JSpTS (Jurnal Spesialis Teknik Sipil)
Volume 07, Nomor 02, Oktober, 2026 E-ISSN: 2714-6227

Evaluasi Kemampuan Layan Dinding Penahan Tanah dengan Perkuatan *Sheet Pile* tanpa dan dengan Angkur pada Longsoran Jembatan Ki Ronggo Bondowoso

Gilang Akbar Ramadhan[1*], Arief Alihudien[2] dan Hilfi Harisan Ahmad[3]
[1,2,3]Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
[1,2,3]E-mail: jayanegeri0@gmail.com[1], ariefalihudien@unmuhjember.ac.id[2], hilfiharisana@unmuhjember.ac.id[3]

Abstract

A landslide on a retaining wall in the Ki Ronggo Bridge area, Bondowoso Regency, requires a reinforcement evaluation to maintain slope stability and the safety of the surrounding infrastructure. This study aims to compare the performance of sheet piles with and without anchors using secondary data from soil investigations, including the Standard Penetration Test (SPT). The analysis was conducted using GEO5 software to examine slope stability, bearing capacity, passive earth pressure, internal forces, anchor capacity, and structural deformation. The analysis results show that both configurations have a global slope stability safety factor of 2.73, exceeding the minimum limit of 1.50. In the configuration without anchors, the maximum bending moment reached 558.55 kN·m/m and the maximum deformation was 77.4 mm. Meanwhile, the configuration with anchors produced a maximum bending moment of 212.26 kN·m/m and a maximum deformation of 77.4 mm. The internal stability safety factor of the anchors reached 2.10, but the anchor capacity utilization rate of 99.78% indicates limited reserve capacity. These results confirm that the selection of a reinforcement system must consider geotechnical stability, structural capacity, deformation, and the adequacy of anchor capacity.

Keywords: *Anchor, GEO5, Landslide, Service Capacity, Sheet Pile.*

Abstrak

Longsoran pada dinding penahan tanah di kawasan Jembatan Ki Ronggo, Kabupaten Bondowoso, memerlukan evaluasi perkuatan untuk menjaga stabilitas lereng dan keamanan infrastruktur di sekitarnya. Penelitian ini bertujuan membandingkan kemampuan layan sheet pile tanpa angkur dan dengan angkur menggunakan data sekunder penyelidikan tanah, termasuk Standard Penetration Test (SPT). Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak GEO5 dengan meninjau stabilitas lereng, daya dukung, tekanan tanah pasif, gaya dalam, kapasitas angkur, dan deformasi struktur. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua konfigurasi memiliki faktor keamanan stabilitas lereng global sebesar 2,73, melampaui batas minimum 1,50. Pada konfigurasi tanpa angkur, momen lentur maksimum mencapai 558,55 kN·m/m dan deformasi maksimum 77,4 mm. Sementara itu, konfigurasi dengan angkur menghasilkan momen lentur maksimum 212,26 kN·m/m dan deformasi maksimum 77,4 mm. Faktor keamanan stabilitas internal angkur mencapai 2,10, tetapi tingkat pemanfaatan kapasitas angkur sebesar 99,78% menunjukkan terbatasnya cadangan kapasitas. Hasil ini menegaskan bahwa pemilihan sistem perkuatan perlu mempertimbangkan stabilitas geoteknik, kapasitas struktural, deformasi, dan kecukupan kapasitas angkur.

Kata kunci: *Angkur, GEO5, Kemampuan Layan, Longsoran, Sheet Pile.*

* Corresponding Author's email: jayanegeri0@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Kestabilan lereng merupakan salah satu perhatian utama dalam rekayasa geoteknik, terutama di area infrastruktur seperti jembatan (Alfaries et al., 2026). Ketidakstabilan tanah dapat menyebabkan perubahan bentuk dan kerusakan struktur, serta berpotensi mengakibatkan longsor yang membahayakan keselamatan (Yang et al., 2025). Penerapan struktur penahan tanah yang tepat diperlukan untuk mengendalikan tekanan lateral tanah dan deformasi yang terjadi pada lereng yang rentan longsor (Rokhman et al., 2023). Kestabilan lereng merupakan salah satu isu krusial dalam rekayasa geoteknik, khususnya pada area infrastruktur vital seperti jembatan (Alihudien et al., 2026). Ketidakstabilan tanah dapat memicu deformasi dan kerusakan struktur, serta berpotensi mengakibatkan bencana longsor yang membahayakan keselamatan. Oleh karena itu, penerapan struktur penahan tanah yang tepat sangat diperlukan untuk mengendalikan tekanan lateral tanah dan membatasi deformasi pada lereng yang rentan mengalami kelongsoran (Mujtaba et al., 2018).

Kondisi kritis terkait stabilitas lereng ini terjadi pada area Jembatan Ki Ronggo, Kabupaten Bondowoso, yang merupakan infrastruktur penghubung utama antara Kecamatan Bondowoso dan Kecamatan Tegal Ampel. Pada lokasi tersebut, telah terjadi kegagalan lereng pada struktur dinding penahan tanah (plengsengan) eksisting yang memicu longsoran dengan dimensi yang cukup masif, yakni panjang 35 meter, tinggi 8 meter, dan lebar 6 meter. Berdasarkan data penyelidikan tanah, stratigrafi di lokasi tersebut didominasi oleh lapisan lempung dengan konsistensi sangat lunak, yang secara langsung berkontribusi terhadap besarnya tekanan lateral dan tingginya potensi pergerakan tanah (Fang et al., 2023). Kegagalan lereng ini tidak hanya merusak fasilitas di sekitarnya seperti area parkir, tetapi juga berpotensi mengancam stabilitas struktur utama jembatan jika tidak segera ditangani dengan perkuatan yang memadai (Solin, 2022). Kondisi saat ini longsoran masih belum ada tindak lanjut untuk perbaikan maka dari itu pada penelitian saya melakukan analisis perencanaan (Tambunan et al., 2026). Salah satu metode yang umum diaplikasikan untuk memperkuat lereng dengan kondisi tanah lunak adalah penggunaan dinding penahan tanah tipe turap (*sheet pile*) (Alihudien et al., 2025). Berbagai penelitian terdahulu membuktikan bahwa penerapan *sheet pile* mampu meningkatkan angka keamanan (*safety factor*) lereng secara signifikan, sekaligus memberikan perilaku deformasi yang lebih terkendali (Roschedy et al., 2019).

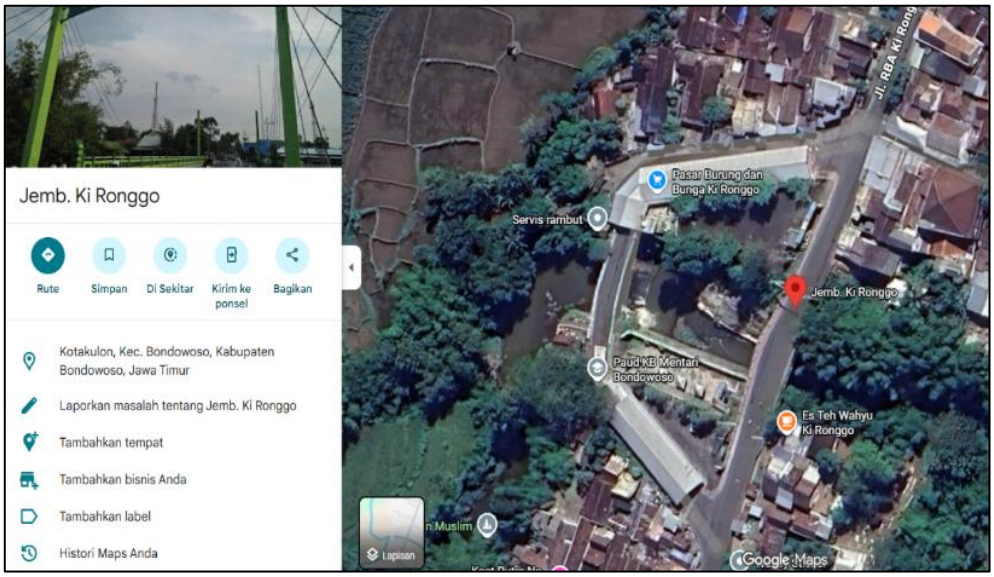
Dalam praktiknya di lapangan, sheet pile dapat dipasang dengan atau tanpa menggunakan sistem angkur (*anchor*). Angkur berfungsi sebagai elemen penahan gaya tarik tambahan yang bekerja pada dinding struktur (Sunariyono et al., 2019). Penggunaan angkur ini diyakini mampu memberikan kontrol yang lebih baik terhadap deformasi dan mengoptimalkan kinerja struktur dalam merespons beban lateral tanah. Kajian yang menitikberatkan pada evaluasi kemampuan layan lereng (*serviceability*) dari *sheet pile*, baik tanpa maupun dengan angkur, menjadi sangat

penting (Inazumi et al., 2026). Evaluasi ini tidak hanya berfokus pada stabilitas ultimit (*ultimate stability*), tetapi juga pada perilaku deformasi dan respons struktural pada saat struktur tersebut dalam masa layanan (Ghiasi & Eskandari, 2023). Berdasarkan uraian permasalahan di atas, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan mengevaluasi secara komprehensif kemampuan layan dinding penahan tanah pada area longsoran Jembatan Ki Ronggo Bondowoso (Journal et al., 2025). Penelitian ini akan membandingkan efektivitas penggunaan perkuatan sheet pile tanpa angker dan *sheet pile* dengan angker guna menemukan solusi teknis yang paling aman dan memenuhi persyaratan deformasi (Alnabawi et al., 2020).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada area longsoran di sekitar Jembatan Ki Ronggo, Kabupaten Bondowoso yang menghubungkan Kecamatan Bondowoso dan Kemacatan Tegal Ampel, yang mengalami kegagalan lereng pada dinding penahan tanah (plengsengan) dengan panjang longsoran 35 meter, tinggi 15 meter, dan lebar 6 meter. Lokasi ini dipilih karena kondisi tanah yang labil berpotensi menurunkan stabilitas struktur jembatan sehingga diperlukan evaluasi geoteknik serta perencanaan perkuatan yang tepat.

Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kebutuhan perencanaan perkuatan lereng pada area jembatan yang rentan terhadap tekanan tanah lateral. Penggunaan data SPT sebagai dasar parameter tanah telah menjadi pendekatan umum dalam evaluasi stabilitas lereng karena memberikan profil tanah yang kontinu dan *representative*. Untuk Lokasi penelitian ditampilkan dalam Gambar 1



Gambar 1 Peta Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengevaluasi kapasitas dukung, faktor keamanan, stabilitas dinding penahan tanah, gaya lateral, serta kedalaman

pemancangan dinding penahan tanah pada longsoran di sekitar Jembatan Ki Ronggo, Kabupaten Bondowoso yang menghubungkan Kecamatan Bondowoso dan Kemacatan Tegal Ampel. Seluruh tahapan analisis menggunakan data sekunder yang bersumber dari lokasi tersebut. Dalam proses pengolahan dan analisisnya, digunakan beberapa perangkat lunak penunjang seperti *Microsoft Office*, Geo5, dan AutoCAD.

Prosedur penelitian diawali dengan tahap studi literatur melalui pengumpulan artikel ilmiah sebagai landasan teoretis dan penunjang pengolahan data. Selanjutnya, dilakukan ekstraksi data lapangan untuk menetapkan parameter dasar perhitungan dinding penahan tanah yang mencakup berat volume tanah (γ), berat jenis (Gs), kohesi (c), sudut gesek dalam (φ). Analisis teknis kemudian dilanjutkan dengan menguji kestabilan terhadap tingkat keamanan perkuatan dinding penahan tanah tanpa angkur dan menggunakan angkur tanah. dilakukan perhitungan dinding penahan tanah secara manual yang hasilnya dikomparasikan dengan analisis perangkat lunak Geo5, yang kemudian diikuti dengan perhitungan penulangan struktur. Penelitian ini diakhiri dengan perumusan kesimpulan berdasarkan hasil analisis secara menyeluruh pada dinding penahan tanah tanpa angkur dan dengan angkur tanah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Tanah

Pengujian terhadap kondisi tanah di lokasi yang dilakukan dengan menggunakan tes uji penetrasi standar (*Standard Penetration Test*/SPT), yang bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah secara langsung di lapangan. Setelah mendapatkan data awal tersebut, dilakukan tahap lanjutan berupa pengujian laboratorium guna memperoleh informasi yang lebih mendalam mengenai klasifikasi dan karakteristik fisik maupun mekanik tanah.

Tabel 1 Nilai SPT

Kedalaman	N-SPT	di M	di/Ni	Uraian Tanah
0	-			
1	2,00	1	0,500	
2	6,00	1	0,167	
3	12,00	1	0,083	Lempung Berpasir
4	18,00	1	0,056	
5	33,00	1	0,030	
6	26,00	1	0,038	
7	5,00	1	0,200	Lempung Berpasir
8	2,00	1	0,500	
9	1,00	1	1,000	

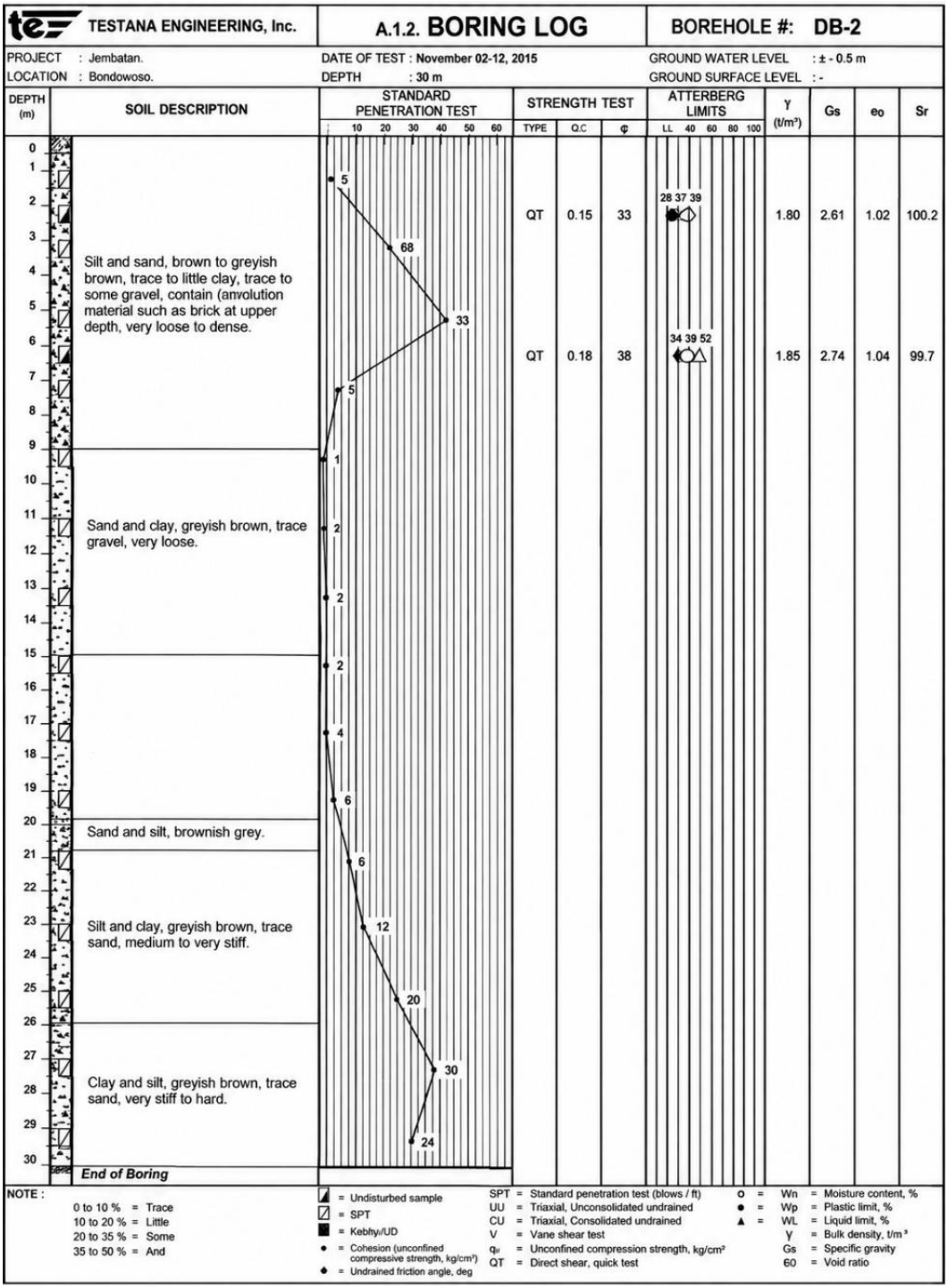
Tabel 1 Nilai SPT (lanjutan)

Kedalaman	N-SPT	di M	di/Ni	Uraian Tanah
10	1,00	1	1,000	
11	1,00	1	1,000	
12	1,00	1	1,000	
13	2,00	1	0,500	
14	2,00	1	0,500	
15	2,00	1	0,500	
16	2,00	1	0,500	Lempung Kelanauan
17	2,00	1	0,500	
18	3,00	1	0,333	
19	4,00	1	0,250	
20	6,00	1	0,167	
21	8,00	1	0,125	
22	10,00	1	0,100	
23	12,00	1	0,083	
24	14,00	1	0,071	
25	16,00	1	0,063	
26	20,00	1	0,050	
27	24,00	1	0,042	Pasir Kelanauan
28	26,00	1	0,038	
29	30,00	1	0,033	
30	24,00	1	0,042	

Berdasarkan Tabel 1, hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) menunjukkan adanya variasi nilai N-SPT pada setiap kedalaman yang menggambarkan perubahan karakteristik tanah di lokasi penelitian. Pada kedalaman 1–6 m, nilai N-SPT berkisar antara 2 hingga 33, yang menunjukkan kondisi tanah dengan tingkat kepadatan atau konsistensi yang bervariasi. Pada kedalaman 7–19 m, nilai N-SPT cenderung rendah, yaitu antara 1 hingga 4. Kondisi ini mengindikasikan adanya lapisan tanah yang relatif lunak dengan daya dukung yang perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur penahan tanah. Selanjutnya, pada kedalaman 20–25 m, nilai N-SPT meningkat secara bertahap dari 6 menjadi 16. Peningkatan tersebut berlanjut pada kedalaman 26–29 m, dengan nilai N-SPT mencapai 30 pada kedalaman 29 m, sebelum menurun menjadi 24 pada kedalaman 30 m. Perubahan nilai tersebut menunjukkan bahwa lapisan tanah yang lebih dalam memiliki karakteristik yang relatif lebih padat atau lebih kaku dibandingkan lapisan tanah pada kedalaman menengah.

Berdasarkan uraian tanah pada tabel, lapisan tanah di lokasi penelitian terdiri atas lempung berpasir, lempung kelanauan, dan pasir kelanauan. Keberadaan lapisan dengan nilai N-SPT rendah perlu menjadi perhatian karena dapat memengaruhi respons tanah terhadap tekanan lateral dan perilaku struktur *sheet*

pile. Oleh karena itu, data SPT digunakan sebagai salah satu dasar dalam menentukan parameter tanah untuk analisis geoteknik menggunakan perangkat lunak GEO5. Untuk memperjelas susunan lapisan tanah, kedalaman perubahan jenis tanah, serta kondisi tanah sepanjang titik pengeboran, hasil penyelidikan tersebut disajikan dalam bentuk *boring log* pada Gambar 2.



Gambar 2 *Boring Log*

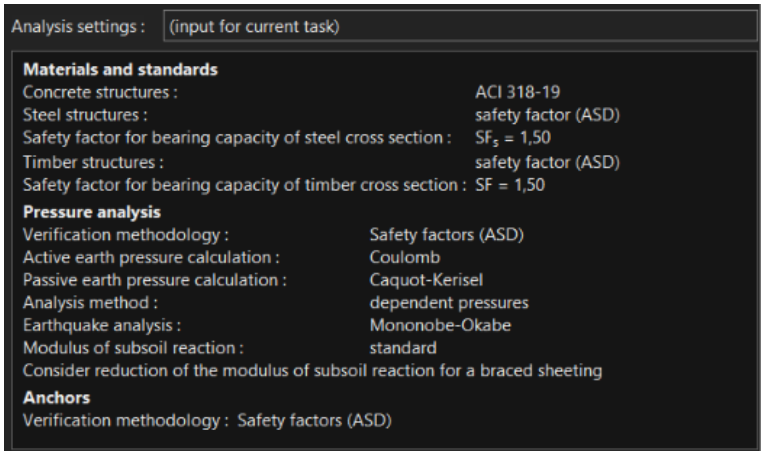
3.2 Analisis Pemodelan Sheet Pile Menggunakan Software GEO5

Dilakukan perhitungan menggunakan perangkat lunak GEO5 untuk mengevaluasi stabilitas lereng dalam kondisi eksisting. Nilai Faktor Keamanan (FK) yang mencerminkan tingkat kestabilan struktur terhadap potensi kelongsoran (syarat FK ≥ 1.5). Pemasangan *sheet pile* perkuatan guna memenuhi standar keamanan yang ditetapkan dalam SNI 8460:2017. Berikut analisis yang terdapat pada aplikasi GEO5 sebagai berikut.

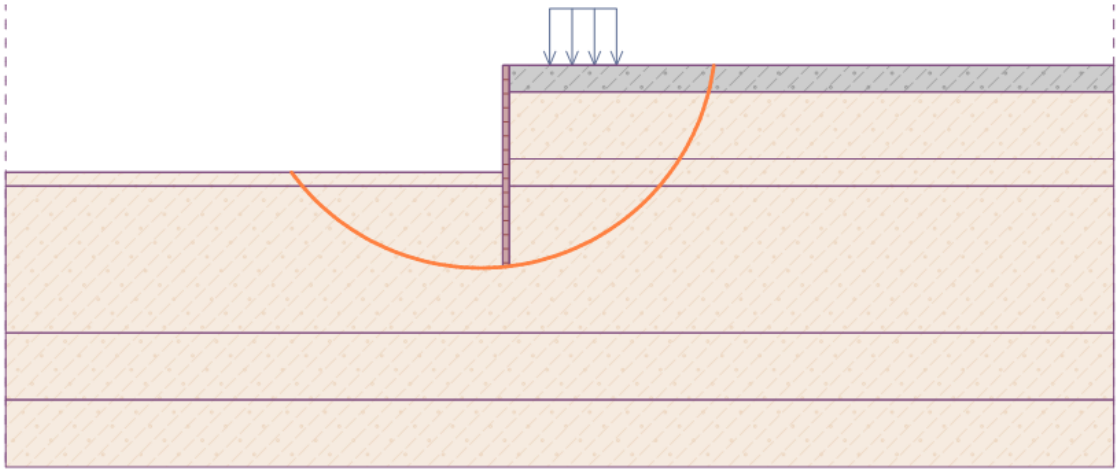
1) Analisis Tekanan Tanah Lateral (*Earth Pressure Analysis*)
   Analisis dasar untuk mengetahui seberapa besar beban tanah yang mendorong turap dan seberapa besar tanah di depan turap mampu menahan dorongan tersebut. Tekanan aktif menghitung gaya dorong dari tanah di belakang dinding (termasuk beban merata/*surcharge*), Tekanan pasif menghitung tahanan jepit dari tanah di depan galian dasar, Tekanan seismik dinamis mengingat ini adalah struktur permanen analisis ini menghitung tambahan gaya dorong lateral.
2) Analisis Interaksi Tanah Struktur
   GEO5 *Sheeting Check* tidak menghitung dinding sebagai benda kaku biasa, melainkan menggunakan model pegas elasto-plastis. *Modulus of Subgrade Reaction* (*Metode Schmitt*): Perangkat lunak menganalisis seberapa kaku tanah menahan lenturan turap di setiap kedalamannya. Analisis ini menggunakan data Modulus Elastisitas Tanah (Edef).
3) Analisis Gaya Dalam dan Deformasi
   Analisis struktural untuk menguji kekuatan *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) WIKA Tipe W-500 B input sesuai dengan SNI (berbasis ACI 318-19). Momen Lentur Maksimum (Mmax) menghitung momen melengkung terbesar yang terjadi pada beton. Hasil dari analisis ini kemudian dibandingkan dengan kapasitas Momen Retak (Mcrack) dari brosur WIKA Kelas B. Gaya Geser memastikan penampang turap tidak patah tergeser. Lendutan/Defleksi menghitung seberapa jauh ujung atas turap melengkung ke arah galian untuk memastikan pergerakannya tidak merusak tanah atau bangunan di sekitarnya.
4) Analisis Kapasitas Angkur Tanah
   Profil tanah memiliki lapisan lempung sangat lunak, analisis angkur (*PC Strand*) menjadi kunci utama stabilitas. Kapasitas Tarik Baja (R_t) memastikan 3 atau 4 untai baja Grade 270 tidak putus saat ditarik. Tahanan Cabut Grouting (R_c) memastikan ikatan antara semen *grout* 30 MPa dengan kabel baja tidak selip. Tahanan Cabut Tanah (R_e) analisis tegangan efektif untuk memastikan silinder semen tidak tercabut dari dalam tanah Lanau Pasir. Di sinilah desain dievaluasi agar Faktor Keamanan (SF) mencapai minimal 2,00.
5) Analisis Stabilitas Galian Dasar

Analisis ini mengevaluasi risiko naiknya dasar galian atau terdorongnya tanah dari bawah turap akibat tekanan tanah yang sangat besar di area lempung lunak. target keamanan di angka minimum SF = 1,50 sesuai SNI.

Langkah pertama untuk pemrogaman GOE5 yakni menentukan analisis pada menu *Setting* yang disesuaikan dengan SNI 8460:2017 sebagai berikut.



Gambar 3 Menu Setting Penginputan Sesuai SNI



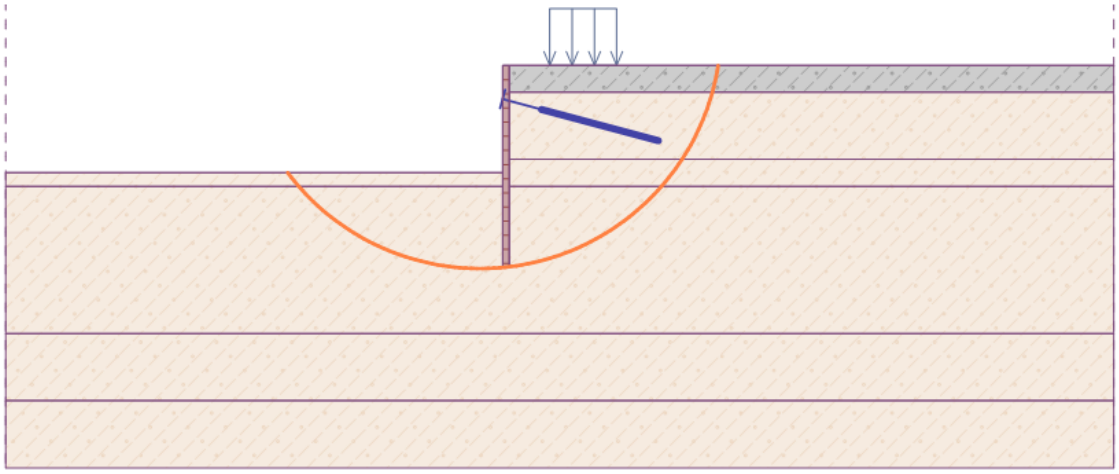
Gambar 4 Analisa Metode Bioshop tanpa Angkur

Pada skenario ini ujung bawah sheet pile akan bertumpu tepat di kedalaman 15 meter, yang posisinya berada persis di tengah-tengah zona lempung lunak (N-SPT 1-3).

Pengecekan di GEO5

- Periksa angka *Safety Factor* (SF) guling dan geser. Tahanan pasif lempung lunak sanggup menahan dorongan tanah aktif dari atas.
- grafik lendutan. Dinding diprediksi aman dari defleksi sehingga aman.

Momen Lentur Maksimum (Mmax) dipastikan memenuhi kapasitas momen izin CCSP W-450 B (yakni 614 > 558,55 kN.m/m).



Gambar 5 Analisa Metode Bioshop dengan Angkur

Pada skenario ini *sheet pile* akan bertumpu tepat di kedalaman 15 meter dengan ditambah angkur tanah pada kedalaman 2,5 meter.

Pengecekan di GEO5:

1) Evaluasi Kapasitas Penampang Beton

   Ini adalah parameter paling kritis untuk memastikan *sheet pile* tidak patah atau retak saat menahan beban tanah.

   - Momen Lentur Maksimum (Mmax) terbaca sebesar 212,26 kN/m. Kapasitas momen patah (Mbreak) untuk spesifikasi WIKA CCSP W-325 A berada di 288 kN/m. Beton penyusun dinding ini akan aman dari risiko patah.
   - Gaya Geser Maksimum terbaca sebesar 91,63 kN/m. Angka ini sangat kecil untuk penampang beton masif setebal 500 mm. Dinding dipastikan aman dari keruntuhan geser.

2) Kinerja & Stabilitas Angkur Tanah

   Adanya sistem angkur yang menjadi titik kritis kini telah memenuhi standar keamanan.

   - Kekuatan Baja & *Grouting*: Kapasitas tarik baja (Rt) mencapai 450,02 kN. Tahanan cabut semen/grouting (Rc) mencapai 608,13 kN.
   - Tahanan Cabut Tanah: Tahanan cabut dari tanah (Re) bernilai 153,71 kN, mampu menahan gaya tarik maksimal sebesar 150,00 kN.
   - Tingkat Pemanfaatan (*Utilization*): Tingkat utilisasi angkur berada di angka 99,78% > 100% tidak melebihi, menunjukkan desain yang efisien dan memenuhi standar (aman).
   - Pada evaluasi stabilitas internal, faktor keamanan terhitung mencapai 2,1 > 1,50 mengonfirmasi bahwa barisan angkur bekerja secara optimal.

3) Stabilitas Lereng Global

Pengecekan kelongsoran menggunakan bidang gelincir melingkar (*circular slip surface*) memastikan galian tidak akan runtuh secara masif.

- Menggunakan metode Bishop, jumlah gaya aktif (Fa) adalah 1020,65 kN/m dan gaya pasif (Fp) mencapai 2782,84 kN/m.
- Faktor keamanan stabilitas lereng berada di angka 2,73. Nilai ini melampaui target minimum 1,50, sehingga stabilitas lereng dinyatakan dapat diterima (acceptable)

Deformasi lendutan maksimum dinding (*maximum displacement*) berada di angka 77,4 mm. Perpindahan lateral di titik angkur (kedalaman 2,5 m) tercatat toleransi 100 mm, yang membuktikan bahwa tarikan angkur sebesar 150,00 kN berhasil menahan dinding secara efektif. Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak GEO5, dilakukan evaluasi terhadap stabilitas dan kinerja struktur *sheet pile* yang direncanakan dengan angkur dan tanpa angkur. Evaluasi mencakup stabilitas lereng, daya dukung vertikal, pemanfaatan tekanan pasif, gaya tarik angkur, stabilitas internal, kapasitas penampang terhadap momen lentur dan gaya geser, serta deformasi maksimum struktur. Hasil analisis tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai batas atau kriteria penerimaan yang digunakan untuk menentukan tingkat keamanan struktur. Ringkasan hasil pengecekan dan status pemenuhan setiap kriteria disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan Analisis dan Hasil

Kategori Pengecekan	Parameter Analisis	Nilai Hasil (GEO5)	Syarat/Bebas Aman Umum	Status/ Kesimpulan
Menggunakan Angkur Tanah				
Kestabilan Eksternal & Tanah	Stabilitas Lereng Global (*Slope Stability*)	FS = 2,73	≥ 1,50	Aman (tidak terjadi kelongsoran memutar)
	Daya Dukung Vertikal (*Vertical Bearing*)	SF_v = 1,75	≥ 1,50	Aman & efisien (dinding tidak amblas)
	Pemanfaatan tekanan pasif	SF_p = 2,70	≥ 1,50	Aman (dasar galian tidak bergeser)
Kinerja Sistem Angkur Tanah	Gaya Tarik Angkur Aktual	149,67 kN	150 kN	Beban maksimal per titik angkur
	Kestabilan Internal Angkur	FS = 2,10	≥ 1,50	Aman (kabel baja prategang tidak putus)
	Tingkat Pemanfaatan Cabut (*Pull-out*)	99,78%	<100%	Optimal (angkur tidak tercabut dari tanah)

Tabel 2 Perbandingan Analisis dan Hasil (lanjutan)

Kategori Pengecekan	Parameter Analisis	Nilai Hasil (GEO5)	Syarat/Bebas Aman Umum	Status/ Kesimpulan
Menggunakan Angkur Tanah				
Gaya Dalam & Deformasi Struktur	Momen Lentur Maksimum (M_{max})	212,76 kNm/m	≤228 kNm (Kapasitas Tipe W-325A)	Aman
	Gaya Geser Maksimum (Q_{max})	91,63 kN/m	≤ Kapasitas Geser Izin (≈ 200 kN/m)	Aman (beban geser jauh di bawah kapasitas penampang)
	Lendutan Maksimum (*Displacement*)	77,4 mm	≤ 100 mm (toleransi untuk area terbuka/ sungai)	Aman (pergerakan masih dalam batas wajar)
Tanpa Angkur Tanah				
Kestabilan Eksternal & Tanah	Stabilitas Lereng Global (*Slope Stability*)	FS = 2,73	≥ 1,50	Aman (kelongsoran global tertahan)
	Daya Dukung Vertikal (*Vertical Bearing*)	SF_v = 1,78	≥ 1,50	Aman (dinding tidak amblas)
	Pemanfaatan tekanan pasif	SF_p = 2,42	≥ 1,50	Aman (dasar galian stabil)
Gaya Dalam & Deformasi Struktur	Momen Lentur Maksimum (M_{max})	558,55 kNm/m	≤M_{break} 614	Aman
	Gaya Geser Maksimum (Q_{max})	173,73 kN/m	≤ Kapasitas Geser Izin (≈ 200 kN/m)	Aman (kuat geser terpenuhi)
	Lendutan Maksimum (*Displacement*)	226,6 mm	≤ 300 mm (area terbuka/ sungai)	Aman

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 2, kondisi dinding penahan tanah dengan angkur maupun tanpa angkur menunjukkan hasil yang memenuhi kriteria keamanan berdasarkan parameter yang ditinjau. Pada kondisi menggunakan angkur tanah, nilai faktor keamanan stabilitas lereng global (FS) sebesar 2,73, daya dukung vertikal (SF_u) sebesar 1,75, dan pemanfaatan tekanan pasif (SF_p) sebesar 2,70. Sementara itu, pada kondisi tanpa angkur tanah, nilai yang diperoleh masing-masing sebesar 2,73; 1,78; dan 2,42. Seluruh nilai tersebut telah melampaui batas minimum faktor keamanan sebesar 1,50. Dari aspek perilaku struktur, kondisi menggunakan angkur menghasilkan momen lentur maksimum sebesar 149,67 kN·m, gaya geser maksimum 173,73 kN/m, dan deformasi maksimum 226,6 mm. Adapun kondisi tanpa angkur menghasilkan momen lentur maksimum sebesar

558,55 kN·m, gaya geser maksimum 91,63 kN/m, dan deformasi maksimum 77,4 mm. Berdasarkan batas yang tercantum dalam tabel, nilai gaya dalam dan deformasi pada kedua kondisi masih berada dalam rentang yang diizinkan. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa kedua konfigurasi dapat memenuhi kriteria pemeriksaan yang digunakan, tetapi memberikan respons struktur yang berbeda. Oleh karena itu, pemilihan penggunaan angkur tanah perlu mempertimbangkan stabilitas geoteknik, kapasitas struktur, deformasi yang diizinkan, serta kondisi tanah dan kebutuhan pelaksanaan di lapangan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak GEO5, perkuatan sheet pile pada lokasi longsoran Jembatan Ki Ronggo, Kabupaten Bondowoso, menunjukkan bahwa konfigurasi dengan maupun tanpa angkur memenuhi kriteria stabilitas lereng global yang digunakan, dengan faktor keamanan sebesar 2,73. Nilai tersebut melampaui batas minimum 1,50. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua konfigurasi dapat dipertimbangkan dari aspek stabilitas geoteknik, dengan tetap memperhatikan kapasitas struktur dan kondisi tanah di lokasi penelitian.

Perbedaan kedua konfigurasi terlihat pada respons strukturalnya. Pada kondisi tanpa angkur, momen lentur maksimum mencapai 558,55 kN·m/m, sedangkan pada kondisi dengan angkur sebesar 212,26 kN·m/m. Deformasi maksimum pada kedua konfigurasi tercatat sebesar 77,4 mm. Pada konfigurasi dengan angkur, faktor keamanan stabilitas internal mencapai 2,10, tetapi tingkat pemanfaatan kapasitas angkur sebesar 99,78% menunjukkan bahwa cadangan kapasitasnya terbatas. Oleh karena itu, evaluasi dan optimalisasi kapasitas angkur masih diperlukan sebelum desain diterapkan di lapangan.

Secara keseluruhan, pemilihan sistem perkuatan tidak cukup didasarkan pada faktor keamanan lereng, tetapi juga harus mempertimbangkan kapasitas penampang, gaya dalam, deformasi, dan kapasitas angkur. Perbandingan akhir kedua konfigurasi perlu menggunakan parameter dan kriteria evaluasi yang konsisten agar sistem perkuatan yang dipilih benar-benar sesuai dengan kondisi geoteknik dan kebutuhan struktur di lokasi penelitian.

REFERENSI

Alfaries, M. R., Dewi, I. C., Alihudien, A., Ahmad, H. H., & Amijaya, J. (2026). *Structural Design Study Of Abutments Using Bored Pile*. *Jurnal Pensil*, *15*, 1–13. Https://Doi.Org/10.21009/Jpensil.V13i3.48630

Alihudien, A., Alfaries, M. R., & Rizal, N. S. (2025). Simulation Of The Potential Liquification Of Puger Sand Soil On A Small Scale In The Laboratory. *Rekayasa Sipil*, *19*(2), 219–224. Https://Doi.Org/10.21776/Ub.Rekayasasipil.2025.019.02.10

Alihudien, A., Satritama, M. I., Haq, N. H., & Alfaries, M. R. (2026). *Engineering , Environment , And Technology Analysis Of The Effects Of Earthquakes On The*

Pile-Box Culvert System At The Gentos Bridge , Situbondo , Indonesia. *11*(3). Https://Doi.Org/10.25299/Jgeet.2026.11.3.29784

Alnabawi, G., Amelinda, P., Budi, S., Gunasti, A., Alfaries, M. R., & Jember, U. M. (2020). *STUDI PENGGUNAAN DYNAMIC CONE PENETROMETER*. 92–98.

Fang, K., Tang, H., Li, C., Su, X., An, P., & Sun, S. (2023). Geoscience Frontiers Centrifuge Modelling Of Landslides And Landslide Hazard Mitigation : A Review. *Geoscience Frontiers*, *14*(1), 101493. Https://Doi.Org/10.1016/J.Gsf.2022.101493

Ghiasi, V., & Eskandari, S. (2023). Results In Engineering Comparing A Single Pile ' S Axial Bearing Capacity Using Numerical Modeling And Analytical Techniques. *Results In Engineering*, *17*(January), 100893. Https://Doi.Org/10.1016/J.Rineng.2023.100893

Inazumi, S., Watanabe, Y., Mizutani, Y., & Matsuo, Y. (2026). Results In Engineering Uplift Resistance Of Winged Composite Piles With Surplus Soil Backfill : Model Experiments And Numerical Validation. *Results In Engineering*, *29*(November 2025), 109404. Https://Doi.Org/10.1016/J.Rineng.2026.109404

Journal, M., Lestari, R. T., Y, A. H., & Zuhdan, M. G. (2025). *TANAH DENGAN SHEET PILE*. *7*(1).

Mujtaba, H., Farooq, K., Sivakugan, N., & Das, B. M. (2018). Evaluation Of Relative Density And Friction Angle Based On SPT-N Values. *KSCE Journal Of Civil Engineering*, *22*(2), 572–581. Https://Doi.Org/10.1007/S12205-017-1899-5

Rokhman, R., Rini, R. P., Saputra, A., Rusmin, M., & Klau, J. (2023). Tinjauan Daya Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data SPT Pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Universitas Muhammadiyah Sorong. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, *5*(2), 127–133. Https://Doi.Org/10.26740/Proteksi.V5n2.P127-133

Roschedy, G., Manoppo, F. J., & Mandagi, A. T. (2019). Analisis Daya Dukung Pondasi Jembatan Gorr I. *Jurnal Sipil Statik*, *7*(4), 397–408.

Solin, D. P. (2022). Analisis Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Pada Tanah Berlempung Berdasarkan Data Penyelidikan Tanah. *Agregat*, *7*(1), 655–662. Https://Doi.Org/10.30651/Ag.V7i1.13319

Sunariyono, Isnaniati, & Hutama, D. A. (2019). Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Bored Laboratorium Pada Proyek Pembangunan Apartemen 88 Avenue Surabaya. *Universitas Muhammadiyah Surabaya*, *4*(2).

Tambunan, L., Laksmi, A. A., & Putra, O. A. (2026). *Analisis Pengaruh Metode Pemodelan Angkur Dan Variasi Kedalaman Pancang Terhadap Safety Factor Dinding Penahan Tanah Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) Pada Proyek Reklamasi*. *24*, 161–168.

Yang, W., Zhang, D., & Boldini, D. (2025). Impact Of A Large And Shallow Twin-Tunnel Excavation On A High-Speed Railway Bridge And Related Protective Measures: A Case Study. *Underground Space*, *24*, 216–237. Https://Doi.Org/10.1016/J.Undsp.2025.05.001