

# Desain Tanggul untuk Reklamasi di Sumatra Utara

Gerry Teguh Padantha

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung  
Jalan Ganesa 10 Bandung 40132, E-mail: gintinggerry@gmail.com

Hendriyawan

Kelompok Keahlian Teknik Lepas Pantai, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung  
Jalan Ganesa 10 Bandung 40132, E-mail: hendriyawan@ocean.itb.ac.id

## 1. Pendahuluan

Reklamasi dilakukan manusia untuk memenuhi kebutuhan akan area darat sebagai tempat melakukan berbagai aktifitas. Reklamasi di laut akan mengalami beban lingkungan seperti dari gelombang dan arus laut, sehingga area reklamasi harus dilindungi dengan pelindung pantai. Di Sumatra Utara, yang menjadi lokasi studi ini, tanggul reklamasi akan dibangun terlebih dahulu. Lapisan lindung dari tanggul akan direncanakan menggunakan persamaan Hudson (1961). Selain stabilitas dari gaya lingkungan, tanggul harus tetap stabil di atas tanah dasar. Beban dari tanggul harus mampu dipikul oleh tanah dasar sehingga tidak terjadi keruntuhan. Pada kasus tanah dasar tidak mampu memikul beban dari tanggul, maka dilakukan perkuatan tanah. Salah satu metode untuk perkuatan tanah adalah menggunakan matras cerucuk bambu.

## 2. Teori dan Metodologi

### 2.1 Lapisan Armor dan Filter

Lapisan armor dan filter harus cukup berat untuk melawan gaya lingkungan. Massa satuan unit lapisan armor didesain berdasarkan persamaan Hudson (1961) seperti disampaikan dalam *Shore Protection Manual 1984* yaitu

$$W = \frac{w_r H^3}{K_D (w_r/w_w - 1)^3 \cot \theta}$$
$$r = n k_\Delta \left( \frac{W}{w_r} \right)^{1/3}$$

Di mana

$W$  = Massa tiap unit armor

$w_r$  = Massa jenis unit armor

$H$  = Tinggi gelombang desain

$w_w$  = Massa jenis air

$\theta$  = Sudut kemiringan stuktur

$K_\Delta$  = Koefisien stabilitas

$r$  = Tebal total

$n$  = Jumlah lapisan batu atau beton unit armor

$k_\Delta$  = Koefisien lapisan

Ketebalan minimum dari lapisan filter untuk batuan dengan diameter seragam adalah 2 kali diameter batuan dengan berat sekitar 0.1 berat unit armor.

### 2.2 Teori Keruntuhan Mohr-Coulomb

Mohr (1900) memberikan teori untuk keruntuhan tanah sebagai kombinasi kritis antara tegangan geser dan tegangan normal. Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dinyatakan dengan persamaan

$$\tau = c + \sigma_n \tan(\phi)$$

### 2.3 Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi terjadi dalam waktu panjang seiring keluarnya air pori. Besar penurunan konsolidasi dihitung dengan persamaan Terzaghi 1 Dimensional (1936) dalam Das (2010) sebagai berikut

$$S_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H_c$$
$$\Delta e = C_c \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_0}$$
$$\Delta e = C_r \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_0}$$

Di mana

$\Delta e$  = Total void ratio akibat penambahan beban

$e_0$  = Initial Void ratio

$H_c$  = Tebal lapisan tanah yang ditinjau

$C_c$  = Compression Index

$C_r$  = Recompression Index

$\sigma'_0$  = Tegangan efektif rata-rata

$\Delta \sigma$  = Penambahan tegangan pada tanah akibat beban

Sedangkan waktu terjadinya konsolidasi dihitung dengan persamaan berikut

$$t = \frac{T_v H_{dr}^2}{C_v}$$

Di mana

$T_v$  = Time factor untuk arah vertikal

$H_{dr}$  = Panjang lintasan air

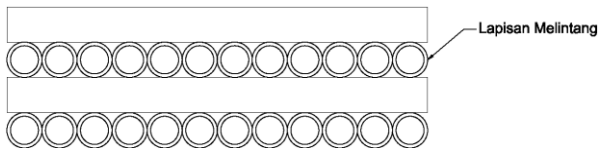
$C_v$  = Koefisien konsolidasi arah vertikal

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left( \frac{U_v \%}{100} \right)^2 ; U_v < 60\%$$

$$T_v = 1.781 - 0.933 \log(100 - U_v \%); U_v > 60\%$$

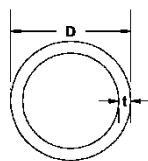
## 2.4 Perkuatan matras cerucuk bambu

Matras cerucuk bambu digunakan sebagai perkuatan di atas tanah lunak. Matras bambu berfungsi meratakan beban timbunan dan gaya apung bambu menambah daya dukung terhadap beban timbunan. Cerucuk bambu berperilaku sebagai pondasi. Matras bambu berupa gabungan ikatan bambu yang terbentuk atas beberapa lapisan. Untuk matras bambu hanya parameter kekuatan bambu melintang yang diperhitungkan. Gambar 1 menunjukkan sketsa matras dua lapis melintang.



Gambar 1 Matras dua lapis melintang

Matras bambu dimodelkan sebagai *beam element* dalam perangkat lunak Plaxis 7.2 dengan parameter yang diperlukan adalah kekakuan lentur (EI), kekakuan aksial (EA), berat dan *poisson's ratio*. Gambar 2 menunjukkan penampang bambu. Untuk memperhitungkan kedua parameter tersebut dibutuhkan modulus elastisitas, luas penampang bambu dan momen inersia berdasarkan persamaan berikut



Gambar 2 Sketsa penampang bambu

$$A = 0.25 \times \pi \times [D^2 - (D - 2 \times t)^2]$$

$$I = \frac{\pi}{64} \times [D^4 - (D - 2 \times t)^4]$$

$$EA = E \times A$$

$$EI = E \times I$$

Di mana

D = Diameter bambu

t = Tebal bambu

E = Modulus elastisitas bambu

A = Luas penampang bambu

I = Inersia penampang bambu

Cerucuk bambu dimodelkan sebagai *node to node anchor*, di mana bambu dimodelkan sebagai pegas. Parameter yang dibutuhkan dalam pemodelan *node to node anchor* adalah kekakuan aksial (EA) dan jarak antar cerucuk bambu.

Dalam penggunaan cerucuk bambu sebagai perkuatan tanah, mekanisme transfer beban dari cerucuk ke tanah dapat dihubungkan dengan tegangan geser berupa tahanan friksi terhadap perpindahan cerucuk.

$F_{max}$  dihitung berdasarkan persamaan daya dukung pondasi dalam dan dibagi dengan *safety factor*, yaitu

$$Q_{ult} = Q_f + Q_b$$

$$Q_{ult} = fA_s + qA_p$$

$$F_{max} = \frac{Q_{ult}}{\text{Safety Factor}}$$

di mana

$Q_{ult}$  = Daya dukung ultimat (kN)

$Q_f$  = Total tahanan *skin-friction* (kN)

$Q_b$  = Total kapasitas *end bearing* (kN)

f = Beban yang bekerja pada lapisan selimut bambu (kN/m<sup>2</sup>)

q = Beban yang bekerja pada bagian ujung bambu (kN/m<sup>2</sup>)

$A_s$  = Luas selimut bambu (m<sup>2</sup>)

$A_p$  = Luas penampang bambu (m<sup>2</sup>)

$F_{max}$  diasumsikan akan termobilisasi jika cerucuk bambu telah berdeformasi sebesar 10% dari diameter bambu. Nilai konstanta pegas (k) untuk cerucuk bambu dihitung melalui persamaan berikut

$$k = \frac{F_{max}}{\delta}$$

di mana

k = Konstanta pegas

$\delta$  = Deformasi bambu = 0.1 Diameter bambu

Setelah mengetahui nilai konstanta pegas dapat dihitung nilai kekakuan aksial dari cerucuk bambu berdasarkan persamaan berikut

$$EA = k \times L$$

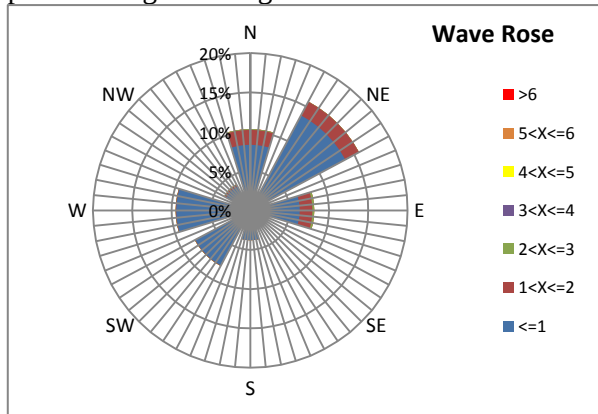
di mana

L = Panjang elemen bambu

### 3.Data dan Pengolahan

#### 3.1 Data-data lingkungan

Parameter gelombang dihitung menggunakan metoda *hindcasting* sesuai metode dalam SPM 1984. *Wave rose* pada Gambar 3 menunjukkan persebaran gelombang.



Gambar 3 Wave rose

Data pasang surut diolah menggunakan ERGTIDE versi 2.0. Pada Tabel 1 berikut disampaikan rangkuman data lingkungan

Tabel 1 Data Lingkungan

|                                                          |        |
|----------------------------------------------------------|--------|
| Highest Water Spring (Referensi LWS)                     | 1.57 m |
| Tinggi gelombang signifikan 50 tahunan di depan struktur | 1.14 m |
| Periode puncak gelombang                                 | 9.85 s |

#### 3.2 Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam studi merupakan data lapangan pengujian N-SPT. Dari hasil uji ini dilakukan pengolahan untuk mendapatkan parameter tanah berdasarkan korelasi SPT. Tabel 2 dan 3 berikut menampilkan parameter tanah yang akan digunakan dalam pemodelan

Tabel 2 Parameter tanah BOR-1

| Parameter                              |                       | Clayey silt 1 | Clayey Silt 2 | Silty Sand 1 | Silty Sand 2 |
|----------------------------------------|-----------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Berat Jenis Kering ( $\text{kN/m}^3$ ) | $\gamma_{\text{dry}}$ | 10.2          | 11.7          | 12.5         | 15.7         |
| Berat Jenis Basah ( $\text{kN/m}^3$ )  | $\gamma_{\text{wet}}$ | 14.2          | 15.7          | 16.5         | 19.7         |
| Permeabilitas Horizontal (m/hari)      | $k_x$                 | $10^{-4}$     | $10^{-4}$     | 1            | 1            |
| Permeabilitas Vertikal (m/hari)        | $k_y$                 | $10^{-4}$     | $10^{-4}$     | 1            | 1            |
| Modulus Young                          | $E_{\text{ref}}$      | 1500          | 4125          | 10500        | 22500        |

| Parameter                 |                  | Clayey silt 1 | Clayey Silt 2 | Silty Sand 1 | Silty Sand 2 |
|---------------------------|------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| ( $\text{kN/m}^2$ )       |                  |               |               |              |              |
| Rasio Poisson             | $\nu$            | 0.2           | 0.2           | 0.3          | 0.35         |
| Kohesi( $\text{kN/m}^2$ ) | $c_{\text{ref}}$ | 5             | 13.75         | 0            | 0            |
| Sudut Geser ( $^\circ$ )  | $\phi$           | 0             | 0             | 27.5         | 38.8         |

Tabel 3 Parameter tanah BOR-4

| Parameter                              |                       | Clayey silt 1 | Clayey Silt 2 | Silty Sand |
|----------------------------------------|-----------------------|---------------|---------------|------------|
| Berat Jenis Kering ( $\text{kN/m}^3$ ) | $\gamma_{\text{dry}}$ | 10.2          | 11.7          | 17.2       |
| Berat Jenis Basah ( $\text{kN/m}^3$ )  | $\gamma_{\text{wet}}$ | 14.2          | 15.7          | 21.2       |
| Permeabilitas Horizontal (m/hari)      | $k_x$                 | $10^{-4}$     | $10^{-4}$     | 1          |
| Permeabilitas Vertikal (m/hari)        | $k_y$                 | $10^{-4}$     | $10^{-4}$     | 1          |
| Modulus Young ( $\text{kN/m}^2$ )      | $E_{\text{ref}}$      | 1500          | 3750          | 10500      |
| Rasio Poisson                          | $\nu$                 | 0.2           | 0.2           | 0.3        |
| Kohesi( $\text{kN/m}^2$ )              | $c_{\text{ref}}$      | 5             | 12.5          | 0          |
| Sudut Geser ( $^\circ$ )               | $\phi$                | 0             | 0             | 44.2       |

### 4.Hasil dan Pembahasan

#### 4.1 Dimensi Tanggul

Ketinggian tanggul dihitung dengan memperhatikan pasang surut dan *run-up* pada struktur tanggul. Besar *run-up* dihitung dengan persamaan hasil percobaan Ahren dan McCartney (1977) berikut

$$\frac{R_u}{H} = A_u [1 - \exp(B_u \times \xi)]$$

di mana

H = Tinggi gelombang di depan struktur

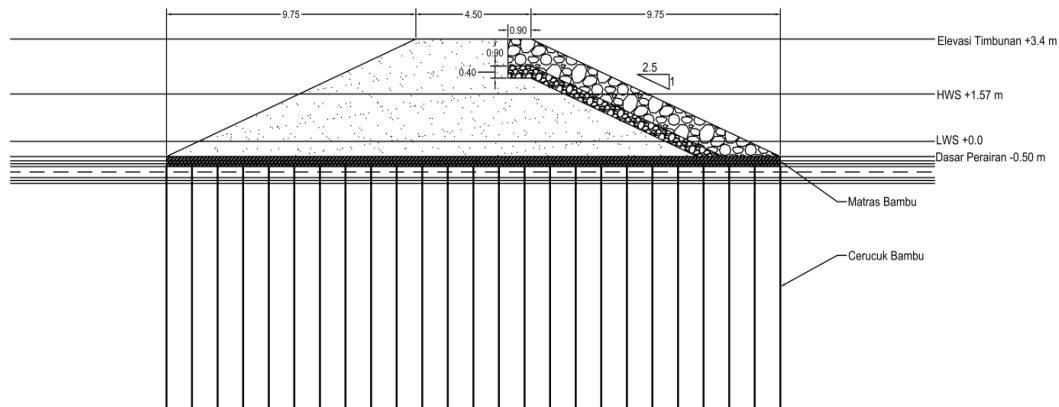
$R_u$  = Tinggi vertikal maksimum dari *run-up* dari muka air tenang

$A_u, B_u$  = Koefisien korelasi sebesar 1.7887 dan -0.4552

$\xi$  = Surf Similarity Parameter

Sehingga besar *run-up* adalah 1.791 m. Maka didapat ketinggian desain tanggul adalah **3.4 m**.

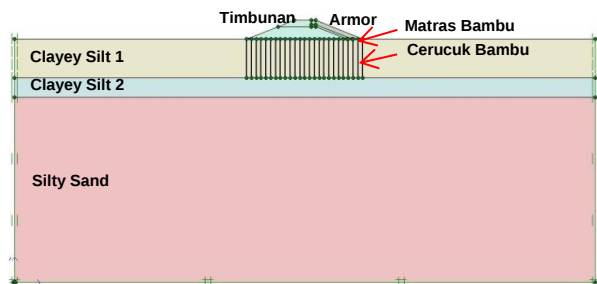
Berat satuan dan ketebalan lapisan armor dihitung berdasarkan persamaan Hudson (1961) dalam SPM, sehingga didapat ketebalan lapisan armor **0.9 m** dengan berat unit satuan adalah **213 kg**, sedangkan tebal lapisan filter **0.4 m** dan berat satuan unit adalah **21.3 kg**. Gambar 4 berikut menampilkan potongan tanggul dalam studi ini



Gambar 4 Penampang tanggul

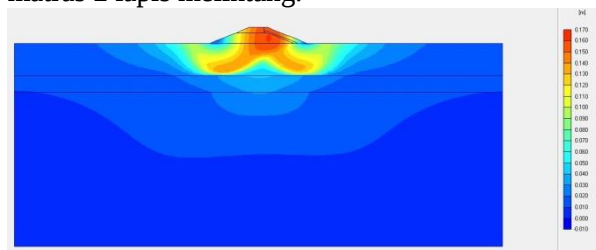
### 4.3 Stabilitas Tanggul

Penentuan stabilitas tanggul di atas tanah dasar dilakukan dengan bantuan perangkat lunak plaxis 7.2. Pada proses pemodelan diketahui bahwa pembangunan tanggul tanpa perkuatan akan menyebabkan kegagalan, maka diperlukan perkuatan. Pada Gambar 5 berikut ditampilkan geometri model pada plaxis 7.2 di atas tanah dasar dengan parameter BOR-1



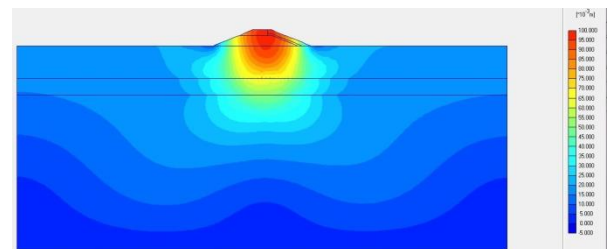
Gambar 5 Geometri model

Tanggul yang dibangun dengan perkuatan matras bambu masih menghasilkan keruntuhan. Gambar 6 menunjukkan total deformasi dengan perkuatan matras 2 lapis melintang.



Gambar 6 Deformasi total akibat tanggul dengan perkuatan matras 2 lapis melintang

Tanggul diperkuat dengan matras 2 lapis melintang dan ikatan 3 cerucuk bambu. Gambar 7 berikut menampilkan keluaran pemodelan tersebut.



Gambar 7 Deformasi total akibat tanggul dengan perkuatan matras 2 lapis melintang dan ikatan 3 cerucuk bambu

Dengan perkuatan ini timbunan tetap stabil dengan nilai *safety factor* sebesar 1.52 dan besar penurunan plastis sebesar 99 mm.

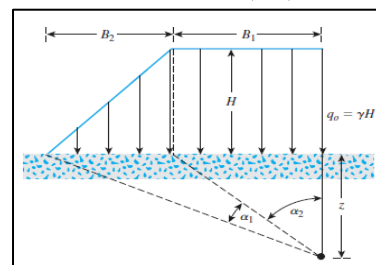
### 4.3 Penurunan Konsolidasi

Penurunan tanah dihitung dengan persamaan Terzaghi untuk kondisi underconsolidated. Besarnya penambahan tegangan akibat timbunan dihitung dengan persamaan berikut

$$\Delta\sigma = \frac{q_0}{\pi} \left[ \left( \frac{B_1 + B_2}{B_2} \right) (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{B_1}{B_2} (\alpha_2) \right]$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left( \frac{B_1 + B_2}{z} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{B_1}{z} \right)$$

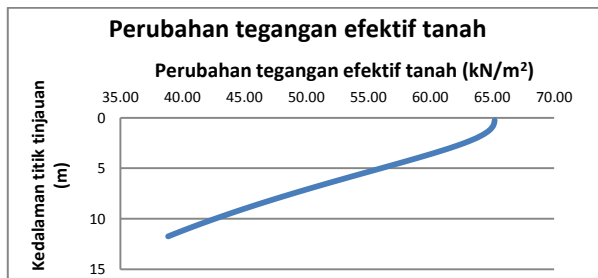
$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left( \frac{B_1}{z} \right)$$



Gambar 8 Ilustrasi pengaruh beban timbunan pada tinjauan kedalaman (z) (Das, 2010)

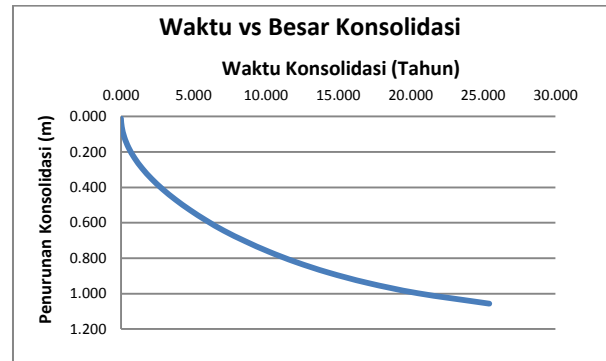
Dengan nilai  $B_1 = 2.25$  m dan  $B_2 = 9.75$ , dilakukan peninjauan dengan interval 0.5 m. Pada

Gambar 9 berikut ditampilkan grafik perubahan tegangan efektif akibat tanggul



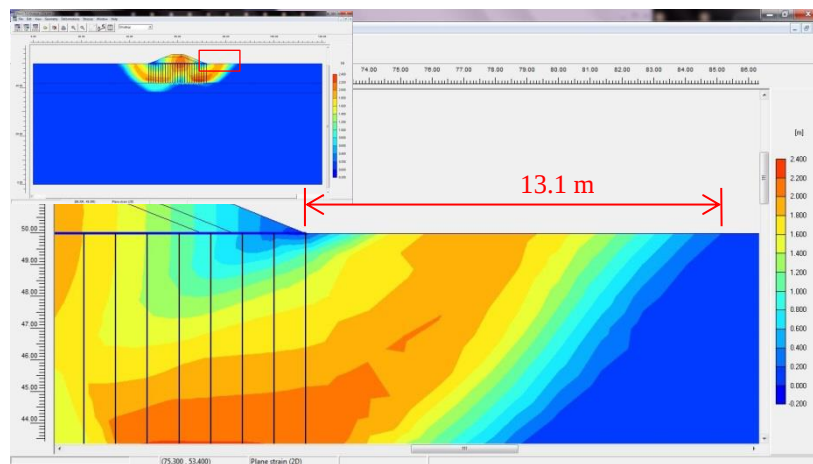
Gambar 9 Perubahan tegangan efektif akibat tanggul

Dengan meninjau lapisan tiap ketebalan 0.5 m didapat besar konsolidasi **1.174 m**.



Gambar 10 Penurunan tanah terhadap waktu

Pada Gambar 10 ditampilkan grafik penurunan tanah terhadap waktu. Seperti terlihat pada grafik dibutuhkan waktu sekitar **25.44 tahun** untuk terjadi konsolidasi sebesar **1.06 m**, yaitu 90% dari total konsolidasi.



Gambar 11 Mekanisme keruntuhan tanggul di atas tanah dasar BOR-1

#### 4.5 Jarak Aman Tanggul dengan Trestle

Jarak aman minimum pembangunan tanggul dari trestle ditinjau dari mekanisme keruntuhan tanah. Karena perkuatan dengan matras 2 lapis melintang dan cerucuk 3 ikatan bambu telah memberikan hasil yang mencukupi, maka perkuatan dengan kuantitas tersebut dapat dibangun. Demikian juga dengan jarak aman, kasus perkuatan ini yang akan ditinjau. Gambar berikut menampilkan mekanisme keruntuhan tanggul di atas tanah dasar BOR-1 dengan perkuatan matras 2 lapis melintang dan cerucuk 3 ikatan bambu. Pada Gambar 11 ditampilkan mekanisme keruntuhan akibat tanggul. Seperti terlihat pengaruh dari tanggul sejauh 13.1 m. Maka jarak aman minimum untuk pembangunan tanggul dari trestle diambil **13.1 m**.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi dapat disimpulkan

1. Tanggul reklamasi yang dibangun dibuat dengan ketinggian **3.4 m**, ketebalan lapisan armor **0.9 m** dan ketebalan lapisan filter **0.4 m**. Massa tiap unit armor yang diperlukan adalah **0.213 ton** sedangkan massa satuan lapisan filter adalah **21.3 kg**.
2. Perkuatan dengan matras cerucuk bambu diperlukan untuk memperkuat tanah dasar yang lunak. Untuk pemodelan di atas tanah BOR-1 nilai *safety factor* adalah **1.52** dan besar penurunan elastis adalah **99 mm** untuk perkuatan dengan cerucuk 3 ikatan bambu dan matras 2 lapis melintang. Sedangkan untuk pemodelan di atas tanah BOR-4 nilai *safety factor* adalah **1.86** dan besar penurunan elastis adalah **48 mm** untuk konfigurasi perkuatan yang sama. Maka untuk pembangunan akan

digunakan perkuatan matras cerucuk bambu dengan **konfigurasi 2 lapis melintang dan ikatan 3 bambu**.

3. Konsolidasi yang terjadi sebesar **1.174 m**. Penurunan konsolidasi memerlukan waktu **25.44 tahun** untuk mencapai konsolidasi sebesar **1.06 m**, yaitu 90% dari total konsolidasi.
4. Jarak aman minimum antara tanggul reklamasi dengan struktur trestle eksisting adalah **13.1 m**.

### **Daftar Pustaka**

Bowles, Joseph E. 1984. *Foundation Analysis and Design 5<sup>th</sup> Edition*. McGraw-Hill

Bruun, Per. 1985. *Design and Construction of Mounds for Breakwaters and Coastal Protection*. Elsevier

Das, Braja M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering 7<sup>th</sup> Edition*. Cengage Learning

Dean, Rober G., dan Robert A. Dalrymple. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. Singapore: World Scientific Publishing

Hirman, Hasnita BT. 2009. *Performance of full scale embankment on soft clay reinforced with bamboo-geotextile composite at the interface*. Universiti Teknologi Malaysia

Irsyam, M. 2008. “Pengujian Skala Penuh dan Analisis Perkuatan Cerucuk Matras Bambu Untuk Timbunan Badan Jalan di Atas Tanah Lunak di Lokasi Tambak Oso, Surabaya” Kumpulan Paper Forum Teknik Sipil No. XVIII/1-Januari. Forum Teknik Sipil.

Plaxis Version 7 : Manual. 1998

Soehoed, Abdoel Raoef. 2004. *Reklamasi Laut Dangkal: Canal Estate Pantai Mutiara* .Jakarta: Djambatan.

US Army Corps of Engineers. 1984. *Shore Protection Manual*

US Army Corps of Engineers. 1995. *Design of Coastal Revetments, Seawalls, and Bulkheads*