

Analisis Respon Struktur *Cell Spar*

Senjaya Permana¹ dan Krisnaldi Idris²

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB,

Email: ¹permana.senjaya@yahoo.com dan ²krisnaldi@ocean.itb.ac.id

ABSTRAK

Cell Spar adalah sebuah struktur terapung yang digunakan untuk mengeksplorasi kandungan minyak bumi yang terletak di laut dalam. *Cell Spar* juga merupakan suatu struktur terapung yang dibentuk dari silinder-silinder dengan panjang yang berbeda dan di-las/digabungkan menjadi satu struktur yang lebih besar. Pergerakan struktur terapung terjadi akibat adanya pengaruh internal seperti geometri hull, konfigurasi mooring, dan juga konfigurasi riser, maupun pengaruh eksternal seperti gelombang, arus, dan angin. Pada karya tulis ini akan dilakukan analisis mengenai pengaruh eksternal terhadap pergerakan struktur *cell spar*.

Struktur *cell spar* yang menggunakan *system mooring* dengan konfigurasi 6 *mooring line* yang ditambatkan ke dasar laut dan dikenakan gaya dari delapan arah datang dan dengan menggunakan dua jenis gelombang yaitu gelombang reguler dan gelombang acak (JONSWAP) akan dimodelkan pada sebuah perangkat lunak.

Dalam tugas akhir ini, akan dianalisa respon perpindahan struktur *cell spar* kemudian akan ditinjau dan dibandingkan dengan standar perpindahan yang sudah diatur dalam API RP 2SK yaitu sebesar 10% kedalaman perairan. Selain respon struktur, gaya tarik yang dialami oleh tiap-tiap tali *mooring* akan ditinjau dan juga dibandingkan dengan standar yang sudah diatur dalam API RP 2SK yaitu dengan faktor keamanan sebesar 1.67 untuk kasus *intact* dan 1.25 untuk kasus *damage*.

Kata Kunci: *Cell Spar*, Respon Dinamik, *Spar Mooring*

PENDAHULUAN

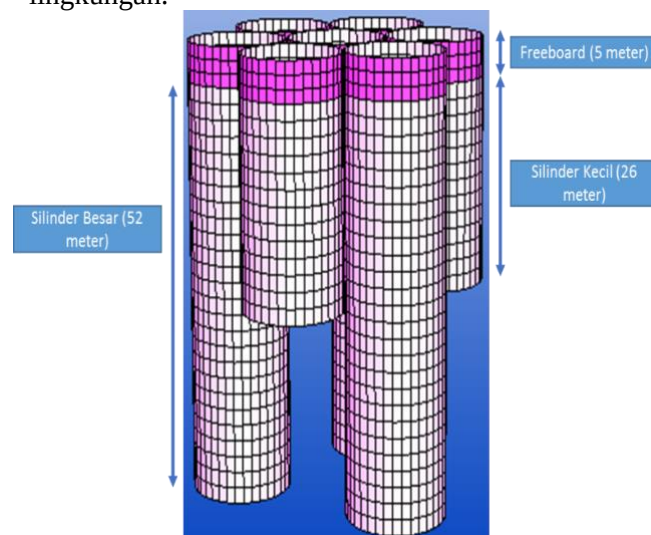
Kebutuhan energi dari minyak mentah terus meningkat tiap tahun seiring dengan peningkatan jumlah populasi. Seiring dengan peningkatan yang terjadi, cadangan minyak bumi dan gas alam yang terdapat di perairan dangkal pun semakin berkurang. Maka dari itu, saat ini kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi mulai berkembang ke wilayah laut dalam. Untuk ladang minyak dan gas bumi yang berlokasi di laut dalam, dibutuhkan fasilitas anjungan lepas pantai berupa *floating platform*. *Cell Spar* merupakan sebuah *floating platform* yang masih jarang digunakan di laut dalam meskipun jenis struktur ini sebenarnya sangat efektif, ekonomis dan efisien untuk digunakan di laut dalam.

Dalam proses desain *cell spar*, terdapat beberapa faktor penting yang harus diperhatikan yaitu kedalaman perairan, beban pada *cell spar* akibat gaya internal dan eksternal, dan faktor keamanannya. Untuk memperhatikan faktor-faktor tersebut, perlu dilakukan peninjauan lebih lanjut terhadap struktur *cell spar*. Proses peninjauan yang dilakukan adalah menganalisis respon struktur terhadap gaya-gaya luar (arus, angin, dan gelombang) dan gaya tarik pada *mooring line* sehingga perpindahan dan gaya tarik maksimal struktur tidak melebihi syarat yang telah ditetapkan oleh kode pada API RP 2SK. Proses peninjauan ini juga dilakukan pada dua jenis kasus yaitu kasus *intact* dimana seluruh tali *mooring* dapat menahan beban lingkungan yang terjadi dan kasus *damage* dimana salah satu tali *mooring* yang menahan gaya terbesar mengalami kegagalan sehingga terjadi respon pergerakan struktur dan tali *mooring* lain harus menahan beban yang lebih besar. Untuk itu, akan

dilakukan studi kasus menggunakan data lingkungan yang ada untuk mengetahui besar respon struktur dan gaya tarik *mooring line*. Selain itu, akan didapatkan juga nilai percepatan maksimal yang akan dialami struktur.

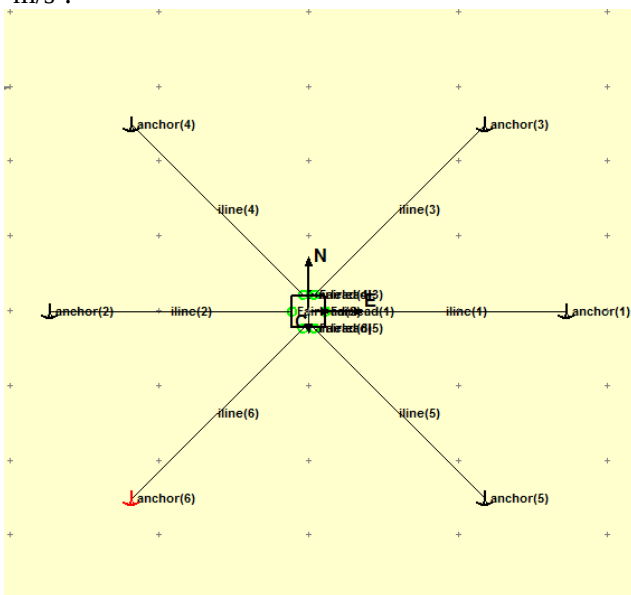
TEORI DAN METODOLOGI

Analisis respon struktur *cell spar* dilakukan dengan mendesain struktur *cell spar* (lihat **Gambar 1**) beserta sistem *mooring* yang tertambat pada struktur dengan menggunakan *software* dinamik kemudian meninjau pergerakan struktur *cell spar* yang ditahan oleh *mooring line* sehingga menghasilkan gaya tarik pada tiap-tiap *mooring line* akibat adanya beban lingkungan.



Gambar 1: Struktur *Cell Spar*

Data struktur, data *mooring*, dan beban-beban lingkungan di-input kedalam *software* yang kemudian akan melakukan analisis statik dan dinamik. Beban-beban lingkungan sendiri terdiri dari arus yang datang dari selatan, serta angin dan gelombang yang datang dari 8 arah (0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , dan 315°). Sedangkan sistem *mooring* terdiri atas 6 buah tali *mooring* yang ditambahkan pada struktur agar perpindahan struktur tidak terlalu besar dan melebihi batas ijin (Lihat **Gambar 2**). Peninjauan lebih lanjut dilakukan dengan membandingkan hasil respon struktur dan gaya tarik *mooring line* dengan syarat yang sudah diatur pada kode API RP 2SK. Dalam kode tersebut, tercantum bahwa perpindahan maksimal yang dapat dialami oleh struktur adalah sebesar 10% dari kedalaman, sedangkan gaya tarik maksimal yang terjadi diatur dengan menggunakan faktor keamanan sebesar 1.67 untuk kasus *intact* dan 1.25 untuk kasus *damage*. Respon gerak struktur akan menimbulkan percepatan yang dialami oleh struktur, semakin besar nilai percepatan akan membuat orang-orang yang bekerja di struktur tersebut semakin merasa tidak nyaman. Nilai percepatan maksimal sudah diatur dalam kode API 2A WSD yaitu sebesar 0.05 dari besar gravitasi (9.81 m/s^2) atau sebesar 0.49 m/s^2 .



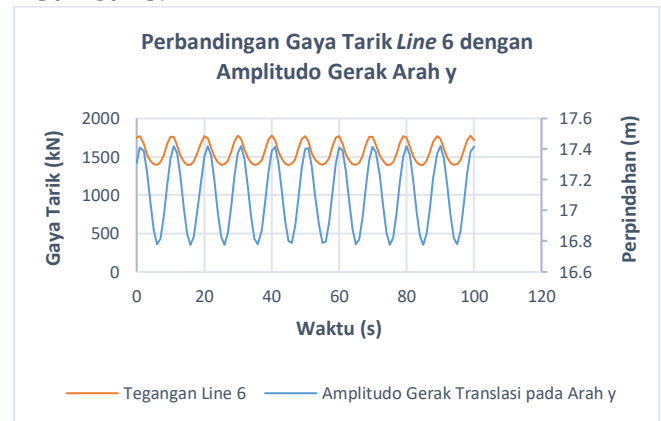
Gambar 2: Sistem *Mooring* dengan 6 Tali *Mooring* yang Digunakan (Utara : Atas, Timur : Kanan)

HASIL DAN ANALISIS

Analisis yang dicantumkan pada abstrak panjang ini terdiri dari nilai-nilai maksimal yang dialami struktur dan tali *mooring* pada kondisi *storm* dengan jenis gelombang reguler dan gelombang acak pada saat kasus *intact* dan *damage*.

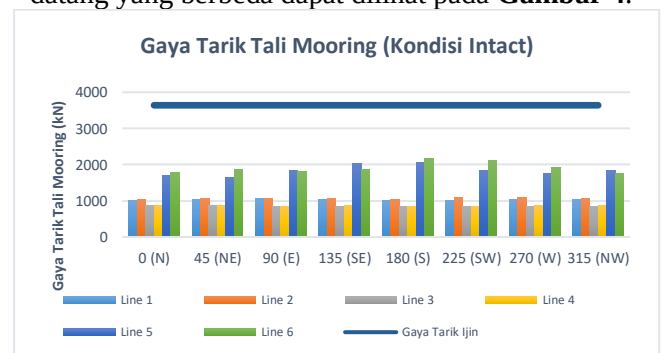
Pada kasus *intact* kondisi *storm*, perpindahan awal terbesar struktur adalah sebesar 21 meter ke arah utara dialami saat gaya angin dan arus datang dari arah yang sama yaitu arah selatan. Perpindahan ini tidak melebihi batas perpindahan yang telah ditentukan yaitu sebesar 102 meter. Perpindahan awal ini bernilai sama saat gelombang yang terjadi reguler maupun acak. Hal ini terjadi karena perpindahan awal tidak

diakibatkan oleh gaya gelombang. Gaya gelombang akan mempengaruhi besarnya amplitudo respon gerak yang dialami oleh struktur. Akibat gelombang reguler, amplitudo respon struktur maksimal terjadi pada sumbu y akibat gelombang datang dari arah utara dan selatan yaitu sebesar 0.32 meter. Jika dibandingkan dengan gaya tarik *line 6* yang dialami struktur, maka gaya tarik akan meningkat saat struktur bergerak menjauh. Perbandingan gaya tarik pada *line 6* dan amplitudo struktur pada sumbu y dapat dilihat pada **Gambar 3**.



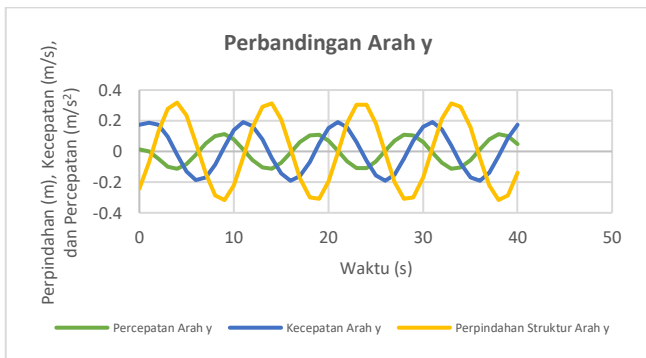
Gambar 3: Perbandingan Gaya tarik *Line 6* dengan Amplitudo Gerak Arah y Akibat Gelombang Reguler dari Arah Utara pada Kasus *Intact* saat Kondisi *Storm*

Sedangkan nilai gaya tarik yang dialami oleh tali *mooring* lainnya akibat gelombang reguler arah datang yang berbeda dapat dilihat pada **Gambar 4**.



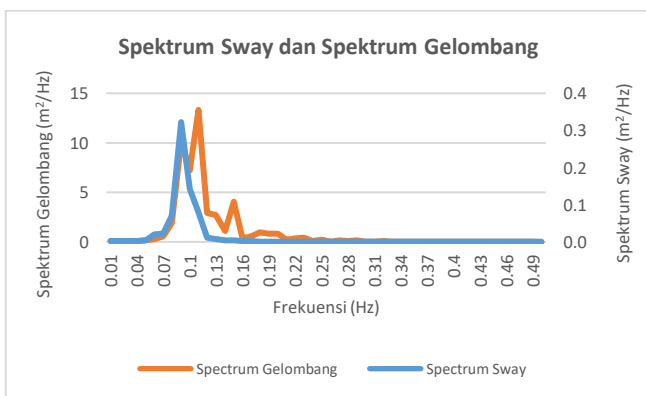
Gambar 4: Grafik Nilai Maksimum Gaya tarik Ijin pada Kasus *Intact* saat Kondisi *Storm* dengan Gelombang Reguler

Dari **Gambar 4**, dapat dilihat bahwa tidak ada gaya tarik yang melewati batas gaya tarik ijin yang telah ditentukan. Selain itu, dari data perpindahan yang didapatkan, dapat dilihat besar percepatan yang dialami struktur. Percepatan maksimum struktur terjadi pada sumbu y dengan besar 0.1 m/s^2 , seperti terlihat pada **Gambar 5**.

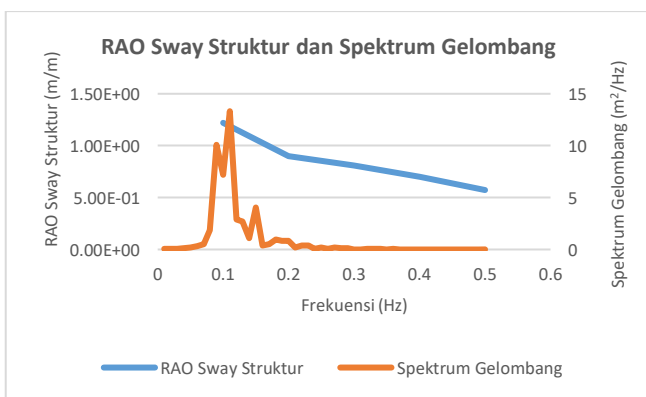


Gambar 5: Grafik Perbandingan Arah y Akibat Gelombang Reguler dari Utara pada Kasus *Intact* saat Kondisi *Storm*

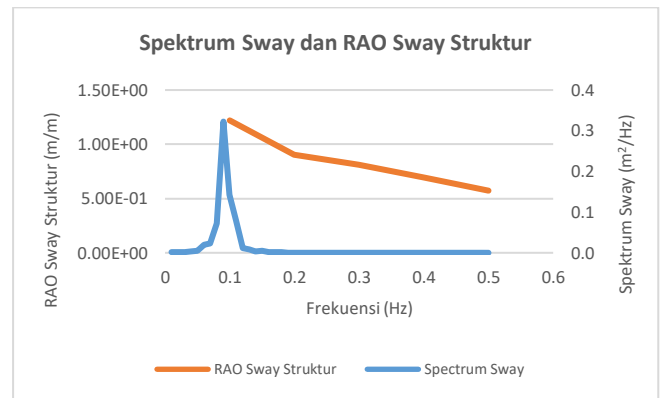
Pada kasus *intact* kondisi *storm* akibat gelombang acak mengakibatkan *time-series* respon struktur yang didapatkan juga dalam kondisi acak sehingga tidak dapat dilihat dalam grafik *time-series*. Untuk menganalisa pengaruh gelombang acak yang terjadi, maka akan ditinjau dari spektrum gerakan struktur terhadap spektrum gelombang dan RAO struktur. Perbandingan spektrum gerak struktur pada sumbu y, spektrum gelombang, dan RAO struktur dapat dilihat pada **Gambar 6**, **Gambar 7**, dan **Gambar 8**.



Gambar 6: Perbandingan Spektrum Sway dengan Spektrum Gelombang Akibat Gelombang Acak dari Arah Selatan pada Kasus *Intact* Kondisi *Storm*



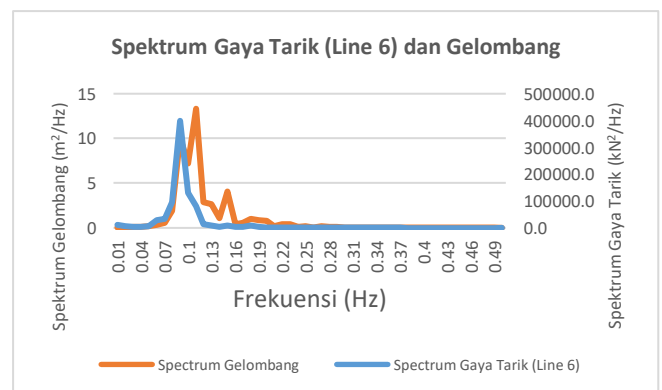
Gambar 7: Perbandingan RAO Sway dengan Spektrum Gelombang Acak dari Arah Selatan pada Kasus *Intact* Kondisi *Storm*



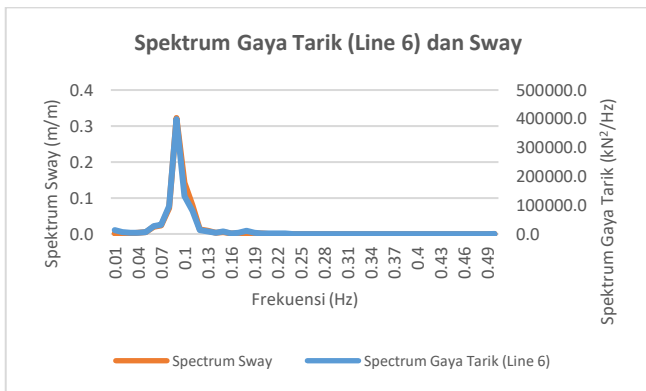
Gambar 8: Perbandingan RAO Sway dengan Spektrum Sway Akibat Gelombang Acak dari Arah Selatan pada Kasus *Intact* Kondisi *Storm*

Dari **Gambar 6**, dapat dilihat bahwa spektrum respon mencapai titik maksimal yaitu sebesar $0.3224 m^2/Hz$ saat spektrum gelombang baru akan mencapai titik maksimal yaitu $10.09 m^2/Hz$ pada frekuensi $0.09 Hz$. Spektrum gelombang akan mencapai maksimum pada frekuensi $0.11 Hz$, namun respon tidak mencapai maksimum saat frekuensi $0.11 Hz$, hal ini terjadi karena adanya pengaruh dari RAO sway struktur. Pada **Gambar 7**, dari nilai RAO struktur dapat dilihat frekuensi alamiah struktur adalah pada frekuensi $0.1 Hz$, sehingga terjadi respon maksimum bukan saat pengaruh gelombang mencapai maksimum namun saat terjadi gaya gelombang sebelum frekuensi alamiah struktur sehingga struktur sudah bergerak lebih dahulu. Hal ini juga dapat ditunjukkan pada **Gambar 8** dimana terlihat respon maksimal struktur terjadi di sekitar frekuensi alamiah struktur.

Sedangkan untuk gaya tarik maksimal terjadi pada *line 6*. **Gambar 9** menunjukkan perbandingan antara spektrum gaya tarik *line 6* dengan spektrum gelombang sedangkan **Gambar 10** menunjukkan perbandingan spektrum gaya tarik *line 6* dengan spektrum sway.

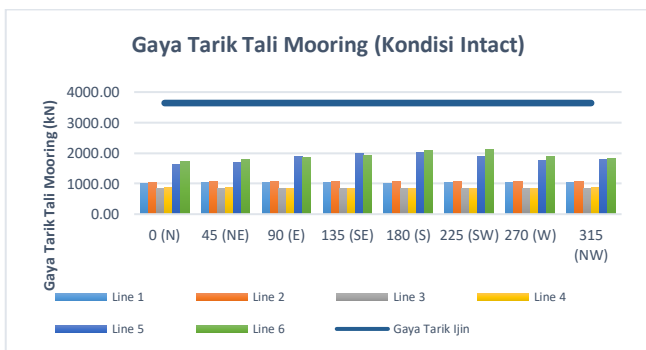


Gambar 9: Perbandingan Gaya tarik *Line 6* dengan Spektrum Gelombang Acak dari Arah Selatan pada Kasus *Intact* Kondisi *Storm*



Gambar 10: Perbandingan Gaya tarik *Line 6* dengan Spektrum Sway Akibat Gelombang Acak dari Arah Selatan pada Kasus *Intact* Kondisi *Storm*

Dari **Gambar 9** dan **Gambar 10**, dapat dilihat bahwa pada frekuensi 0.09 Hz, respon gerak struktur akan terjadi pada periode yang sama dengan respon gaya tarik yang dialami oleh *line 6*. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara pergerakan struktur dengan gaya tarik yang akan dialami oleh *mooring line*. Sedangkan nilai gaya tarik yang dialami oleh tali *mooring* lainnya akibat gelombang reguler arah datang yang berbeda dapat dilihat pada **Gambar 11**.



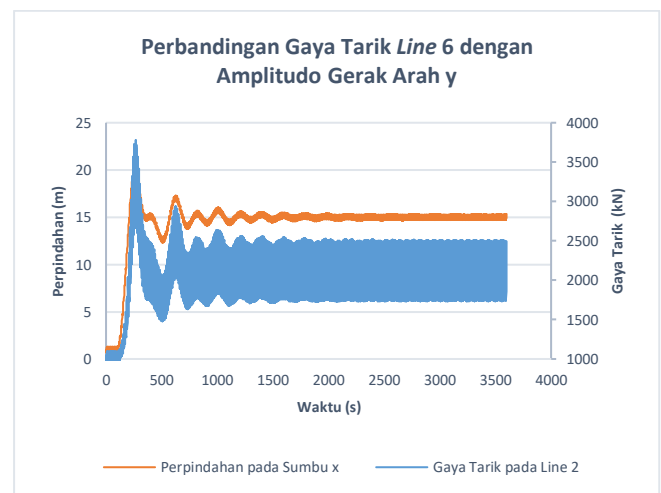
Gambar 11: Grafik Nilai Maksimum Gaya tarik Ijin pada Kasus *Intact* saat Kondisi *Storm* dengan Gelombang Acak

Dari **Gambar 11**, dapat dilihat bahwa tidak ada gaya tarik yang melewati batas gaya tarik ijin yang telah ditentukan. Selain itu, dari data perpindahan yang didapatkan, dapat dilihat besar percepatan yang dialami struktur. Percepatan maksimum struktur terjadi pada sumbu y dengan besar 0.074 m/s^2 , seperti terlihat pada **Gambar 12**.



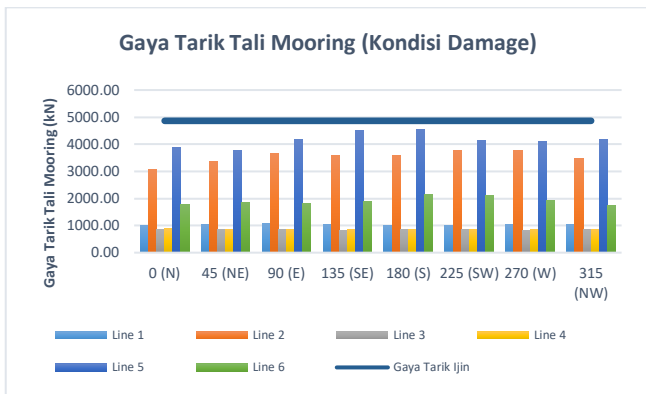
Gambar 12: Grafik Perbandingan Arah y Akibat Gelombang Acak dari Selatan pada Kasus *Intact* saat Kondisi *Storm*

Pada kasus *damage* kondisi *storm*, perpindahan awal terbesar struktur adalah sebesar 21 meter ke arah utara dialami saat gaya angin dan arus datang dari arah yang sama yaitu arah selatan. Pada detik ke-100, tali *line 6* mengalami kegagalan sehingga menyebabkan struktur bergerak lebih jauh ke arah utara sebesar 52 meter. Meskipun struktur berpindah lebih jauh ke utara, perpindahan ini tidak melebihi batas perpindahan yang telah ditentukan yaitu sebesar 102 meter. Perpindahan ini bernilai sama saat gelombang yang terjadi reguler maupun acak. Hal ini terjadi karena perpindahan tidak diakibatkan oleh gaya gelombang. Gaya gelombang akan mempengaruhi besarnya amplitudo respon gerak yang dialami oleh struktur. Akibat gelombang reguler, saat tali *mooring line 6* mengalami kegagalan, maka struktur akan bergerak menjauh ke arah timur dan utara. Akibat adanya pergerakan struktur, maka gaya tarik pada *line 2* dan *line 5* akan menanggung beban yang pada awalnya ditanggung oleh *line 6*. Perbandingan gerak struktur pada sumbu x dan gaya tarik yang dialami oleh *line 2* dapat dilihat pada **Gambar 13**.



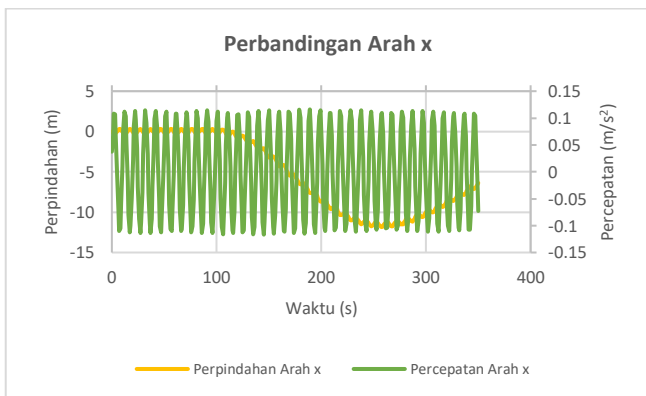
Gambar 13: Perbandingan Gaya tarik *Line 6* dengan Perpindahan Struktur pada Arah y Akibat Gelombang Reguler dari Arah Barat pada Kasus *Damage* Kondisi *Storm*

Pada **Gambar 13** dapat dilihat seiring dengan Bergeraknya menjauhnya struktur, maka gaya tarik yang dialami oleh *line 2* akan semakin bertambah karena harus menahan struktur agar tidak bergerak semakin jauh. Kenaikan gaya tarik juga dialami oleh *line 5* seiring Bergeraknya struktur ke arah utara, dan *line 5* yang akan menahan gaya paling maksimal. Nilai gaya tarik maksimal dari arah-arah lainnya dapat dilihat pada **Gambar 14**.



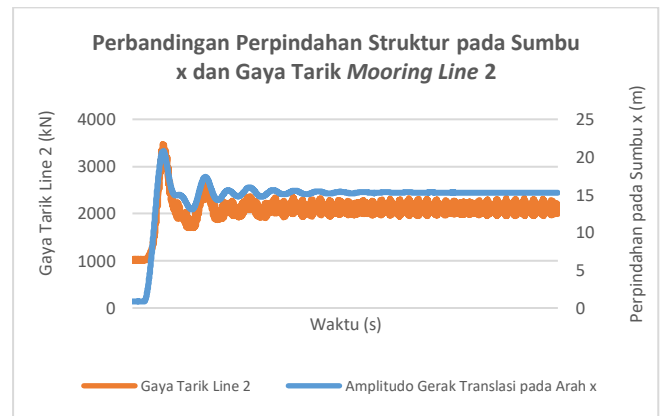
Gambar 14: Grafik Nilai Maksimum Gaya tarik Ijin pada Kasus *Damage* saat Kondisi *Storm* dengan Gelombang Reguler

Dari **Gambar 14**, dapat dilihat bahwa tidak ada gaya tarik yang melewati batas gaya tarik ijin yang telah ditentukan. Selain itu, dari data perpindahan yang didapatkan, dapat dilihat besar percepatan yang dialami struktur. Percepatan maksimum struktur terjadi pada sumbu y dengan besar 0.1 m/s^2 , seperti terlihat pada **Gambar 15**.



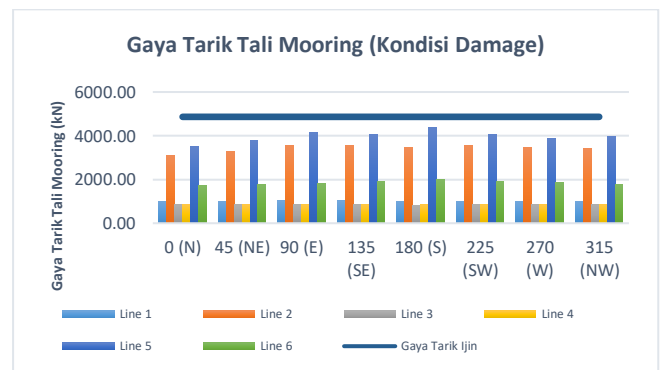
Gambar 15: Grafik Perbandingan Arah x Akibat Gelombang Reguler dari Barat pada Kasus *Damage* saat Kondisi *Storm*

Akibat gelombang acak, saat tali *mooring line 6* mengalami kegagalan, maka struktur akan bergerak menjauh ke arah timur dan utara. Akibat adanya pergerakan struktur, maka gaya tarik pada *line 2* dan *line 5* akan menanggung beban yang pada awalnya ditanggung oleh *line 6*. Perbandingan gerak struktur pada sumbu x dan gaya tarik yang dialami oleh *line 2* dapat dilihat pada **Gambar 16**.



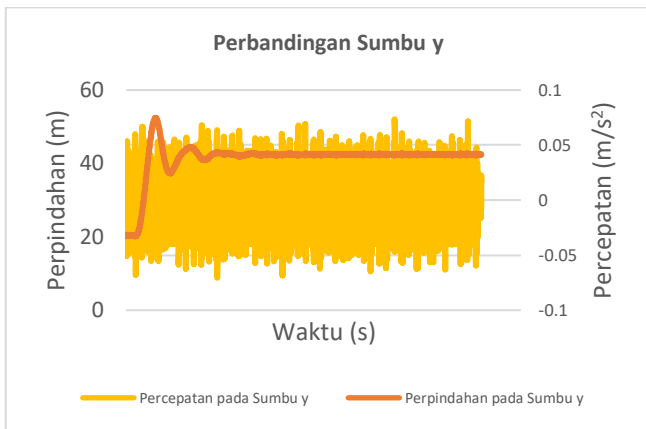
Gambar 16: Perbandingan Gaya tarik *Line 6* dengan Perpindahan Struktur pada Arah x Akibat Gelombang Acak dari Arah Barat pada Kasus *Damage* Kondisi *Storm*

Pada **Gambar 16** dapat dilihat seiring dengan Bergeraknya menjauhnya struktur, maka gaya tarik yang dialami oleh *line 2* akan semakin bertambah karena harus menahan struktur agar tidak bergerak semakin jauh. Kenaikan gaya tarik juga dialami oleh *line 5* seiring Bergeraknya struktur ke arah utara, dan *line 5* yang akan menahan gaya paling maksimal. Nilai gaya tarik maksimal dari arah-arah lainnya dapat dilihat pada **Gambar 17**.



Gambar 17: Grafik Nilai Maksimum Gaya tarik Ijin pada Kasus *Damage* saat Kondisi *Storm* dengan Gelombang Acak

Dari **Gambar 17**, dapat dilihat bahwa tidak ada gaya tarik yang melewati batas gaya tarik ijin yang telah ditentukan. Selain itu, dari data perpindahan yang didapatkan, dapat dilihat besar percepatan yang dialami struktur. Percepatan maksimum struktur terjadi pada sumbu y dengan besar 0.09 m/s^2 , seperti terlihat pada **Gambar 18**.



Gambar 18: Grafik Perbandingan Arah x Akibat Gelombang Reguler dari Barat pada Kasus *Damage* saat Kondisi *Storm*

SIMPULAN

1. Dari hasil simulasi menggunakan *software hydrostar*, didapatkan besar dari frekuensi natural untuk simpangan pada enam derajat kebebasan. Untuk simpangan *surge*, frekuensi natural struktur terdapat pada frekuensi 0.1 Hz (periode 62.83 s) pada arah datang barat dan timur. Untuk simpangan *sway*, frekuensi natural struktur terdapat pada frekuensi 0.1 Hz (periode 62.83 s) pada arah datang utara dan selatan. Untuk simpangan *heave*, frekuensi natural struktur terdapat pada frekuensi 0.4 Hz (periode 15.7 s) untuk semua arah datang gelombang. Untuk simpangan *roll*, frekuensi natural struktur terdapat pada frekuensi 0.1 Hz (periode 62.83 s) pada arah datang utara dan selatan. Untuk simpangan *pitch*, frekuensi natural struktur terdapat pada frekuensi 0.1 Hz (periode 62.83 s) pada arah datang barat dan timur. Untuk simpangan *yaw*, frekuensi natural struktur terdapat pada frekuensi 1.5 Hz (periode 4.18 s) pada arah datang barat laut, timur laut, tenggara, dan barat daya.
2. Dari hasil pemodelan dengan menggunakan *software Ariane*, angin dan arus menjadi faktor utama pergeseran awal struktur yang terjadi. Pergeseran awal struktur terbesar akan terjadi akibat arah angin dan arus yang bersamaan yaitu dari arah selatan. Pada kasus *intact* kondisi operasional, struktur bergeser sejauh 13.9 meter ke arah utara, sedangkan pada kasus *damage* kondisi operasional, struktur bergeser sejauh 45.3 meter ke arah utara. Pada kasus *intact* kondisi *storm*, struktur bergeser sejauh 21 meter ke arah utara, sedangkan pada kasus *damage* kondisi *storm*, struktur bergeser sejauh 52.4 meter ke arah utara.
3. Akibat gelombang reguler saat kondisi *intact*, besar amplitudo perpindahan struktur akan sangat dipengaruhi oleh arah datang gelombang dan RAO struktur. Pada kondisi operasional, amplitudo *surge* maksimum sebesar 0.04 meter akibat gelombang datang dari barat dan timur, amplitudo *sway* maksimum sebesar 0.04 meter akibat gelombang datang dari utara dan selatan, amplitudo *heave* memiliki nilai yang tidak berbeda jauh dari semua

arah gelombang datang, amplitudo *yaw* maksimum sebesar 0.04 derajat akibat gelombang datang dari barat laut, timur laut, tenggara, dan barat daya, amplitudo *roll* maksimum sebesar 0.22 derajat akibat gelombang datang dari utara dan selatan, dan amplitudo *pitch* maksimum sebesar 0.23 derajat akibat gelombang datang dari barat dan timur.

4. Akibat gelombang reguler saat kondisi *intact*, besar amplitudo perpindahan struktur akan sangat dipengaruhi oleh arah datang gelombang dan RAO struktur. Pada kondisi *storm*, amplitudo *surge* maksimum sebesar 0.22 meter akibat gelombang datang dari barat dan timur, amplitudo *sway* maksimum sebesar 0.32 meter akibat gelombang datang dari utara dan selatan, amplitudo *heave* memiliki nilai yang tidak berbeda jauh dari semua arah gelombang datang, amplitudo *yaw* maksimum sebesar 0.12 derajat akibat gelombang datang dari barat laut, timur laut, tenggara, dan barat daya, amplitudo *roll* maksimum sebesar 1.42 derajat akibat gelombang datang dari utara dan selatan, dan amplitudo *pitch* maksimum sebesar 1.42 derajat akibat gelombang datang dari barat dan timur.
5. Akibat gelombang acak, respon gerak struktur sangat dipengaruhi oleh besarnya gaya gelombang dan frekuensi terjadinya gelombang. Selain itu, respon gerak struktur juga sangat bergantung pada RAO yang dimiliki oleh struktur.
6. Percepatan maksimal saat kondisi *intact* yang dialami oleh struktur terjadi akibat gelombang datang dari arah utara saat kondisi *storm* dengan besar percepatan yaitu 0.1 m/s². Hal ini terjadi akibat besarnya pengaruh gelombang yang datang dari arah utara terhadap pergerakan struktur pada sumbu y.
7. Percepatan maksimal saat kondisi *damage* yang dialami oleh struktur terjadi akibat gelombang datang dari arah selatan saat kondisi *storm* dengan besar percepatan yaitu 0.1 m/s². Hal ini terjadi akibat pergerakan struktur secara tiba-tiba karena putus *line* 6.
8. Gaya tarik maksimal yang dialami tali *mooring* saat kasus *Intact* kondisi operasional adalah 1351.71 kN (akibat gelombang reguler) dan 1344.67 kN (akibat gelombang acak). Gaya tarik maksimal yang dialami tali *mooring* saat kasus *Intact* kondisi *storm* adalah 2160.96 kN (akibat gelombang reguler) dan 2101.45 kN (akibat gelombang acak). Gaya tarik maksimal yang dialami tali *mooring* saat kasus *damage* kondisi operasional adalah 3163.54 kN (akibat gelombang reguler) dan 3129.29 kN (akibat gelombang acak). Gaya tarik maksimal yang dialami tali *mooring* saat kasus *damage* kondisi *storm* adalah 4550.40 kN (akibat gelombang reguler) dan 4367.80 kN (akibat gelombang acak). Seluruh gaya tarik maksimum terjadi ketika arus, angin, dan gelombang datang dari selatan. Jenis gelombang tidak terlalu mempengaruhi gaya tarik pada tali *mooring*, hal ini terlihat dari selisih gaya tarik akibat gelombang reguler dan gelombang acak yang tidak terlalu besar.

SARAN

1. Perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk mendapatkan respon dinamik dari struktur *cell spar* dengan mempertimbangkan profil arus yang tidak seragam sepanjang kedalaman.
2. Perlu dilakukan variasi dalam konfigurasi *mooring* untuk mendapatkan hasil respon dan gaya tarik pada masing-masing *mooring* yang optimal

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institue. 2002. API 2A WSD
*Recommended Practice for Planning,
Designing and Constructing Fixed Offshore
Platforms-Working Stress Design.*
- American Petroleum Institute. 2005. API RP 2SK
*Design and Analysis of Stationkeeping
System for Floating Structure.*
- Chakrabarti, Subrata K. 1987. *Hydodynamics of
Offshore Structures*. Dorchester: Henry Ling
Ltd.
- Chakrabarti, Subrata K. 2005. *Handbook of Offshore
Engineering Volume 1*. Oxford: Elsevier.
- Chakrabarti, Subrata K. 2005. *Handbook of Offshore
Engineering Volume 2*. Oxford: Elsevier.
- Faltinsen, O.M. 1990. *Sea Loads on Ships and
Offshore Structures*. Cambridge: Cambridge
University Press.
- Dean, Robert dan Robert Dalrymple. 1991. *Water
Wave Mechanics for Engineers and
Scientists*. Singapore: World Scientific
Publishing Co. Pte. Ltd.
- Goda, Yoshimi. 2010. *Random Seas and Design of
Maritime Structures 3rd Edition*. Singapore:
World Scientific.
- Setiawan, Adi. 2012. Penentuan Distribusi Skewness
dan Kurtosis dengan Metode *Resampling*
Berdasar Densitas Kernel.