

ANALISIS PEMANFAATAN *BREAKWATER* TERAPUNG

Ivan Pranata¹ dan Krisnaldi Idris²

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganeca 10 Bandung 40132

¹ivanpranata17@yahoo.com dan ²krisnaldi@ocean.itb.ac.id

ABSTRAK

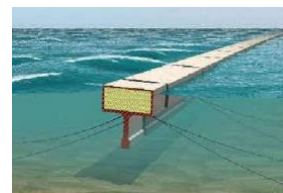
Breakwater merupakan struktur yang digunakan untuk melindungi pantai dengan cara melemahkan gelombang. Salah satu jenis struktur *breakwater* adalah *breakwater* terapung yang merupakan alternatif *breakwater* untuk laut dalam. Penggunaan *breakwater* terapung masih belum diandalkan, maka dari itu perlu diketahui kemampuannya dalam melemahkan gelombang. Seperti struktur terapung pada umumnya, *breakwater* terapung perlu diketahui kestabilannya. *Breakwater* terapung akan secara berkala dihantam oleh gaya-gaya lingkungan yaitu gaya gelombang sehingga dapat terjadi pergerakan struktur dari tempatnya. *Breakwater* terapung memerlukan sistem *mooring* untuk menjaga struktur pada posisinya. Sistem *mooring* yang digunakan perlu dianalisis lebih lanjut. Analisis yang dilakukan adalah mengenai respon pergerakan struktur, yaitu *Response Amplitude Operator* (RAO), nilai gaya tarik efektif pada tali *mooring*, serta perpindahan struktur setelah dipasang tali *mooring* yang akibat beban lingkungan. Nilai dari gaya tarik efektif dan perpindahan struktur dibandingkan dengan kriteria desain yang mengacu pada kode API RP 2SK. Dari hasil pemodelan, setelah menambah panjang tali *mooring*, pada kondisi *intact* dan *damage* didapatkan perpindahan struktur dan nilai tegangan efektif tali *mooring* sudah memenuhi kriteria desain.

Kata Kunci: *Floating, Breakwater, Catenary, Mooring, Hydrostar, Ariane*

PENDAHULUAN

Breakwater adalah struktur yang digunakan untuk melindungi suatu area pantai dari gelombang laut. *Breakwater* terapung cocok digunakan pada laut dalam dengan gelombang yang memiliki periode yang relatif kecil. Salah satu keuntungan penggunaan *breakwater*

terapung adalah biaya yang lebih murah untuk diaplikasikan di laut dalam.



Gambar 1. Ilustrasi *Breakwater* Terapung

Seperti struktur terapung pada umumnya, *breakwater* terapung perlu diketahui kestabilannya karena *breakwater* terapung akan dikenai beban lingkungan, yaitu gaya gelombang secara berkala. Selain itu dibutuhkan juga sistem *mooring* untuk menambah kestabilan struktur dari *breakwater* terapung.

Dalam Tugas Akhir ini, dilakukan analisis pada sistem *mooring breakwater* terapung yang digunakan untuk melindungi pelabuhan kondensat yang di daerah Sinorang, Sulawesi. Analisis dilakukan untuk dua bentuk *breakwater* terapung, yaitu bentuk balok dan bentuk balok dengan tambahan *screen* di bawah struktur. Analisis dilakukan untuk mengetahui nilai gaya tarik tali pada tali *mooring* yang terpasang pada *breakwater* terapung dan mengetahui besar perpindahan *breakwater* terapung dengan kondisi *intact* dan *damage*.

TEORI DAN METODOLOGI

Menurut teori difraksi, persamaan gaya gelombang memenuhi persamaan:

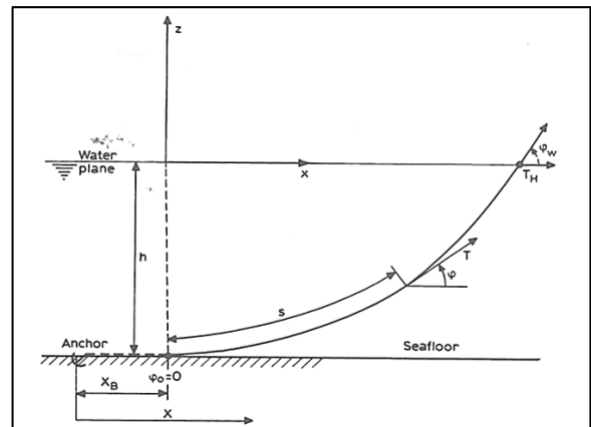
$$F = \int -\rho \frac{\partial(\phi_I + \phi_D)}{\partial t} n ds = F_{FK} + F_D \quad (1)$$

Jika struktur dikenai gelombang maka struktur akan bergerak. Persamaan gerak struktur akibat gelombang memenuhi persamaan (2).

$$(m + a)\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F_{FK} + F_D \quad (2)$$

Dalam pemodelan sistem *mooring*, jenis *mooring* yang digunakan adalah *catenary*

mooring. *Catenary mooring* adalah sistem *mooring* yang gaya tariknya dipengaruhi oleh berat terendam dari tali *mooring*. Dasar teori yang digunakan adalah *catenary mooring* menurut Faltinsen yang dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Sketsa Definisi *Catenary Mooring* (Faltinsen, 1990)

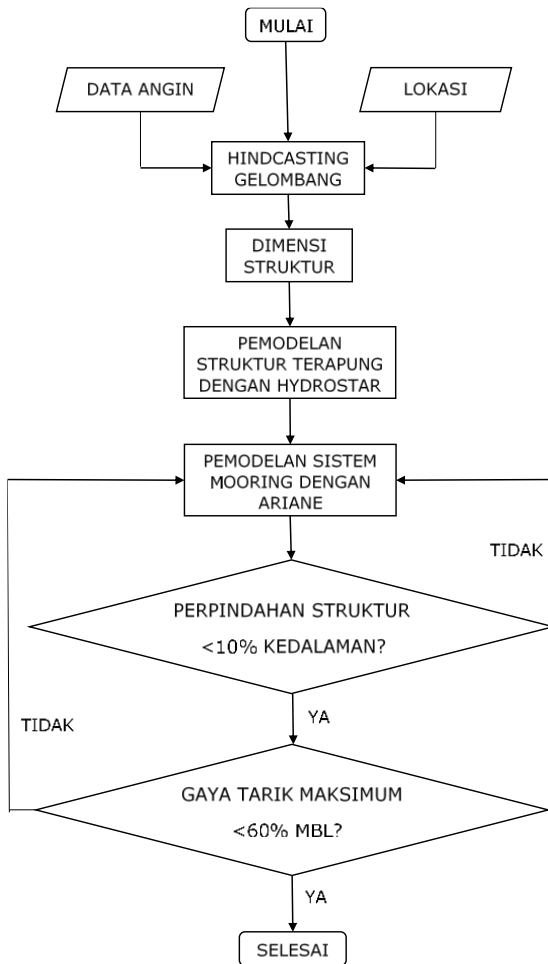
Jarak vertikal tali *mooring* pada setiap titik tinjau adalah:

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

Sedangkan gaya tarik pada setiap titik tinjau adalah:

$$T = T_H \cosh \left(\frac{x}{a} \right) \quad (4)$$

Secara umum, metodologi analisis yang dilakukan dapat dilihat dalam flowchart pada **Gambar 3**.



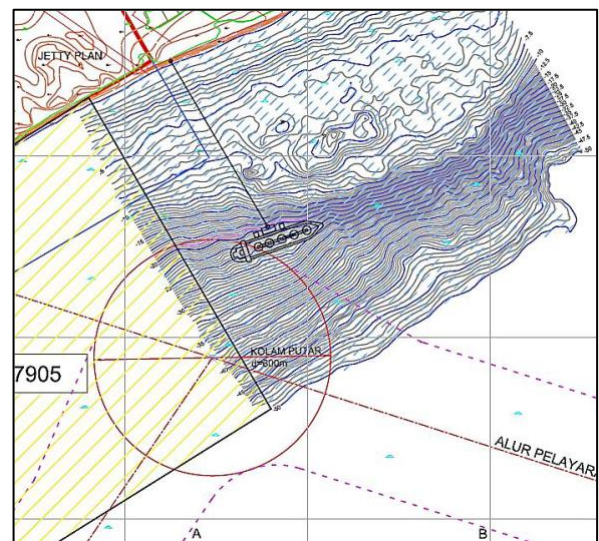
Gambar 3. Flowchart analisis yang dilakukan dalam penelitian

STUDI KASUS DAN PEMODELAN

Gambar 4 menunjukkan lokasi studi yang dipilih adalah pantai Sinorang, Sulawesi Tengah. *Breakwater* dibutuhkan pada pantai tersebut untuk menunjang kegiatan bongkat muat pelabuhan kondensat yang akan dibangun pada pantai tersebut seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 4. Lokasi Studi *Breakwater* Terapung (ditandai dengan penanda merah)



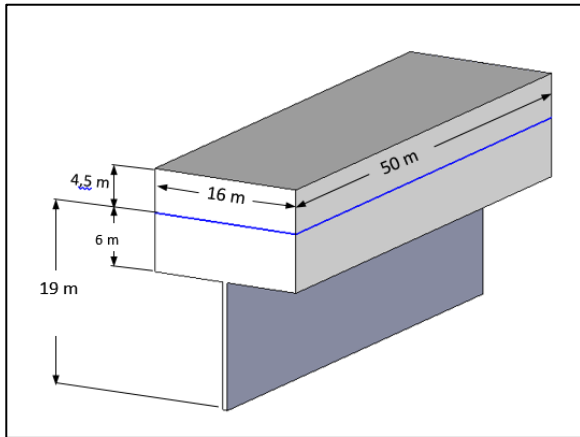
Gambar 5. Peta pelabuhan dan bathimetri pantai Sinorang

Gelombang yang digunakan berasal dari hindcasting memiliki tinggi seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Gelombang Ekstrim Pantai Sinorang

Periode Ulang (tahun)	Hs (m)	Ts (detik)
2	2,110	6,250
5	2,815	7,157
10	3,346	7,762
25	4,094	8,534
50	4,709	9,115
100	5,378	9,701

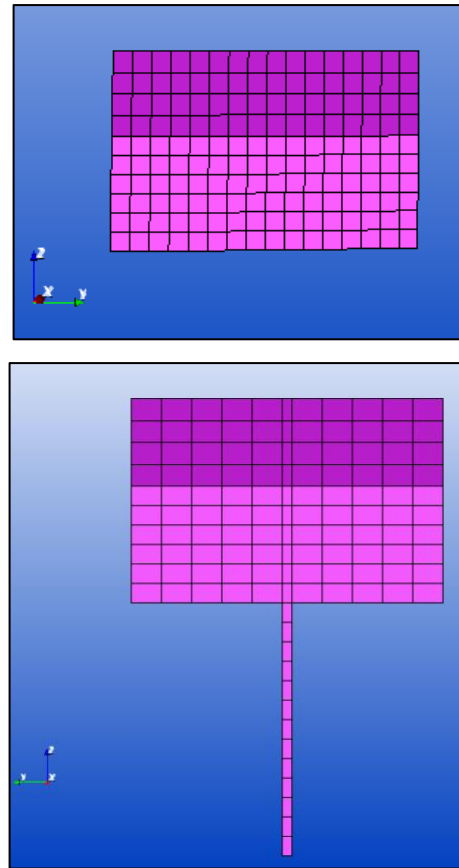
Dimensi struktur *breakwater* ditentukan berdasar gelombang dengan periode ulang 10 tahun, sehingga didapat dimensi struktur yang akan dimodelkan seperti pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Dimensi *Breakwater* untuk 1 segmen

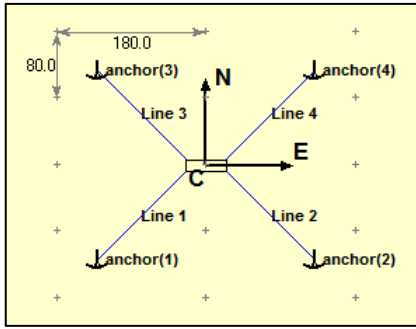
Tali *mooring* yang digunakan dalam pemodelan ini adalah type QRQ +20% studlink dengan *minimum breaking load* sebesar 2530 kN. Tali *mooring* akan dipasang 4 buah untuk satu segmen *breakwater* yang disebar pada setiap ujung *breakwater*. Pemodelan akan dilakukan pada laut dengan kedalaman 70 meter, sesuai dengan kedalaman pada lokasi *breakwater* akan diletakkan. Terdapat dua jenis *breakwater* yang akan dimodelkan menggunakan dua konfigurasi *mooring*, dua kondisi yaitu *intact* dan *damage* serta dua gelombang yaitu dengan periode ulang 10 tahun dan periode ulang 100 tahun. Pemodelan struktur terapung dilakukan menggunakan perangkat lunak Hydrostar untuk mendapat respon gerak struktur akibat gelombang. Pemodelan struktur terapung yang

dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 7**

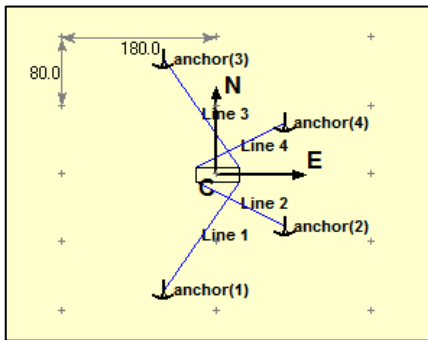


Gambar 7. Tampak Samping pemodelan struktur *breakwater* tanpa *screen* (atas) dan dengan *screen* (bawah)

Selanjutnya, pemodelan sistem *mooring* dilakukan menggunakan perangkat lunak Ariane untuk mendapatkan nilai perpindahan struktur dan gaya tarik efektif untuk tiap tali *mooring*. Pemodelan sistem *mooring* yang dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**.



Gambar 8. Konfigurasi tali *mooring* tidak menyilang



Gambar 9. Konfigurasi tali *mooring* menyilang

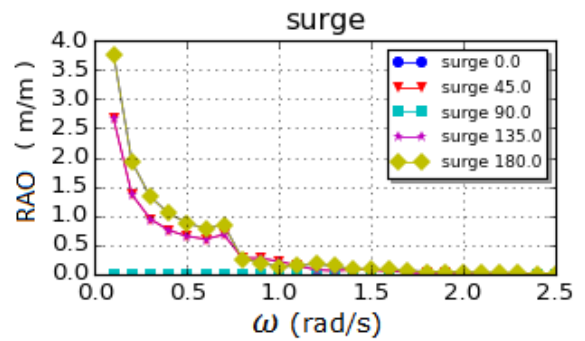
Nilai tegangan efektif dan perpindahan struktur yang didapat kemudian dibandingkan dengan kriteria desain yang mengacu pada API RP 2SK yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kriteria Desain

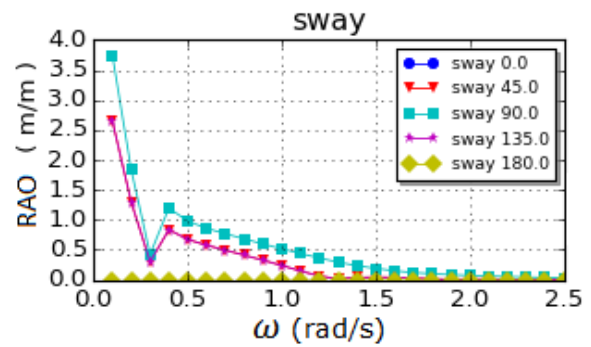
Kriteria	Nilai yang Diizinkan	Keterangan
Minimum breaking load Chain QRQ studlink 50 mm	1518 kN	Mengacu pada API RP 2 SK
Perpindahan maksimum breakwater saat intact	7 meter	Mengacu pada API RP 2 SK

HASIL DAN ANALISIS

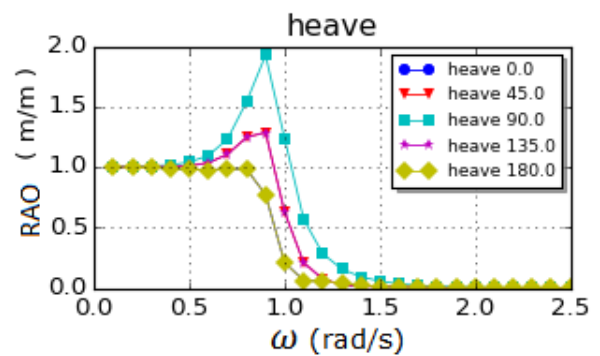
RAO Struktur dengan *Screen*



Gambar 10. RAO Surge Struktur dengan *screen*

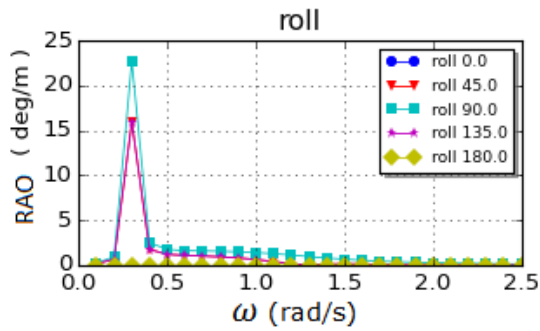


Gambar 11. RAO Sway Struktur dengan *screen*

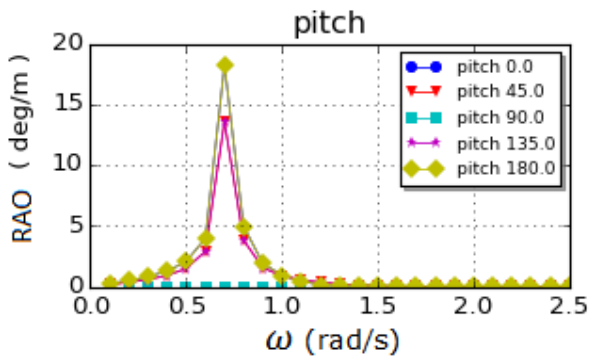


Gambar 12. RAO heave Struktur dengan *screen*

Dari **Gambar 12** diketahui struktur dengan *screen* memiliki frekuensi natural 0,9 rad/s dengan *heave* terbesar bernilai 1,92 m/m untuk gelombang dari arah selatan.

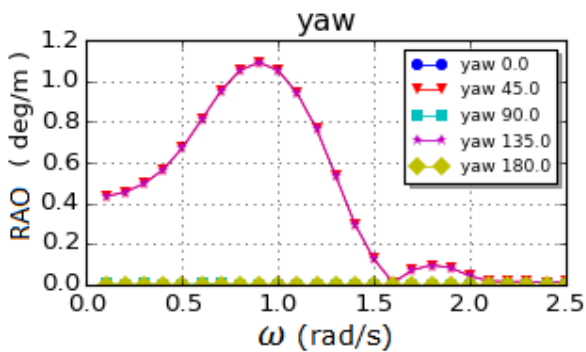


Gambar 13. RAO roll Struktur dengan *screen*
 Dari **Gambar 13** diketahui struktur dengan *screen* memiliki frekuensi natural 0,3 rad/s dengan roll terbesar bernilai 22,66 deg/m untuk gelombang dari arah selatan.



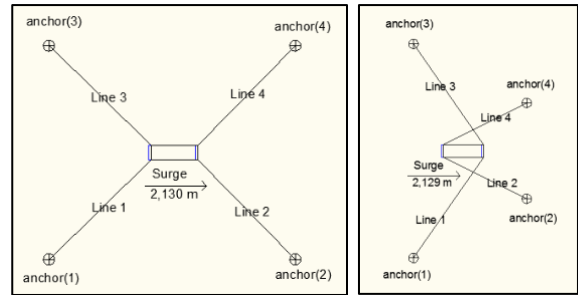
Gambar 14. RAO pitch struktur dengan *screen*

Dari **Gambar 13** diketahui struktur dengan *screen* memiliki frekuensi natural 0,7 rad/s dengan *pitch* terbesar bernilai 18,22 deg/m untuk gelombang dari arah selatan.

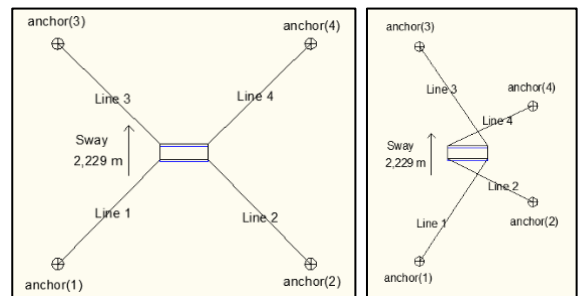


Gambar 15. RAO yaw struktur dengan *screen*

Kondisi Intact Awal



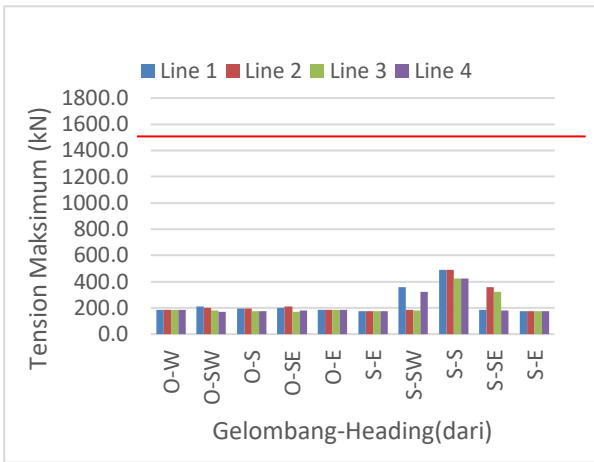
Gambar 16. Simpangan *surge* maksimum pada struktur dengan *screen* dengan menggunakan *mooring* tidak menyilang (kiri) dan *mooring* menyilang (kanan)



Gambar 17. Simpangan *sway* maksimum pada struktur dengan *screen* dengan menggunakan *mooring* tidak menyilang (kiri) dan *mooring* menyilang (kanan)

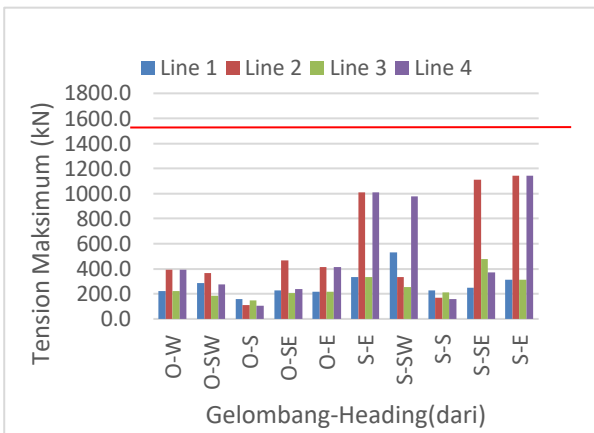
Pergerakan *surge* maksimum terjadi pada kondisi storm yaitu sebesar 2,130 meter akibat gelombang dengan arah datang 180°. Pergerakan *sway* maksimum terjadi pada kondisi storm yaitu sebesar 2,604 meter akibat gelombang dengan arah datang 90°. Perpindahan tersebut masih dibawah nilai kriteria desain yaitu 7 m.

1. Struktur tanpa *screen* menggunakan *mooring* tidak menyalang pada kondisi *intact*



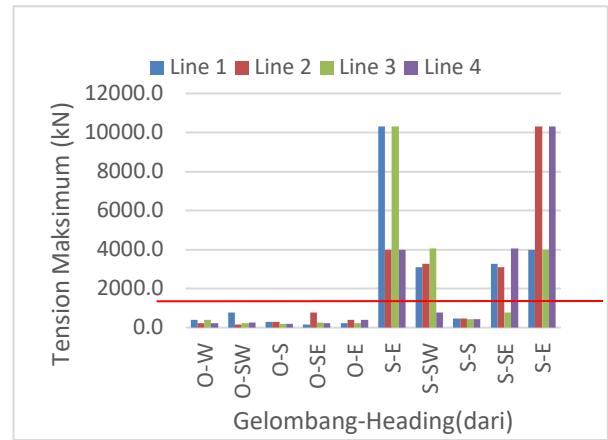
Gambar 18. Grafik gaya tarik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur tanpa *screen* pada kondisi *intact* dengan *mooring* tidak menyalang

2. Stuktur dengan *screen* menggunakan *mooring* menyalang pada kondisi *intact*



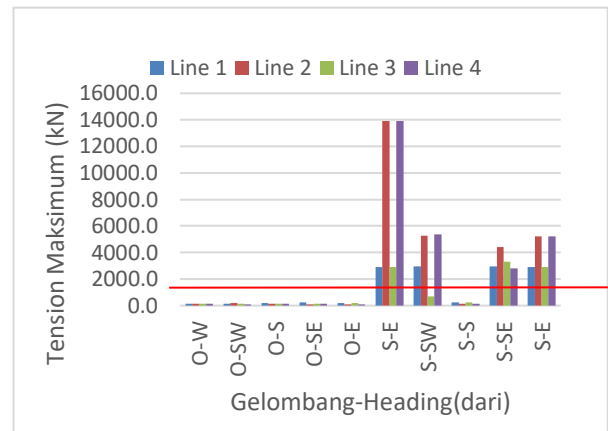
Gambar 20. Grafik gaya tarik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur tanpa *screen* pada kondisi *intact* dengan *mooring* menyalang

3. Struktur tanpa *screen* menggunakan *mooring* tidak menyalang pada kondisi *intact*



Gambar 19. Grafik gaya tarik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur dengan *screen* pada kondisi *intact* dengan *mooring* tidak menyalang

4. Stuktur dengan *screen* menggunakan *mooring* menyalang pada kondisi *intact*

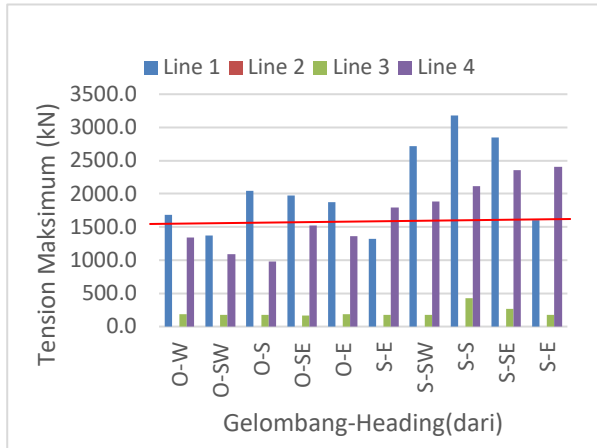


Gambar 21. Grafik gaya tarik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur dengan *screen* pada kondisi *intact* dengan *mooring* menyalang

Dari **Gambar 18** sampai **Gambar 21** diketahui pada kondisi *intact* awal, gaya tarik maksimum adalah 13.850,0 kN. Nilai tersebut melampaui kriteria desain yaitu sebesar 1518 kN. Maka dari itu dilakukan simulasi ulang dengan mengubah panjang tali *mooring*.

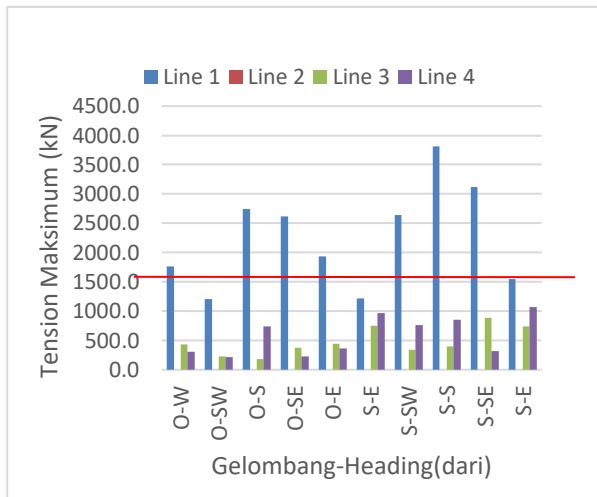
Kondisi *Damage* Awal

1. Struktur tanpa *screen* menggunakan *mooring* tidak menyilang pada kondisi *damage*



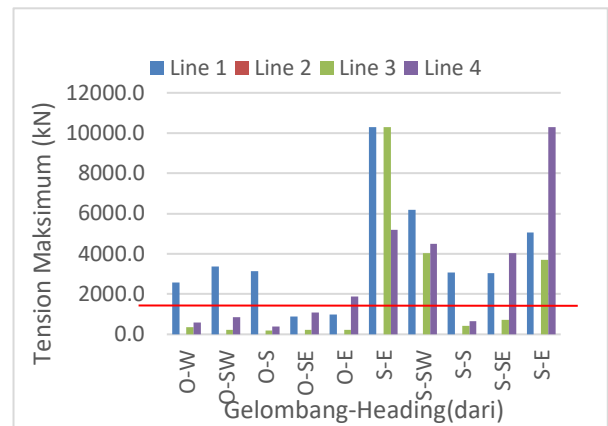
Gambar 22. Grafik gaya tarik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur tanpa *screen* pada kondisi *damage* dengan *mooring* tidak menyilang

2. Struktur tanpa *screen* menggunakan *mooring* menyilang pada kondisi *damage*



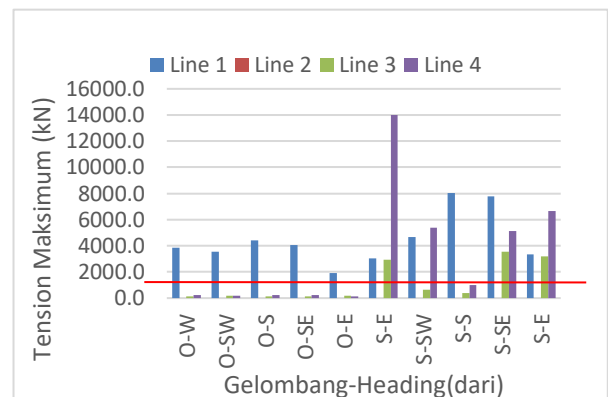
Gambar 23. Grafik gaya tarik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur tanpa *screen* pada kondisi *damage* dengan *mooring* menyilang

3. Struktur dengan *screen* menggunakan *mooring* tidak menyilang pada kondisi *damage*



Gambar 24. Grafik gaya tarik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur dengan *screen* pada kondisi *damage* dengan *mooring* tidak menyilang

4. Struktur tanpa *screen* menggunakan *mooring* tidak menyilang pada kondisi *damage*

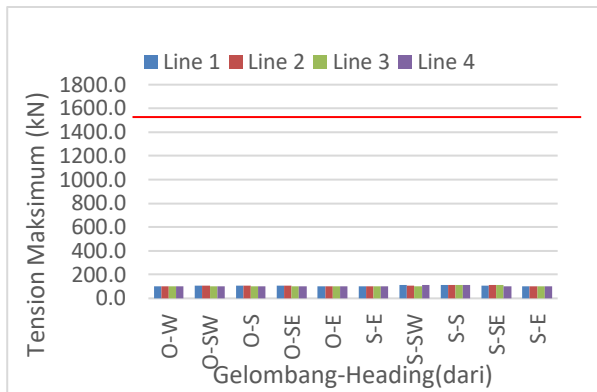


Gambar 25. Grafik gaya tarik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur dengan *screen* pada kondisi *damage* dengan *mooring* menyilang

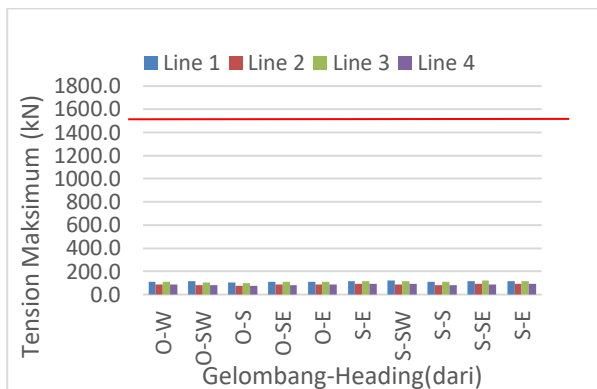
Dari **Gambar 22** sampai **Gambar 25** diketahui pada kondisi *damage* awal, gaya tarik maksimum adalah 14.003,0 kN. Nilai tersebut melampaui kriteria desain yaitu sebesar 1518 kN. Maka dari itu dilakukan simulasi ulang dengan mengubah panjang tali *mooring*.

Kondisi *Intact* Setelah Menambah Panjang Tali

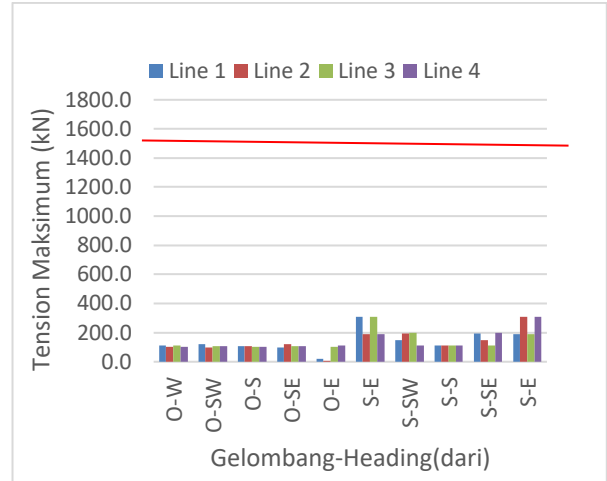
Setelah menambah panjang tali, pergerakan *surge* maksimum terjadi pada saat storm yaitu sebesar 2,130 meter akibat gelombang dengan arah datang dari barat. Pergerakan *sway* maksimum terjadi pada kondisi storm yaitu sebesar 2,229 meter akibat gelombang dengan arah datang dari selatan. Perpindahan tersebut masih dibawah nilai kriteria desain yaitu 7 m.



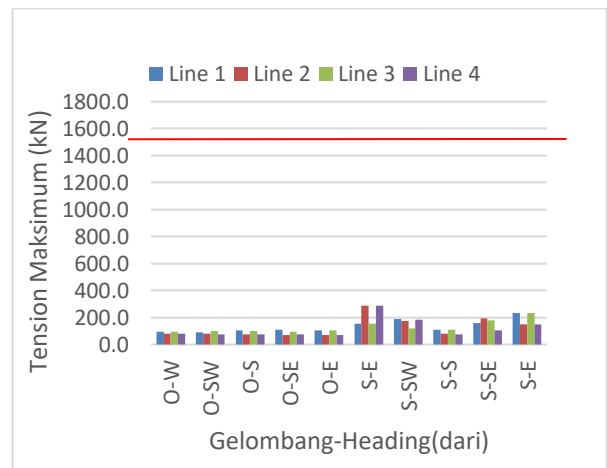
Gambar 26. Grafik gaya tarik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur tanpa *screen* pada kondisi *intact* dengan *mooring* tidak menyilang setelah mengubah panjang tali



Gambar 27. Grafik gaya tarik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur tanpa *screen* pada kondisi *intact* dengan *mooring* menyilang setelah mengubah panjang tali



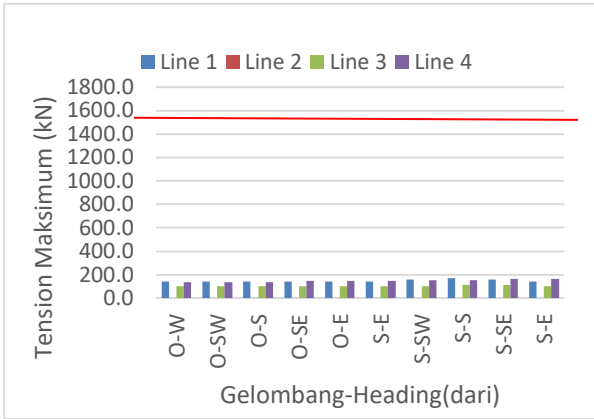
Gambar 28 Grafik gaya tarik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur dengan *screen* pada kondisi *intact* dengan *mooring* tidak menyilang setelah mengubah panjang tali



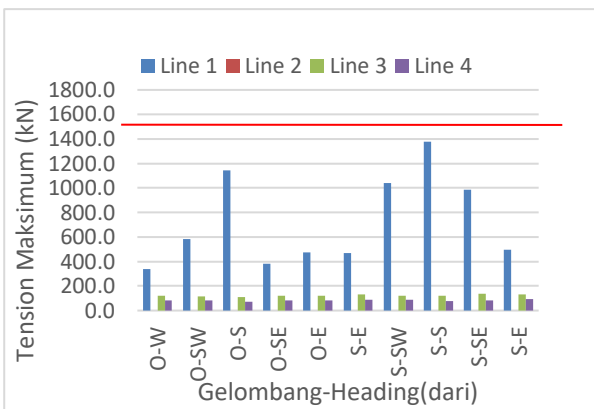
Gambar 29. Grafik gaya tarik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur dengan *screen* pada kondisi *intact* dengan *mooring* menyilang setelah mengubah panjang tali

Dari **Gambar 26** sampai **Gambar 29** diketahui setelah menambah panjang tali *mooring*, pada kondisi *intact* gaya tarik maksimum adalah 306,9 kN. Nilai tersebut dibawah 1518 kN sehingga memenuhi kriteria desain.

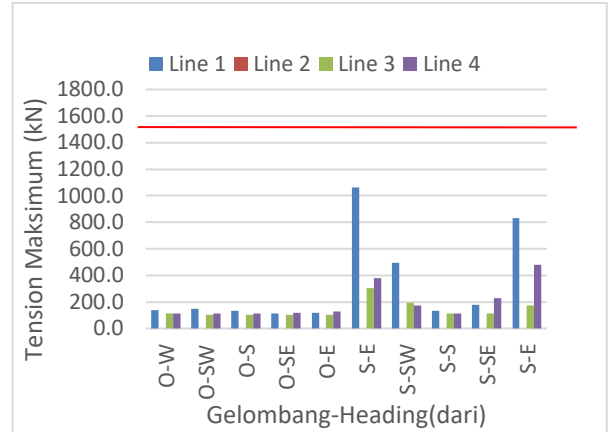
Kondisi *Damage* Setelah Menambah Panjang Tali



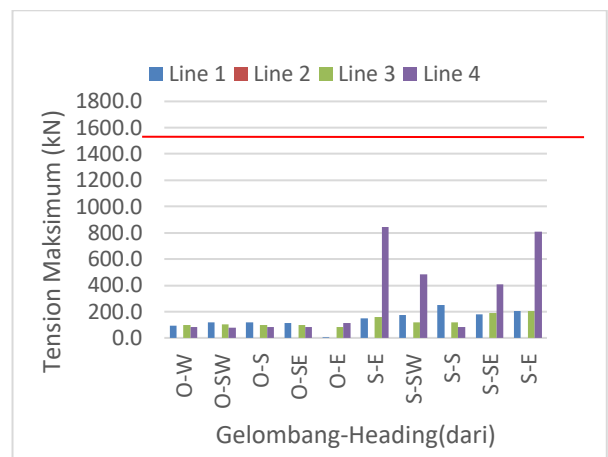
Gambar 30. Grafik gaya tartik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur tanpa *screen* pada kondisi *damage* dengan *mooring* tidak menyilang setelah mengubah panjang tali



Gambar 31. Grafik gaya tartik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur tanpa *screen* pada kondisi *damage* dengan *mooring* menyilang setelah mengubah panjang tali



Gambar 32. Grafik gaya tartik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur dengan *screen* pada kondisi *damage* dengan *mooring* tidak menyilang setelah mengubah panjang tali



Gambar 33. Grafik gaya tartik efektif maksimum tali *mooring* untuk struktur dengan *screen* pada kondisi *damage* dengan *mooring* menyilang setelah mengubah panjang tali

Dari **Gambar 30** sampai **Gambar 33** diketahui setelah menambah panjang tali *mooring*, pada kondisi *intact* gaya tarik maksimum adalah 1379,5 kN. Nilai tersebut dibawah 1518 kN sehingga memenuhi kriteria desain.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dapat disimpulkan bahwa:

1. *Breakwater* terapung tanpa *screen* dengan lebar 16 meter dan draft 6 m tidak dapat melemahkan gelombang karena memiliki nilai koefisien transmisi sebesar 1.
2. *Breakwater* terapung dengan *screen* dengan layout melintang sepanjang 750 m dapat melemahkan gelombang dari tinggi 3,346 m menjadi 1,148 atau dengan pengurangan sebesar 66 % sedangkan *breakwater* terapung dengan layout melintang sepanjang 750 m dapat melemahkan gelombang dari tinggi 3,346 m menjadi 1,163 atau dengan pengurangan sebesar 65%. Maka layout melintang lebih baik untuk diaplikasikan.
3. Dalam kestabilan statik *roll*, struktur tanpa *screen* memiliki nilai GM sebesar 1,31 m sedangkan struktur dengan *screen* memiliki nilai GM 1,34 m. Hal ini menyebabkan struktur dengan *screen* memiliki stabilitas *roll* yang lebih baik dibanding struktur tanpa *screen* karena memiliki nilai GM yang lebih besar.
4. Struktur tanpa *screen* memiliki frekuensi alamiah *heave* sebesar 0,9 rad/s, frekuensi alamiah *roll* sebesar 0,6 rad/s, dan frekuensi alamiah *pitch* sebesar 0,9 rad/s. Struktur dengan *screen* memiliki frekuensi alamiah *heave* sebesar 0,9 rad/s, frekuensi alamiah *roll* sebesar 0,3 rad/s, dan frekuensi alamiah *pitch* sebesar 0,7 rad/s.
5. Pada kondisi *intact*, perpindahan struktur untuk arah *surge* dan *sway* sudah lebih kecil dari 7 meter sehingga sudah memenuhi kriteria desain perpindahan struktur
6. Sebelum melakukan penambahan panjang tali, dalam kondisi *intact* struktur tanpa *screen* menghasilkan *tension* maksimum sebesar 491,6 kN untuk *mooring* tidak menyilang dan 1142,5 kN untuk *mooring* menyilang sedangkan struktur dengan *screen* menghasilkan *tension* maksimum sebesar 10.298 kN untuk *mooring* tidak menyilang dan 13.850 kN untuk *mooring* menyilang. Dalam kondisi *damage* struktur tanpa *screen* menghasilkan *tension* maksimum sebesar 3.175,6 kN untuk *mooring* tidak menyilang dan 3.809,6 kN untuk *mooring* menyilang sedangkan struktur dengan *screen* menghasilkan *tension* maksimum sebesar 10.296,0 kN untuk *mooring* tidak menyilang dan 14.003,3 kN untuk *mooring* menyilang. Terdapat *tension* yang tidak memenuhi kriteria desain karena melebihi 1518 kN.
7. Setelah melakukan penambahan panjang tali, dalam kondisi *intact* struktur tanpa *screen* menghasilkan *tension* maksimum sebesar 113,9 kN untuk *mooring* tidak

menyilang dan 121,5 kN untuk *mooring* menyilang. Struktur dengan *screen* menghasilkan *tension* maksimum sebesar 306,9 kN untuk *mooring* tidak menyilang dan 288,2 kN untuk *mooring* menyilang. Dalam kondisi *intact* struktur tanpa *screen* menghasilkan *tension* maksimum sebesar 171,3 kN untuk *mooring* tidak menyilang dan 1.379,5 kN untuk *mooring* menyilang. Struktur dengan *screen* menghasilkan *tension* maksimum sebesar 1.060,0 kN untuk *mooring* tidak menyilang dan 846,4 kN untuk *mooring* menyilang. *Tension* tersebut sudah dibawah 1518 kN, maka konfigurasi *mooring* setelah panjang tali *mooring* ditambah sudah memenuhi kriteria desain.

8. Struktur dengan *screen* menghasilkan *tension* yang lebih besar dibandingkan dengan struktur tanpa *screen*. namun untuk melemahkan gelombang, struktur *breakwater* dengan *screen* tetap dipilih karena memiliki kemampuan melemahkan gelombang yang lebih baik.
9. Setelah melakukan penambahan panjang tali, dalam kondisi *intact* Struktur dengan *screen* menghasilkan *tension* maksimum sebesar 306,9 kN untuk *mooring* tidak menyilang sedangkan untuk untuk *mooring* menyilang hanya 288,2 kN. Hal ini menunjukkan bahwa untuk kondisi *intact*, konfigurasi *mooring* yang

sebaiknya digunakan adalah konfigurasi menyilang.

Saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Dalam Tugas Akhir ini perhitungan difraksi dan refraksi gelombang dilakukan secara sederhana, tinggi gelombang akibat adanya *breakwater* akan lebih akurat jika dihitung lebih detail menggunakan software difraksi dan refraksi gelombang
2. Menganalisis sistem *mooring* dengan menyertakan beban arus dan angin
3. Menganalisis sistem *mooring* dengan menggunakan gelombang acak
4. Menganalisis sistem *mooring* untuk struktur lebih dari satu segmen

DAFTAR PUSTAKA

- Chakrabarti, Subrata K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structure*. Plainfield: Computational Mechanics Publication
- Dean, Robert G. dan Robert A. Dalrymple. 1991. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. Singapura: World Scientific.
- Faltinsen, O.M. 1990. *Sea Loads On Ships and Offshore Structures*. Cambridge: Cambridge University Press