

**PERANCANGAN SISTEM MOORING DAN ANALISIS GERAKAN PADA
JEMBATAN APUNG KAMPUNG LAUT CILACAP**
*Mooring System Design and Movement Analysis of Kampung Laut Cilacap Floating
Bridge*

Mochamad Reza Subagja¹ dan Krisnaldi Idris²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10, Bandung, 40132

¹reza.subagja@gmail.com ²krisnaldi@ocean.itb.ac.id

Abstrak: Sistem *mooring* adalah suatu sistem untuk menjaga kestabilan sebuah struktur terapung dari pengaruh gaya lingkungan yang bekerja pada struktur tersebut. Suatu sistem *mooring* memiliki kriteria desain yang harus dipenuhi oleh tali *mooring* yang terpasang. Selain itu, struktur terapung yang menjadi objek penelitian ini adalah jembatan apung yang digunakan oleh masyarakat, sehingga diperlukan kriteria desain tambahan yaitu kenyamanan pengguna jembatan dilihat dari percepatan translasi struktur jembatan apung. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan dibahas mengenai sistem *mooring* dan analisis respons gerak yang terjadi pada jembatan apung. Kondisi pasang-surut perairan dan beban penuh-kosong pada struktur menjadi kondisi yang diperiksa. Selain itu, sistem *mooring* diperiksa saat kondisi *intact* dan *damaged*. Dalam penelitian ini, pemodelan struktur terapung dan sistem *mooring* dilakukan menggunakan perangkat lunak HydroStar dan Ariane7. Gaya lingkungan yang diterapkan pada penelitian ini adalah gaya gelombang akibat pergerakan kapal dikombinasikan dengan gaya arus dan gaya angin. Analisis dilakukan berdasarkan standar yang terdapat pada API RP 2SK mengenai kriteria desain untuk gaya tarik tali *mooring* maksimum dan DRDC Toronto TR 2006-229 sebagai kriteria desain untuk percepatan translasi maksimum. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa gaya tarik tali *mooring* dan percepatan struktur yang terjadi pada sistem *mooring* memenuhi kriteria desain, baik pada kondisi *intact* maupun *damaged*.

Kata Kunci: *Sistem Mooring, Jembatan Apung, Gaya Tarik, Percepatan*

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki ratusan sungai, mulai dari sungai yang panjangnya puluhan hingga ribuan kilometer. Sungai-sungai di Indonesia tersebar di berbagai wilayah dan hampir di setiap pulau ada sungai yang mengalir.

Akses jalan merupakan hal yang sangat penting untuk melaksanakan aktivitas sehari-hari. Namun, sungai yang memotong daratan kerap kali menghambat akses jalan bagi penduduk sekitar. Berbagai upaya dilakukan agar dapat menyebrangi sungai, seperti membangun jembatan ataupun menggunakan kapal kecil. Akan tetapi, berbagai kondisi lingkungan terkadang menghambat upaya untuk

menyebrangi sungai.

Pembangunan jembatan terapung menjadi alternatif solusi yang dapat diterapkan. Jembatan terapung didukung oleh suatu struktur yang dapat mengapung di atas air seperti ponton. Selain itu, diperlukan sistem *mooring* untuk menjaga kestabilan dari jembatan terapung tersebut. Analisis sistem *mooring* dan respons gerak jembatan perlu dilakukan untuk memastikan jembatan terapung aman dan nyaman digunakan oleh masyarakat sebagai sarana penghubung akses jalan.

Tujuan dari penyusunan penelitian ini adalah menganalisis respons gerak dari jembatan terapung akibat kondisi lingkungan tertentu, menganalisis kenyamanan pengguna jembatan terapung ditinjau

dari percepatan translasi jembatan terapung saat kondisi operasi, dan menganalisis gaya tarik tali *mooring* dalam suatu sistem *mooring* jembatan terapung.

Aspek yang akan dikaji dari penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut.

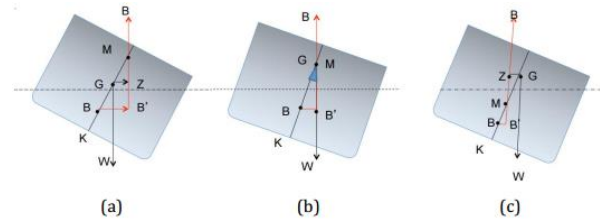
1. Pemodelan struktur terapung, yaitu Jembatan Apung Kampung Laut Cilacap. Pemodelan struktur yang dibentuk hanya pontonnya saja tetapi tetap mempertahankan dimensi sebenarnya.
2. Pemodelan sistem mooring pada jembatan terapung dilakukan pada kondisi pasang dan surut serta kondisi beban penuh dan beban kosong.
3. Analisis respons gerak dari jembatan terapung hanya akibat gaya lingkungan seperti gaya arus, angin, dan gaya gelombang akibat pergerakan kapal yang melintas.
4. Analisis kenyamanan pengguna jembatan terapung ditinjau dari percepatan translasi jembatan terapung saja. Syarat batas percepatan kondisi operasi mengacu pada *Technical Report DRDC Toronto TR 2006-229 "A Review on the Effects of Frequency of Oscillation on Motion Sickness"*.
5. Analisis gaya tarik tali pada sistem *mooring* dengan syarat batas berdasarkan kriteria desain *API RP 2SK "Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures"*. Analisis dilakukan untuk kondisi *intact*, yaitu kondisi seluruh tali mooring terpasang, dan *damaged*, yaitu kondisi salah satu tali terputus

TEORI DAN METODOLOGI

Struktur terapung

Stabilitas dan derajat kebebasan dari struktur terapung dijelaskan sebagai berikut.

Kestabilan struktur terapung terbagi dalam tiga kondisi dilihat dari posisi titik metasentris (M) terhadap titik pusat gravitasi (G) dengan ilustrasi seperti pada *Gambar 1*.

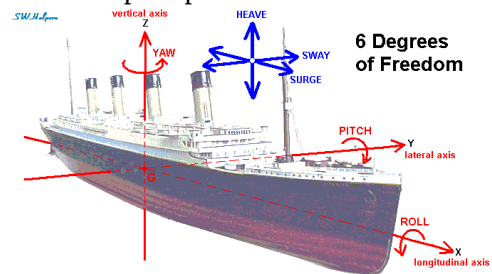


Gambar 1 Stabilitas struktur terapung kondisi:

a) stabil b) netral c) tidak stabil

Sumber: (Corsano, 2014)

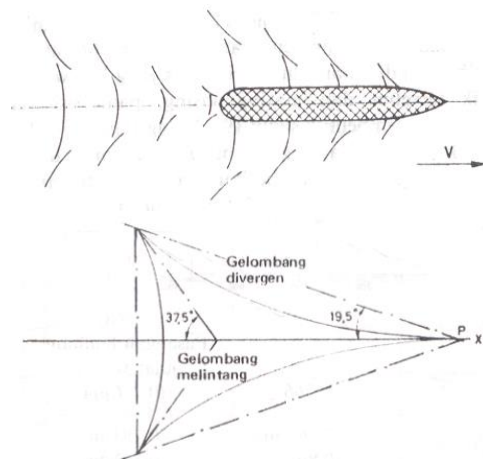
Derajat kebebasan pada struktur terapung ada enam, yang terbagi menjadi gerak translasi dan gerak rotasi seperti pada *Gambar 2*.



Gambar 2 Enam derajat kebebasan struktur terapung

Pola gelombang akibat pergerakan kapal

Pola gelombang berdasarkan pengamatan pada sebuah titik tunggal yang bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan air, terdiri dari gelombang melintang (*transverse wave*) dan gelombang divergen (*diverging wave*). Ilustrasi pola gelombang akibat pergerakan kapal seperti pada *Gambar 3*.

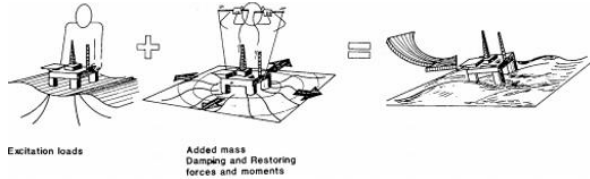


Gambar 3 Sudut gelombang melintang dan divergen

Sumber: (Tawekal, 2015)

Respons struktur terapung akibat gelombang

Respons dari struktur akibat gelombang dapat ditentukan dengan menganalisis struktur berdasarkan sudut pandang hidrodinamika. Dalam kasus ini struktur terapung berada pada daerah gelombang yang teratur (*regular wave*). Superposisi gaya eksitasi (*excitation load*) dan gaya radiasi (*radiation load*) menghasilkan respons pada struktur terapung seperti ilustrasi pada Gambar 4.



Gambar 4 Superposisi antara gaya eksitasi, added mass, damping, dan restoring loads

Sumber: (Faltinsen, 1990)

Dalam bentuk matematis, gaya hidrodinamika total dari superposisi tersebut dapat ditulis dengan persamaan berikut.

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

Dengan menjabarkan gaya radiasi yang terdiri dari koefisien *added mass* dan koefisien *damping*, maka persamaan di atas 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)

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.

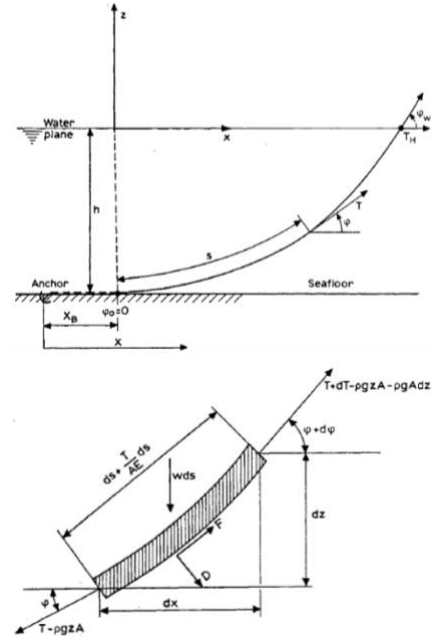
Spektrum dari respon merupakan respon densitas energi struktur akibat adanya spektrum densitas energi gelombang. Untuk sebuah sistem yang linear, fungsi RAO merupakan sebuah fungsi pangkat dan frekuensinya akan dikalikan

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

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 Gambar 5.



Gambar 5 Ilustrasi catenary mooring

Sumber: (Faltinsen, 1990)

Berdasarkan ilustrasi, 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

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

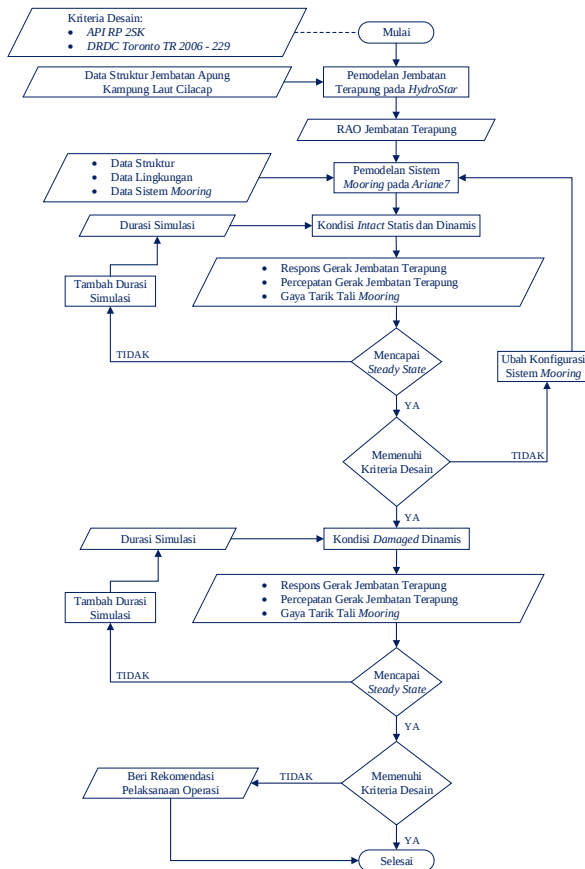
dengan $a = T_H/w$

Sedangkan gaya tarik efektif untuk x dapat dihitung dengan persamaan:

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

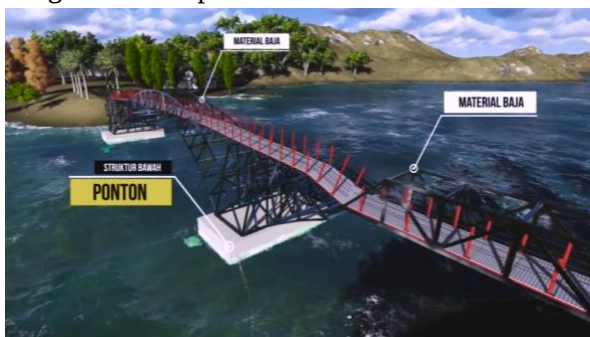
Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6 Diagram alir pengerjaan penelitian Studi Kasus

Struktur terapung yang dijadikan objek studi adalah Jembatan Apung Kampung Laut Cilacap dengan ilustrasi pada Gambar 7.



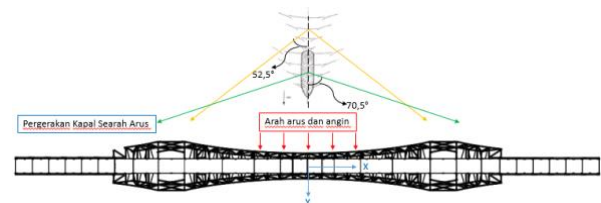
Gambar 7 Ilustrasi Jembatan Apung

Dimensi dari jembatan apung terdapat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Dimensi Overall Jembatan Apung

Dimensi	Struktur atas (m)	Ponton (m)
Panjang	70,412	8,000
Lebar	5,600	4,600
Tinggi	7,324	1,320

Gaya lingkungan yang diterapkan adalah gaya gelombang akibat kapal dengan nilai tinggi gelombang 0,6 m dengan perioda 3 detik, gaya arus dengan kecepatan 1,06 m/s, dan gaya angin dengan kecepatan 3,6 m/s. Gaya gelombang dalam empat arah dibebankan secara bersamaan. Kondisi yang menghasilkan nilai gaya tarik tali *mooring* dan percepatan struktur paling kritis adalah saat ada pergerakan kapal searah dengan arus seperti pada Gambar 8.



Gambar 8 Ilustrasi arah gaya lingkungan

Spesifikasi jenis tali *mooring* yang digunakan dalam kasus ini adalah *Studless Link Mooring Chain* diameter 10 mm dengan nilai *Breaking Load* 91,152 kN. Ada delapan tali *mooring* yang dipasang dengan satu pola pemasangan *anchor*. Tiap tali *mooring* menghubungkan *anchor* dan *fairlead* dengan panjang tali 11 m dan jarak horisontal (*anchor-fairlead*) 8,6 m.

Posisi *Anchor* terdapat pada koordinat pada Tabel 2.

Tabel 2 Posisi *Anchor* pada Koordinat Global

Anchor	E (m)	N (m)
(1)	-23,73	-11,00
(2)	-19,13	-11,00
(3)	-23,73	11,00
(4)	-19,13	11,00
(5)	23,73	-11,00
(6)	19,13	-11,00
(7)	23,73	11,00
(8)	19,13	11,00

Tiap ponton terdapat empat fairlead yang berada di tiap sudut ponton bagian atas dengan titik koordinat pada Tabel 3.

Tabel 3 Posisi Fairlead pada Koordinat Global

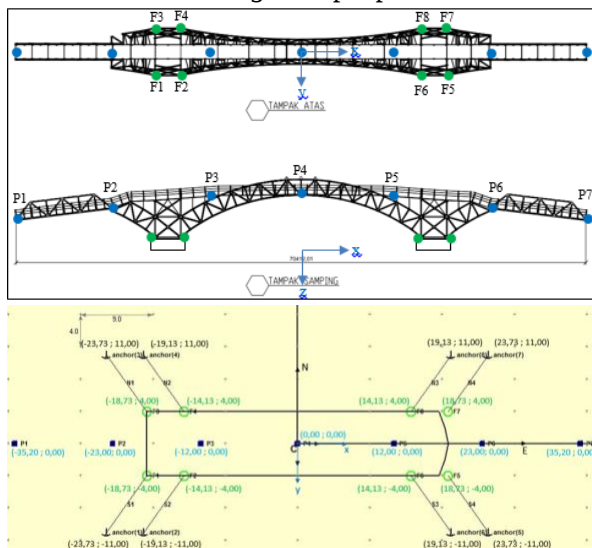
Fairlead	E (m)	N (m)
F1	- 18,73	-4,00
F2	- 14,13	-4,00
F3	- 18,73	4,00
F4	- 14,13	4,00
F5	18,73	-4,00
F6	14,13	-4,00
F7	18,73	4,00
F8	14,13	4,00

Terdapat tujuh titik tinjauan respons gerak struktur (control point) dengan koordinat pada Tabel 4.

Tabel 4 Posisi Control Point

Control Point	E (m)	N (m)
P1	- 35,20	0,00
P2	- 23,00	0,00
P3	- 12,00	0,00
P4	0	0,00
P5	12,00	0,00
P6	23,00	0,00
P7	35,20	0,00

Koordinat fairlead dan control points serta denah sistem mooring terdapat pada Gambar 9.



Gambar 9 koordinat pemodelan sistem mooring

Pemodelan menggunakan perangkat lunak HydroStar untuk pemodelan struktur dan Ariane7

untuk sistem mooring. Kondisi yang dimodelkan adalah perairan pasang-surut dan beban penuh-kosong dari struktur. Sementara sistem mooring dimodelkan dalam kondisi intact dan damaged (satu tali mooring terputus).

Kriteria desain

Kriteria desain untuk Minimum Breaking Load (MBL) tali mooring mengacu pada API RP 2SK yang terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5 MBL Tali Mooring

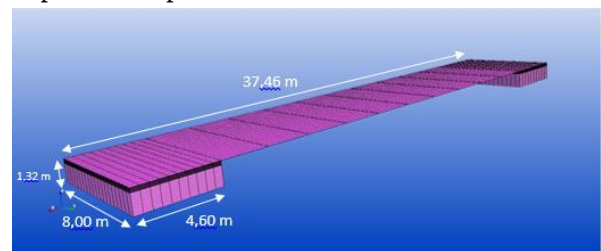
Kondisi	SF	Nilai izin
Intact quasi-static	2,0	45,576 kN
Intact dynamic	1,67	54,582 kN
Damaged dynamic	1,25	72,922 kN

kriteria desain untuk percepatan maksimum dari perpindahan jembatan terapung agar nyaman digunakan yang mengacu pada DRDC Toronto TR 2006-229 "A Review on the Effects of Frequency of Oscillation on Motion Sickness", yaitu keadaan yang paling umum membuat seseorang menjadi mual adalah suatu perpindahan dengan percepatan $0,7 \text{ m/s}^2$.

HASIL DAN ANALISIS

Pemodelan struktur

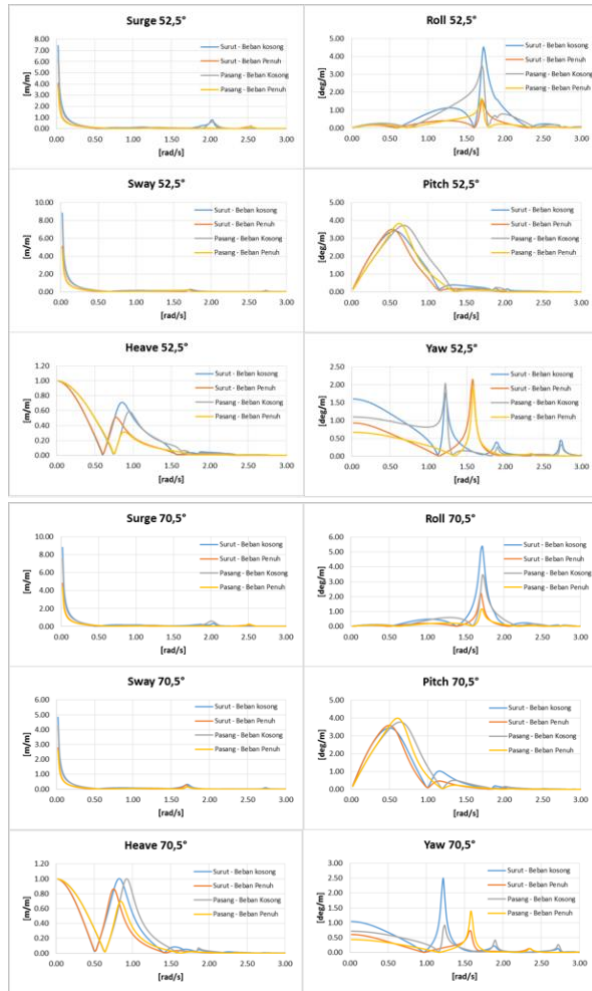
Jembatan terapung hanya dimodelkan kedua pontonnya saja dengan ukuran ponton dan jarak antarponton mengikuti kondisi sebenarnya. Visualisasi dari pemodelan jembatan terapung ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Hasil pemodelan jembatan apung

Fungsi Transfer

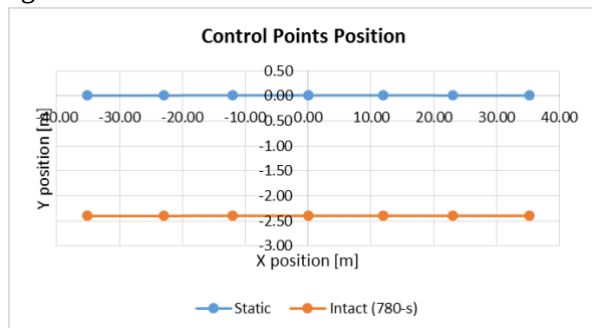
Response Amplitude Operator (RAO) sesuai dengan arah datang gelombang akibat kapal yaitu pada $52,5^\circ$ dan $70,5^\circ$ terhadap sumbu-y. Grafik RAO terdapat pada Gambar 11.



Gambar 11 RAO Struktur

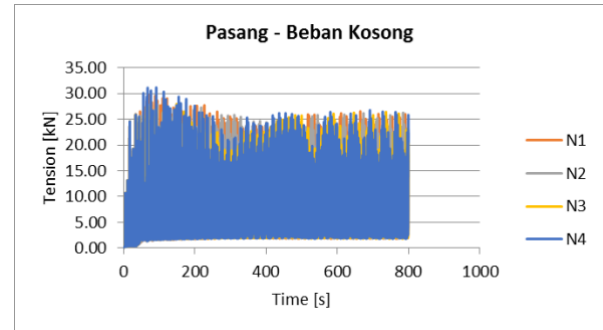
Respons sistem *mooring* dinamis intact dengan pergerakan kapal searah arus

Posisi *control points* jembatan apung setelah terkena gaya lingkungan adalah seperti pada grafik berikut.

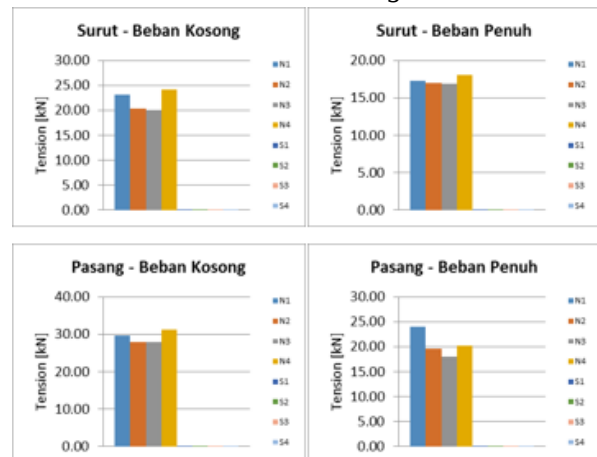


Gambar 12 Denah posisi control point keadaan dinamis kondisi intact

Grafik seri waktu dan gaya tarik maksimum tali *mooring* adalah sebagai berikut.



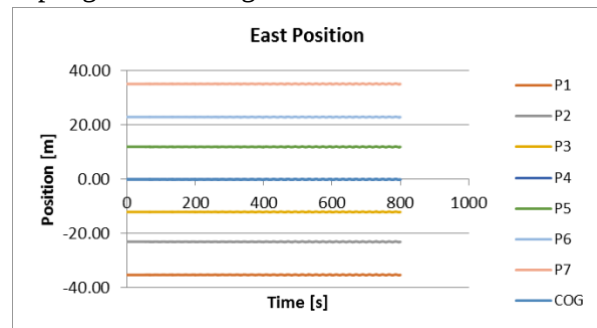
Gambar 13 Gaya tarik tali *mooring* N pasang – beban kosong



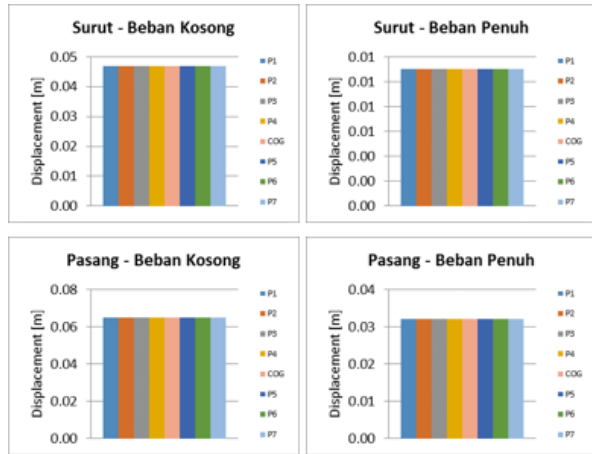
Gambar 14 Grafik gaya tarik tali *mooring* maksimum keadaan dinamis kondisi intact

Gaya tarik tali *mooring* maksimum terjadi pada kondisi pasang – beban kosong dengan besar gaya tarik sebesar 31,15 kN. Nilai tersebut 57,07% dari gaya tarik izin tali *mooring* keadaan dinamis kondisi *intact* (54,58 kN).

Grafik seri waktu dan nilai perpindahan maksimum dari posisi arah Timur dari jembatan apung adalah sebagai berikut.



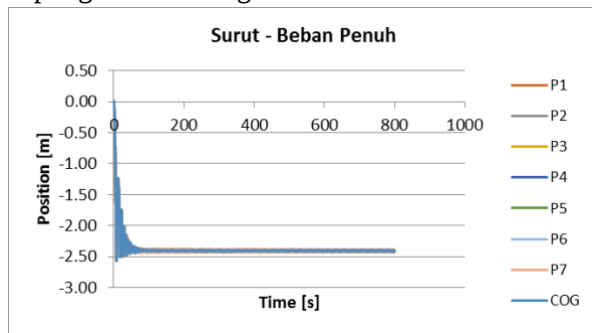
Gambar 15 Posisi jembatan terapung arah Timur



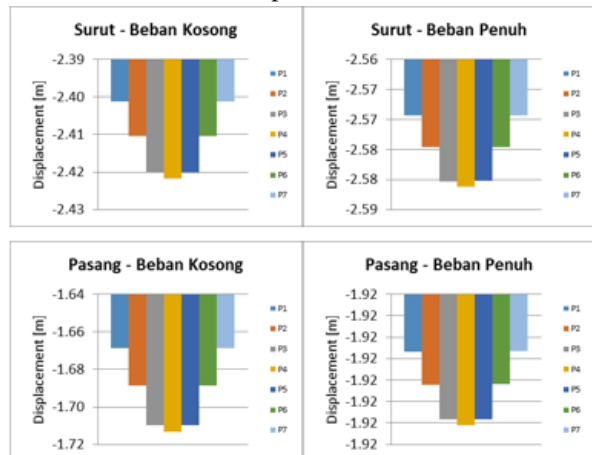
Gambar 16 Grafik perpindahan maksimum arah Timur keadaan dinamis kondisi intact

Perpindahan maksimum arah Timur terjadi pada kondisi pasang – beban kosong dengan nilai 0,06 m ke arah Timur.

Grafik seri waktu dan nilai perpindahan maksimum dari posisi arah Utara dari jembatan apung adalah sebagai berikut.



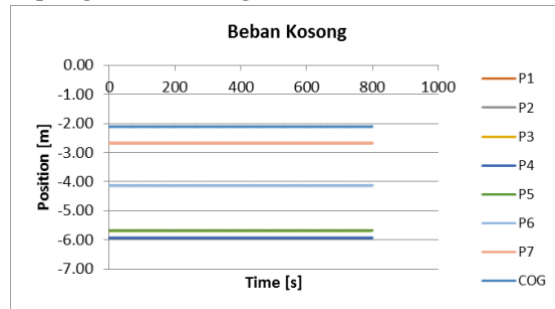
Gambar 17 Posisi arah Utara surut – beban penuh



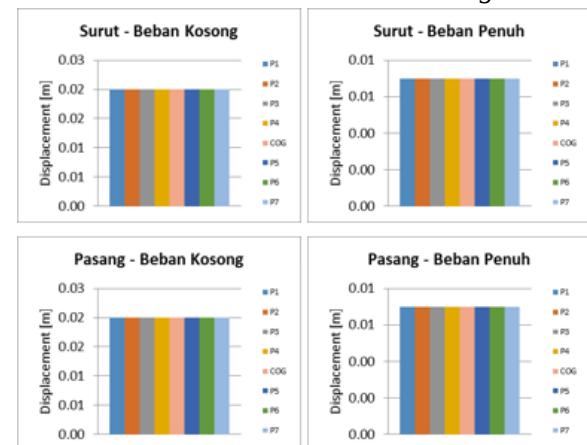
Gambar 18 Grafik perpindahan maksimum arah Utara keadaan dinamis kondisi intact

Perpindahan maksimum arah Utara terjadi pada kondisi surut – beban penuh dengan nilai 2,609 m ke arah Selatan. Perbedaan nilai antar *control point* karena pengaruh gerakan *roll*.

Grafik seri waktu dan nilai perpindahan maksimum dari posisi arah Sumbu-Z dari jembatan apung adalah sebagai berikut.



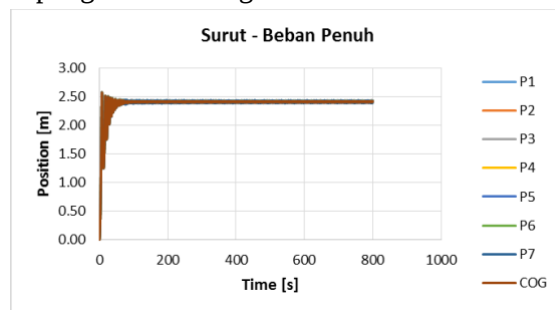
Gambar 19 Posisi jembatan terapung arah sumbu-Z kondisi beban kosong



Gambar 20 Grafik perpindahan maksimum arah sumbu-Z keadaan dinamis kondisi intact

Perpindahan maksimum arah sumbu-Z terjadi pada kondisi beban kosong dengan nilai 0,02 m.

Grafik seri waktu dan nilai perpindahan maksimum dari posisi arah resultan dari jembatan apung adalah sebagai berikut.



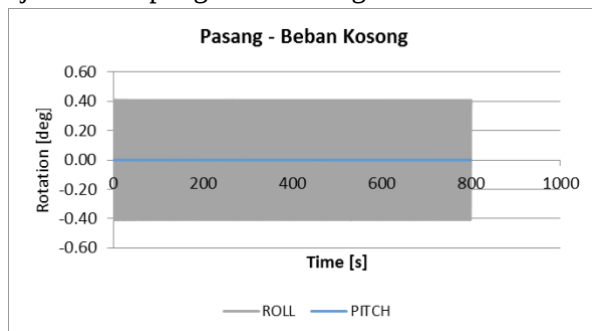
Gambar 21 Posisi arah resultan surut – beban penuh



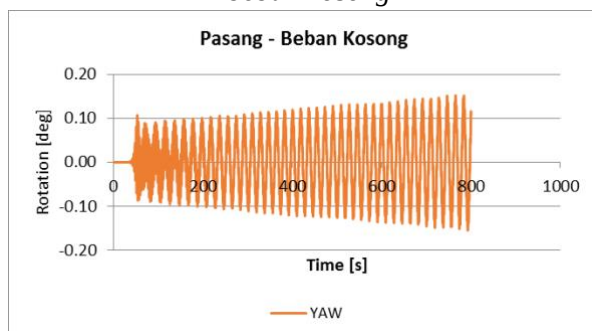
Gambar 22 Grafik perpindahan maksimum arah resultan keadaan dinamis kondisi intact

Perpindahan maksimum arah resultan terjadi pada kondisi surut – beban penuh dengan nilai 2,58 m. Perbedaan nilai antar *control point* karena pengaruh gerakan *roll*.

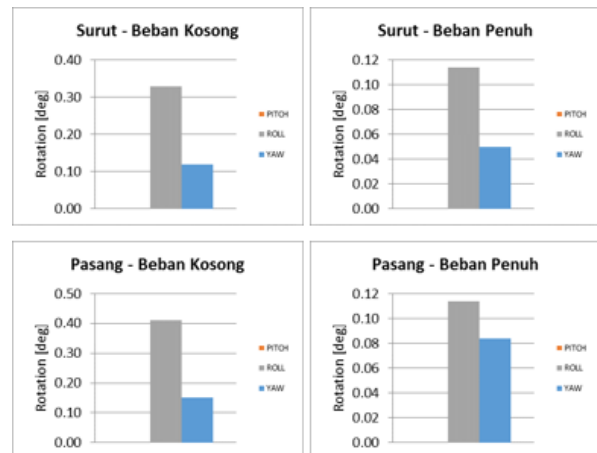
Grafik seri waktu dan nilai perpindahan maksimum dari posisi arah rotasional dari jembatan apung adalah sebagai berikut.



Gambar 23 Posisi gerak roll dan pitch pasang – beban kosong



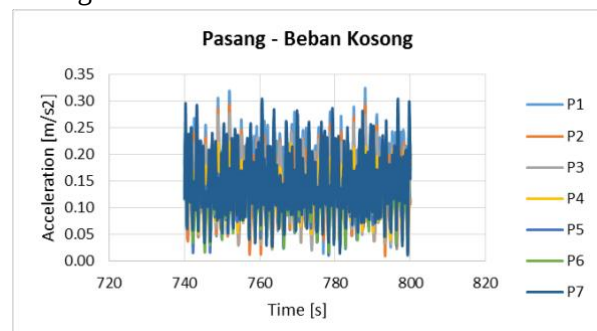
Gambar 24 Posisi gerak yaw pasang – beban kosong



Gambar 25 Grafik perpindahan maksimum arah rotasional keadaan dinamis kondisi intact

Perpindahan maksimum arah rotasional terjadi pada kondisi pasang – beban kosong dengan nilai *roll* sebesar 0,41° dan *yaw* sebesar 0,15° searah jarum jam.

Grafik seri waktu dan nilai percepatan translasi maksimum dari jembatan apung adalah sebagai berikut.



Gambar 26 Percepatan translasi pasang – beban kosong

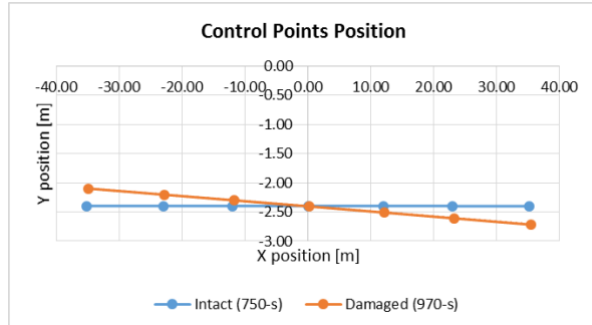


Gambar 27 Grafik percepatan maksimum keadaan dinamis kondisi intact

Percepatan translasi maksimum terjadi pada kondisi pasang – beban kosong dengan nilai $0,32 \text{ m/s}^2$ pada kondisi operasi (mulai dari detik ke-740). Nilai tersebut 45,71% dari percepatan izin ($0,7 \text{ m/s}^2$).

Respons sistem mooring dinamis damaged dengan pergerakan kapal berlawanan arus

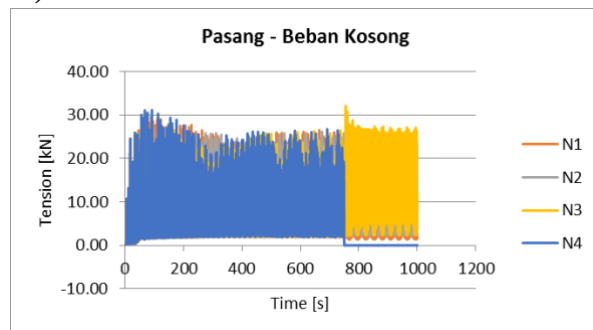
Posisi *control points* jembatan apung setelah tali N4 terputus adalah seperti pada grafik berikut.



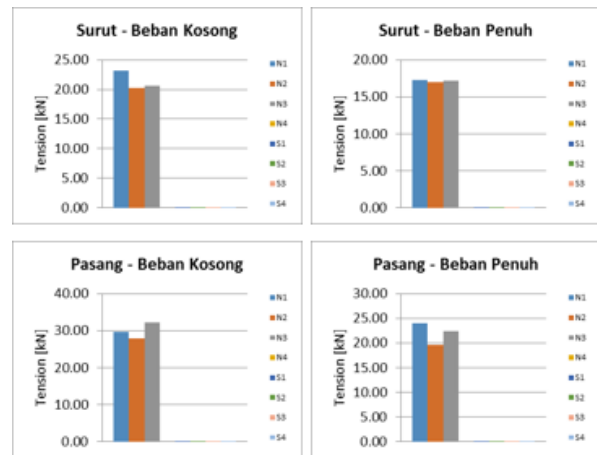
Gambar 28 Denah posisi control point keadaan dinamis kondisi intact

Grafik seri waktu dan gaya tarik maksimum tali mooring adalah sebagai berikut.

Gaya tarik tali mooring maksimum terjadi pada kondisi pasang – beban kosong di tali N3 dengan besar gaya tarik sebesar 32,13 kN. Nilai tersebut 44,06% dari gaya tarik izin tali mooring keadaan dinamis kondisi damaged (72,92 kN).

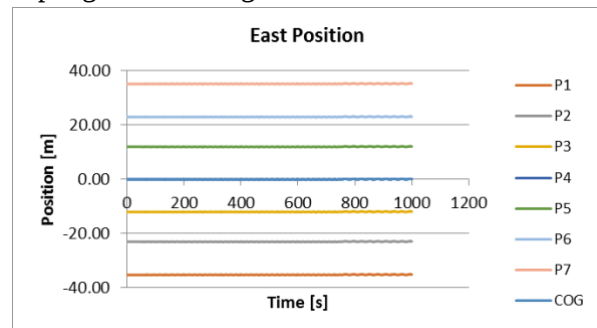


Gambar 29 Gaya tarik tali mooring N pasang – beban kosong

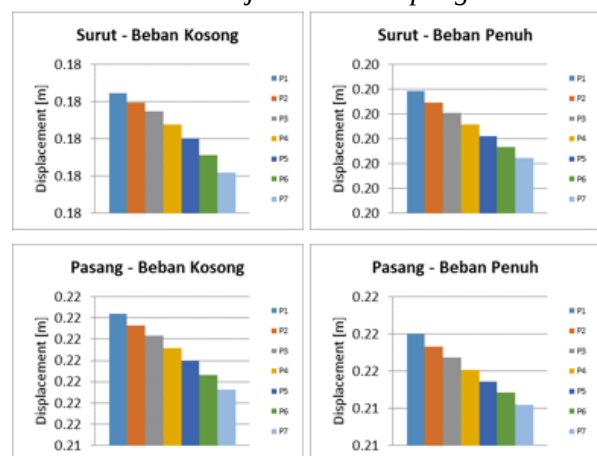


Gambar 30 Grafik gaya tarik tali mooring maksimum keadaan dinamis kondisi damaged

Grafik seri waktu dan nilai perpindahan maksimum dari posisi arah Timur dari jembatan apung adalah sebagai berikut.



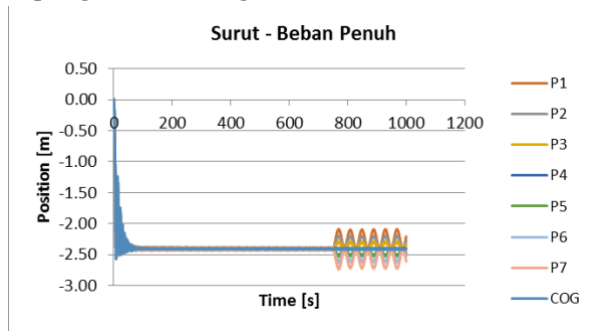
Gambar 31 Posisi jembatan terapung arah Timur



Gambar 32 Grafik perpindahan maksimum arah Timur keadaan dinamis kondisi damaged

Perpindahan maksimum arah Timur terjadi pada kondisi pasang – beban kosong dengan nilai maksimum 0,22 m ke arah Timur di P1. Perbedaan nilai antar control point karena pengaruh gerakan yaw.

Grafik seri waktu dan nilai perpindahan maksimum dari posisi arah Utara dari jembatan apung adalah sebagai berikut.



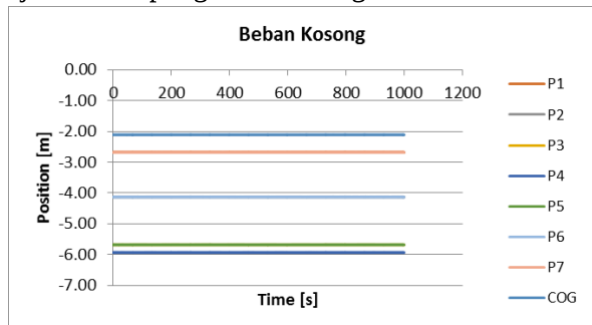
Gambar 33 Posisi arah Utara surut – beban penuh



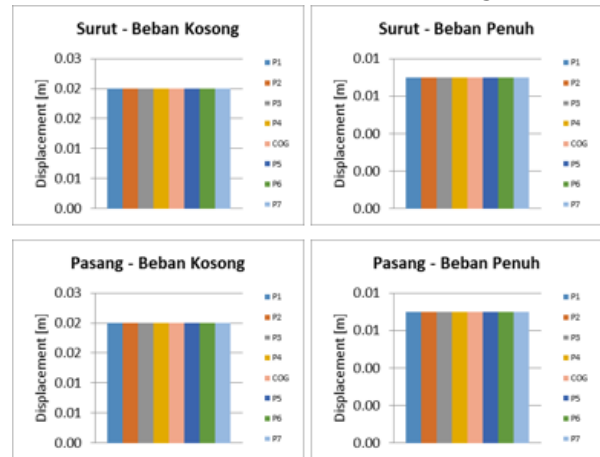
Gambar 34 Grafik perpindahan maksimum arah Utara keadaan dinamis kondisi damaged

Perpindahan maksimum arah Utara terjadi pada kondisi surut – beban penuh dengan nilai maksimum 2,74 m ke arah Selatan pada P7. Ketidaklinieran nilai antar control point terjadi karena perbedaan waktu saat mencapai nilai maksimum..

Grafik seri waktu dan nilai perpindahan maksimum dari posisi arah Sumbu-Z dari jembatan apung adalah sebagai berikut.



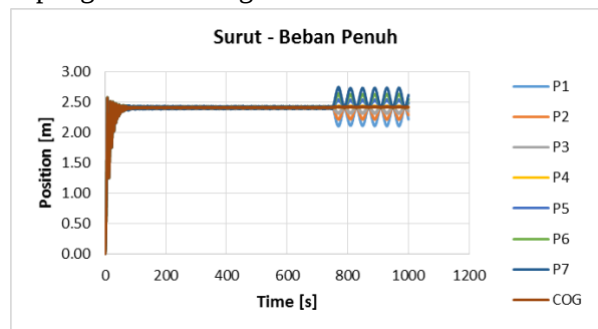
Gambar 35 Posisi jembatan terapung arah sumbu-Z kondisi beban kosong



Gambar 36 Grafik perpindahan maksimum arah sumbu-Z keadaan dinamis kondisi damaged

Perpindahan maksimum arah sumbu-Z terjadi pada kondisi beban kosong dengan nilai 0,02 m.

Grafik seri waktu dan nilai perpindahan maksimum dari posisi arah resultan dari jembatan apung adalah sebagai berikut.



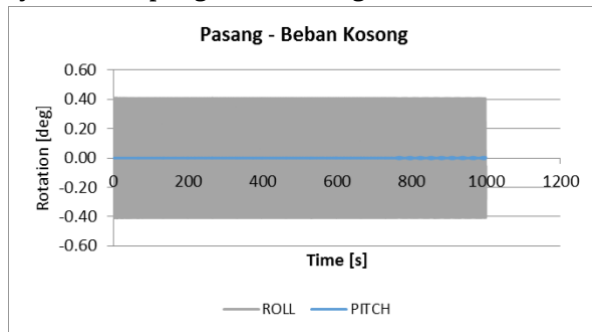
Gambar 37 Posisi arah resultan surut – beban penuh



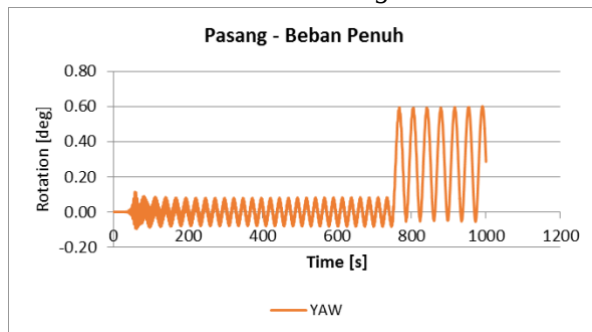
Gambar 38 Grafik perpindahan maksimum arah resultan keadaan dinamis kondisi damaged

Perpindahan maksimum arah resultan terjadi pada kondisi surut – beban penuh dengan nilai maksimum 2,75 m pada P7. Ketidaklinieran nilai antar control point terjadi karena perbedaan waktu saat mencapai nilai maksimum..

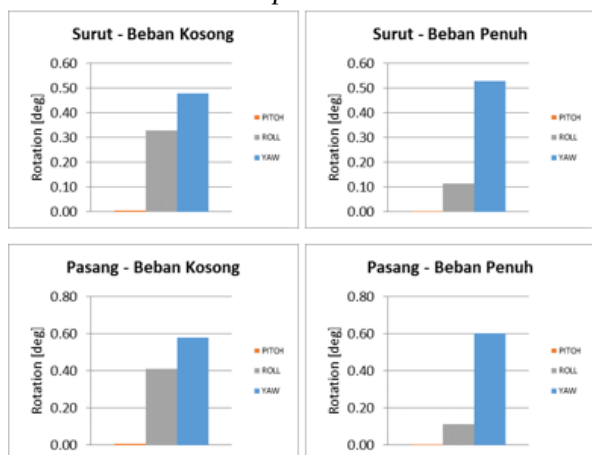
Grafik seri waktu dan nilai perpindahan maksimum dari posisi arah rotasional dari jembatan apung adalah sebagai berikut.



Gambar 39 Posisi gerak roll dan pitch pasang – beban kosong



Gambar 40 Posisi gerak yaw pasang – beban penuh

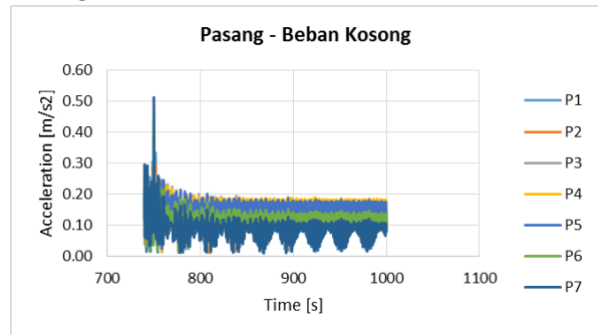


Gambar 41 Grafik perpindahan maksimum arah rotasional keadaan dinamis kondisi damaged

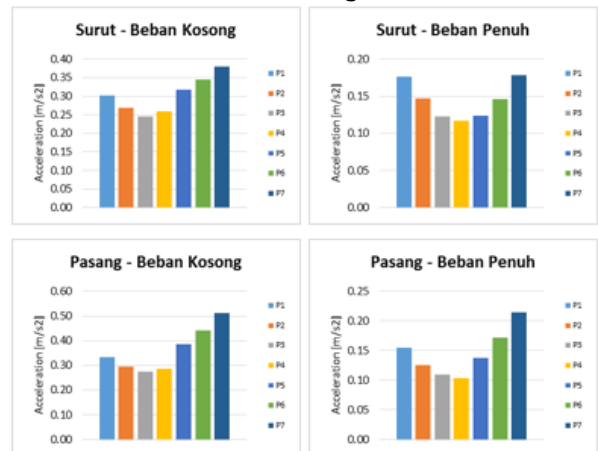
Perpindahan maksimum gerakan roll terjadi pada kondisi pasang – beban kosong dengan nilai

sebesar 0,41°. Sementara perpindahan maksimum gerakan yaw terjadi pada kondisi pasang – beban penuh dengan nilai sebesar 0,60° searah jarum jam.

Grafik seri waktu dan nilai percepatan translasi maksimum dari jembatan apung adalah sebagai berikut.



Gambar 42 Percepatan translasi pasang – beban kosong



Gambar 43 Grafik percepatan maksimum keadaan dinamis kondisi damaged

Percepatan translasi maksimum terjadi pada kondisi surut – beban kosong dengan nilai 0,51 m/s² pada kondisi operasi (mulai dari detik ke-740). Nilai tersebut 72,86% dari percepatan izin (0,7 m/s²).

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Simpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pemodelan hidrodinamika jembatan terapung menunjukkan hasil bahwa gelombang dari arah 52,5° dan 70,5° terhadap sumbu-y memberikan respons untuk seluruh gerakan. Jembatan terapung pada kondisi beban kosong

memiliki respons yang lebih besar daripada kondisi penuh.

2. Gaya tarik maksimum yang terjadi pada tali *mooring* jembatan terapung di seluruh kondisi bernilai kurang dari *allowable minimum breaking load* sesuai kriteria desain *API RP 2SK*.
3. Perpindahan maksimum terjadi pada kondisi surut – beban penuh karena kondisi tersebut memiliki bentang tali *mooring* kondisi paling longgar.
4. Percepatan translasi maksimum yang terjadi pada jembatan terapung di seluruh kondisi memenuhi kriteria desain *DRDC Toronto TR 2006-229* dengan tidak adanya percepatan yang melewati batas maksimum senilai $0,7 \text{ m/s}^2$.

Saran

Saran-saran yang dapat dilakukan selanjutnya untuk penelitian serupa adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan gaya lingkungan dengan arah yang lebih banyak sehingga lebih merepresentasikan kondisi sebenarnya.
2. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data struktur yang lebih lengkap seperti posisi pusat massa, luas struktur, dsb.
3. Gelombang akibat pergerakan kapal dimodelkan masing-masing arah secara terpisah.
4. Gelombang akibat pergerakan kapal memiliki batas durasi aktif, sehingga tidak terus-menerus ada selama durasi pemodelan.

DAFTAR PUSTAKA

API RP 2A WSD. (2000). *Recommended*

Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore.

Washington D. C.: API Publishing Services.

API RP2 SK. (2005). *Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structure*. Washington, D. C.: API Publishing Services.

Chakrabarti, S. K. (1987). *Hydrodynamics of Offshore Structure*. Illinois: CBI Industries, Inc.

Dean, R. G. (1991). *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. USA: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Faltinsen, O. M. (1990). *Sea Loads on Ships and offshore structures*. Cambridge: Cambridge University Press.

Research Department Bureau Veritas. (2011). *Ariane7 User Guide*. Veristar Offshore.

Research Department Bureau Veritas. (2011). *HydroStar for Expert User Manual*. Veristar Offshore.

Tawekal, R. L. (2015). *KL-4131 Dasar Teknik Perkapalan*. Bandung: Penerbit ITB

