

Perancangan *Secant Pile* untuk Penanganan Stabilitas Lereng pada Proyek Jalan Tol Jogja-Bawen Seksi 4 STA 30+950

M.A.N. Shulthony¹, A. Rifai^{1*}, S. Ismanti¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: ahmad.rifai@ugm.ac.id

INTISARI

Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta – Bawen yang semula dirancang dengan slope lereng (1V:2H) menghadapi tantangan signifikan terkait keterbatasan lahan yang tersedia. Keterbatasan tersebut mengakibatkan ROW (*Right of Way*) yang tidak mencukupi, sehingga dalam pelaksanaannya dilakukan penggalian dengan mengubah kemiringan lereng dari desain aslinya. Salah satu hasil dari perubahan tersebut adalah terbentuknya galian tegak dengan kedalaman mencapai 10,00 meter. Kondisi ini berpotensi menimbulkan masalah terkait stabilitas lereng, yang dapat memicu terjadinya longsoran. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan lereng dengan penerapan perkuatan *secant pile*, termasuk analisis kedalaman penetrasi dan gaya dalam yang terjadi, menggunakan metode *Limit Equilibrium Method* melalui software Geo5. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan data sekunder berupa tiga titik data boring dan hasil pengujian laboratorium. Berdasarkan hasil analisis, perhitungan Geo5 menunjukkan bahwa untuk kedalaman lereng galian sebesar 10,00 m, diperlukan kedalaman penetrasi *secant pile* sebesar 30,00 m. Momen maksimum yang terjadi pada kondisi tersebut adalah 2185,41 kNm/m dan tegangan geser sebesar 892,35 kN/m, yang mengindikasikan perlunya penggunaan *secant pile* dengan diameter 1,20 m dengan spasi antar *secondary pile* sebesar 0,80 m. Nilai faktor keamanan setelah dilakukan perkuatan dengan *secant pile* diperoleh untuk kondisi statik 4,42, sebesar 1,30 untuk kondisi pseudostatik, dengan defleksi lateral 7,54 cm yang mana memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam SNI 8460:2017.

Kata kunci: Stabilitas Lereng Galian, *Secant Piles*, Geo5.

1 PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur merupakan salah satu upaya strategis untuk mendukung pertumbuhan ekonomi Indonesia dan meningkatkan daya saing global. Di antara berbagai jenis infrastruktur, pembangunan jalan tol memiliki peran penting dalam mempercepat arus pergerakan manusia dan logistik, yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). Salah satu proyek strategis adalah pembangunan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen, yang bertujuan untuk menghubungkan Jawa Tengah dan Yogyakarta serta mendukung kawasan strategis pariwisata nasional, seperti Candi Borobudur. Jalur ini juga menjadi bagian dari jaringan Jalan Tol Trans Jawa yang dirancang untuk mengintegrasikan pembangunan antarwilayah dan memperkuat perekonomian daerah di Pulau Jawa.

Pada proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen seksi 4, tantangan yang dihadapi adalah keterbatasan lahan (ROW) dan kondisi bentang alam berupa perbukitan yang menyebabkan kebutuhan penggalian sedalam 10,00 meter khususnya pada STA 30+950. Berdasarkan hasil penyelidikan geoteknik, area ini memiliki lapisan tanah lunak yang cukup tebal, sehingga penggalian dapat menurunkan kestabilan lereng akibat hilangnya tekanan pasif pada tanah asli. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan dinding penahan tanah berupa *secant pile* yang dirancang untuk menjaga kestabilan lereng dengan kontrol perpindahan lateral dan angka aman yang sesuai dengan persyaratan yang berlaku. Penggunaan *secant pile* diharapkan mampu memberikan solusi yang efektif dalam mencegah pergerakan tanah sekaligus meminimalkan risiko keruntuhan lereng pada area galian proyek jalan tol ini.

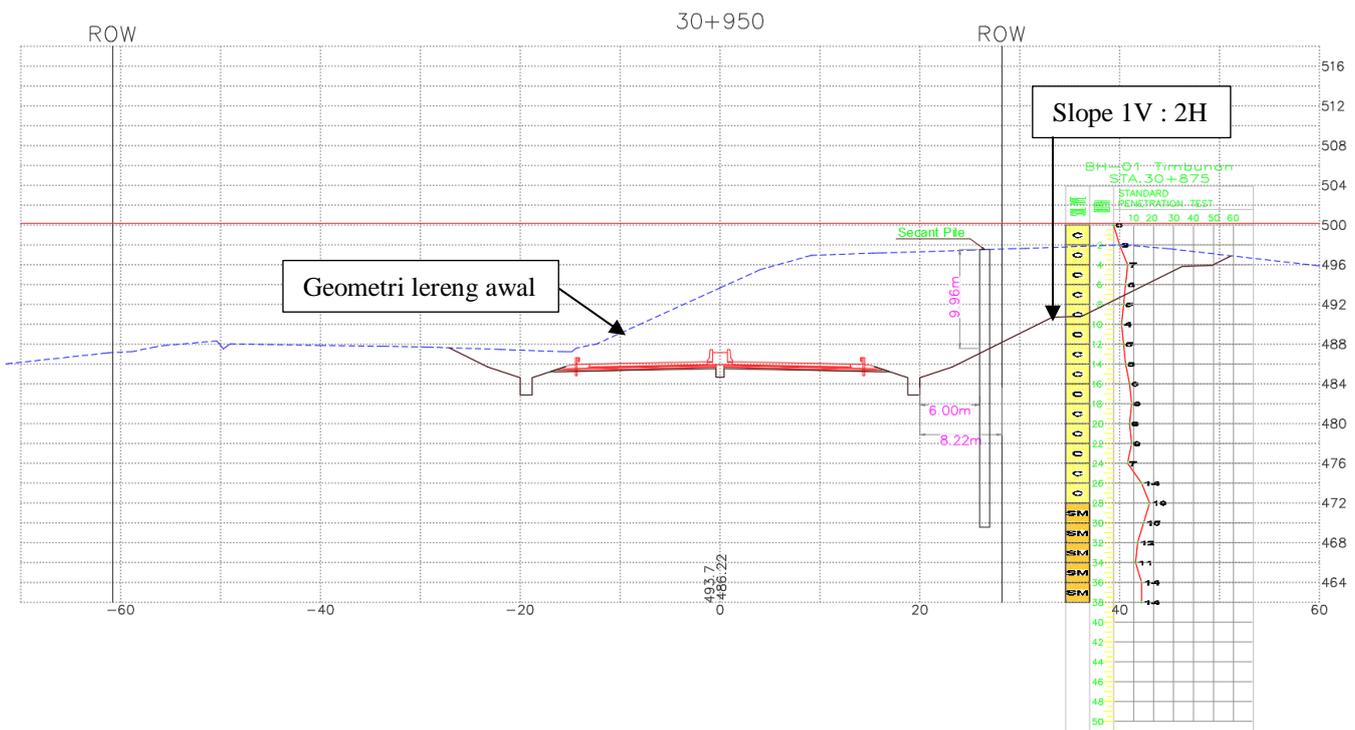
Metode perkuatan lereng tegak secara umum dapat dilakukan menggunakan *embedded walls* seperti *sheetpile*, *soldier pile*, *contiguous bored pile*, *secant pile*, dan dinding diafragma yang memiliki keunggulan dalam hal kekakuan struktur dan kontrol deformasi yang baik. Berdasarkan SNI 8460:2017, *embedded walls* bekerja dengan memanfaatkan tahanan pasif tanah di bawah dasar galian. Sistem ini cocok digunakan untuk menstabilkan lereng tegak pada area yang membutuhkan ruang terbatas dan kontrol deformasi yang ketat, seperti pada proyek jalan tol di daerah berbukit. Dalam penerapannya, *embedded walls* digunakan terutama pada lereng yang curam atau galian dalam, seperti yang sering dijumpai pada proyek-proyek jalan tol dengan tantangan geoteknik yang kompleks.

Secant pile merupakan metode perkuatan lereng tegak yang paling umum digunakan. Menurut SNI 8460:2017, *secant pile* dapat digunakan sebagai dinding penahan tanah untuk galian dalam terutama pada area dengan ruang terbatas atau di lokasi yang berdekatan dengan bangunan yang sudah ada. Dibandingkan dengan tipe dinding lainnya, *secant pile* berada di posisi tengah dalam hal kemampuan menjaga vertikalitas dan kekakuan, lebih baik daripada *contiguous bored pile*, namun di bawah dinding diafragma. Keunggulan *secant pile* adalah kemampuannya untuk menahan tekanan lateral tanah secara signifikan karena integrasi struktural antara elemen-elemen tiang yang saling tumpang tindih, sehingga cocok untuk aplikasi pada lereng dengan ketinggian yang cukup besar atau pada kondisi tanah yang tidak stabil. Sehingga, *secant pile* mungkin dapat digunakan untuk mengatasi potensi longsor di lereng Jalan Tol Yogyakarta – Bawen STA 30+950.

2 METODE

2.1 Geometri lereng

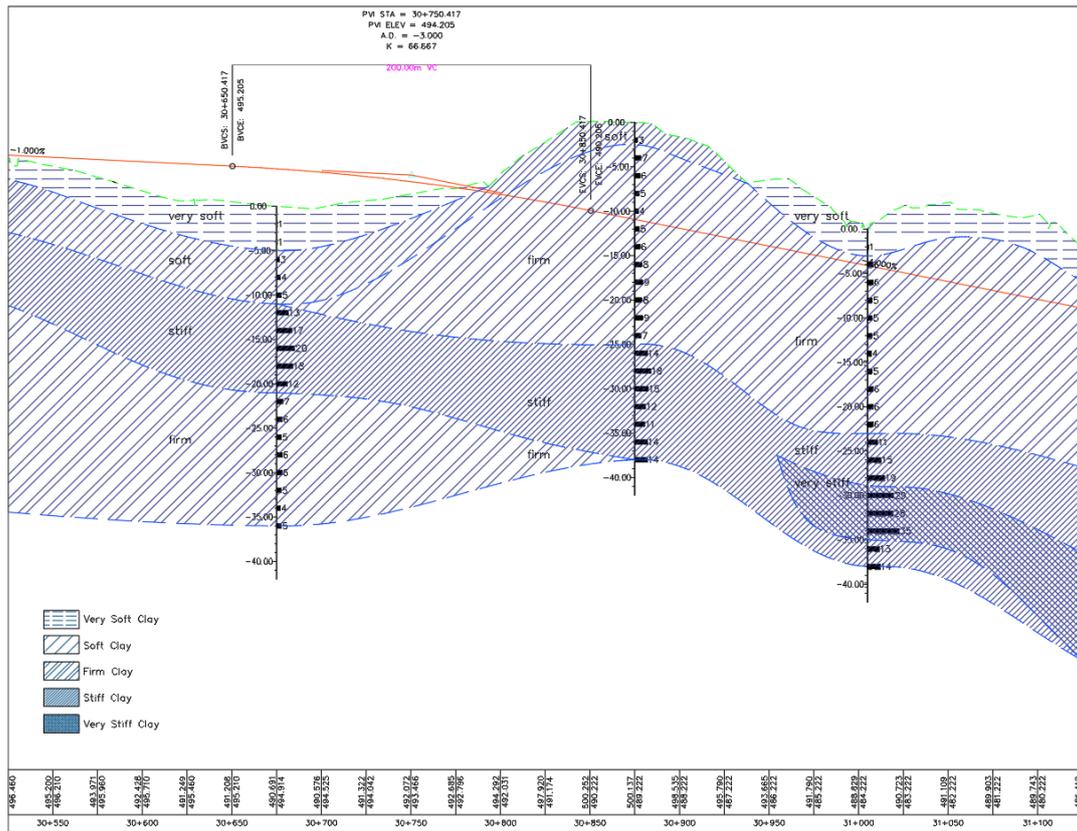
STA 30+950 merupakan segmen yang paling kritis, dimana kedalaman galian lereng mencapai 10,00 meter. Berdasarkan hasil pengujian SPT (*Standart Penetration Test*), tanah didominasi oleh lempung berlanau dengan konsistensi lunak pada kedalaman 0,00-2,00 meter dengan nilai NSPT ($2 < N < 5$). Pada lapisan 10,00 – 24,00 meter merupakan lapisan tanah lempung tufan dengan konsistensi teguh dengan nilai NSPT ($5 < N < 10$). Setelah kedalaman 24,00 meter tanah didominasi lempung dengan konsistensi teguh dengan nilai NSPT ($10 < N < 20$), dengan panjang segmen sebesar 300 m. Penampang melintang STA 30+950 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Cross section STA 30 + 950.

2.2 Stratifikasi Tanah

Stratigrafi tanah pada lokasi penelitian ini disusun berdasarkan data nilai N-SPT dari pengujian lapangan dan pengamatan visual terhadap jenis tanah yang diidentifikasi. Berdasarkan analisis, terdapat tiga lapisan tanah. Lapisan pertama terdiri dari tanah lempung lanau pasiran, konsistensi lunak dengan kedalaman: 0,00–2,00 meter. Lapisan kedua terdiri atas tanah lempung tufan dengan konsistensi teguh dengan kedalaman 2,00–24,00 meter. Lapisan ketiga terdiri dari lanau pasiran dengan konsistensi kaku dengan kedalaman lebih dari 40,00 meter. Stratigrafi tanah secara memanjang diperoleh dengan menghubungkan data hasil pengujian dari titik bor, yaitu 30+675, 30+875, dan 31+005. Analisis ini memberikan gambaran kondisi lapisan tanah di sepanjang lokasi yang dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut



Gambar 2. Stratigrafi tanah hasil plotting 30+675, 30+875, dan 31+005

2.3 Interpretasi Data

2.3.1 Pengujian Laboratorium

Sampel tanah *undisturbed* diambil pada kedalaman 0,50 – 1,00 m di STA 30+950 pada tiga titik yang mewakili kondisi tanah di lokasi penelitian, yaitu di sisi kiri jalan, as jalan, dan sisi kanan jalan. Selanjutnya, dilakukan pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil UGM.

2.3.2 Pengujian Lapangan

Hasil pengujian *undisturbed sample* pada kedalaman 0,50 – 1,00 meter dikombinasikan dengan data sekunder dari Konsultan Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Seksi 4 untuk mendapatkan nilai properti tanah. Data tanah yang digunakan berasal dari titik BH-1 STA 30+875, yang merupakan lokasi terdekat dengan titik penelitian. Pengujian dilakukan menggunakan metode boring hingga kedalaman 40,00 m. Pada kedalaman lapisan lebih dari 1,00 meter, parameter tanah ditentukan secara empiris melalui korelasi dari nilai N-SPT pada bor STA 30+875. Adapun rekapitulasi parameter tanah yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Parameter tanah untuk analisis

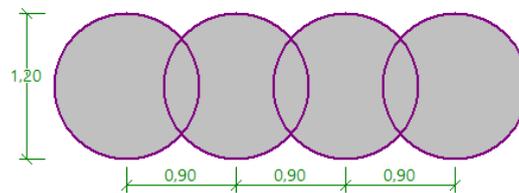
Parameter	Satuan	Lapis I	Lapis II	Lapis III
Jenis tanah		lempung lanau pasir	lempung tufan	lanau pasir
NSPT _{AVG}		3	6	14
Kedalaman	m	0,00 – 2,00	2,00 – 24,00	24,00 – 40,00
Kohesi	kN/m ²	15	21	23
Sudut gesek dalam	°	15	15	22
γ _{saturated}	kN/m ³	13	13	13
γ _{bulk}	kN/m ³	14	14	14

2.4 Pemilihan software Geo5

Pemilihan Geo5 sebagai perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis. Geo5 menggunakan *Limit Equilibrium Method* (LEM), merupakan metode analisis stabilitas lereng yang sesuai dengan standar perancangan SNI 8460:2017. Selain itu, Geo5 memiliki fitur khusus untuk desain dinding penahan tanah, termasuk *secant pile*, sehingga memungkinkan analisis lebih rinci terhadap gaya dalam, perpindahan lateral, serta kestabilan global. Perangkat lunak ini juga mendukung analisis pseudo-statis untuk beban gempa, yang sangat relevan dalam perencanaan pada lokasi penelitian.

2.5 Pemodelan *Secant Pile*

Pemodelan *secant pile* dalam penelitian ini mengikuti kondisi lapangan dengan kedalaman galian 10,00 meter. *Secant pile* dipasang dengan diameter 1,20 meter dan konfigurasi *overlapping* untuk meningkatkan kekakuan lateral terhadap tekanan tanah dengan *spacing* sebesar 0,90 meter dapat dilihat pada Gambar 3. Analisis dilakukan untuk menentukan kedalaman penetrasi optimal, momen maksimum, gaya geser, dan perpindahan lateral yang terjadi pada *secant pile*



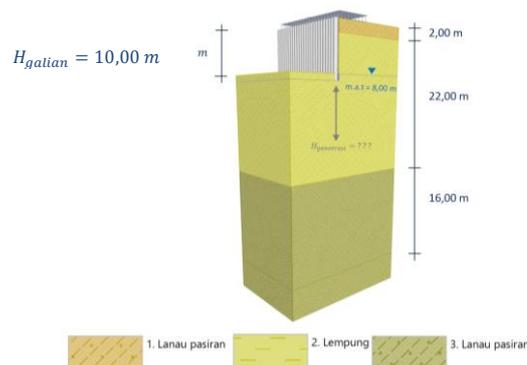
Gambar 3. Geometri *secant pile*.

Kedalaman penetrasi *secant pile* ditentukan berdasarkan keseimbangan gaya lateral tanah. Faktor keamanan dihitung menggunakan untuk memastikan stabilitas lereng yang diperkuat dengan *secant pile* dengan memperhitungkan kondisi statik dan pseudo-statik akibat beban gempa.

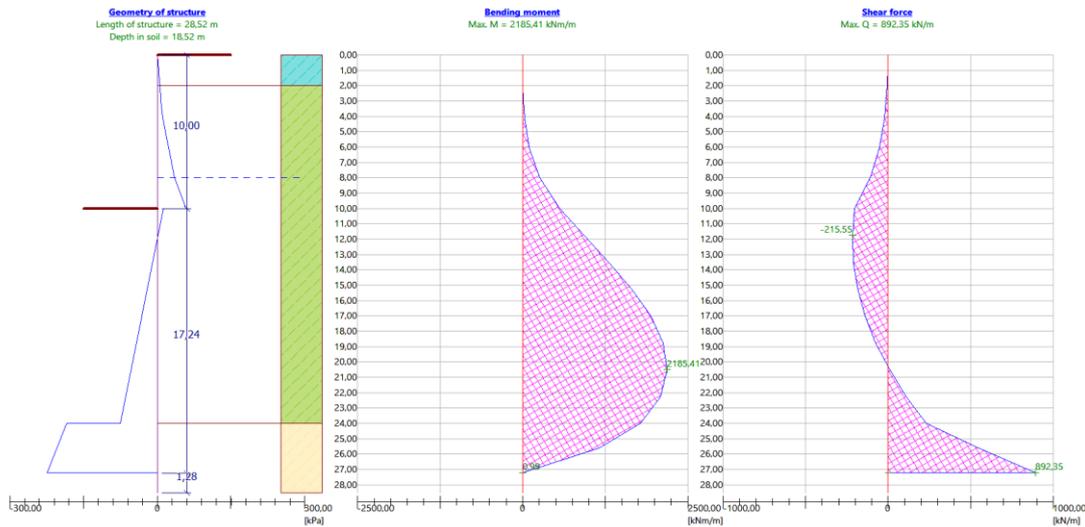
3 Hasil

3.1 Software Geo5

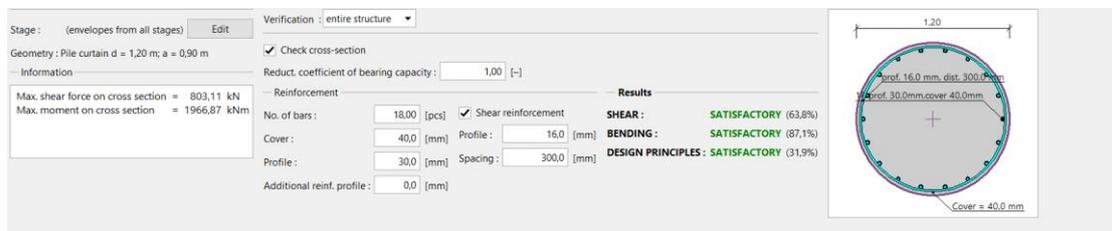
Geometri perhitungan menggunakan software Geo5 seperti yang terlihat pada Gambar 3. Adapun hasil analisis gaya-gaya dalam (*bending moment* dan *shear force*) yang bekerja pada tiang terlihat pada Gambar 4 dan desain penulangan tiang hasil perhitungan software seperti pada Gambar 5.



Gambar 3. Geometri lereng galian.



Gambar 4. Output analisis untuk kedalaman 10 m.

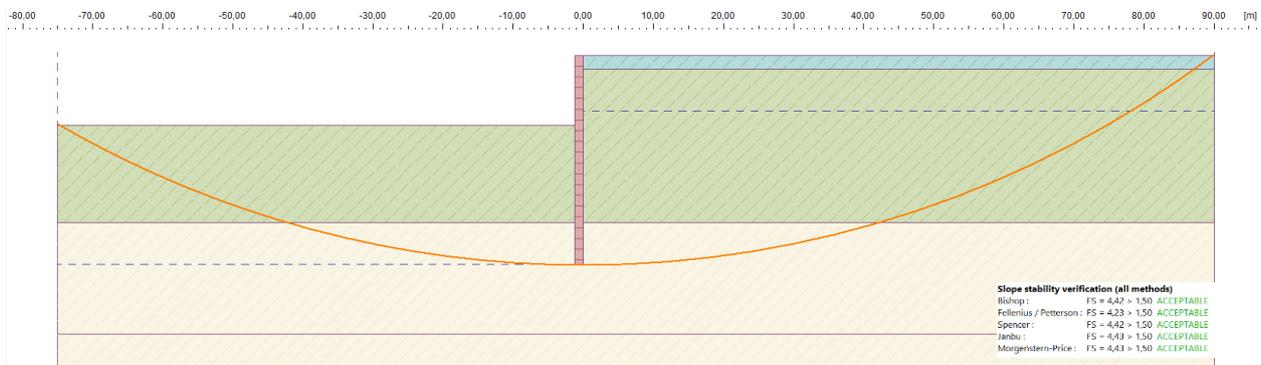


Gambar 5. Output dimensioning untuk kedalaman galian 10 m.

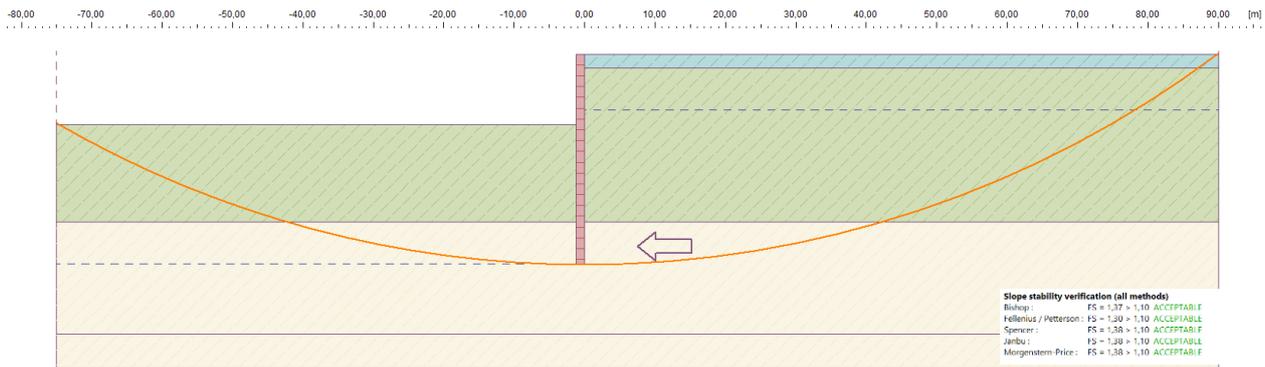
Hasil *output* analisis Geo5 untuk kedalaman galian 10,00 m diperoleh kedalaman total *secant pile* 28,52 m, momen maksimum yang bekerja sebesar 2185,41 kNm/m, dan tegangan geser yang terjadi sebesar 892,35 kN/m. Profil yang memenuhi adalah *secant pile* diameter 1,20 m dengan *spacing* 0,90 m.

3.2 Analisis Stabilitas Lereng

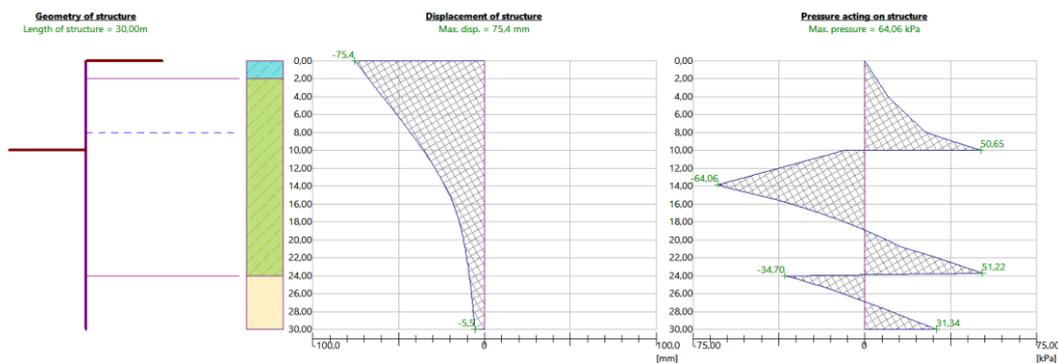
Seperti ditunjukkan pada Gambar 6, skematik pemodelan lereng galian dengan perkuatan *secant pile* mengikuti ketinggian lereng galian sebesar 10,00 m dan kedalaman penetrasi digunakan 30,00 m. Berdasarkan hasil *running* program Geo5, diperoleh nilai faktor keamanan untuk kondisi statik sebesar 4,42 yang ditampilkan pada Gambar 6, dan untuk kondisi pseudostatik sebesar 1,30 pada Gambar 7. Output nilai perpindahan lateral yang terjadi pada *secant pile* ditunjukkan pada Gambar 8 sebesar 7,54 cm (batas toleransi 0,5%. H = 10,00 cm).



Gambar 6. Output safety factor kondisi statik.



Gambar 7. Output safety factor kondisi pseudo-statik.



Gambar 8. Output displacement secant pile.

3 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Berdasarkan hasil analisis dengan software Geo5, kedalaman penetrasi yang dibutuhkan untuk galian sedalam 10,00 m adalah 30,00 m. Pada kondisi ini, momen maksimum yang bekerja pada *secant pile* adalah 2185,41 kNm/m, dengan tegangan geser sebesar 892,35 kN/m. Profil *secant pile* yang optimal untuk kedalaman galian ini adalah diameter 1,20 m dengan jarak antar tiang (*spacing*) sebesar 0,90 m.
- Hasil analisis faktor keamanan menunjukkan bahwa perkuatan lereng galian dengan *secant pile* memberikan stabilitas yang cukup baik, dengan nilai sebesar 4,42 untuk kondisi statik dan 1,30 untuk kondisi pseudostatik.
- Dari hasil analisis defleksi, perpindahan lateral maksimum yang terjadi pada *secant pile* sebesar 7,54 cm yang mana masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan.
- Secara keseluruhan, hasil analisis ini menunjukkan bahwa desain *secant pile* yang digunakan memenuhi kriteria stabilitas dan defleksi yang disyaratkan untuk kondisi galian dengan kedalaman 10,00 m sehingga desain ini dapat diandalkan untuk menjaga kestabilan lereng galian.

REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional, 2019. Persyaratan Perancangan Geoteknik. SNI 8460:2017. Jakarta: s.n.
- Das, B. M., 2010. Principles Of Geotechnical Engineering. 7th ed. Stamford:Cengage Learning.
- Look, B. G. 2014. Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables (2nd ed.). CRC Press.
- Hardiyatmo, H. C., 2010, Analisis dan Perancangan Fondasi 2, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Pratama, A. P. (2018). Kajian Variasi Penggunaan Angkur dan Kedalaman Secant Pile Terhadap Stabilitas Galian Dalam (Studi Kasus: Proyek Apartemen Grand Dharmahusada Lagoon Surabaya). Universitas Gadjah Mada.
- Rifa'i, A., & Putra, O. A. (2021). Slope Stability Analysis Due to Infrastructure Development of Ratu Boko Site Yogyakarta Indonesia Under Earthquakes Loading. *Journal of Applied Engineering Science*, 19(4), 920-925. DOI:10.5937/jaes0-30070.
- Geo5. 2020. *Engineering Manual: Sheet Design Program*. Fine Software.