

ANALISIS RESPON DINAMIS GERAKAN dan TALI TAMBAT *CRANE BARGE*

Anggoronadhi Dianiswara

Program Studi Teknik Kelautan, Jurusan Sains, Teknologi Pangan, dan Kemaritiman,
Institut Teknologi Kalimantan,
Jalan Sukarno Hatta KM. 15, Karang Joang, Balikpapan Utara, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur 76127

Email: anggoronadhi@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Crane barge adalah salah satu bagian terpenting dalam konstruksi bangunan laut. Agar tetap mampu bekerja pada posisi yang diinginkan, *crane barge* perlu ditambatkan menggunakan tali tambat. Evaluasi terhadap respon dinamis gerakan dan tali tambat *crane barge* perlu dilakukan agar *crane barge* bekerja dengan aman. Analisis dinamis dengan pendekatan *time domain* dilakukan untuk mengevaluasi respon dinamis gerakan dan tali tambat *crane barge*. Analisis dilakukan pada gelombang *irregular* dengan arah pembebanan dari 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° saat kondisi *intact*. Dihilangkan nilai gerakan *surge* dan *sway* mencapai 1 m. Nilai *safety factor* dari sistem tali tambat bernilai 8,17. Nilai tersebut masih di atas batas aman yang disyaratkan.

Kata Kunci: *Crane barge*, Gelombang *irregular*, *Time-domain*, Gerakan, tali tambat,

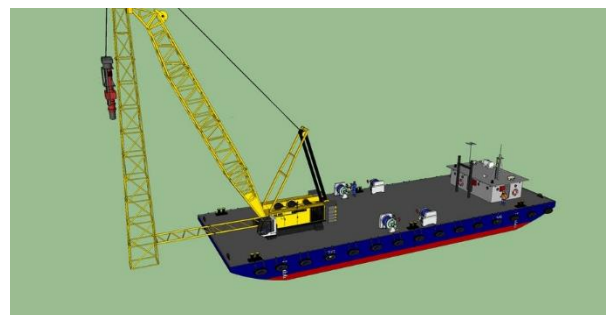
Abstract

Crane barge is one of the most critical parts of marine building construction. In order to remain able to work in the desired position, the *crane barge* needs to be moored. Evaluation of the dynamic response of movement and *crane barge* mooring is necessary so that the *crane barge* works safely. Dynamic analysis with a *time-domain* approach was carried out to evaluate the dynamic response of the motion and mooring of the *crane barge*. Analyzes were performed on *irregular* waves with loading directions of 0°, 45°, 90°, 135°, and 180° under *intact* conditions. The resulting surge and sway movement values reached 1 m. The safety factor value of the mooring system is 8.17. This value is still above the required limit.

Keywords: *crane barge*, *Irregular wave*, *Time-domain*, Motion, Mooring line

1. PENDAHULUAN

Jumlah pembangunan infrastruktur maupun bangunan laut yang semakin meningkat berimbas pada intensitas pekerjaan di area laut, baik di daerah perairan dangkal, maupun dalam. Pembangunan infrastruktur laut berupa dermaga, *jetty*, atau pelabuhan tidak bisa lepas dari *construction vessel* untuk menunjang konstruksi di wilayah perairan. *Crane barge* adalah salah satu tipe *construction vessel* yang sering dipakai, bahkan menjadi yang utama dalam kegiatan konstruksi bangunan laut pada operasi pengangkatan dan pemancangan *pile*. Tidak berfungsinya *crane barge* dapat mengakibatkan pekerjaan konstruksi berhenti total [1].



Gambar 1. *Crane Barge* [2]

Selama kegiatan konstruksi berlangsung di wilayah perairan, angin, gelombang, dan arus membuat *crane barge* perlu ditambat agar *crane barge* tetap berada di lokasi yang diinginkan, sehingga kegiatan konstruksi dapat berjalan dengan aman. Namun kelalaian dalam

proses desain, peletakan jangkar, *anchor handling*, tes tarik tali tambat saat jangkar selesai diturunkan, dan kontrol pada gaya tarik tali tambat berpotensi mengakibatkan kegagalan pada tali tambat. Sampai tahun 2014, 19% dari 107 tali tambat pada 73 unit bangunan apung yang ditambatkan permanen mengalami kegagalan pada fase desain [3]. Meninjau hasil survey pada tali tambat permanen yang seharusnya melewati proses yang sangat ketat tersebut, penulis memandang bahwa fase desain pada tali tambat *crane barge* perlu mendapatkan perhatian serius. Salah satu langkahnya adalah melakukan analisis untuk mengevaluasi respon dinamis gerakan *crane barge* dan tali tambat sesuai dengan kaidah dan standar yang berlaku [4] [5].

Beberapa literatur telah memuat kajian respon gerakan dan tali tambat *crane barge*. Investigasi gerakan non-linear dinamis dengan menggunakan berbagai pendekatan matematis pada *floating crane* telah dilakukan [6]. Kajian respon non-linear dinamis pada *crane vessel* berukuran besar pada gelombang regular telah disajikan [7]. Analisis respon dinamis dengan jenis *boom* yang fleksibel sekaligus dengan beban *swing* pada *crane* telah dievaluasi [8]. Respon tali tambat yang dikalkulasi secara *quasistatic* telah dilakukan analisisnya [9].

Beberapa riset di atas hanya mengevaluasi respon dinamis gerakan dan tali tambat pada *crane barge* saat gelombang regular dan dengan pendekatan *quasistatic* saja. Oleh sebab itu, analisis respon dinamis gerakan dan tali tambat *crane barge* saat gelombang *irregular* perlu dilakukan.

Pada studi ini, evaluasi respon dinamis gerakan dan tali tambat *crane barge* pada kondisi *intact* dengan arah pembebanan 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° dilakukan menggunakan pendekatan *time domain*. Hasil dari penelitian ini akan memberikan informasi terkait respon dinamis gerakan dan tali tambat *crane barge* untuk menunjang kegiatan konstruksi yang aman.

2. METODE

Pada bab ini, metode-metode yang dilakukan dalam analisis ini akan diuraikan menjadi beberapa bagian, sebagai berikut:

2.1 Pemodelan Tali Tambat

Persamaan gerakan elemen tali tambat yaitu:

$$\frac{\partial \vec{T}}{\partial S_e} + \frac{\partial \vec{V}}{\partial S_e} + \vec{w} + \vec{F}_h = m \frac{\partial^2 \vec{R}}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \vec{M}}{\partial S_e} + \frac{\partial \vec{R}}{\partial S_e} + \vec{V} = -\vec{q} \quad (2)$$

m adalah massa struktur per satuan panjang. \vec{q} adalah distribusi beban momen per satuan panjang. \vec{R} adalah posisi vektor *node* pertama dari elemen tali tambat. ∂S_e adalah panjang elemen.

Momen tekuk dan gaya tarik berhubungan dengan kekakuan tekuk EI dan kekakuan aksial EA dari material tali tambat. Hal tersebut diekspresikan dengan persamaan berikut:

$$M = EI \frac{\partial \vec{R}}{\partial S_e} \times \frac{\partial^2 \vec{R}}{\partial S_e^2} \quad (3)$$

$$T = EA\varepsilon \quad (4)$$

ε adalah regangan aksial elemen tali tambat.

2.2 Pemodelan Gaya Gelombang

Gaya gelombang dikalkulasi dengan metode elemen batas berdasarkan teori difraksi, menggunakan Ansys AQWA [10]. Dengan mengabaikan interaksi antara gelombang dan arus, diasumsikan bahwa gaya gelombang orde pertama dari struktur terapung terdiri dari gaya eksitasi gelombang dan gaya radiasi, yang dapat disuperposisikan secara linear. Gaya eksitasi gelombang terdiri dari gaya yang terjadi dan gaya difraksi. Gaya radiasi dapat dianggap sebagai gaya massa tambah dan gaya redaman radiasi. Potensi gaya

gelombang orde pertama didefinisikan sebagai berikut:

$$\phi(X, Y, Z, t) = \phi(X, Y, Z)e^{-i\omega t} \quad (5)$$

$$\phi(X, Y, Z)e^{-i\omega t} = \left[(\phi_I + \phi_D) + \sum_{j=1}^6 \phi_j x_j \right] e^{-i\omega t} \quad (6)$$

ϕ_I adalah potensial yang terjadi, ϕ_D adalah potensial difraksi, dan x_j mewakili amplitudo gerakan kebebasan j dari struktur terapung.

Kecepatan potensial orde pertama disubsitusi ke dalam persamaan Bernoulli linier:

$$p(X, t) = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (7)$$

Dengan menjumlahkan gaya eksitasi gelombang dan gaya radiasi, gaya gelombang orde pertama (amplitudo satuan) pada struktur terapung dapat diberikan sebagai berikut:

$$F = F_j + F_{ji} \quad (8)$$

$$F_j = - \int_S p I D n_j dS \quad (9)$$

$$= - \int_S i\omega p (\phi_I + \phi_D) n_j dS$$

$$F_{ji} = - \int_S p_i n_j dS = - \int_S i\omega p \phi_I n_j dS \quad (10)$$

$$= -A_{ji} \dot{x}_i - B_{ji} \ddot{x}_i$$

dimana F_j adalah gaya eksitasi gelombang pada arah j ; F_{ji} adalah gaya *radiant* arah j yang disebabkan oleh gerakan kebebasan i dari struktur terapung; S adalah permukaan basah dari struktur terapung; n_j adalah vektor normal pada arah j ; A_{ji} dan B_{ji} masing-masing adalah massa tambah dan koefisien redaman radiasi, yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$A_{ji} = \frac{\rho}{\omega} \int_S \phi_I^{Im} n_j dS \quad (11)$$

$$B_{ji} = \rho \int_S \phi_I^{Re} n_j dS \quad (12)$$

Ketika terkena gelombang, struktur terapung tidak hanya akan menerima gaya gelombang orde pertama yang konsisten dengan frekuensi gelombang, tetapi juga gaya gelombang orde dua nonlinier. Komponen gaya gelombang orde dua mencakup gaya *drift* gelombang rata-rata, gaya *drift* gelombang frekuensi rendah, dan gaya *drift* gelombang frekuensi tinggi.

Gaya *drift* gelombang rata-rata dan gaya *drift* gelombang frekuensi rendah sebanding dengan kuadrat amplitudo gelombang datang, yang didefinisikan sebagai Quadratic Transfer Function (QTF) gaya gelombang orde dua.

$$F_{drift}^i(t) \quad (13)$$

$$= \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Re \{ Q_d^i(\omega_j, \omega_k) a_j a_k \exp[i(\omega_j - \omega_k)t - (\phi_j - \phi_k)] \}$$

Saat $i = 1, 2, 3$, $F_{drift}^i(t)$ masing-masing adalah gaya *drift* gelombang dalam arah x, y, z dalam sistem koordinat lokal struktur terapung, ketika $i = 4, 5, 6$, $F_{drift}^i(t)$ masing-masing adalah momen *drift* gelombang sumbu x, y, z dalam sistem koordinat lokal struktur terapung; n adalah jumlah gelombang yang terbagi menjadi gelombang-gelombang *irregular*; Q_d^i mewakili matriks QTF frekuensi rendah orde- n dalam arah derajat kebebasan i ; $Q_d^i(\omega_j, \omega_k)$ adalah nilai *transfer function* gaya gelombang frekuensi rendah dari dua gelombang reguler dengan frekuensi ω_j dan ω_k dalam matriks QTF; a_j dan a_k adalah amplitudo dari gelombang reguler ke- j dan ke- k ; ϕ_j dan ϕ_k adalah fase gelombang reguler ke- j dan ke- k . Dalam persamaan di atas, jika $j = k$, merepresentasikan gaya *drift* gelombang rata-rata; ketika $j \neq k$, merepresentasikan gaya *drift* gelombang frekuensi rendah.

Dengan menjumlahkan persamaan (8) dan (13), gaya gelombang pada struktur terapung dapat diekspresikan sebagai $F_{wave}^i(t) = F + F_{drift}^i(t)$

2.3 Pemodelan Gaya Angin

Gaya angin pada struktur terapung diperoleh melalui persamaan berikut:

$$F_{wind}^i(t) = C_{Wi} \hat{U}_w(t) |U_w(t)| i = 1, \dots, 6 \quad (14)$$

$F_{wind}^i(t)$ adalah gaya angin dalam arah x, y, z dan torsi angin di sekitar sumbu x, y, z dalam sistem koordinat lokal struktur terapung; C_{Wi} adalah koefisien gaya / momen angin yang sesuai dengan sudut datang dari beban angin pada waktu, t , yang bergantung pada jenis struktur terapung [4]; $\hat{U}_w(t)$ mewakili kecepatan relatif waktu-nyata dari angin dan struktur terapung di sepanjang arah perambatan angin.

2.4 Pemodelan Gaya Arus

Selanjutnya, dengan mengesampingkan interaksi antara gelombang dan arus, gaya arus pada struktur terapung diperoleh melalui persamaan berikut:

$$F_{current}^i(t) = C_{Ci} \hat{U}_c(t) |U_c(t)| i = 1, \dots, 6 \quad (15)$$

$F_{current}^i(t)$ adalah gaya arus dalam arah x, y, z dan torsi arus di sekitar sumbu x, y, z dalam sistem koordinat lokal struktur terapung; C_{Ci} adalah koefisien gaya / momen arus yang sesuai dengan sudut datang dari beban arus pada waktu, t , yang bergantung pada jenis struktur terapung [4]; $\hat{U}_c(t)$ mewakili kecepatan relatif waktu-nyata dari arus dan struktur terapung di sepanjang arah perambatan arus.

2.5 Pemodelan Gaya Arus

Mempertimbangkan beban angin, gelombang, dan arus pada struktur terapung dan interaksinya dengan sistem tambat, persamaan gerakan platform, $x_j(t)$, dalam domain waktu dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sum_{j=1}^6 [M_{ij} + m_{ij}] \ddot{x}_j(t) + \int_0^t R_{ij}(t-\tau) \dot{x}_j(\tau) d\tau + C_{ij} \dot{x}_j(t) + K_{ij} x_j(t) = F_{wave}^i(t) + F_{wind}^i(t) + F_{current}^i(t) + F_{moor}^i(t) \quad (16)$$

M_{ij} adalah matriks massa dari struktur terapung; m_{ij} adalah matriks massa tambah, R_{ij} adalah matriks fungsi *hysteresis*; C_{ij} adalah matriks redaman *viscous*; K_{ij} adalah matriks kekakuan pemulihan statis struktur terapung; $F_{wave}^i(t)$ adalah vector gaya gelombang; $F_{wind}^i(t)$ adalah vector gaya angin; $F_{current}^i(t)$ adalah vector gaya arus; $F_{moor}^i(t)$ adalah vektor gaya sistem tambat.

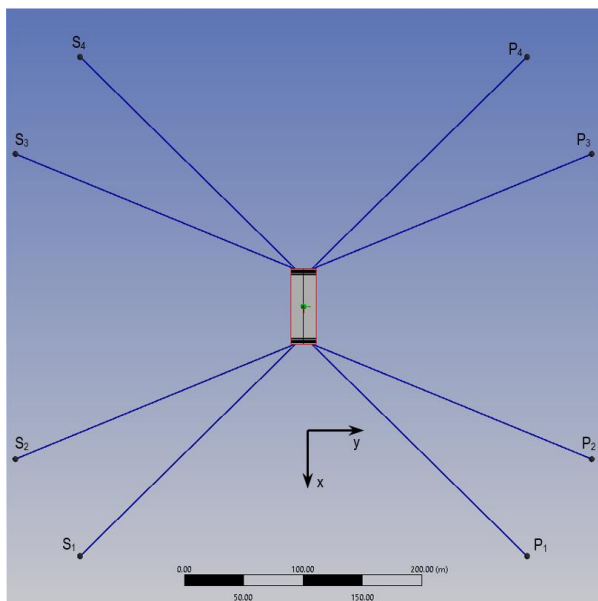
Menurut metode *convolution*, matriks massa tambah, m_{ij} , dan matriks fungsi *delay*, R_{ij} , dapat diperoleh dengan koefisien massa tambah, A_{ij} , dan koefisien redaman radiasi, B_{ij} , diperoleh dengan hidrodinamika.

$$m_{ij} = A_{ij}(\infty) \quad (17)$$

$$B_{ij} = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty B_{ij}(\omega) \cos(\omega t) d\omega \quad (18)$$

2.6 Crane Barge dan Tali Tambat

Studi ini mengkaji sebuah *crane barge* yang dilengkapi tali tambat berjumlah delapan. Seperti terlihat pada Gambar 2, tali tambat tersebut tersebar mengikuti kaidah *spread mooring system*. Sudut tali tambat P₁ dan P₂ bernilai 45° dan 67,5° terhadap sumbu x. Susunan tali tambat lainnya simetris terhadap sumbu x dan sumbu y. *Pretension* tali tambat bernilai 30kN.



Gambar 2. Konfigurasi Tali Tambat

Data *crane barge* yang digunakan pada analisis ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Crane Barge

Parameter	Nilai	Satuan
Displacement (Δ)	1377	ton
Length (LoA)	64,008	m
Breadth (B)	21,336	m
Height (H)	3,658	m
Draft (D)	1,134	m
Water Density	1,025	ton/m ³
VCG	3,937	m
LCG	32,028	m
Kxx	7,467	m
Kyy, Kzz	16,002	m

6 x 36WS IWRC digunakan sebagai rujukan untuk memodelkan tali tambat. Data-data tali tambat diuraikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Tali Tambat

Parameter	Nilai	Satuan
Length	254	m
Diameter	32	mm
Dry weight	4,08	kg/m
Stiffness	38676	kN
MBL	78,9	ton

Pembebanan pada analisis ini merujuk pada data lingkungan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data Lingkungan

Parameter	Nilai	Satuan
Wind speed	17,2	m/s
Wave Height Sig.	1,2	m
Peak period	5,3	s
Current speed	1,8	m/s
Water depth	15.65	m

Persyaratan faktor keamanan minimum tegangan tali tambat di bawah kondisi yang berbeda tercantum dalam Tabel 4 [4] [5], yang dapat dianggap sebagai kriteria evaluasi keselamatan dalam analisis. *Safety factor* bernilai 1,67 dipilih karena sesuai dengan analisis yang dilakukan, yaitu pada kondisi *intact* dengan menggunakan metode dinamis.

Tabel 4. Batas Gaya Tarik dan Safety Factor

Kondisi	Metode	Persentase MBL	Safety Factor
<i>Intact</i>	Quasi-static	50	2.0
<i>Intact</i>	Dynamic	60	1.67
<i>Damaged</i>	Quasi-static	70	1.43
<i>Damaged</i>	Dynamic	80	1.25

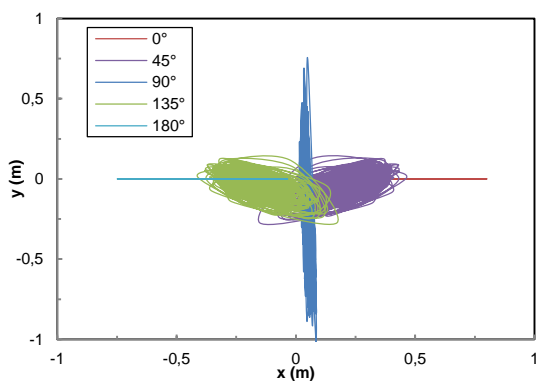
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, respon dinamis gerakan dan tali tambat *crane barge* dibahas dengan mempertimbangkan beberapa arah beban lingkungan pada kondisi *intact* dan dimodelkan dengan pendekatan *time domain* selama 3 jam. Beban lingkungan bersifat *collinear*, yaitu mempunyai arah yang sama antara arah angin, gelombang, dan arus.

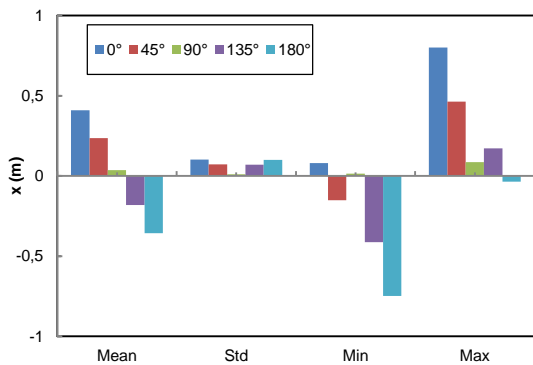
3.1 Respon Dinamis Gerakan Crane Barge

Gambar 3 memaparkan pola respon dinamis gerakan *crane barge* pada setiap arah pembebanan. Pada tiap arah pembebanan yang terjadi, respon dinamis gerakan *crane barge* bernilai sampai dengan 1 m terhadap sumbu x (*surge*) dan y (*sway*). Respon dinamis gerakan

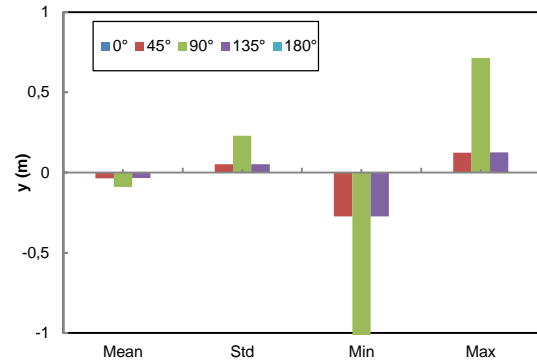
crane barge sesuai dengan arah pembebanannya. Pembebanan 0° dan 180° menyebabkan respon dinamis gerakan yang dominan searah sumbu x, pembebanan 90° mengakibatkan respon dinamis gerakan yang dominan searah sumbu y, sedangkan pembebanan 45° dan 135° membuat *crane barge* bergerak pada kombinasi arah sumbu x maupun y. Dari respon dinamis gerakan ini, dapat disimpulkan bahwa dalam kegiatan konstruksi, *crane barge* perlu diberikan jarak tambahan sebesar 1 m untuk mempertimbangkan respon dinamisnya.



Gambar 3. Pola Respon Dinamis Gerakan *Crane Barge*



Gambar 4. Perbandingan Nilai-nilai Statistik Respon Dinamis Gerakan *Crane Barge* (*Surge*)

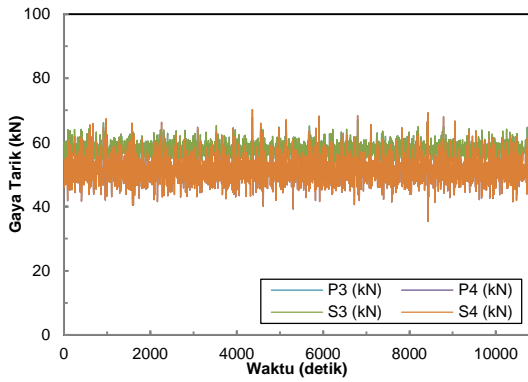


Gambar 5. Perbandingan Nilai-nilai Statistik Respon Dinamis Gerakan *Crane Barge* (*Sway*)

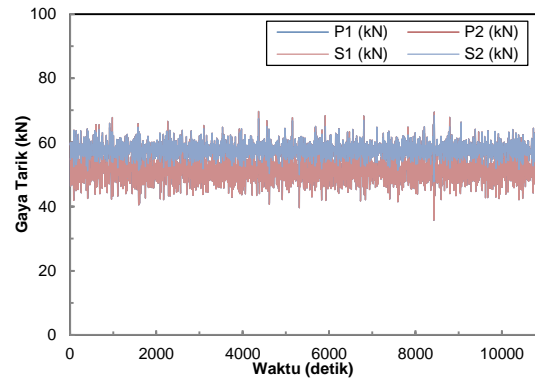
Gambar 4 dan 5 menguraikan nilai-nilai statistik dari respon dinamis gerakan *crane barge*. Nilai rata-rata respon gerakan dinamis *surge* maupun *sway* tidak lebih dari 0.5 m untuk setiap arah pembebanan. Nilai rata-rata respon gerakan dinamis akibat pembebanan arah 0° dan 180° adalah 0.41 dan -0.36 m. Sementara itu, nilai rata-rata respon gerakan dinamis akibat pembebanan arah 45° dan 135° adalah 0.24 dan -0.18 m. Nilai-nilai tersebut tidak jauh berbeda karena susunan tali tambatnya simetris terhadap sumbu x dan sumbu y. Selain itu, sistem tali tambat juga mempunyai kekakuan (*stiffness*) yang sama pada arah *surge* dan *sway*.

3.2 Respon Dinamis Tali Tambat

Deret waktu respon dinamis tali tambat akibat pembebanan dari arah 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° diilustrasikan pada Gambar 6. Pada Gambar 6, empat respon dinamis tali tambat terbesar dipilih untuk ditampilkan. Perbandingan nilai-nilai statistik respon dinamis tali tambat S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , P_1 , P_2 , P_3 , dan P_4 disajikan pada Gambar 7. Di samping itu, *safety factor* tali tambat yang dibandingkan dengan batas ijin *safety factor* dipaparkan pada Gambar 8.

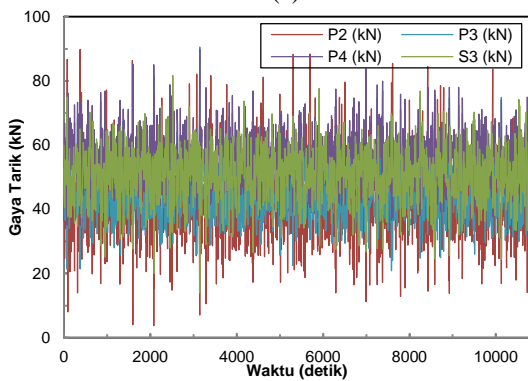


(a)

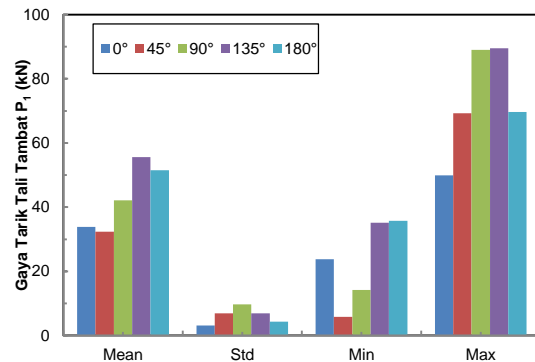


(e)

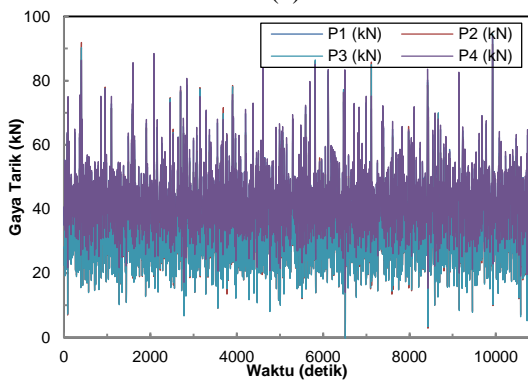
Gambar 6. Deret Waktu Respon Dinamis Tali Tambat Akibat Arah Pembebanan: (a) 0°. (b) 45°. (c) 90°. (d) 135°. (e) 180°.



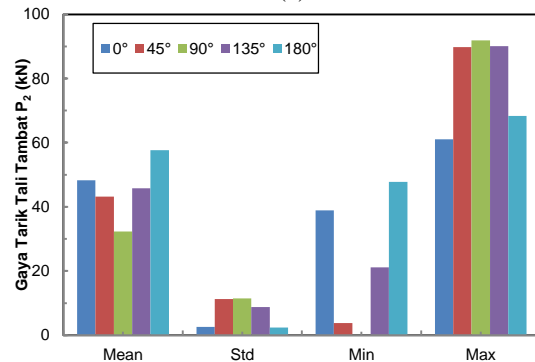
(b)



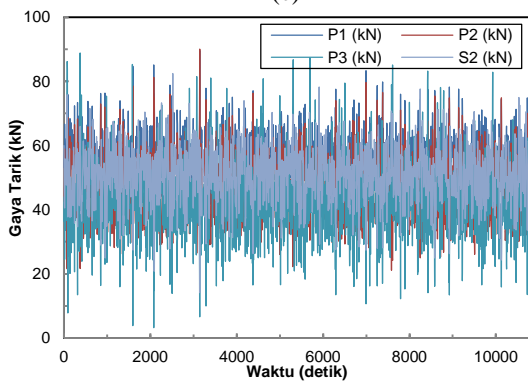
(a)



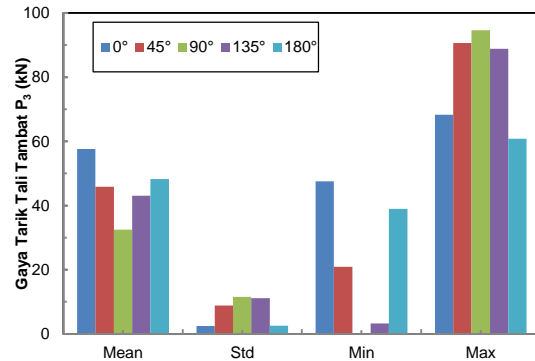
(c)



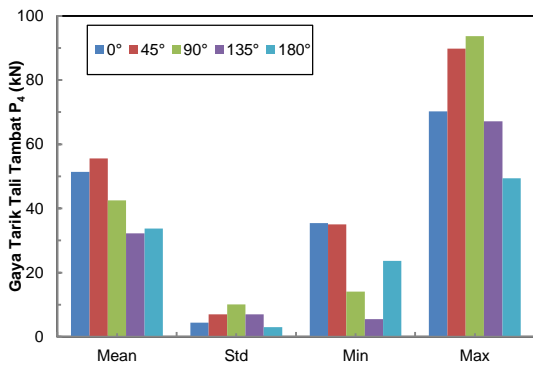
(b)



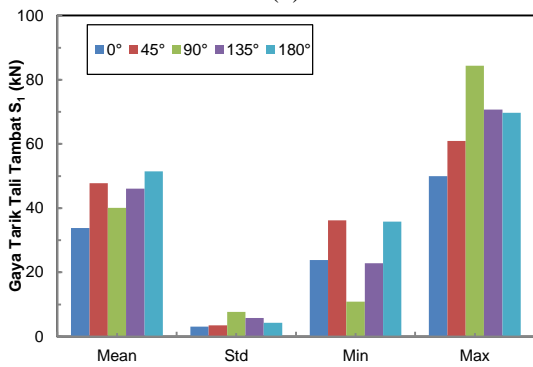
(d)



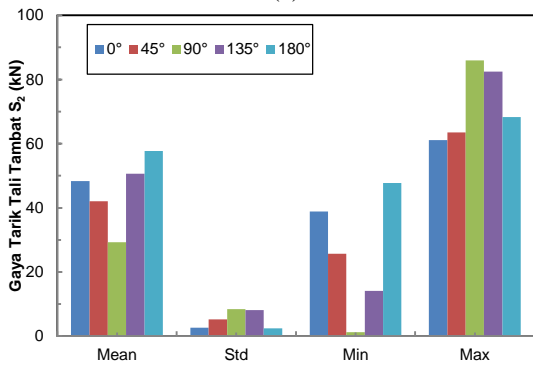
(c)



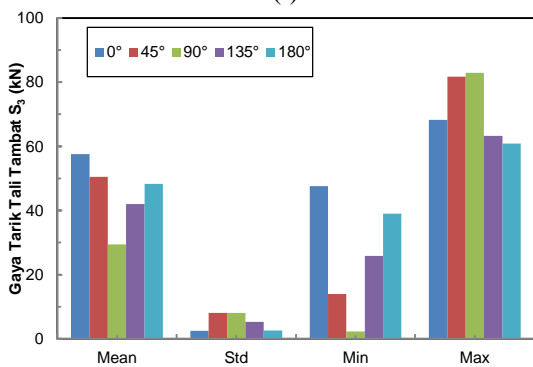
(d)



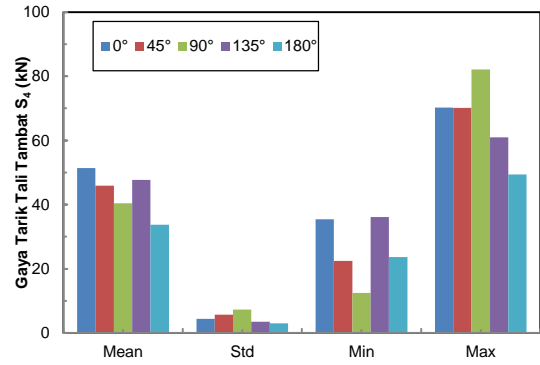
(e)



(f)

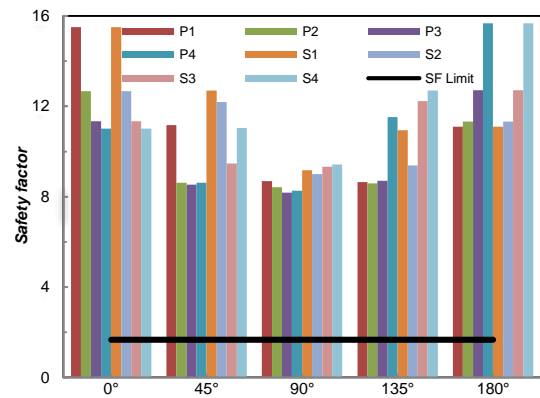


(g)



(h)

Gambar 7. Perbandingan Nilai-nilai Statistik Respon Dinamis Tali Tambat. (a) S₁. (b) S₂. (c) S₃. (d) S₄. (e) P₁. (f) P₂. (g) P₃. (h) P₄



Gambar 8. Perbandingan Nilai-nilai Respon Dinamis Tali Tambat maksimal dengan batas *safety factor*.

Pada kondisi pembebanan 0°, gaya tarik tali tambat terbesar terjadi pada P₃, P₄, S₃, dan S₄. Fakta ini terjadi karena pada saat pembebanan arah 0° respon dinamis gerakan *crane barge* bergerak dinamis pada sumbu x positif, sehingga mengakibatkan tali tambat P₃, P₄, S₃, dan S₄ bekerja secara bersamaan dan seimbang untuk menahan respon gerakan dinamis *crane barge*. Nilai gaya tarik pada kondisi ini berkisar antara 40-60 kN. Nilai rata-rata gaya tarik tali tambat P₃, P₄, S₃, dan S₄ pada arah pembebanan ini berturut-turut adalah 57,62; 51,37; 57,62; dan 51,36 kN. Hampir sama dengan arah pembebanan 0°, pada pembebanan arah 180° tali tambat P₁, P₂, S₁, dan S₂ mengalami gaya tarik berkisar antara 40-60 kN. Nilai rata-rata gaya tarik tali tambat P₁, P₂, S₁, dan S₂ pada arah pembebanan ini

berturut-turut adalah 51,47; 57,67; 51,47; dan 57,67 kN

Pada kondisi arah pembebanan 45° , respon dinamis gerakan *crane barge* berada pada sekitar kuadran empat, sehingga tali tambat yang berperan lebih adalah P₂, P₃, P₄, dan S₃. Nilai gaya tarik pada kondisi ini cukup bervariasi dari 10-90 kN. Nilai rata-rata gaya tarik tali tambat P₂, P₃, P₄, dan S₃ pada arah pembebanan ini berturut-turut adalah 43,20; 45,83; 55,6; 50,51 kN. Mirip dengan arah pembebanan 45° , pada pembebanan arah 135° tali tambat P₁, P₂, P₃, dan S₂ mengalami gaya tarik berkisar antara 10-90 kN. Nilai rata-rata gaya tarik tali tambat P₁, P₂, P₃, dan S₂ pada arah pembebanan ini berturut-turut adalah 55,64; 45,82; 43,06; dan 50,65 kN

Tali tambat P₁, P₂, P₃, dan P₄ mendapatkan gaya tarik yang lebih besar dan fluktuatif daripada tali tambat pada sisi *starboard side* pada arah pembebanan 90° . Kisaran gaya tarik yang terjadi pada tali tambat tersebut adalah 0-95 kN. Nilai rata-rata gaya tarik tali tambat P₁, P₂, P₃, dan P₄ secara berturut-turut adalah 42,15; 32,35; 32,46; dan 42,55. Hasil yang terjadi sangat realistis karena saat arah pembebanan ini, respon dinamis gerakan *crane barge* mencapai nilai 1 m kearah *starboard side* akibat periode natural *crane barge* tertambat.

Nilai *safety factor* untuk seluruh kondisi arah pembebanan masih berada di atas batas *safety factor*. Jika dilihat pada Gambar 8, nilai *safety factor* minimal yang terjadi terletak pada tali tambat P₃ saat pembebanan arah 90° , yaitu 8,17. Namun, nilai tersebut masih jauh di atas batas *safety factor* yang diijinkan.

4. KESIMPULAN

Pada artikel ini, analisis respon dinamis gerakan dan tali tambat *crane barge* pada kondisi intact dengan arah pembebanan 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° menggunakan pendekatan time domain telah dilakukan. Analisis numeris telah dilakukan untuk menyimulasikan respon dinamis gerakan dan tali tambat pada gelombang *irregular*. Dari evaluasi yang sudah dilakukan, dapat

disimpulkan bahwa pemberian jarak tambahan sebesar 1 m untuk mempertimbangkan respon dinamis padah arah *surge* dan *sway* nya sudah cukup aman untuk menghindari benturan dengan bangunan lain di sekitar *crane barge*. Selain itu, kapasitas tali tambat masih mampu untuk menahan *crane barge* pada posisi yang diinginkan karena nilai *safety factor* tali tambat yang menerima beban paling besar masih bernilai 8,17. Nilai ini jauh dari batas yang telah ditentukan oleh standar yang berlaku.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan banyak terimakasih atas dukungan dari pihak manajemen kampus Institut Kalimantan Timur. Terimakasih juga kepada seluruh pihak-pihak terkait atas kerjasama dan dukungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. D. Johnson and C. B. Tatum, "Technology in Marine Construction Firms," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 119, no. 1, pp. 148–162, Mar. 1993, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1993)119:1(148).
- [2] P. A and P. A, "crane barge." <https://3dwarehouse.sketchup.com/model/563d315d-eec6-4a21-aace-2527f678ac70/crane-barge> (accessed May 25, 2021).
- [3] E. Fontaine *et al.*, "Industry Survey of Past Failures, Pre-emptive Replacements and Reported Degradations for Mooring Systems of Floating Production Units," in *Day 4 Thu, May 08, 2014*, Houston, Texas, May 2014, p. D041S047R002. doi: 10.4043/25273-MS.
- [4] American Petroleum Institute, *Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*. USA: American Petroleum Institute, 2005.

- [5] DNV-GL, *Marine operations and marine warranty*. DNV-GL AS, 2018.
- [6] K. Ellermann and E. Kreuzer, “Nonlinear Dynamics in the Motion of Floating Cranes,” p. 11.
- [7] E. Kreuzer and A. Mohr, “Nonlinear dynamics of a moored crane barge in regular waves,” Dec. 1997, Accessed: May 24, 2021. [Online]. Available: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/634774>
- [8] H. Ren, X. Wang, Y. Hu, and C. Li, “Dynamic response analysis of a moored crane-ship with a flexible boom,” *J. Zhejiang Univ. Sci. A*, vol. 9, no. 1, pp. 26–31, Jan. 2008, doi: 10.1631/jzus.A071308.
- [9] T. E. Schellin, M. E. Scharrer, and H. G. Matthies, “Analysis of Vessels Moored in Shallow, Unprotected Waters,” in *All Days*, Houston, Texas, May 1982, p. OTC-4243-MS. doi: 10.4043/4243-MS.
- [10] Ansys, *Workbench User’s Guide*. USA: Ansys, Inc, 2020.