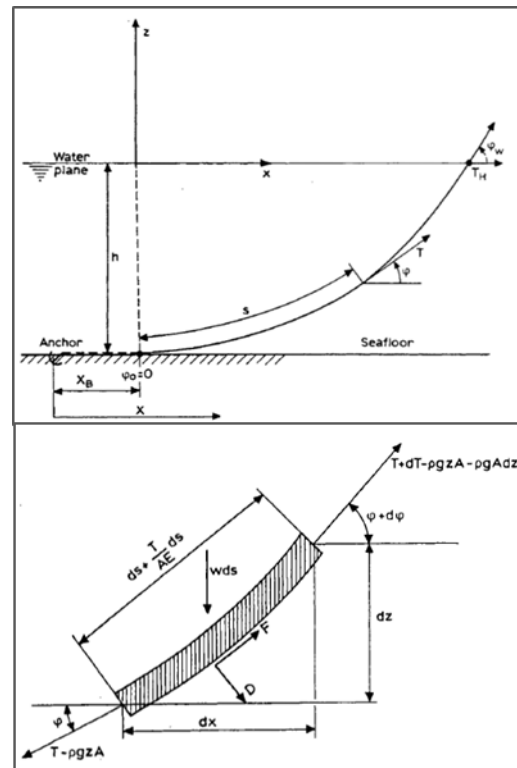
Response Amplitude Operator (RAO) merupakan fungsi transfer yang digunakan untuk menentukan dampak dari gaya lingkungan terhadap respons struktur terapung, dimana pada gelombang reguler, RAO merupakan rasio dari pergerakan struktur terhadap amplitudo gelombang yang menyebabkan pergerakan. Tiap nilai RAO melambangkan respon dari struktur terapung untuk tiap derajat kebebasan dan untuk tiap arah dan periode gelombang.

Spektrum dari respon merupakan respon densitas energi struktur akibat adanya spektrum densitas energi gelombang. Untuk sebuah sistem yang linear, fungsi RAO merupakan sebuah fungsi pangkat dan frekuensinya akan dikalikan

dengan spektrum gelombang untuk menghasilkan spektrum respon pada sebuah frekuensi, sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_{xx}(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S(\omega)$$

Catenary mooring adalah konfigurasi tali *mooring* yang paling banyak digunakan dan konvensional. Pada sistem *catenary mooring* ini gaya tarik yang terjadi pada tali *mooring* dipengaruhi oleh berat terendam dari tali *mooring*. Selain itu berat terendam dari garis *mooring* tidak sama dengan nol sehingga *mooring* tidak memiliki garis lurus melainkan berbentuk garis melengkung (*catenary*). Bentuk *catenary* mengikuti bentuk dari kurva *cosinus hyperbolic*. Ilustrasi dari *catenary mooring* dapat dilihat pada di bawah ini.



Gambar 2 Ilustrasi Gaya pada tali *mooring*
Sumber: Faltinsen, 1999

Berdasarkan ilustrasi pada Gambar 2, panjang minimum *mooring* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$l_s = a \sinh\left(\frac{x}{a}\right)$$

Posisi vertikal tali *mooring* di posisi x dapat dihitung menggunakan persamaan

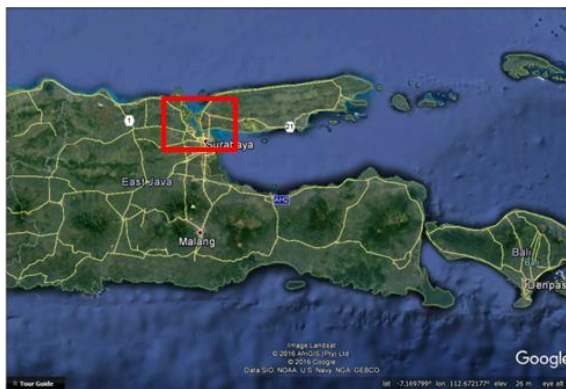
$$h = a \left[\cosh\left(\frac{x}{a}\right) - 1 \right]$$

dengan $a = T_H/w$

Sedangkan gaya tarik efektif untuk x dapat dihitung dengan persamaan:

$$T = T_H \cosh\left(\frac{x}{a}\right)$$

Lokasi studi yang ditinjau pada abstrak ini adalah Pelabuhan Manyar, yang berada di daerah Gresik, Jawa Timur dengan koordinat -7.082855° LU dan $112,640813^\circ$ BT. Lokasi ini berada di Selat Madura. Daerah lokasi proyek dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3 Citra *Google Maps* lokasi penelitian

Data ukuran kapal dapat dilihat pada Tabel 1 berikut

Tabel 1 Data Kapal yang digunakan dalam penelitian

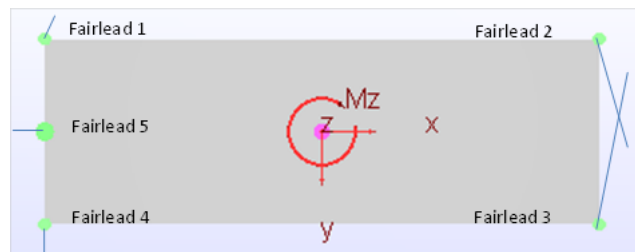
Properti	Nilai
Panjang (<i>LOA</i>)	54.864 m
Lebar (<i>Breadth</i>)	18.3 m
Tinggi (<i>Height</i>)	3.66 m
Kedalaman terendam (<i>Draft</i>)	3.11 m
Volume tercelup (<i>Displacement</i>)	2836.532 m ³

Data *fairlead* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada berikut

Tabel 2 Koordinat titik *fairlead* pada barge

Nama <i>Fairlead</i>	X (meter)	Y (meter)	Z (meter)
F1	-27.43	-9.15	3.66
F2	27.43	-9.15	3.66
F3	27.43	9.15	3.66
F4	-27.43	9.15	3.66
F5	-27.43	0.00	3.66

Konfigurasi *fairlead* dan tali *mooring* pada barge dapat dilihat pada berikut

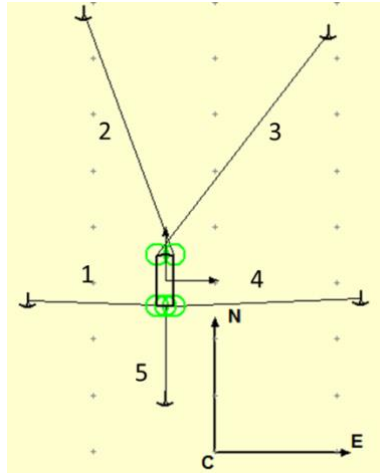


Gambar 4 Konfigurasi *fairlead* pada barge

Pada penelitian ini, data gelombang yang digunakan adklah dengan perioda ulang 1 tahun yang dapat dilihat pada Tabel 3 berikut

Tabel 3 Data gelombang

Arah Gelombang (°)	Hs (m)	Tp (s)
0	0.45	3.6
45	0.49	3.32
315	0.31	2.05
337,5	0.54	2.7



Gambar 5 Konfigurasi tali mooring

Sedangkan untuk data arus, kecepatan arus pada daerah tersebut adalah 0,1 m/s dengan arah datang 337,5°

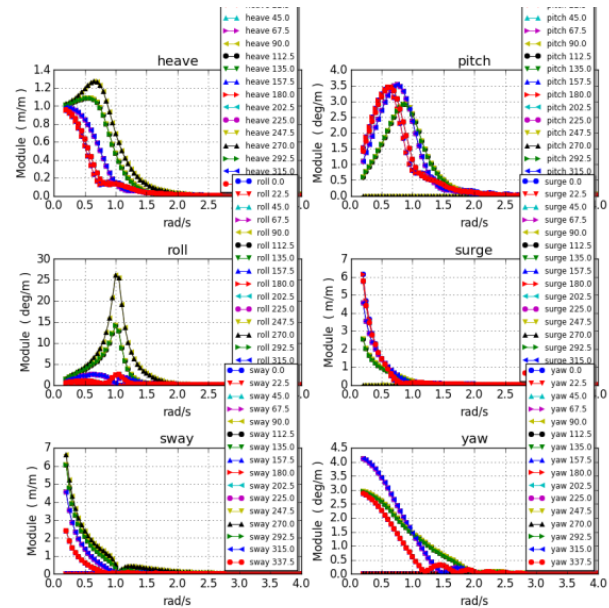
Mengacu pada kriteria desain API RP2SK, dapat dilihat kriteria desain yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai berikut

	Analysis Method	Tension Limit (Percent of MBS)	Equivalent Factor of Safety
Intact	Quasi-static	50	2.0
Intact	Dynamic	60	1.67
Damaged	Quasi-static	70	1.43
Damaged	Dynamic	80	1.25

Gambar 6 Kriteria desain API RP2SK

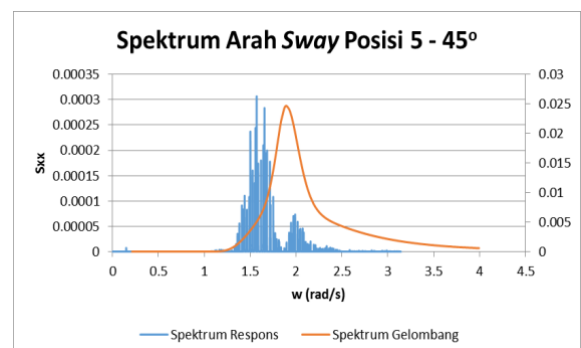
HASIL DAN ANALISIS

Pemodelan pertama yang dilakukan adalah pemodelan *barge* untuk mencari respons dari *barge* tersebut yang dapat dilihat pada berikut

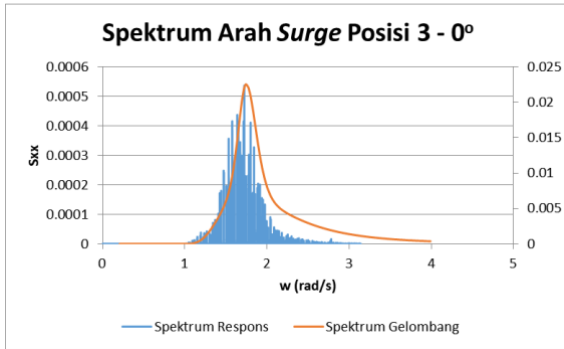


Gambar 7 Hasil RAO dari barge

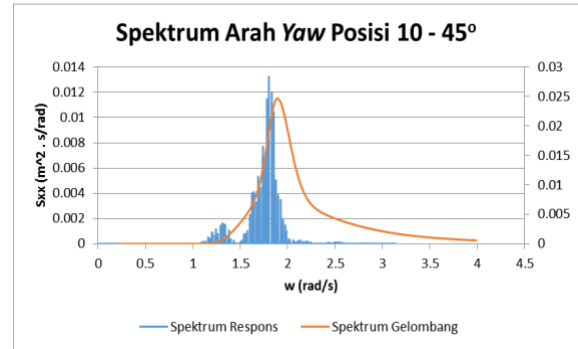
Setelah dilakukan pemodelan respons, dilakukan pemodelan sistem *mooring* dengan menggunakan gelombang reguler dan gelombang acak. Hasil spektrum pemodelan yang menghasilkan gaya maksimum untuk masing-masing derajat kebebasan dapat dilihat pada Gambar 8 Gambar 13 berikut



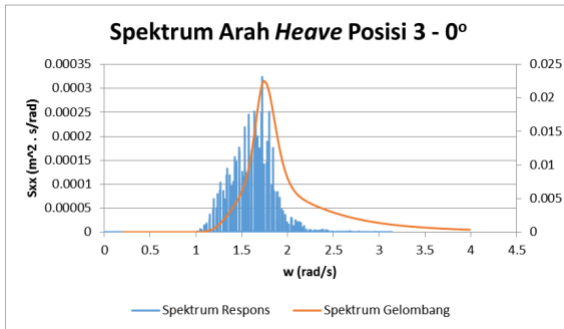
Gambar 8 Spektrum Arah Sway Posisi 5 Arah gelombang 45°



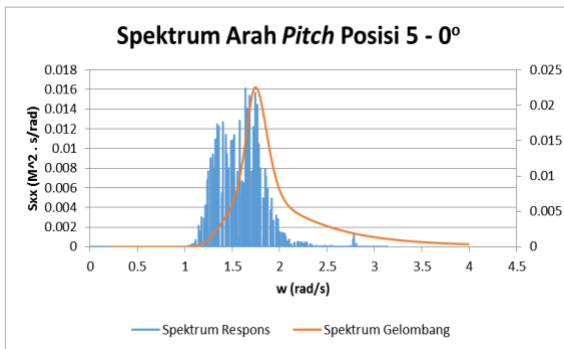
Gambar 9 Spektrum Arah Sway Posisi 3 Arah gelombang 0°



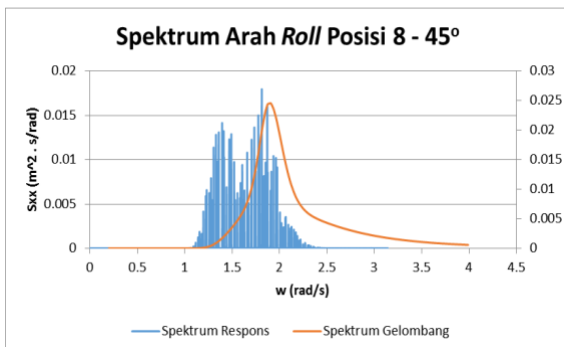
Gambar 13 Spektrum Arah Yaw Posisi 10 Arah gelombang 45°



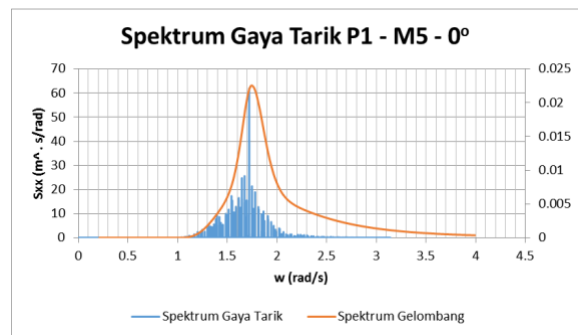
Gambar 10 Spektrum Arah Heave Posisi 3 Arah gelombang 0°



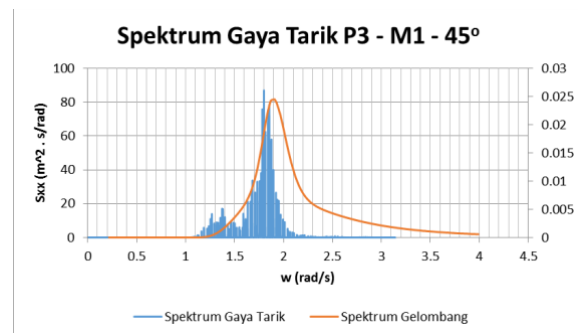
Gambar 11 Spektrum Arah Pitch Posisi 5 Arah gelombang 0°



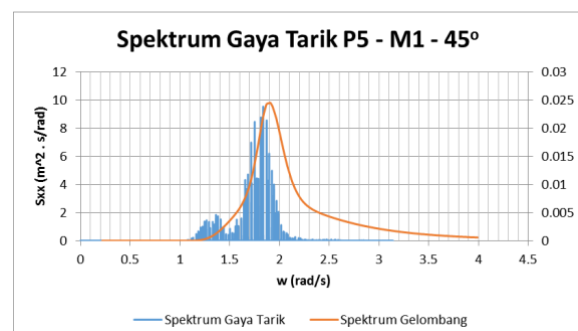
Gambar 12 Spektrum Arah Roll Posisi 8 Arah gelombang 0°



Gambar 14 Spektrum Gaya Tarik Pada Tali Mooring 5 Di Posisi 1 Dengan arah gelombang dari 0°

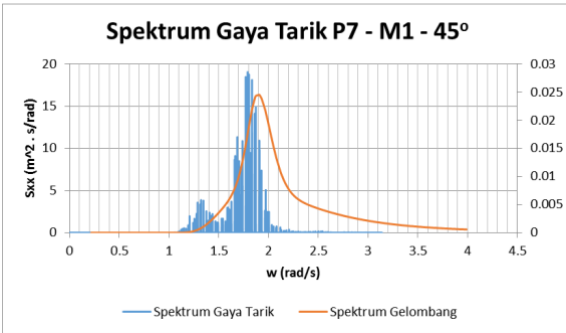


Gambar 15 Spektrum Gaya Tarik Pada Tali Mooring 1 Di Posisi 3 Dengan arah gelombang dari 45°

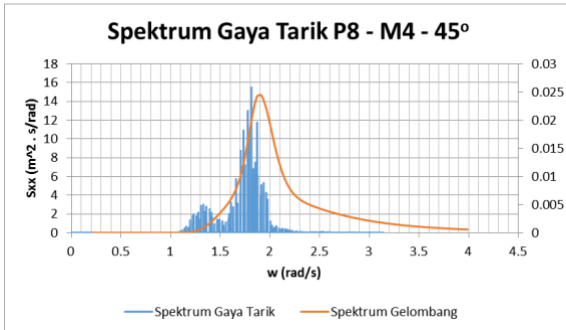


Gambar 16 Spektrum Gaya Tarik Pada Tali Mooring 1 Di Posisi 5 Dengan arah gelombang dari 45°

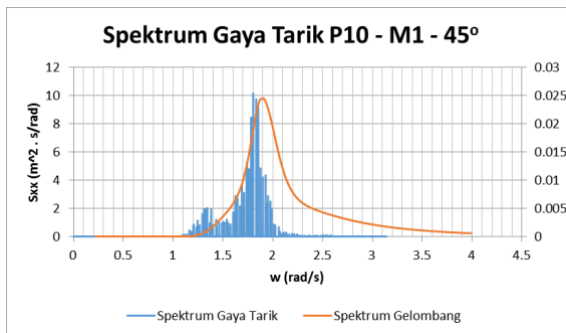
Sedangkan untuk spektrum gaya tarik paling maksimum untuk setiap frekuensi, dapat dilihat di bawah ini



Gambar 17 Spektrum Gaya Tarik Pada Tali Mooring 1 Di Posisi 7 Dengan arah gelombang dari 45°



Gambar 18 Spektrum Gaya Tarik Pada Tali Mooring 4 Di Posisi 8 Dengan arah gelombang dari 45°



Gambar 19 Spektrum Gaya Tarik Pada Tali Mooring 1 Di Posisi 10 Dengan arah gelombang dari 45°

Berdasarkan grafik spektrum respons dan grafik spektrum gaya tarik di atas, dapat disimpulkan bahwa frekuensi yang terkandung di dalam, kedua spektrum tersebut sesuai dan berdekatan. Umumnya terdapat 2 puncak pada spektrum dengan arah gelombang datang dari 45° dan 1 puncak pada arah gelombang datang 0°.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari Abstrak ini adalah:

1. Diameter tali *mooring* yang digunakan adalah 15 mm. Pemilihan diameter dilakukan dengan mempertimbangkan kesesuaian dengan kriteria desain API RP 2SK dan kondisi yang paling mendekati *steady-state* pada pemodelan dengan gelombang reguler.
2. Gaya tarik maksimum yang terjadi pada tali *mooring* saat proses pemancangan pada kedalaman 5,39 m di seluruh posisi dan konfigurasi tali *mooring* bernilai kurang dari *allowable minimum breaking load* sesuai kriteria desain API RP 2SK.
3. *Displacement* yang dihasilkan dari semua arah gelombang pada semua posisi sangat kecil (dalam domain millimeter), sehingga memenuhi kriteria dan kegiatan pemancangan dapat dilakukan
4. Perbandingan antara spektrum respons dengan spektrum gaya tarik menunjukkan kesesuaian dalam hal frekuensi dominan.

SARAN

Saran-saran yang dapat dilakukan untuk penelitian serupa di masa depan adalah:

1. Lakukan penelitian dengan menggunakan gaya lingkungan yang lebih banyak sehingga lebih merepresentasikan kondisi sebenarnya.
2. Lakukan penelitian dengan menggunakan data barge yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. 2005. *API RP 2SK: Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*. Washington D.C. : American Petroleum Institute
- Research Department Bureau Veritas. 2011. *Ariane 7 User Guide*. Veristar Offshore.
- Research Department Bureau Veritas. 2014. *Hydrostar fo Experts User Manual*. Veristar Offshore
- Dean, Robert G. dan Robert A. Dalrymple. 1991. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientist*. Singapura: World Scientific
- Faltinsen, O.M. 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structure*. Oxford: Elsevier Science & Technology
- McCormick, Michael E. 2010. *Ocean Engineering Mechanics with Applications*. Cambridge: Cambridge University Press
- Goda, Y. 2000. *Random Seas and Design of Maritime Structures*. Singapura: World Scientific
- Chakrabarti, Subrata K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. Plainfield: Computational Mechanics Publications
- Dharma, Wisnu Setia. 2015. *Analisis Penggantian Mooring Struktur Terapung*. Laporan Tugas Akhir Tidak Diterbitkan. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Lestari, Andini Putri Dwi. 2016. *Analisis Sistem Mooring Pipe Laying Barge Pada Proses Penggantian Section Pipa Bawah Laut*. Laporan Tugas Akhir Tidak Diterbitkan. Bandung: Institut Teknologi Bandung