

ALTERNATIF DESAIN STRUKTUR PENAHAN TANAH PADA PROYEK FASILITAS KAWASAN GEODIVERSITAS INDONESIA DI KARANG SAMBUNG, KABUPATEN KEBUMEN, JAWA TENGAH

Suwarno^{1*}, dan Luthfi Amri Wicaksono²

^{1*}Departemen Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, FTSPK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Kampus ITS Sukolilo-Surabaya.

Email: suwarno@ce.its.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan No.37, Kampus Tegalboto, Jember.

Email: luthfiamri.teknik@unej.ac.id

ABSTRAK

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) akan mengembangkan *Geopark* Karang sambung, Karang bolong di Karang sambung, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. Kawasan ini diharapkan dapat menjadi pusat geodiversitas Indonesia yang memfasilitasi aspek konservasi, edukasi, riset, pariwisata, serta pembangunan ekonomi kerakyatan. Kawasan ini memiliki area seluas 2,78 ha dengan elevasi antara +59,00 hingga +76,00. Proyek ini direncanakan akan membangun 3 (tiga) gedung yang meliputi Gedung *Geodiversity* (Gedung A), Gedung *Geoconservation* (Gedung B), dan Gedung *Dormitory* (Gedung C). Pada Gedung A dan B direncanakan penggalian tanah dasar sedalam 8,00 m pada sisi Timur dengan struktur penahan tanah berupa *soldier pile* dengan *anchor*. Hanya saja, jenis perkuatan ini sulit untuk dilaksanakan sehingga diperlukan perkuatan yang lebih mudah dalam pelaksanaannya, kuat, dan stabil. Gedung Asrama (Gedung C) yang terletak dibelakang Gedung A dan B memiliki elevasi yang lebih tinggi. Pada waktu perencanaannya, tidak direncanakan adanya konstruksi penahan tanah pada sisi belakang Gedung C sehingga terjadi kelongsoran pada rumah warga yang terletak di belakang Gedung C. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan perkuatan struktur penahan tanah agar dapat mencegah kelongsoran yang terjadi. Struktur penahan tanah pada sisi Timur Gedung A dan B adalah *secant pile*. Sedangkan perencanaan dinding penahan tanah di sisi belakang Gedung C, digunakan 2 (dua) opsi perencanaan yaitu *gabion* dan *retaining wall*. Hasil yang diharapkan dari studi ini adalah alternatif struktur penahan tanah sisi Timur gedung A dan B dengan metode paling efisien (mudah, optimal, dan aman) serta total biaya material yang paling terjangkau. Selain itu, akan dihasilkan juga perencanaan dinding penahan tanah pada sisi belakang gedung C menggunakan opsi *gabion* atau *retaining wall* sebagai mitigasi kelongsoran. Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, didapatkan hasil rancangan dinding penahan tanah untuk sisi belakang Gedung C dengan total biaya Rp 1.369.128.598,- dan akan dipasang sepanjang 110 m' dibelakang Gedung C. Sedangkan, untuk Gedung A dan B didapatkan hasil rancangan *secant pile* diameter 800 mm dengan jarak 1000 mm serta memiliki panjang 35 m. Dengan kebutuhan *pile* untuk Gedung A sebanyak 122 *piles* dan untuk Gedung B sebanyak 83 *piles* dengan total biaya sebesar Rp 3.863.360.956,-.

Kata kunci: *Gabion*, Geodiversitas Indonesia, *retaining wall*, *secant pile*

PENDAHULUAN

Geopark adalah sebuah kawasan yang memiliki unsur-unsur geologi dimana masyarakat setempat diajak berperan serta untuk melindungi dan meningkatkan fungsi warisan alam, termasuk nilai arkeologi, ekologi, dan budaya yang ada di dalamnya. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) akan mengembangkan Geopark Karang sambung-Karang bolong di Karang sambung, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. Kawasan ini diharapkan dapat menjadi pusat geodiversitas Indonesia yang memfasilitasi aspek konservasi, edukasi, riset, pariwisata, serta pembangunan ekonomi kerakyatan. Kawasan ini memiliki area seluas 2.78 Ha dengan elevasi antara +59,00 m hingga +76,00 m. Bangunan ini direncanakan 3 (tiga) gedung yang

meliputi Gedung Geodiversity (Gedung A), Gedung Geoconservation (Gedung B), dan Gedung Dormitory (Gedung C). Denah tata letak dari gedung A, B, dan C diberikan pada



Gambar 1.

Gambar 1. Peta Lokasi Geodiversitas Indonesia di Karangasambung (Gedung A Geodiversity, Gedung B Geoconcentration dan Gedung C Dormitory)

Gedung *Geodiversity* (Gedung A) dan Gedung *Geoconservation* (Gedung B) akan direncanakan dilakukan penggalian tanah dasar pada sisi Timur setinggi 8,00 m. Gedung A dan Gedung B direncanakan menggunakan perkuatan *soldier pile* dengan *anchor*. Menurut kontraktor pelaksana, jenis perkuatan ini sulit dilaksanakan sehingga diperlukan alternatif struktur penahan tanah agar lebih optimal, mudah serta efisien dalam pelaksanaan. Gedung *Dormitory* (Gedung C) terletak di belakang Gedung A dan Gedung B dengan elevasi tanah lebih tinggi. Dikarenakan tidak adanya konstruksi penahan tanah pada sisi belakang Gedung C, terjadi kelongsoran yang mengakibatkan kerusakan pada rumah warga. Oleh karena itu, diperlukan suatu perencanaan perkuatan struktur penahan tanah untuk mencegah kelongsoran lereng lanjutan yang terjadi di belakang Gedung C.

Kondisi tanah kawasan di sekitar Gedung A dan Gedung B didominasi oleh tanah lempung berpasir dan mencapai tanah keras pada kedalaman sekitar 12,00 m dengan $N_{SPT} > 50$. Sedangkan pada kawasan Gedung C didominasi oleh tanah lempung berpasir dan mencapai tanah keras pada kedalaman sekitar 12,00 m dengan hasil $N_{SPT} = 30$. Hasil uji tanah diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji NSPT pada Titik BM-01 dan BM-04

Kedalaman (m)	BM-01		BM-04	
	NSPT	Jenis Tanah	NSPT	Jenis Tanah
0,00	0,00	Lempung	0,00	Lempung
2,00	30,00		2,00	
4,00	26,00		7,00	Pasir Halus
6,00	33,00		8,00	
8,00	39,00		14,00	Pasir Lempungan
10,00	41,00		24,00	
12,00	50,00	30,00	Lempung	
14,00	39,00	27,00		

16,00	33,00		35,00	Lempung Pasiran
18,00	44,00		34,00	
20,00	35,00	Lempung Pasiran	37,00	Lempung
22,00	37,00	Pasir Halus	34,00	
24,00	35,00	Pasir Lempungan	37,00	
26,00	39,00	Lempung	41,00	Lempung Pasiran
28,00	49,00	Lempung Pasiran	38,00	Lempung
30,00	50,00	Batu Lempung	42,00	

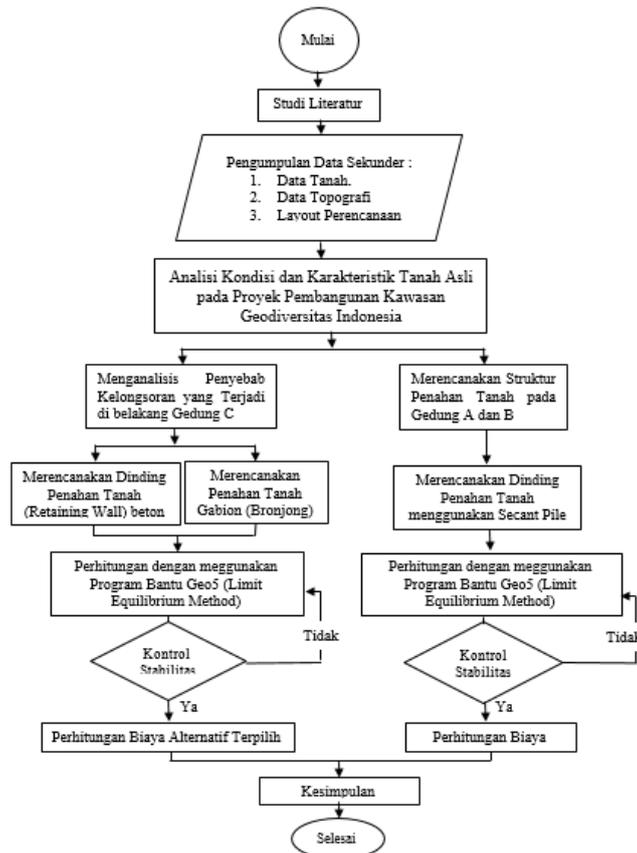
PERMASALAHAN

Rincian permasalahan yang ada di lapangan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi dan karakteristik tanah asli pada Proyek Pembangunan Fasilitas Kawasan Geodiversitas Indonesia?
2. Apa penyebab kelongsoran yang menyebabkan kerusakan rumah warga di belakang Gedung C?
3. Bagaimana perencanaan perkuatan struktur penahan tanah di belakang *Dormitory* (Gedung C) untuk mitigasi kelongsoran?
4. Bagaimana perkuatan struktur penahan tanah (di sisi timur Gedung A dan Gedung B) agar menghasilkan desain yang optimal dan stabil?

METODOLOGI

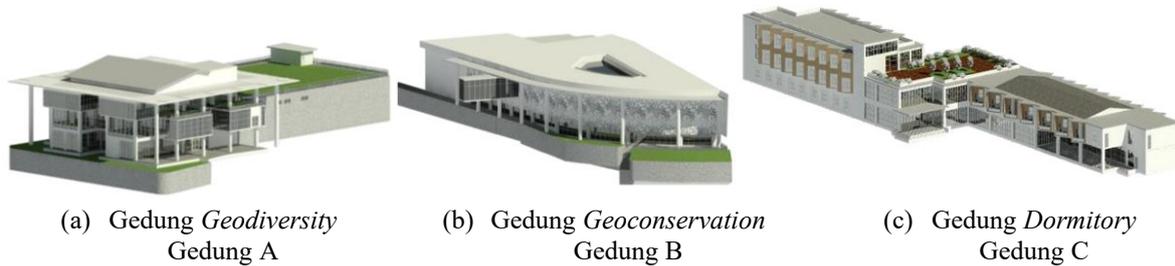
Metodologi perencanaan yang dilakukan mengikuti bagan alir sebagai berikut :



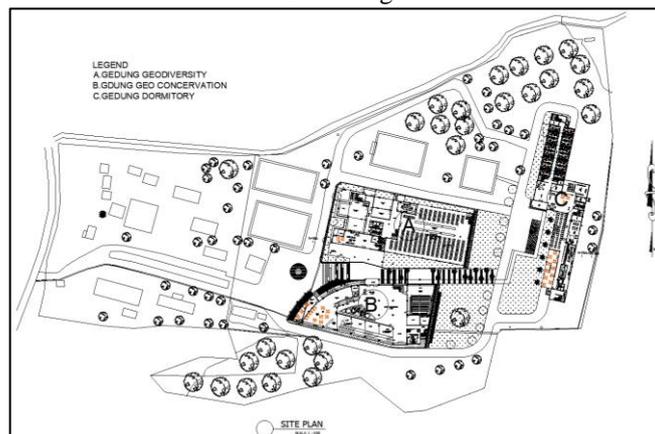
Gambar 2. Diagram alir perencanaan

ANALISA

Gedung yang akan dibangun sebanyak 3 (tiga) buah dengan visualisasi bangunan ditunjukkan pada Gambar 3 dan *site layout* pada Gambar 4.



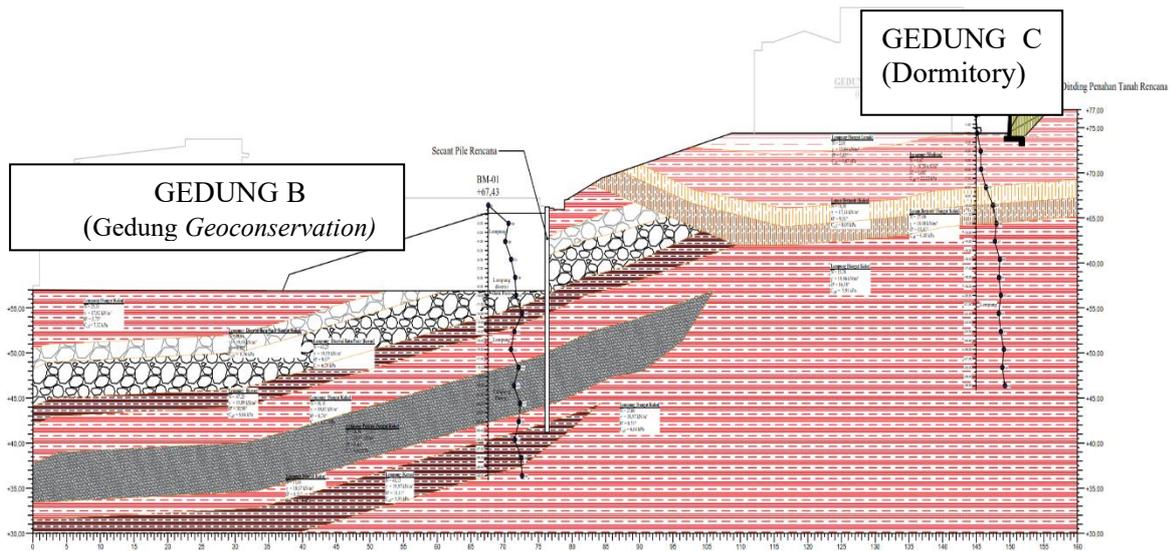
Gambar 3 Gedung rencana



Gambar 4. *Site layout* pekerjaan

Gedung C (Dormitory)

Gedung C (Dormitory) dibahas terlebih dahulu karena telah terjadi kelongsoran di bagian belakang gedung C dan segera perlu diperkuat. Kondisi stratigrafi tanah ditunjukkan dalam Gambar 5, dimana terdapat lapisan gravel (kerikil). Di belakang gedung C telah terjadi kelongsoran seperti ditunjukkan dalam Gambar 6. Kasus ini perlu diperkuat, dengan mempergunakan *retaining wall beton* seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.

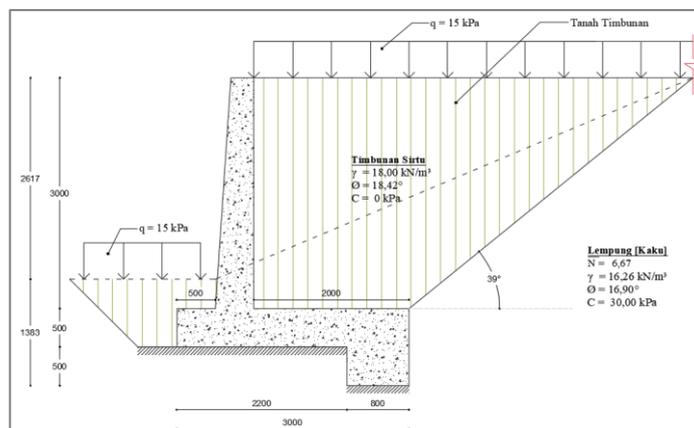


Gambar 5. Stratigrafi tanah BM-01 dan BM-04



Gambar 6 Foto kelongsoran di belakang Gedung C (Dormitory)

Metoda yang dipergunakan dalam perhitungan stabilitas dan sistem perkuatan tanah ini adalah perhitungan secara manual berdasarkan teori Felenius dan Rankine, serta bantuan software Geo5.



Gambar 7. Perencanaan *retaining wall* beton bertulang sebagai perkuatan lereng di belakang Gedung C

Berdasarkan perhitungan tekanan tanah serta perhitungan berat dinding penahan tanah yang telah dilakukan, kemudian dilakukan perhitungan stabilitas dengan mempertimbangkan kontrol geser, guling, serta daya dukung.

a. Stabilitas terhadap Geser



$$FS_{Geser} = \frac{(\Sigma V) \times \tan \phi' + B \times C' + Pp}{Pa}$$

$$FS_{Geser} = \frac{(185,65 \text{ kN/m}) \times \tan(18,42^\circ) + 3,00 \text{ m} \times 22,22 \text{ kN/m}^2 + 91,52 \text{ kN/m}'}{82,50 \text{ kN/m}'}$$

$$FS_{Geser} = 2,67 \geq 1,50 \rightarrow \text{OK! (SNI 8460:2017)}$$

b. Stabilitas terhadap Guling

Perhitungan stabilitas guling dilakukan sesuai dengan 2 (dua) kondisi perencanaan dengan detail perhitungan sebagai berikut.

- **Kondisi Long-term (Parameter Tanah Efektif)**

$$FS_{Guling} = \frac{\Sigma \text{Momen penahan}}{\Sigma \text{Momen dorong}}$$

$$FS_{Guling} = \frac{334,59 \text{ kN.m}}{123,62 \text{ kN/m}}$$

$$FS_{Guling} = 2,71 \geq 2,00 \rightarrow \text{OK! (SNI 8460:2017)}$$

- **Kondisi Short-term (Parameter Tanah Total)**

$$FS_{Guling} = \frac{\Sigma \text{Momen penahan}}{\Sigma \text{Momen dorong}}$$

$$FS_{Guling} = \frac{374,66 \text{ kN.m}}{63,40 \text{ kN/m}}$$

$$FS_{Guling} = 5,91 \geq 2,00 \rightarrow \text{OK! (SNI 8460:2017)}$$

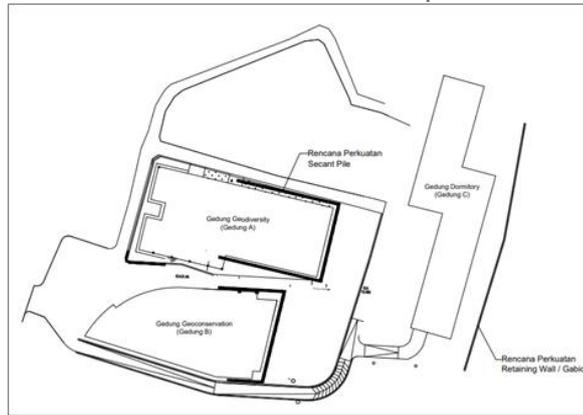
c. Stabilitas terhadap Daya Dukung

Berdasarkan parameter tanah yang ada, kemudian ditentukan parameter untuk perhitungan daya dukung sebagai berikut.

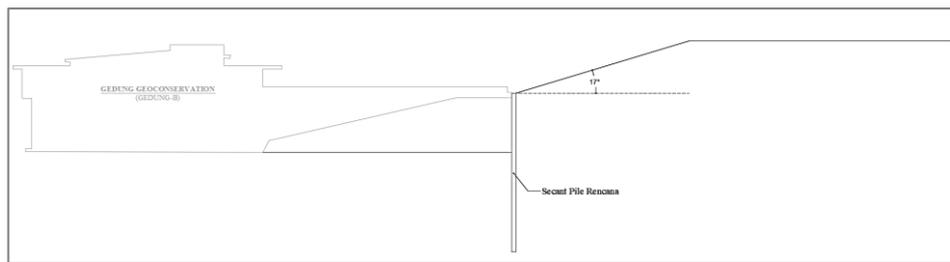
- $N_c = 15,12$
- $N_q = 6,04$
- $N_\gamma = 2,59$
- $D = 0,40 \text{ m}$
- $B = 3,00 \text{ m}$
- $e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M}{\Sigma V} = 0,27 \text{ m}$
- $qu = c \times N_c + q \times n_q + 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$
 $= 22,22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 15,12 + (0,4 \text{ m} \times 16,26) \times 6,04 + 0,5 \times 16,26 \times 3 \text{ m} \times 2,59$
 $= 438,40 \text{ kN/m}^2$
- $qu_{max} = \frac{\Sigma V}{B} \times \left(1 + \frac{6e}{b}\right)$
 $= \frac{185,65 \text{ kN}}{3,00 \text{ m}} \times \left(1 + \frac{6 \times 0,27 \text{ m}}{3,00 \text{ m}}\right)$
 $= 95,90 \text{ kN/m}^2$
- $FS = \frac{qu}{q_{max}} = \frac{438,40 \text{ kN/m}^2}{95,90 \text{ kN/m}^2} = 4,57 \geq 3,00 \rightarrow \text{OK! (SNI 8460:2017)}$

Gedung A dan B

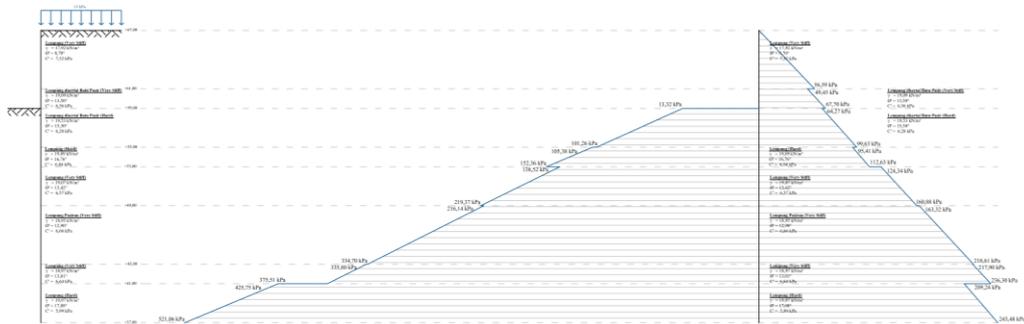
Sistem perkuatan pada Gedung A (*Geodiversity*) dan Gedung B (*Geoconservation*) adalah mempergunakan *secant pile*. Lokasi *secant pile* ditunjukkan dalam Gambar 8 (garis tebal) dengan potongan melintang pada Gambar 9.



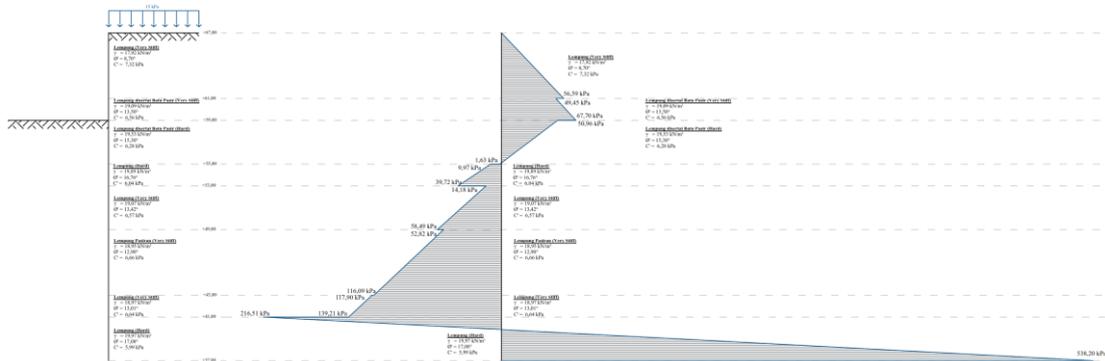
Gambar 8. Lokasi perencanaan *secant pile* pada Gedung A dan B (garis tebal)



Gambar 9. Tampak melintang pemasangan *secant pile* pada Gedung Geoconservation (Gedung B) Diagram tekanan tanah aktif dan pasif pada *secant pile* yang ditunjukkan Gambar 10, dan diagram *Nett lateral presure secant pile* berdasarkan Geo5 ditunjukkan pada Gambar 11.

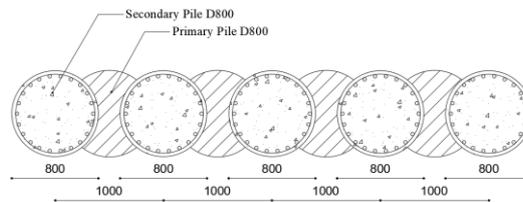


Gambar 10 Diagram tekanan tanah aktif dan pasif *secant pile*



Gambar 11. *Nett lateral presure secant pile* berdasarkan Geo5.

Perkuatan *secant pile* yang direncanakan terdiri dari *primary pile* (*bentonite*) dan *secondary pile* (beton bertulang) berdasarkan data perencanaan awal seperti pada Gambar 12.



Gambar 12 - Preliminary design secant pile rencana

- Diameter *primary pile* : 800 mm
- Diameter *secondary pile* : 800 mm
- Spacing *secondary pile* : 1000 mm
- Luas penampang (A) : 0,744 m²/m'
- Momen inersia penampang (Ix) : 0,035 m⁴/m'
- Modulus penampang (Zx) : 0,0870 m³/m'
- Mutu beton : 30 MPa
- Mutu tulangan baja : 420 MPa
- Mutu *bentonite* : 25 MPa

Nilai momen maksimum sebesar 1.751,38 kN.m, kemudian untuk penentuan dimensi *secant pile* yang akan digunakan perlu dicek dengan cara membandingkan modulus penampang profil rencana dengan modulus penampang perlu (Z_0) yaitu dengan perbandingan momen maksimum dengan tegangan izin bahan.

$$M_{max} = 1.751,38 \text{ kN.m}$$

$$\sigma_{allow} = 35.000 \text{ N/m}^2$$

$$Z_0 = \frac{M_{max}}{\sigma_{allow}} = \frac{1.751,38 \times 10^6}{35.000} = 50.039,43 \text{ cm}^3$$

$$Z \dots Z_0$$

$$87.000 \text{ cm}^3 > 50.039,43 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{OK!}$$

Biaya yang dibutuhkan untuk melakukan perencanaan pada Gedung A dan B diberikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Kebutuhan Biaya untuk Perencanaan *Secant Pile* di Gedung A & B

Gedung	Jumlah Secant Pile	Harga Total
Gedung <i>Geodiversity</i> (Gedung A)	122 unit	Rp2.299.170.910,40,-
Gedung <i>Geoconservation</i> (Gedung B)	83 unit	Rp1.564.190.045,60
Total Biaya (Gedung A dan B)		Rp3.863.360.956,00,-

Total biaya material yang dibutuhkan untuk perencanaan *secant pile* di sisi Gedung A dan B sebesar Rp 3.863.360.956,00,- dengan jumlah *secant pile* pada sisi Timur Gedung A sebanyak 122 unit *piles* dan sisi Timur Gedung B sebanyak 83 unit *piles*.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan untuk sebagai berikut.

1. Berdasarkan laporan penyelidikan tanah yang telah dilakukan, kondisi karakteristik tanah asli pada Proyek Pembangunan Fasilitas Kawasan Geodiversitas Indonesia adalah sebagai berikut.

- a. Pada titik BM-01 yang terletak pada elevasi +67,43 dimana data tersebut sebagai titik acuan data tanah untuk perhitungan alternatif struktur penahan tanah Gedung *Geodiversity* (Gedung A) dan Gedung *Geoconservation* (Gedung B) didominasi oleh tanah lempung dengan N_{SPT} rata-rata sebesar 36,25 dan mencapai tanah keras di kedalaman 12,00 m dengan $N_{SPT} > 50,00$.
- b. Pada titik BM-04 yang terletak pada elevasi +76,12 dimana data tersebut sebagai titik acuan data tanah untuk perhitungan dinding penahan tanah di belakang Gedung *Dormitory* (Gedung C) didominasi oleh tanah lempung berpasir dengan N_{SPT} rata-rata sebesar 26,63 dan mencapai tanah keras di kedalaman 12,00 m dengan $N_{SPT} = 30,00$.
2. Kelongsoran yang terjadi di belakang Gedung C disebabkan oleh tidak adanya dinding penahan tanah sehingga menyebabkan kelongsoran pada lereng rumah warga. Hal tersebut dibuktikan dari analisis Geo5-Slope Stability, didapatkan $SF = 0,72$, sehingga diperlukan dibangun struktur penahan tanah untuk mitigasi kelongsoran lanjutan.
3. Perencanaan perkuatan struktur penahan tanah yang dipilih sebagai mitigasi kelongsoran adalah *retaining wall* dengan 2 (dua) skenario perencanaan dan rincian sebagai berikut :
 - a. *Retaining wall* memiliki dimensi dengan tinggi (H) = 3,50 m; lebar bawah (B) = 3,00 m; memiliki *shear key* sepanjang 0,80 m.
 - b. Dari 2 (dua) skenario yang telah direncanakan, *retaining wall* memenuhi semua kontrol stabilitasnya berdasarkan persyaratan stabilitas yang disyaratkan dalam SNI 8460:2017 baik dalam kontrol geser, guling, ambles, dan stabilitas keseluruhan (*overall stability*).
 - c. *Retaining wall* direncanakan menggunakan tulangan utama D19-200 dengan A_s 283,53 mm² dan tulangan bagi D16-200 (A_s 83,84 mm²)
 - d. Dalam perencanaannya, *retaining wall* direncanakan membutuhkan biaya material dengan total Rp1.369.128.598, dimana biaya material per m' nya sebesar Rp12.446.624,-.
4. Alternatif perkuatan struktur penahan tanah di sisi timur Gedung A dan B direncanakan menggunakan *secant pile* dengan rincian sebagai berikut :
 - a. Dari perhitungan yang telah dilakukan, panjang penanaman teori (D_{theory}) adalah 22,108 m (Elv. +59,00 s/d +37,25) sehingga panjang penanaman aktual yang dapat digunakan adalah 26,50 m ($D_{actual} \approx 1,2 D_{theory}$). Oleh karena itu, panjang total *secant pile* adalah 35,00 m (Elv. +67,00 s/d +32,00).
 - b. *Secant pile* yang digunakan memiliki diameter *primary pile (bentonite)* 800 mm dan diameter *secondary pile* (beton bertulang) 800 mm dengan menggunakan tulangan utama 22D-32 serta spiral D13-150.
 - c. Jumlah *secant pile* yang dibutuhkan pada Gedung A sebanyak 122 unit *piles*.
 - d. Sedangkan jumlah *secant pile* yang dibutuhkan pada Gedung B sebanyak 83 unit *piles*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, Virgiawan. (2022). *Studi Stabilitas Secant Pile sebagai Retaining Wall dengan Perkuatan Ground Anchor pada Proyek Grand Dharmahusada Lagoon – Olive Tower Surabaya*. Jember: Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember.
- American Concrete Institute. (2019). ACI 318-19. *Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). SNI 2847:2017 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik.
- Badan Standardisasi Nasional. (1999). SNI 03-0090 tentang Spesifikasi Bronjong Kawat.
- Das, Braja. (2015). *Principle of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning
- Das, B. M. (1985). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Endah, Noor dan Indrasurya B. Mochtar. 1993. Surabaya: Erlangga.
- Gurocak, Z., Alemdag, S., & Zaman, M. M. (2008). *Rock slope stability and excavatability assessment of rocks at the Kapikaya dam site, Turkey*. *Engineering Geology*, 96(1-2), 17–27. Turki: Departemen Geologi, Universitas Firat.
- Hardiyatmo, H. C. (2015). *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Gadjah Mada University Press.



- Huang, Y. H. (2014). *Slope Stability Analysis by the Limit Equilibrium Method*. United States of America: American Society of Civil Engineers.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Look, Burt. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. London: Taylor&Francis/Balkema
- Pangemanan, Violetta Gabriella Margaretha. (2014). *Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Fellenius*. Manado: Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado.