

# **PERANCANGAN TALI *MOORING* UNTUK SISTEM TAMBAT STRUKTUR TERAPUNG *BARGE* DALAM PEKERJAAN PEMANCANGAN DI SELAT MADURA**

## **TUGAS AKHIR**

Karya tulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

Oleh  
Pranaja Abel Amanta  
NIM 15516021



Program Studi Teknik Kelautan  
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG  
2020

**Lembar Pengesahan**

Tugas Akhir Sarjana

**PERANCANGAN TALI *MOORING* UNTUK SISTEM TAMBAT  
STRUKTUR TERAPUNG *BARGE* DALAM PEKERJAAN  
PEMANCANGAN DI SELAT MADURA**

Adalah benar dibuat oleh saya sendiri dan belum pernah dibuat dan diserahkan sebelumnya  
baik sebagian atau pun seluruhnya, baik oleh saya mau pun orang lain,  
baik di ITB maupun institusi pendidikan lainnya.

Bandung, 29 Septemeber 2020

Penulis

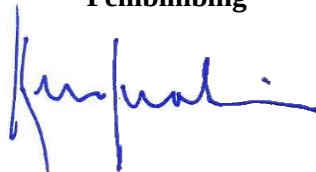


Pranaja Abel Amanta  
NIM 15516021



Bandung, 29 September 2020

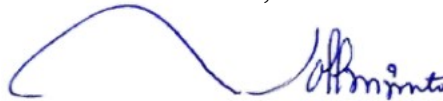
**Pembimbing**



Krisnaldi Idris, Ph.D.  
NIP 19581220 198601 1 001

**Mengetahui:**

Program Studi Teknik Kelautan  
Ketua,



Andojo Wurjanto, Ph.D.  
NIP 19600330 198503 1 007

# PERANCANGAN TALI MOORING UNTUK SISTEM TAMBAT STRUKTUR TERAPUNG *BARGE* DALAM PEKERJAAN PEMANCANGAN DI SELAT MADURA

## *Mooring Rope Design for Floating Barge Structure Used on Piling Project Located in Madura Strait*

Pranaja Abel Amanta<sup>1</sup> dan Krisnaldi Idris<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

<sup>1</sup>abelamanta\_p@gmail.com dan <sup>2</sup>krisnaldi@ocean.itb.ac.id

---

**Abstrak:** Pekerjaan pemancangan tiang pancang dalam pembangunan dermaga laut umumnya dilakukan menggunakan peralatan berbasis darat. Dalam kasus dimana peralatan pemancangan tidak dapat dioperasikan dari darat, khususnya pada perairan, digunakan bantuan struktur *barge* untuk mengakomodir pekerjaan pemancangan. Struktur *barge* yang merupakan struktur terapung dapat bergerak akibat menerima gaya-gaya lingkungan perairan sehingga diperlukan tali tambat (*mooring*) yang mampu mengontrol atau menahan pergerakan struktur *barge* sesuai dengan batasan atau ketentuan yang ada. Proses desain tali *mooring* ini akan mengikuti syarat atau kriteria desain berdasarkan referensi API RP 2SK, dimana didalamnya mencakup persyaratan *tension* maksimum dengan penggunaan faktor keamanan dari nilai *minimum breaking load* dan persyaratan pergerakan struktur terapung. Desain tali *mooring* akan memiliki variasi-variasi dalam pemilihan lokasi *barge* dalam pekerjaan pemancangan, arah datang gaya lingkungan yang mengenai *barge*, dan properti tali *mooring* sendiri. Digunakan bantuan perangkat lunak pemodelan respons struktur dimana selanjutnya dapat dilakukan analisis terhadap keluaran pemodelan berupa nilai-nilai *tension* pada tali *mooring* dan respons perpindahan struktur *barge*. Analisis keluaran pemodelan menyatakan bahwa variasi tali *mooring* 60 mm grade 1960 Mpa dengan nilai *minimum breaking load* sebesar 2510 kN memiliki nilai *tension* tali *mooring* dan perpindahan struktur *barge* yang memenuhi persyaratan *tension* maksimum dan perpindahan maksimum.

**Kata kunci:** *barge*, *mooring*, *minimum breaking load*, *tension*, respons, perpindahan, API RP 2SK.

**Abstract:** The work of piling piles in the construction of a sea pier is generally carried out using land-based equipment. In cases where the piling equipment cannot be operated from land, especially in sea, a barge structure is used to accommodate the piling work. The barge structure, which is a floating structure, can move as a result of environment force in open sea, so a mooring rope is needed which is able to control or withstand the movement of the barge structure in accordance with existing restrictions or conditions (standard). The design process of this mooring rope will follow the requirements or design criteria based on the API RP 2SK reference, which includes the maximum tension requirements by using the safety factor of the minimum breaking load value and the requirements for displacement offset of the floating structure. The design of the mooring rope will have variations in the choice of location of the barge in the piling work, the origin direction in the environmental force regarding the barge, and the properties of the mooring rope itself. The help of structural response modeling software is used in which the output can later be analyzed in the form of tension values on the mooring rope and the response to the displacement of the barge structure. The analysis of the modeling output states that the mooring rope variation of 60 mm grade 1960 Mpa with a minimum breaking load value of 2510 kN has a mooring rope tension value and a barge structure displacement that meets the requirements of maximum tension and maximum displacement standards.

**Key words:** *barge*, *mooring*, *minimum breaking load*, *tension*, response, displacement, API RP 2SK.

---

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan wilayah laut yang sangat luas menunjukkan potensi besar dalam perkembangan wilayah laut dan pesisir Indonesia baik dalam aspek ekonomi, budaya, kenegaraan, dan lainnya. Untuk itu, Indonesia selalu bergerak maju dalam pengembangan infrastruktur laut dan pesisir khususnya pelabuhan atau dermaga sebagai gerbang penghubung antara wilayah darat dengan laut.

Struktur pelabuhan atau dermaga dapat dibangun dengan berbagai metode, metode yang umum digunakan, salah satunya, adalah dengan menggunakan tiang pancang sebagai pondasi dermaga. Dalam pengerjaan pada wilayah laut atau perairan dimana alat pemancang tidak dapat dioperasikan dari darat, digunakan tongkang atau *barge* sebagai sarana alokasi alat pemancang maupun pengangkut tiang pancang.

Penggunaan struktur tongkang akan membutuhkan analisis desain struktur terapung dan *mooring* agar pekerjaan yang dilakukan diatas *barge* dapat berjalan dengan aman. Dalam Tugas Akhir ini, akan dilakukan analisis terhadap desain struktur terapung *barge* dan konfigurasi *mooring*-nya dalam mengakomodasi beban pekerjaan pemancangan dermaga.

Pekerjaan pemancangan dalam laporan ini terletak pada wilayah Selat Madura dengan kedalaman perairan 13 m dengan keberadaan *jetty* dan jalur pipa di sekitar lokasi sehingga diperlukan pengecekan keamanan lebih dalam desain tali *mooring* untuk struktur *barge*.

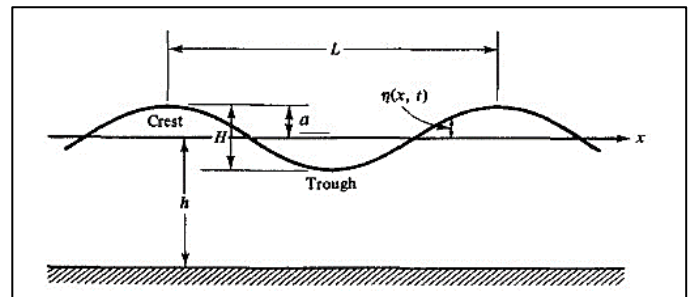
## TEORI DAN METODOLOGI

### Gelombang Air Laut

Gelombang air merupakan gelombang yang terjadi akibat pergerakan partikel air yang disebabkan oleh adanya transfer energi dari gaya pembangkit pada perairan. Pada wilayah lautan,

gelombang air laut dapat dibangkitkan oleh banyak faktor yang diantaranya yaitu gesekan partikel air dan angin, daya tarik gravitasi dari benda-benda angkasa (terutama bulan dan matahari), gempa bumi di dasar laut, dan pergerakan struktur terapung. Gelombang yang terbangkitkan akan memiliki ukuran dan bentuk yang bervariasi tergantung variasi pembangkitnya (lama atau besar gaya pembangkit). Gelombang air laut akan membawa transfer energi yang menjalar sepanjang arah rambat gelombang. Energi gelombang ini akan menjadi gaya gelombang yang merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi struktur di lautan.

Parameter utama gelombang air laut adalah periode gelombang ( $T$ ), tinggi gelombang ( $H$ ), panjang gelombang ( $L$ ), dan kedalaman perairan dimana gelombang merambat ( $h$ ). Parameter-parameter ini kemudian dapat digunakan dalam menentukan parameter lain seperti elevasi muka air ( $\eta$ ), cepat rambat gelombang ( $c$ ), kecepatan dan percepatan partikel gelombang, gaya gelombang dan energi gelombang.



Gambar 1 Parameter Gelombang  
Sumber: Dean R. G., 1991

### Teori Gelombang Linear

Teori gelombang linear, disebut juga Teori Amplitudo Kecil atau Teori Gelombang *Airy*, merupakan teori gelombang air yang paling sederhana dengan definisi berupa gelombang yang mempunyai amplitudo yang kecil terhadap kedalaman air laut. Dinamakan gelombang linier karena menghilangkan suku nonlinier pada persamaan Bernoulli yang merupakan persamaan

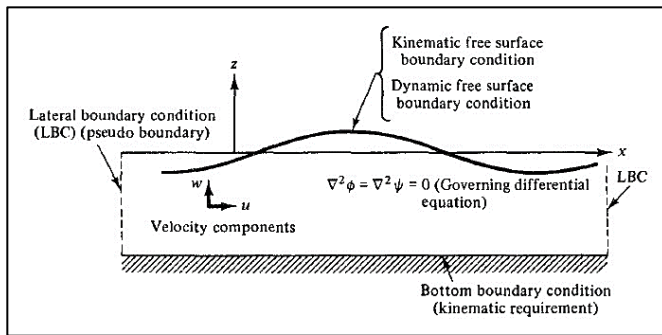
kondisi batas dinamik. Dalam teori ini, terdapat beberapa asumsi diantaranya:

- Gelombang berbentuk dua dimensi.
- Kedalaman perairan tetap.
- Tinggi gelombang kecil dibandingkan panjang gelombang ataupun kedalaman perairan (amplitudo kecil).
- Berlaku fluida ideal.

Penggunaan asumsi fluida ideal (*incompressible* dan *irrotational*) menghasilkan persamaan pengatur yang memenuhi persamaan *Laplace* sebagai berikut:

$$\nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

Untuk mendapatkan solusi khusus dari persamaan *Laplace* dibutuhkan syarat batas (*boundary condition*) yang unik bergantung pada kondisi atau kasus (dalam hal ini dimaksudkan untuk kondisi perairan) tertentu ditunjukkan pada **Gambar 2**.



**Gambar 2** Persamaan Pengatur dan Syarat Batas Perairan  
Sumber: Dean R. G., 1991

Sehingga akan didapatkan solusi dari syarat batas kinematik dan dinamik permukaan berupa potensial kecepatan, persamaan elevasi muka air, dan persamaan dispersi yang ditunjukkan dalam persamaan ( 2), ( 3), dan ( 4).

$$\phi = \frac{gH}{2\omega} \frac{\cosh k(d+z)}{\cosh kd} \sin(kx - \omega t) \quad (2)$$

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (3)$$

$$\omega^2 = gk \tanh kd \quad (4)$$

### Gaya Gelombang

Gaya gelombang dapat dihitung menggunakan beberapa dasar teori, yaitu Teori Morison, Teori Froud Krylov, dan Teori Difraksi. Penggunaan tiap teori menyesuaikan dengan kecocokan teori dan struktur. Kecocokan tersebut dapat dilihat dari rasio ukuran struktur (diameter) dengan panjang gelombang. Teori difraksi yang biasa digunakan pada kasus nyata, kondisi struktur yang umumnya lebih besar dibandingkan panjang gelombang, memiliki perumusan gaya sebagai berikut:

$$F = \int -\rho \frac{\partial \phi_{total}}{\partial t} n ds \quad (5)$$

$$F = \int -\rho \frac{\partial (\phi_i + \phi_d)}{\partial t} n ds \quad (6)$$

$$F = \int -\rho \frac{\partial \phi_i}{\partial t} n ds + \int -\rho \frac{\partial \phi_d}{\partial t} n ds \quad (7)$$

Keterangan:

- $F$  = Gaya gelombang (N)  
 $\phi_{total}$  = Potensial kecepatan gelombang gabungan  
 $\phi_i$  = Potensial kecepatan gelombang datang  
 $\phi_d$  = Potensial kecepatan gelombang pantul  
 $n$  = Vektor normal bidang kerja gaya  
 $ds$  = Elemen bidang kerja gaya

### Gaya Arus

Gaya arus dapat sangat berpengaruh pada struktur pada kondisi atau lokasi tertentu dimana arus perairan dominan. Banyak teori mengenai perumusan dalam perhitungan gaya arus, sebagai contoh, dalam perangkat lunak pemodelan struktur yang digunakan dalam laporan ini menggunakan persamaan berikut:

$$F_{arus} = 0,5 \rho U^2 q A n \quad (8)$$

Keterangan:

- $F_{arus}$  = Gaya arus (N)  
 $\rho$  = Massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $U$  = Kecepatan arus (m/s)  
 $q$  = Koefisien atau *Multiplier Seret*  
 $A$  = Luas proyeksi penampang terkena arus ( $\text{m}^2$ )  
 $n$  = *Unit Vector*

### Stabilitas Struktur Terapung

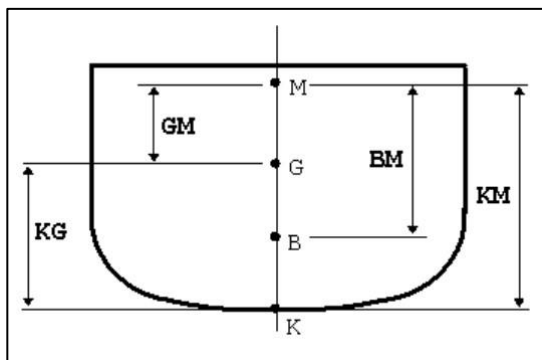
Stabilitas struktur terapung merupakan kemampuan suatu struktur terapung untuk kembali ke posisi awalnya ketika terjadi pergerakan akibat gaya eksternal yang bekerja pada struktur. Dalam keadaan statis, stabilitas struktur terapung dipengaruhi oleh dua gaya yaitu gaya berat struktur sendiri dan gaya apung struktur. Gaya apung dapat ditentukan mengikuti hukum *archimedes* seperti pada persamaan berikut:

$$F_b = \rho g \nabla \quad (9)$$

Keterangan:

- $F_b$  = Gaya apung (N)  
 $\rho$  = Massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $g$  = Percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )  
 $\nabla$  = Volume tercelup struktur ( $\text{m}^3$ )

Pada pembahasan stabilitas struktur terapung, diperkenalkan tiga titik bantu dalam menjelaskan bagaimana kestabilan bekerja. Titik tersebut terdiri dari titik pusat massa (G), titik pusat gaya apung atau *buoyancy* (B), dan titik metasentris (M) seperti pada **Gambar 3**.



**Gambar 3** Titik Bantu Stabilitas

Sumber: <https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/swos>, diakses tanggal 18-09-2020

Posisi dari ketiga titik bantu dapat menunjukkan kondisi kestabilan struktur. Struktur dinyatakan stabil apabila titik metasentris (M) lebih tinggi dari titik pusat massa (G),

Stabil jika,  $\overline{GM} > 0$

dengan,  $\overline{GM} = \overline{KB} + \overline{BM} - \overline{KG}$

dengan,  $\overline{BM} = \frac{I}{\nabla}$

### Respons Struktur Terapung Akibat Gelombang

Respons struktur terapung akibat gelombang dapat ditentukan dengan analisis hidrodinamika. Respons pada struktur disebabkan oleh superposisi gaya eksitasi dan gaya radiasi. Gaya radiasi muncul akibat dari gerakan struktur terapung sendiri sehingga menghasilkan potensial kecepatan baru.

Melihat potensial kecepatan yang terdiri dari potensial kecepatan gelombang datang ( $\phi_i$ ), potensial kecepatan gelombang terdifraksi ( $\phi_D$ ), dan potensial kecepatan gelombang radiasi ( $\phi_R$ ), maka menggunakan *pressure area method* gaya hidrodinamik total dapat ditentukan seperti persamaan (10) dan (11).

$$F_{hd \text{ total}} = \int P n ds = \int -\rho \frac{\partial \phi_{total}}{\partial t} n ds \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 F_{hd \text{ total}} = & \int -\rho \frac{\partial \phi_i}{\partial t} n ds \\
 & + \int -\rho \frac{\partial \phi_D}{\partial t} n ds \\
 & + \int -\rho \frac{\partial \phi_R}{\partial t} n ds
 \end{aligned} \quad (11)$$

Komponen gaya radiasi akan memiliki komponen *added mass* dan *damping*, untuk itu diperkenalkan penamaan gaya (dan momen) untuk tiap derajat kebebasan. Komponen gaya radiasi dengan *added mass* (A) dan *damping* (B) ini dapat dituliskan sebagai berikut.

$$F_R = \int -\rho \frac{\partial \phi_R}{\partial t} x dx = -A \frac{d^2 x}{dt^2} - B \frac{dx}{dt} \quad (12)$$

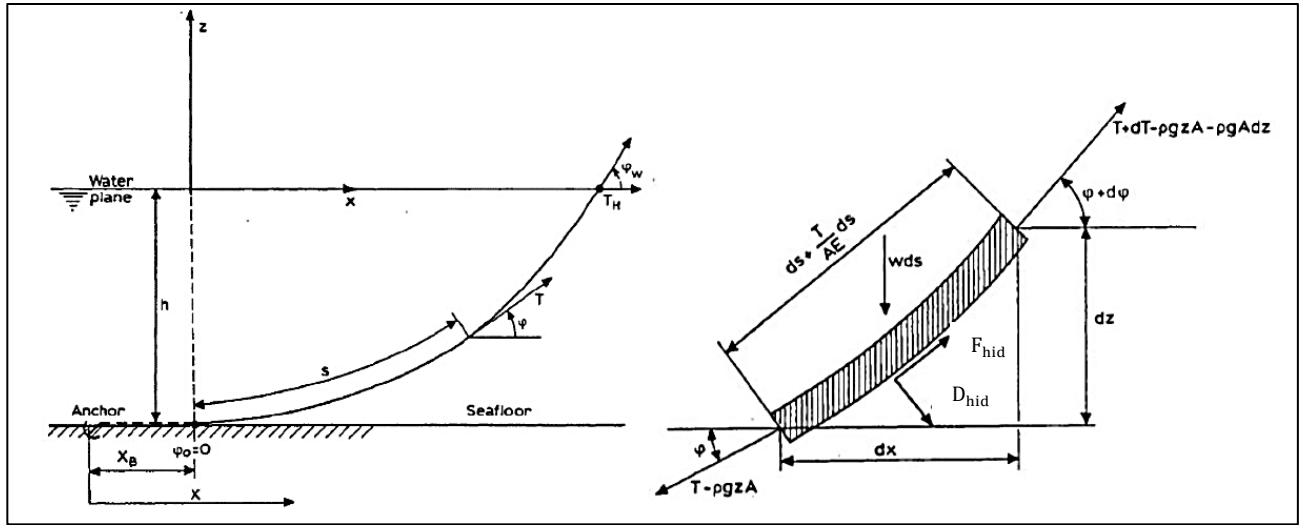
Dengan komponen massa, damping, kekakuan, dan gaya luar, persamaan gerak penuh dalam bentuk matriks dapat ditulis seperti dalam persamaan ( 13).

$$\int \rho \frac{\partial \phi_i}{\partial t} x dx + \int \rho \frac{\partial \phi_D}{\partial t} x dx + \int \rho \frac{\partial \phi_R}{\partial t} x dx - Cx = m \ddot{x}$$

$$[(M + A)][\ddot{x}] + [B][\dot{x}] + [C][x] = [F e^{i\omega t}] \quad (13)$$

### Perhitungan Pada Mooring

Perhitungan pada komponen tali mooring umumnya mengikuti skema diagram gaya pada **Gambar 4**. Persamaan-persamaan yang akan diturunkan selanjutnya (mengacu pada Faltinsen O. M., 1990) merupakan penurunan terhadap tali mooring catenary dengan artian memiliki nilai sudut di dasar perairan sebesar  $0^\circ$ .



**Gambar 4** Parameter-Parameter dalam Perhitungan Mooring  
Sumber: Faltinsen O. M., 1990

Keterangan:

- $T_e$  = Gaya tarik pada tali atau tension (N)
- $F_{hid}$  = Gaya hidrodinamik rata-rata per satuan panjang dalam arah tangensial (N)
- $D_{hid}$  = Gaya hidrodinamik rata-rata per satuan panjang dalam arah normal (N)
- $A$  = Luas penampang tali (m<sup>2</sup>)
- $E$  = Modulus elastisitas tali (Pa)
- $w$  = Berat terendam tali per satuan panjang (N/m)

Berdasarkan diagram tersebut, akan didapat persamaan gaya dalam seperti persamaan ( 14) dan ( 15) berikut.

$$dT_e - \rho g A dz = [w \sin \varphi - F_{hid}(1 + T_e/(AE))] ds \quad (14)$$

$$T_e d\varphi - \rho g A z d\varphi = [w \cos \varphi - D_{hid}(1 + T_e/(AE))] ds \quad (15)$$

Persamaan diatas bersifat non-linear, sehingga secara umum tidak dapat menghasilkan solusi eksplisit. Dalam kondisi umum (tidak ekstrim), pengaruh gaya hidrodinamika ( $F_{hid}$  dan  $D_{hid}$ ) dan elastisitas tali dapat diabaikan. Hal ini dapat menyederhanakan persamaan, sehingga didapat persamaan-persamaan berikut.

Persamaan panjang bentang tali,

$$S = \frac{T_o}{w} \left[ \sinh \left( \frac{wx}{T_o} \right) \right] \quad (16)$$

*Tension* tali untuk setiap titik,

$$T_e = T_H + wh + (w + \rho g A)z \quad (17)$$

Pengaruh *mooring* dalam respons struktur dalam arah sumbu horizontal *mooring* dapat diartikan sebagai sebuah kekakuan yang, berdasarkan Faltinsen (1990), dapat dituliskan secara analitik sebagai persamaan kekakuan sebagai berikut.

$$C_m = \frac{dT_H}{dx} = w \left[ \frac{-2}{\sqrt{1 + 2 \frac{T_H}{wd}}} + \cosh^{-1} \left( 1 + \frac{wd}{T_H} \right) \right]^{-1} \quad (18)$$

### Kriteria Desain dan Kasus Desain

Proses desain tali *mooring* dilakukan berdasarkan pada standar internasional API RP 2SK. Proses desain dilakukan dengan bantuan perangkat lunak pemodelan respons struktur dimana keluaran-keluaran pemodelan nantinya dapat di analisis dengan standar yang ada.

Faktor yang harus dipenuhi dalam desain tali *mooring*, berdasarkan standar API RP 2SK, mencakup nilai *mooring tension* dan perpindahan struktur. Nilai *tension* tidak boleh melebihi nilai *minimum breaking load* yang merupakan perkalian nilai *breaking load* tali dengan faktor keamanan.

Nilai-nilai faktor keamanan berdasarkan kondisi *mooring* dalam API RP 2SK dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1** Faktor Keamanan Minimum Breaking Load (API RP 2SK)

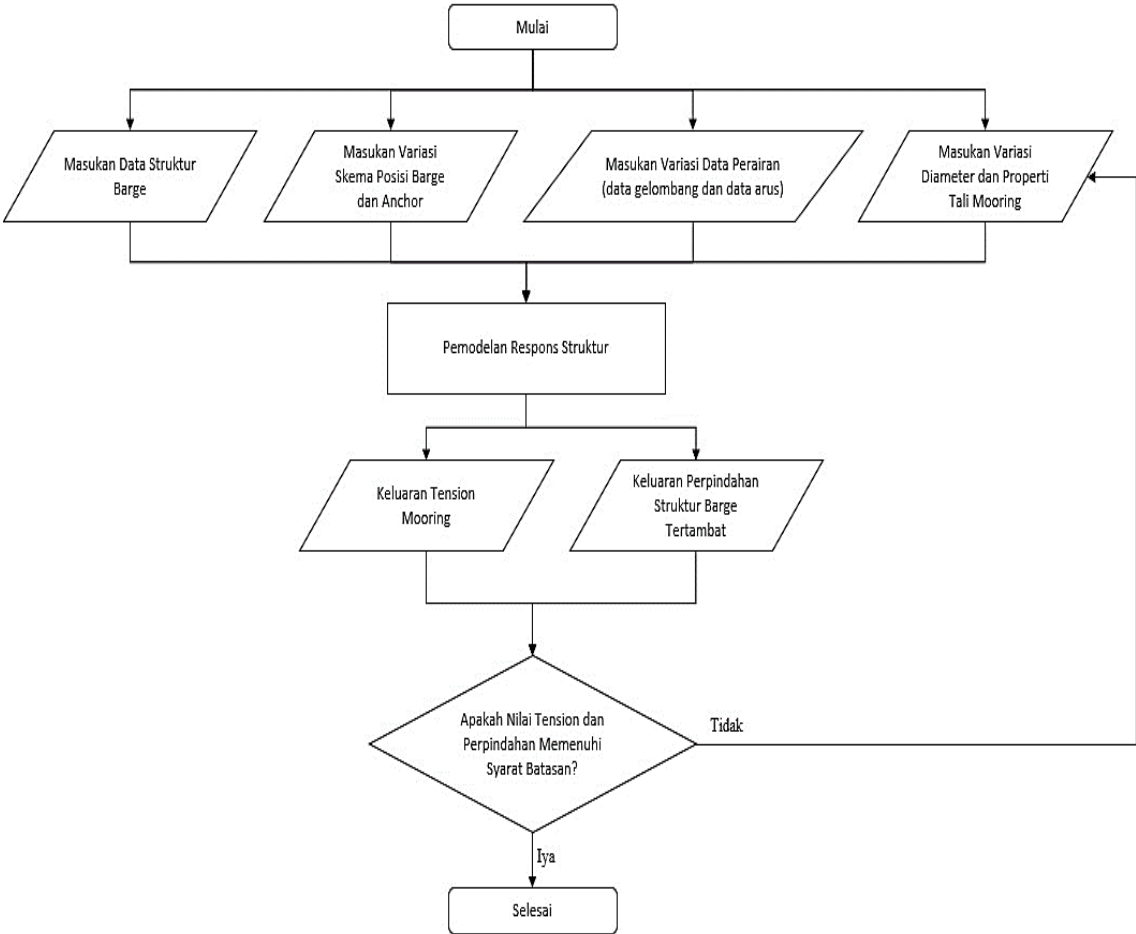
| Minimum Breaking Load (API RP2SK) |               |
|-----------------------------------|---------------|
| Condition                         | Safety Factor |
| Intact Static                     | 2             |
| Intact Dynamic                    | 1,67          |
| Damaged Dynamic                   | 1,25          |

Kriteria desain untuk respons perpindahan struktur terapung menurut panduan API RP 2SK, nilai maksimum dapat ditentukan sebesar 15% - 30% kedalaman perairan (15% dari kedalaman 13 m sebesar 1,95 m). Melihat kondisi pekerjaan yang mengharuskan kestabilan maksimal, pada proses desain kali ini nilai perpindahan dibatasi sekitar 1 m. Selama proses desain terdapat beberapa variasi pengecekan (iterasi).

Pekerjaan terbagi menjadi dua yaitu pelebaran (PL) dan perpanjangan (PP) dermaga. Bentuk dermaga atau lokasi pemancangan yang cukup luas dalam satu pekerjaan menyebabkan perlu dilakukan pemeriksaan pada beberapa posisi berbeda (Posisi 1-2-3) sehingga nilai jarak antara anchor dan barge juga akan divariasikan. Terdapat pula variasi arah datang gaya lingkungan gelombang dan arus. Diberlakukan penamaan dengan contoh, kasus PL1-U-S, menunjukkan kasus pelebaran posisi 1 dengan arah datang gelombang utara dan arah datang arus selatan. Terdapat 36 kasus yang akan diuji untuk setiap iterasi parameter tali.

Desain dilakukan untuk menentukan properti tali *mooring* yang menghasilkan ketahanan terbaik dalam menopang pergerakan *barge* saat terkena gaya lingkungan. Dilakukan pengecekan dari properti *mooring* dengan diameter 40 mm hingga 60 mm untuk melihat tali dengan properti mana yang mampu memenuhi syarat desain.

Guna melihat nilai tension dan perpindahan struktur dalam kondisi kasus-kasus desain, digunakan bantuan perangkat lunak pemodelan respons struktur dimana keluaran berupa nilai-nilai tension dan perpindahan struktur dapat selanjutnya dianalisis. Metodologi proses desain dapat digambarkan dalam flowchart pada **Gambar 5**~~Error! Reference source not found.~~.



**Gambar 5** Flowchart Metodologi Desain

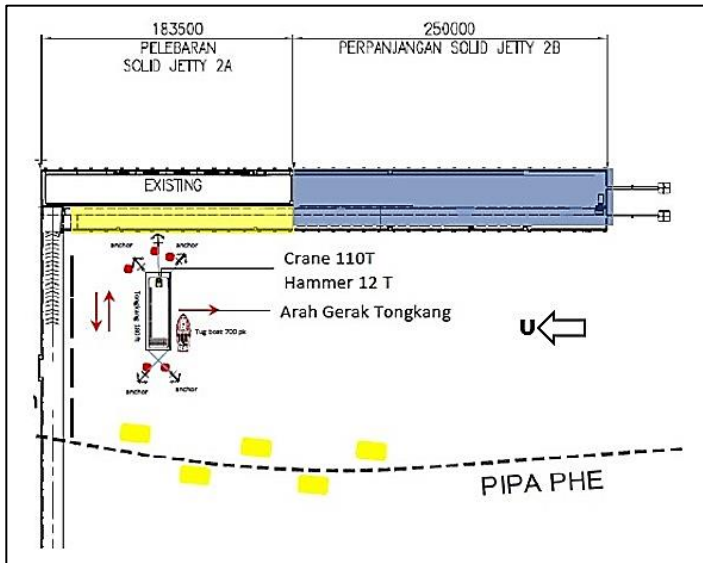
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Lokasi Studi

Proyek dermaga ini berlokasi di Selat Madura, Utara Kota Surabaya, Jawa Timur, Indonesia. Citra lokasi proyek yang berada di Selat Madura ditunjukkan pada **Gambar 6**. Visualisasi proyek dermaga sendiri dapat dilihat pada **Gambar 7**.



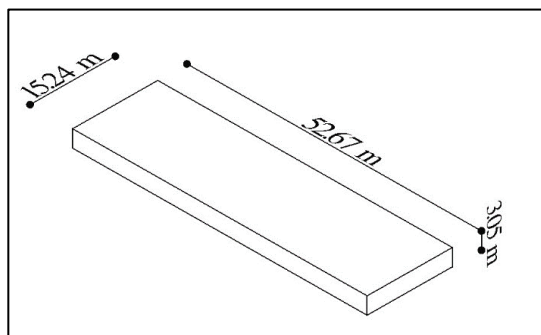
**Gambar 6** Citra Google Earth Lokasi Proyek  
Sumber: Google Eart Pro



**Gambar 7** Gambar Desain Areal Proyek pelebaran dan Perpanjangan  
Sumber: Presentasi Metode Konstruksi Proyek

## 2. Data Struktur Barge

Barge yang digunakan dalam pekerjaan pemancangan dermaga ini merupakan barge 180 ft yang memiliki rincian dimensi yang tertera dalam visualisasi pada **Gambar 8**. Dengan beban total selama bekerja (beban operasi ditambah beban sendiri) sebesar 12300 ton.



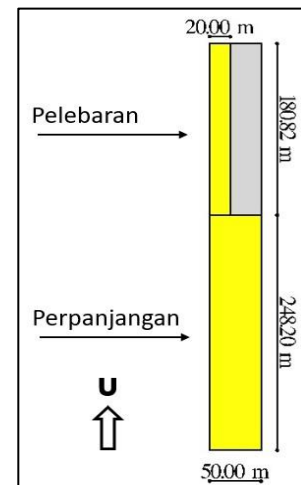
**Gambar 8** Dimensi Struktur Barge

## 3. Data Mooring

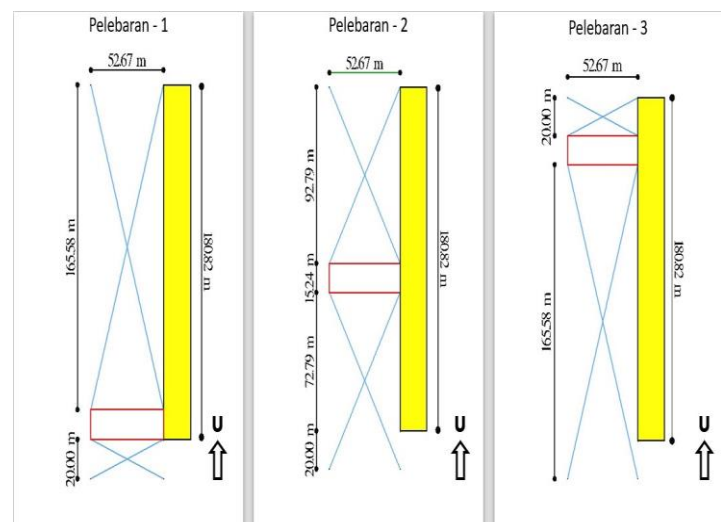
Properti tali menggunakan referensi perusahaan *Katradis* dapat dilihat dalam **Tabel 2**. Konfigurasi *mooring* yang digunakan dalam pekerjaan pemancangan dermaga ini divisualisasikan dalam **Gambar 9**, **Gambar 10**, dan **Gambar 11**. Penamaan terhadap tali *mooring* P1-P4 dapat dilihat pada **Gambar 12**.

**Tabel 2** Spesifikasi Properti Tali Mooring

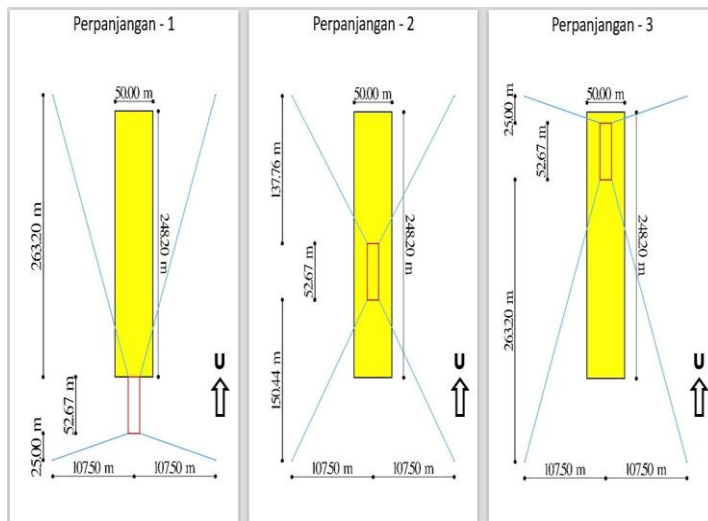
| Nominal diameter | Approx. Mass | Breaking Load         |
|------------------|--------------|-----------------------|
|                  |              | 1960N/mm <sup>2</sup> |
| mm               | Kg/m         | KN                    |
| 36               | 5.3          | 904                   |
| 38               | 5.92         | 1012                  |
| 40               | 6.54         | 1120                  |
| 42               | 7.23         | 1235                  |
| 44               | 7.92         | 1350                  |
| 46               | 8.67         | 1480                  |
| 48               | 9.42         | 1610                  |
| 50               | 10.26        | 1750                  |
| 52               | 11.1         | 1890                  |
| 54               | 11.95        | 2040                  |
| 56               | 12.8         | 2190                  |
| 58               | 13.75        | 2350                  |
| 60               | 14.7         | 2510                  |



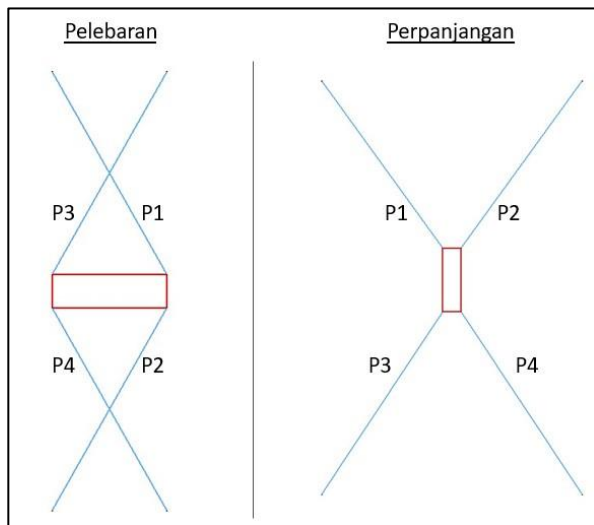
**Gambar 9** Visualisasi Pekerjaan Pelebaran dan Perpanjangan



**Gambar 10** Visualisasi Konfigurasi pada Posisi 1-2-3 Pekerjaan Pelebaran



**Gambar 11** Visualisasi Konfigurasi pada Posisi 1-2-3 Pekerjaan Perpanjangan



**Gambar 12** Penamaan Tali Mooring

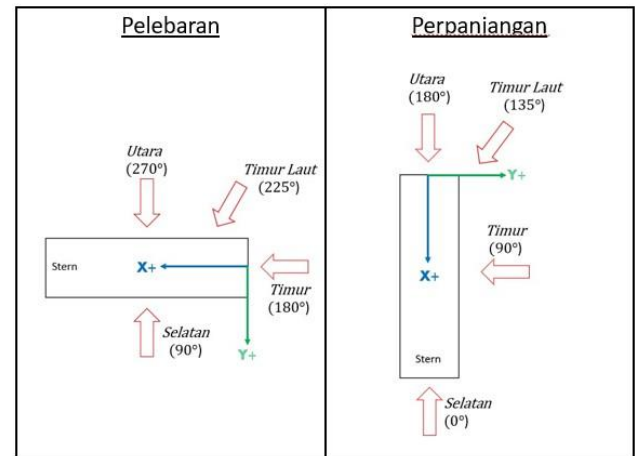
#### 4. Data Lingkungan

Data gelombang yang akan digunakan berupa gelombang dengan parameter tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) 1 m dan periode puncak ( $T_p$ ) 6 s dengan arah-arah desain Utara, Timur Laut dan Timur.

Data arus yang akan digunakan berupa arus selat dengan parameter kecepatan arus 2 m/s.

Digunakan arah desain Utara dan Selatan.

Visualisasi arah datang gelombang dapat dilihat pada **Gambar 13**.

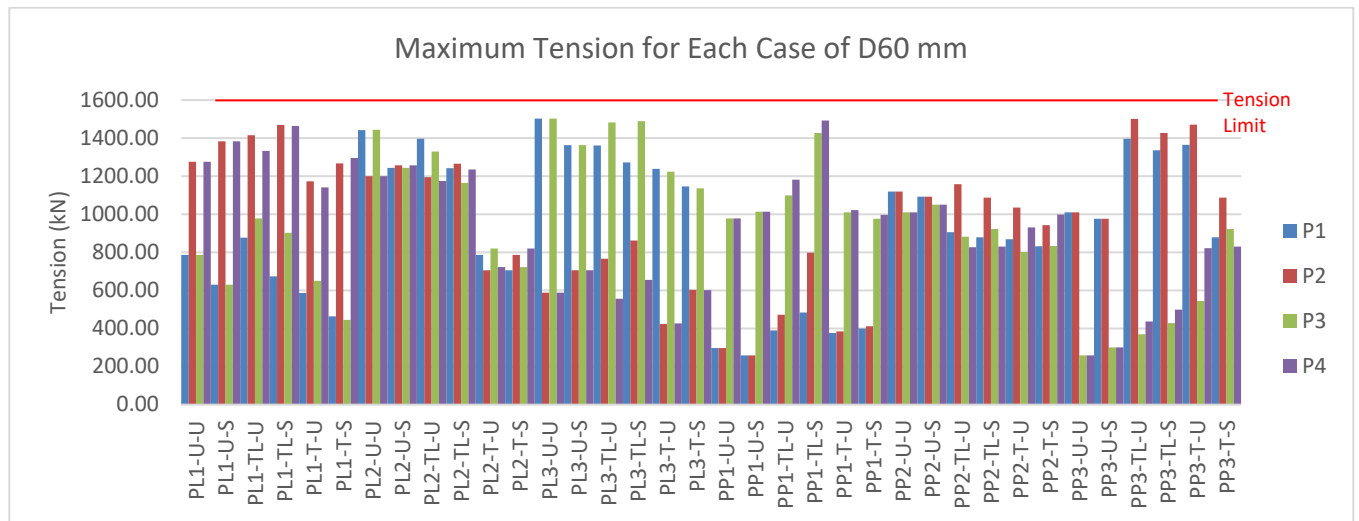


**Gambar 13** Visualisasi Arah Datang Gaya Lingkungan

#### 5. Keluaran Pemodelan - Tension

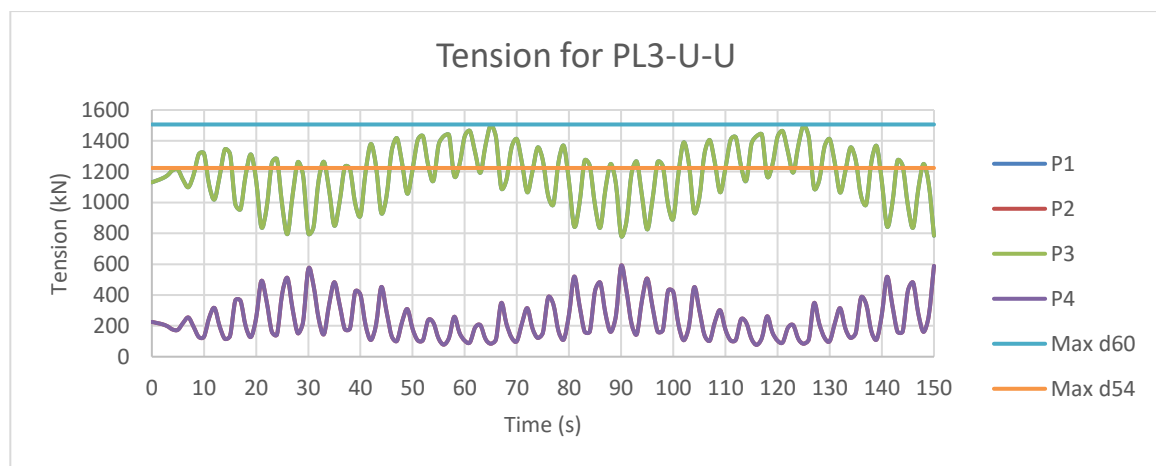
Hasil pemodelan *tension* tali mooring digunakan dalam menentukan variasi properti tali *mooring* yang mampu tetap bertahan (tidak putus) setelah menerima gaya lingkungan dengan acuan nilai *Minimum Breaking Load* yang diijinkan (60% nilai *Breaking Load* tali yang disediakan perusahaan manufaktur). Dalam proses desain, setelah dilakukan pengecekan pada variasi diameter, ditemukan variasi diameter yang tidak putus setelah menerima beban lingkungan adalah variasi 60 mm.

**Gambar 14** menunjukkan nilai *tension* maksimum untuk semua kasus dengan menggunakan properti tali 60 mm dalam bentuk *bar chart*.



**Gambar 14** Tension Maksimum Seetiap Kasus dengan Properti Tali Diameter 60 mm

Contoh grafik time series untuk kondisi tension tali P1 dan P3 paling maksimum pada pekerjaan pelebaran (kasus PL3-U-U) dapat dilihat pada **Gambar 15**.



**Gambar 15** Time Series Tension Kasus Maksimum PL3-U-U

Pada komposisi ini tali P1 dan P3 yang lebih pendek dari P2 dan P4 akan memiliki nilai tension keseluruhan yang lebih tinggi. Tali P1 dan P3 berperan menahan gaya dari arah datang utara, dimana sisi penampang *barge* yang terkena gaya utara lebih besar dari arah timur sehingga nilai P1 dan P3 akan lebih tinggi pula dari P2 dan P4. Karena posisi dan arah ini pula nilai P1 dan P3 pada kasus ini akan lebih besar dari kasus lainnya.

Grafik keluaran tension diatas menunjukkan adanya perbedaan puncak-lembah antara tali P1-P3 dan P2-P4, hal ini

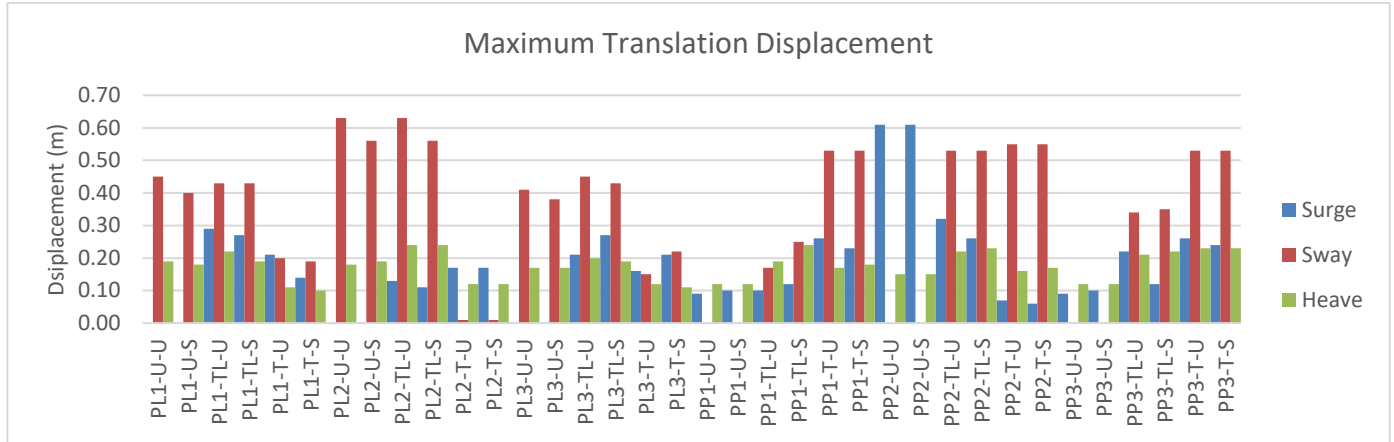
dijelaskan pada saat kondisi terjadi tarikan pada tali P1-P3 maka akan terjadi kendur pada tali P1-P4 sehingga nilai tension akan berkurang dan sebaliknya. Terlihat pula bahwa tali P1-P3 dan P2-P4 masing-masing memiliki tension yang sama besar dikarenakan konfigurasi tali dan properti tali yang sama (panjang) sehingga beban akan terbagi sama. Nilai tension awal yang berada pada grafik juga menunjukkan bahwa tali P1-P3 lebih tegang dibandingkan tali P2-P4.

## 6. Keluaran Pemodelan - Respons Struktur

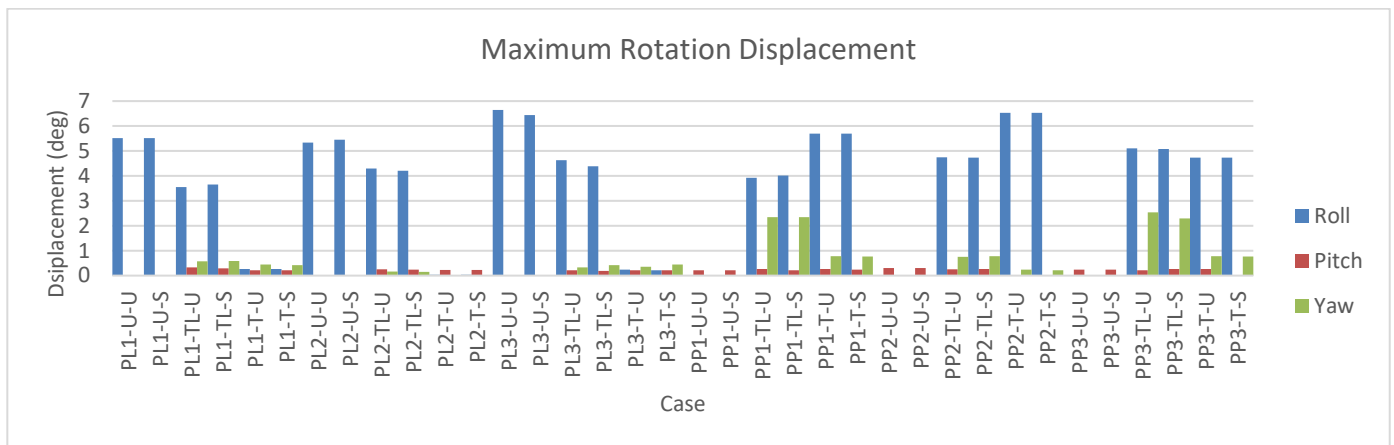
Hasil pemodelan berupa perpindahan

struktur akan digunakan untuk melihat apakah perpindahan yang terjadi melebihi batasan perpindahan. **Gambar 16** dan **Gambar 17** dibawah ini menunjukkan nilai perpindahan

relatif (relatif terhadap koordinat awal) maksimum dalam enam arah gerak untuk semua kasus dengan menggunakan properti tali 60 mm.

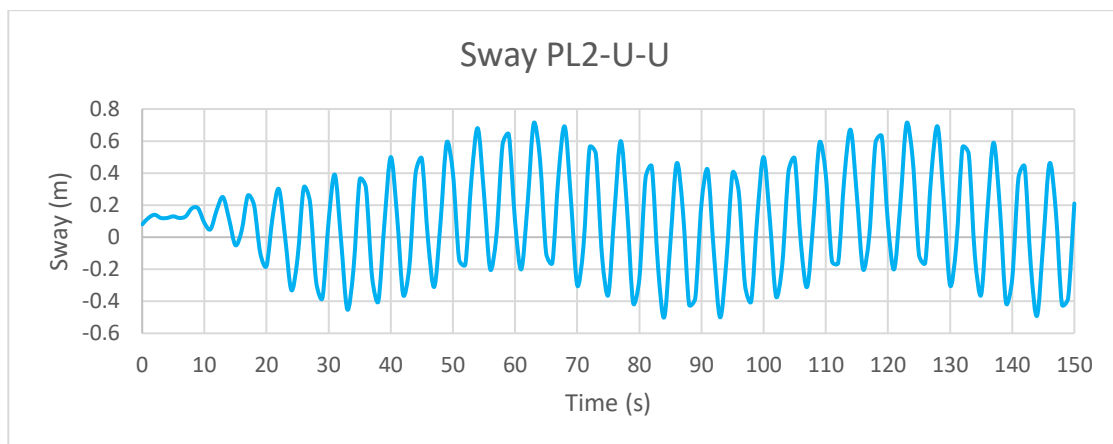


**Gambar 16** Grafik Bar Nilai Perpindahan Translasi Maksimum per Kasus



**Gambar 17** Grafik Bar Nilai Perpindahan Rotasi Maksimum per Kasus

Contoh grafik time series untuk kondisi gerak sway paling maksimum pada pekerjaan pelebaran (kasus PL2-U-U) dapat dilihat pada **Gambar 18**.



**Gambar 18** Time Series Respons Sway Maksimum Kasus PL2-U-U

Perpindahan *sway* pada pekerjaan pelebaran memiliki nilai tertinggi pada kasus PL2-U-U dimana barge berada pada posisi 2 dengan arah gaya gelombang utara dan arah gaya arus utara (atau selatan).

Arah datang gelombang utara akan menghasilkan gerakan *sway* terbesar. Nilai maksimum terjadi pada posisi 2 karena pada posisi ini tahanan terhadap gaya arah utara dan selatan hanya pada kombinasi tali P1-P3 dan P2-P4 sedangkan tali pada posisi ini lebih kendur dari posisi lain sehingga restriksi terhadap gerakan maju-mundur *sway* lebih kecil pada posisi ini.

Melihat grafik perpindahan diatas, terlihat perpindahan maksimum *sway* pelebaran (relatif terhadap titik awal) sebesar 0,29 m dengan waktu mencapai *steady state* pada kisaran 25 s. Apabila gaya eksitasi frekuensi kecil dihiraukan, maka terlihat bahwa grafik respons *sway* memiliki periode yang sama dengan periode gelombang pada 6 s.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Melalui analisis hasil *tension* pada tali *mooring* didapatkan bahwa diperlukan variasi properti tali *mooring* dengan diameter minimal 60 mm untuk menahan gaya lingkungan berupa gelombang (tinggi gelombang signifikan 1 m dan periode puncak 6 s) dan arus (kecepatan arus 2 m/s) secara utuh (tidak putus). Melihat perpindahan (respons) struktur *barge* tertambat didapatkan bahwa variasi diameter 60 mm sudah cukup dalam menahan struktur barge dari perpindahan yang signifikan sehingga didapat kesimpulan sebagai berikut:

- Dipilih penggunaan tali *mooring steel wire rope* dengan variasi diameter 60 mm yang memiliki properti yang tertera pada **Tabel 3**.

**Tabel 3** Properti Tali Mooring Pilihan Desain

| Nominal diameter | Approx. Mass | Breaking Load               |
|------------------|--------------|-----------------------------|
|                  |              | Grade 1960N/mm <sup>2</sup> |
| mm               | Kg/m         | KN                          |
| 60               | 14.7         | 2510                        |

- Perpindahan relatif maksimum yang terjadi dengan pilihan variasi tali *mooring* diameter 60 mm untuk tiap arah tertera pada **Tabel 4**.

**Tabel 4** Kesimpulan Perpindahan Relatif Struktur Tertambat

| Arah             | Kasus    | Perpindahan (Max) | Arah             | Kasus    | Perpindahan (Max) |
|------------------|----------|-------------------|------------------|----------|-------------------|
| <i>Surge</i> (m) | PL1-TL-U | 0,29              | <i>Surge</i> (m) | PP2-U-U  | 0,48              |
| <i>Sway</i> (m)  | PL2-U-U  | 0,63              | <i>Sway</i> (m)  | PP2-T-U  | 0,53              |
| <i>Heave</i> (m) | PL2-TL-U | 0,24              | <i>Heave</i> (m) | PP2-TL-S | 0,23              |
| <i>Roll</i> (°)  | PL3-U-U  | 6,64              | <i>Roll</i> (°)  | PP2-T-U  | 6,53              |
| <i>Pitch</i> (°) | PL1-TL-U | 0,33              | <i>Pitch</i> (°) | PP2-U-U  | 0,31              |
| <i>Yaw</i> (°)   | PL1-TL-S | 0,58              | <i>Yaw</i> (°)   | PP3-TL-U | 2,54              |

Adapun saran yang dapat disampaikan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Selain properti *mooring*, dalam kasus analisis dan desain respons struktur tertambat, diperlukan pula perhatian dalam desain konfigurasi *mooring*. Jumlah tali *mooring* yang menopang struktur, posisi atau orientasi tali, dan posisi *anchor* dapat memengaruhi kemampuan *mooring* dalam menahan pergerakan struktur. Maka dari itu, dalam pekerjaan atau penelitian berikutnya, disarankan untuk melakukan proses desain terhadap konfigurasi *mooring* ini.
2. Berhubungan dengan konfigurasi *mooring*, disarankan untuk mencari tahu atau mendiskusikan dengan pihak instalasi lapangan mengenai kemudahan atau tantangan dalam penggunaan konfigurasi yang di desain sehingga desain yang dibuat dapat diaplikasikan di lapangan dengan baik.
3. Dalam proses pendefinisian struktur kedalam perangkat lunak pemodelan, disarankan untuk lebih memerhatikan tingkat keakurasian atau kemiripan dengan bentuk dan properti struktur asli khususnya pada bagian *bow*, *hull*, dan *stern* struktur terapung.

## 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.

Badan Pusat Statistik. (2016). Statistik Sumber Daya Laut dan Pesisir. Badan Pusat Statistik

Biran, A.B. (2003). Ship Hydrostatic and Stability. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Ultramarine Inc. (2017). Reference Manual for MOSES.

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.

GL Noble Denton. (2015). Guideline for Mooring. Technical Standards Committee of GL Noble Denton.

Jung, Jae-Sang & Lee, Changhoon & Cho, Yong-Sik. (2015). Prediction of Wave Force on a Long Structure of Semi-infinite Breakwater Type Considering Diffraction. Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers.

Newman, J. N. (2017). Marine Hydrodynamics. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press.

Wilson, P. A. (2018). Basic Naval Architecture: Ship Stability. Southampton: Springer International Publishing.