PERENCANAAN DINDING PENAHAN SUNGAI KAYAN DI KAWASAN RENCANA *ISLAMIC CENTER* PROVINSI KALIMANTAN UTARA

Kania Hannah Pradipta Dwi Oktaviany[1], I Wayan Mundra[2], dan Vega Aditama[3]

[1]*Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang,*
Jl. Bend. Sigura - Gura No.2, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65152, Indonesia
Email: kaniaoktaviany99@gmail.com

[2] *Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang,*
Jl. Bend. Sigura - Gura No.2, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65152, Indonesia
Email: vegaaditama@gmail.com

ABSTRACT

The Kayan River in Bulungan Regency, North Kalimantan Province, is experiencing active bank erosion that threatens the stability of the area planned for the Islamic Center development. Soil conditions dominated by clay and loose sand, combined with fluctuating river water levels between normal and flood conditions, reduce slope stability and pose a risk to the safety of the planned infrastructure. This study analyzes the geotechnical characteristics of the site soil, determines a suitable type and dimension of retaining wall structure, and prepares a construction cost estimate. A quantitative-descriptive method was used, processing secondary data from soil investigations (Standard Penetration Test and laboratory tests), manual calculation of lateral earth pressure and slope stability using the Simplified Bishop Method, and verification using GEO5 software referring to SNI 8460:2017. The analysis shows that the existing slope is unstable, with a safety factor of 0.78 manually and 0.89 using GEO5, so structural reinforcement is required. A 14 m long Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) type W-600 A1000, reinforced with a VSL Y1030H26.5R-R prestressed bar anchor system, was selected as the bank retaining solution. Of three modeling scenarios evaluated, the third gave the most optimal result, with a global stability safety factor of 2.78 and an anchor internal safety factor of 1.56, both satisfying the minimum requirement of 1.50. The estimated construction cost for 700 m of retaining structure is IDR 30,234,552,359.20. The study concludes that the combination of CCSP and the anchor system is a safe, structurally stable, and economically feasible solution for handling bank erosion of the Kayan River.

Keywords: *retaining wall; Corrugated Concrete Sheet Pile; slope stability; GEO5; Kayan River*

ABSTRAK

Sungai Kayan di Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara mengalami erosi tebing aktif yang mengancam stabilitas kawasan rencana pembangunan Islamic Center. Karakteristik tanah yang didominasi lempung dan pasir lepas, ditambah fluktuasi muka air sungai antara elevasi muka air normal dan muka air banjir, menyebabkan penurunan kestabilan lereng dan menimbulkan risiko terhadap keamanan infrastruktur di atasnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik geoteknik tanah pada lokasi studi, menentukan tipe dan dimensi struktur dinding penahan tanah yang sesuai, serta menyusun estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) pelaksanaannya. Metode yang digunakan bersifat kuantitatif-deskriptif melalui pengolahan data sekunder hasil penyelidikan tanah (Standard Penetration Test dan uji laboratorium), perhitungan manual tekanan tanah lateral dan stabilitas lereng dengan metode Bishop yang disederhanakan, serta verifikasi menggunakan perangkat lunak GEO5 mengacu pada SNI 8460:2017. Hasil analisis menunjukkan lereng eksisting berada dalam kondisi tidak stabil dengan faktor keamanan sebesar 0,78 secara manual dan 0,89 melalui GEO5, sehingga diperlukan perkuatan struktural. Struktur Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) tipe W-600 A1000 sepanjang 14 m yang diperkuat sistem angkur prestressed bar VSL Y1030H26.5R-R dipilih sebagai solusi penahan tebing. Dari tiga skenario pemodelan yang dievaluasi, pemodelan ketiga memberikan hasil paling optimal dengan faktor keamanan stabilitas global sebesar 2,78 dan faktor keamanan internal angkur sebesar 1,56, keduanya telah memenuhi syarat minimum 1,50. Estimasi RAB untuk pekerjaan penahan tebing sepanjang 700 m mencapai Rp 30.234.552.359,20. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi CCSP dan sistem angkur merupakan solusi yang aman, stabil secara struktural, dan layak diterapkan secara ekonomis untuk penanganan erosi tebing Sungai Kayan.

Kata kunci: *dinding penahan tanah; Corrugated Concrete Sheet Pile; stabilitas lereng; GEO5; Sungai Kayan*

1. PENDAHULUAN

Sungai Kayan merupakan salah satu sungai utama di Provinsi Kalimantan Utara yang berperan penting dalam mendukung aktivitas sosial, ekonomi, dan transportasi masyarakat, khususnya di wilayah Tanjung Selor, Kabupaten Bulungan. Sungai ini memiliki panjang aliran utama sekitar 448 km dengan luas daerah aliran sungai

mencapai ±29.595 km², sehingga memiliki kapasitas aliran yang besar dan potensi debit banjir yang signifikan. Kondisi geografis yang dinamis menyebabkan kawasan di sepanjang tepi sungai memiliki kerentanan tinggi terhadap erosi dan penggerusan tebing yang berlangsung terus-menerus tanpa perlindungan struktural.

Salah satu kawasan yang menjadi perhatian adalah lokasi rencana pembangunan Islamic Center Kalimantan Utara, yang direncanakan sebagai pusat kegiatan keagamaan, sosial, dan budaya di tepi Sungai Kayan. Berdasarkan laporan Balai Wilayah Sungai Kalimantan V, kawasan ini telah mengalami erosi aktif akibat karakteristik tanah yang relatif lepas serta fluktuasi debit aliran sepanjang tahun, sehingga menimbulkan risiko terhadap keamanan struktur dan fasilitas yang direncanakan di atasnya. Kondisi tersebut menuntut adanya perencanaan struktur dinding penahan tanah yang mampu menahan tekanan lateral tanah sekaligus menjaga kestabilan tebing dari potensi kelongsoran.

Perencanaan struktur penahan tanah yang tepat memerlukan kajian geoteknik yang cermat, mencakup parameter kohesi (c), sudut geser dalam (φ), dan berat isi tanah (γ), serta evaluasi stabilitas eksternal terhadap guling (overturning), geser (sliding), dan daya dukung (bearing capacity). Dalam penelitian ini dipilih struktur Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) sebagai tipe dinding penahan karena memiliki kekakuan tinggi dan penampang bergelombang yang meningkatkan kapasitas momen, sekaligus lebih sesuai untuk kondisi tebing curam dengan akses pelaksanaan yang terbatas dibandingkan struktur beton cor di tempat. Guna memverifikasi hasil perhitungan manual, analisis stabilitas turap dan lereng dilakukan pula menggunakan perangkat lunak GEO5 yang mengacu pada ketentuan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik.

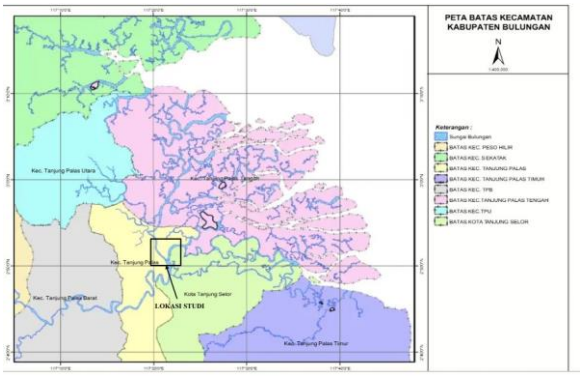
Beberapa penelitian terdahulu telah membahas perencanaan CCSP maupun turap sejenis pada berbagai lokasi, antara lain evaluasi stabilitas CCSP pada normalisasi sungai, analisis faktor keamanan CCSP pada pengaman tanggul sungai menggunakan Plaxis, serta perencanaan dinding turap sheet pile baja pada ruas jalan. Namun demikian, kajian yang secara khusus mengintegrasikan analisis morfologi Sungai Kayan, karakteristik tanah lokal, perencanaan dimensi CCSP dengan sistem angkur, verifikasi menggunakan GEO5, serta penyusunan estimasi biaya pelaksanaan untuk kawasan tepi sungai dengan peruntukan bangunan keagamaan seperti Islamic Center Kalimantan Utara masih terbatas. Kekosongan inilah yang mendasari perlunya penelitian ini dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis karakteristik tanah dan parameter geoteknik pada lokasi tepi Sungai Kayan yang memengaruhi perencanaan dinding penahan tanah; (2) menentukan tipe dan dimensi dinding penahan tanah yang sesuai dengan kondisi morfologi sungai dan parameter geoteknik, serta memenuhi kriteria kestabilan terhadap gaya guling, gaya geser, dan daya dukung tanah; dan (3) menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) dari desain dinding penahan tanah yang dihasilkan agar diperoleh estimasi biaya yang realistis untuk diterapkan di lapangan.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada tepi Sungai Kayan yang berada di kawasan rencana pembangunan Islamic Center Provinsi Kalimantan Utara. Lokasi penelitian dipilih karena mengalami potensi kelongsoran tebing sehingga diperlukan perencanaan dinding penahan tanah untuk meningkatkan stabilitas lereng.



Gambar 1 Peta Lokasi Studi

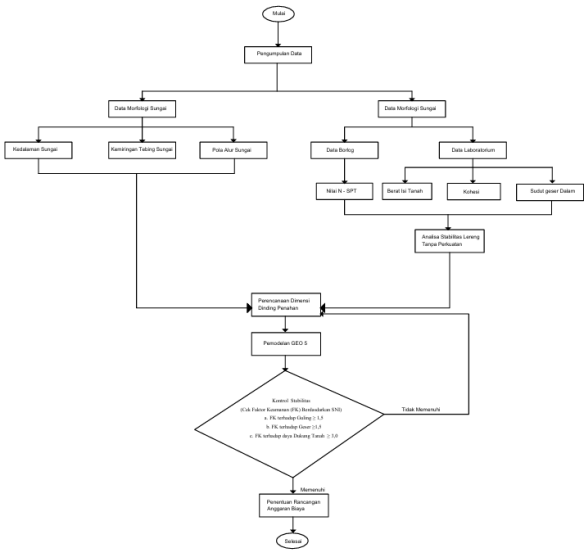


Gambar 2 Peta Administrasi

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan rekayasa geoteknik yang berfokus pada perencanaan teknis struktur penahan tanah tipe Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP). Lokasi penelitian berada di kawasan rencana Islamic Center, Kecamatan Tanjung Selor, Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara, tepatnya di tepi Sungai Kayan dengan kondisi tanah yang didominasi lempung dan pasir. Pemilihan lokasi didasarkan pada indikasi erosi tebing dan penurunan kestabilan lereng yang telah teramati di lapangan, serta tersedianya data geoteknik

dari Balai Wilayah Sungai Kalimantan V sebagai acuan analisis.

Tahapan Penelitian



Tahapan analisis data meliputi lima langkah utama. Pertama, penentuan parameter tanah representatif dari hasil uji laboratorium untuk setiap lapisan stratigrafi. Kedua, perencanaan geometri dinding penahan tanah yang mencakup penentuan tinggi dinding, kedalaman penanaman (embedment depth), dan beban surcharge sesuai SNI 1727:2020. Ketiga, analisis tekanan tanah aktif dan pasif menggunakan teori Rankine untuk memperoleh gaya lateral rencana. Keempat, analisis stabilitas lereng eksisting tanpa perkuatan menggunakan metode Bishop yang disederhanakan (Simplified Bishop Method), yang membagi bidang gelincir menjadi beberapa irisan vertikal dan menghitung faktor keamanan sebagai rasio gaya penahan terhadap gaya penggerak. Kelima, analisis stabilitas struktur turap dan angkur menggunakan perangkat lunak GEO5 modul Sheeting Check, yang meliputi pembuatan profil tanah, input parameter geoteknik, pemodelan geometri turap, penentuan material struktur, input kondisi galian dan timbunan, kondisi muka air, beban permukaan, serta konfigurasi angkur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi lokasi penelitian

Lokasi penelitian berada pada sisi lengkung (meander) Sungai Kayan yang secara alami mengalami tekanan hidrodinamika lebih tinggi sehingga rentan terhadap penggerusan kaki lereng (toe erosion). Elevasi permukaan tanah asli di bibir sungai berkisar antara +12,00 hingga +15,00 m di atas permukaan laut, sedangkan elevasi dasar sungai berada pada +0,00 m. Hasil pengukuran menggunakan citra satelit menunjukkan lebar sungai bervariasi, yaitu 226,73 m pada penampang hilir kiri, 365,71 m pada hilir kanan, dan 608,73 m pada bagian hulu, yang menunjukkan ketidakseragaman geometri alur sungai akibat proses fluvial berupa erosi, transportasi sedimen, dan sedimentasi.



Gambar 3 Kondisi Lokasi

Berdasarkan data Balai Wilayah Sungai Kalimantan V dan Dinas Pengairan Provinsi Kalimantan Utara, elevasi muka air normal (M.A.N) berada pada +7,28 m sedangkan elevasi muka air banjir (M.A.B) mencapai +9,28 m, yang melampaui elevasi puncak tebing eksisting. Kondisi ini mengindikasikan potensi limpasan pada saat debit banjir rencana terjadi, sehingga tekanan hidrostatis dan tekanan tanah lateral pada tebing meningkat signifikan saat muka air naik, sementara aliran sungai secara bersamaan menggerus kaki lereng dan mengurangi daya dukung tanah di bagian bawah tebing.

Karakteristik tanah

Penyelidikan tanah dilakukan melalui dua titik sondir dan satu titik bor inti (BH.01) menggunakan metode Standard Penetration Test (SPT) hingga kedalaman 30 m. Hasil uji menunjukkan nilai N-SPT meningkat seiring bertambahnya kedalaman, dari nilai 1 (sangat lunak) pada kedalaman 2-4 m, meningkat menjadi 6-14 (lunak hingga agak kaku) pada kedalaman 6-22 m, kemudian 15-21 (kaku hingga sangat kaku) pada kedalaman 24-28 m, dan mencapai 32-38 (sangat padat) pada kedalaman 30-35 m. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa kepadatan dan kekuatan tanah semakin baik pada lapisan yang lebih dalam. Muka air tanah (Ground Water Level) teridentifikasi berada pada kedalaman sekitar 7,05 m dari permukaan.

Berdasarkan hasil borlog, profil tanah pada lokasi penelitian dikelompokkan menjadi tiga lapisan utama dengan karakteristik yang berbeda, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik Tanah *Karakteristik Lapisan Tanah Berdasarkan Hasil Borlog*

Lapisan	Jenis Tanah	Karakteristik
1	Lempung kelanauan (*Silty Clay*)	Tanah berbutir halus, bersifat kohesif, memiliki permeabilitas rendah, daya dukung relatif rendah, dan sensitif terhadap perubahan kadar air.
2	Pasir halus (*Fine Sand*)	Tanah nonkohesif, memiliki drainase yang baik, kekuatan geser dipengaruhi oleh sudut geser dalam (φ), serta menunjukkan kepadatan yang lebih tinggi dibanding lapisan atas.
3	Pasir halus padat (*Dense Fine Sand*)	Tanah dengan tingkat kepadatan tinggi, memiliki kuat geser dan daya dukung yang baik sehingga sesuai sebagai lapisan pendukung struktur turap .

Parameter geoteknik yang digunakan dalam analisis diperoleh dari uji laboratorium terhadap sampel hand boring dan boring SPT, meliputi berat isi tanah (γ) sebesar 1,436-1,589 gr/cm³, kohesi (c) sebesar 0,10-0,26 kg/cm², dan sudut geser dalam (φ) sebesar 12,40°-25,08°. Nilai sudut geser dalam yang relatif kecil menunjukkan kemampuan geser tanah yang terbatas sehingga tekanan tanah aktif yang bekerja pada dinding penahan cenderung besar, sementara nilai kohesi yang kecil hingga sedang mengindikasikan daya ikat antarpartikel tanah yang terbatas. Rekapitulasi parameter tanah representatif untuk setiap lapisan yang digunakan dalam analisis disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Parameter Tanah

No	Jenis Lapisan	Kedalaman (m)	γ (gr/cm³)	c (kg/cm²)	φ (°)
1	Lempung Kelanauan	0 – 2	1,436	0,26	25,08
2	Lempung Kepasiran	2 – 8	1,550	0,15	16,00
3	Pasir halus	8– 13	1,589	0,10	12,40

Analisis stabilitas lereng awal

Analisis stabilitas lereng eksisting tanpa perkuatan dilakukan menggunakan metode Bishop yang disederhanakan, dengan membagi bidang gelincir menjadi tujuh irisan vertikal. Faktor keamanan (FK) dihitung sebagai perbandingan antara jumlah gaya penahan dan jumlah gaya penggerak pada seluruh irisan, dengan formulasi:

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c.bn + Wn.\tan\alpha)\ \frac{1}{m\alpha}}{\sum_{n=1}^{n=p} Wn.\sin\alpha n}$$

dengan $M\alpha_n = \cos\alpha_n + (\tan\alpha_n \cdot \sin\alpha_n)/FS$. Perhitungan tiap irisan mempertimbangkan berat tanah efektif (W_n), sudut kemiringan bidang gelincir (α_n), lebar irisan (b_n), serta parameter kohesi dan sudut geser dalam pada lapisan yang bersangkutan. Hasil rekapitulasi menunjukkan total gaya penggerak ($\Sigma W_n \cdot \sin\alpha_n$) sebesar 801,12 kN dan total gaya penahan sebesar 625,03 kN, sehingga diperoleh faktor keamanan sebesar SF = 625,031/801,120 = 0,78.

Nilai tersebut jauh berada di bawah faktor keamanan minimum yang disyaratkan sebesar 1,50, sehingga lereng eksisting dinyatakan tidak stabil dan berpotensi mengalami longsor. Hasil ini sejalan dengan analisis menggunakan program GEO5 yang menghasilkan faktor keamanan sebesar 0,89. Kesesuaian antara hasil perhitungan manual dan hasil pemodelan perangkat lunak memperkuat kesimpulan bahwa diperlukan perkuatan struktural berupa dinding penahan tanah untuk meningkatkan stabilitas lereng di lokasi penelitian.

Analisis tekanan tanah

Analisis tekanan tanah lateral dilakukan menggunakan teori Rankine dengan asumsi permukaan tanah horizontal dan dinding vertikal tanpa gesekan antara tanah dan dinding. Koefisien tekanan tanah aktif dihitung dengan persamaan $Ka = \tan^2(45° - \varphi/2)$, sedangkan koefisien tekanan tanah pasif dihitung dengan $Kp = \tan^2(45° + \varphi/2)$. Hasil perhitungan koefisien pada setiap lapisan disajikan pada Tabel 3.

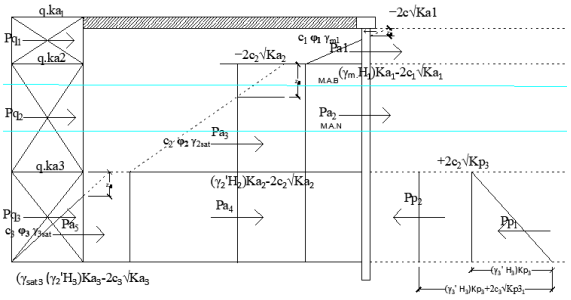
Tabel 3. Koefisien Tekanan Tanah Aktif (Ka) per Lapisan

Lapisan	Kedalaman (m)	φ (°)	Ka
1	0-2	25,08	0,40
2	2-8	16,00	0,57
3	8-13	12,40	0,65

Berdasarkan koefisien tekanan aktif tersebut, dihitung tegangan vertikal efektif (σ'v) dan tekanan tanah aktif efektif (σh') pada setiap kedalaman menggunakan persamaan $\sigma h' = Ka \cdot \sigma'v - 2c\sqrt{Ka}$. Hasil perhitungan menunjukkan nilai σh' bernilai negatif pada kedalaman dangkal (0-2,71 m) akibat pengaruh kohesi yang menimbulkan retak tarik (tension crack); kedalaman z = 2,71 m merupakan batas retak tarik, yaitu titik ketika σh' = 0. Perhitungan tekanan tanah untuk keperluan desain hanya memperhitungkan diagram tekanan pada kedalaman di bawah batas retak tersebut. Setelah memperhitungkan tekanan air pori ($Pw = \gamma w \cdot hw$) yang bekerja mulai kedalaman muka air tanah (z = 5,72 m), diperoleh distribusi tekanan tanah aktif total (σh total = σh' + Pw) sebagaimana dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Distribusi Tekanan Tanah Aktif Efektif dan Total

z (m)	Lapisan	Ka x σ'v	−2c√Ka	σh'
0	1	0	-33,07	-33,07
2	1	11.57	-33,07	-21,50
2,71	2	titik σh = 0	0 = batas retak	0 = batas retak
5,72	2	48,89	-22,60	26,37
8+	3	59,17	-22,60	36,57
8-	3	67,36	-16,08	51,28
13	3	92,82	-16,08	76.74



Tekanan Akibat Beban Surcharge

Besarnya beban surcharge diambil mengacu pada SNI 8460:2017 Bab 7 Subbab 7.5.1.2 Tabel 24, yaitu sebesar 12 kPa untuk jalan kelas II/III. Tekanan lateral akibat surcharge pada tiap lapisan dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Pq = q \times Ka \times H$$

Substitusi untuk Lapisan 1 (Ka1 = 0,4046 ; H1 = 2 m):

$$Pq1 = 12 \times 0{,}4046 \times 2 = 9{,}71\ kN/m$$

Substitusi untuk Lapisan 2 (Ka2 = 0,5678 ; H2 = 6 m):

$$Pq2 = 12 \times 0{,}5678 \times 6 = 40{,}88\ kN/m$$

Substitusi untuk Lapisan 3 (Ka3 = 0,6464 ; H3 = 5 m):

$$Pq3 = 12 \times 0{,}6464 \times 5 = 38{,}79\ kN/m$$

$$Pq\ total = Pq1 + Pq2 + Pq3 = 9{,}71 + 40{,}88 + 38{,}7 = 89{,}38\ kN/m$$

Tekanan Air

Tekanan air pori (Pw) dihitung berdasarkan kedalaman muka air tanah yang berada pada z = 5,72 m menggunakan persamaan Pw = γw × hw dengan γw = 10 kN/m³ dan hw adalah jarak vertikal dari muka air tanah. Sebagai contoh, pada kedalaman z = 13 m:

$$Pw(13) = \gamma w \times (13 - 5{,}72) = 10 \times 7{,}28 = 72{,}80\ kN/m^2$$

$$\sigma h\ total(13) = \sigma h' + Pw = 76{,}74 + 72{,}80 = 149{,}54\ kN/m^2$$

Tekanan Tanah Aktif

$$Pa1 = 0{,}5 \times [(14{,}3 \times 2 \times 0{,}4046) - (2 \times 2{,}6 \times \sqrt{0{,}4046})] \times (2 - 5{,}72)$$

$$= -15{,}36\ kN/m$$

$$Pa2 = 0{,}5 \times [(17{,}7 \times 2 \times 0{,}56) - (2 \times 15 \times \sqrt{0{,}56})] \times (2 - 1{,}27)$$

$$= -41{,}64\ kN/m$$

$$Pa3 = 0{,}5 \times [(17{,}746 \times 6 \times 0{,}5678) - (2 \times 15 \times \sqrt{0{,}5678})] \times (6 - 1{,}27)$$

$$Pa3 = -1{,}71\ kN/m$$

$$Pa4 = 0{,}5 \times [(17{,}874 \times 5 \times 0{,}6464) - (2 \times 10 \times \sqrt{0{,}6464})] \times (5 - (-6{,}66))$$

$$Pa4 = 147{,}84\ kN/m$$

Pa5 = 502,40 kN/m

lengan momen Pa = 13 − ȳ = 13 − 4,33 = 8,67 m

Resultan gaya tekanan tanah aktif (Pa) diperoleh dari penjumlahan luas segmen diagram tekanan, yaitu segmen segitiga pada kedalaman 2,71-5,72 m (39,70 kN/m) dan dua segmen trapesium pada kedalaman 5,72-8 m (97,75 kN/m) serta 8-13 m (533,84 kN/m), sehingga total Pa = 671,28 kN/m dengan titik tangkap resultan pada ȳ = 4,33 m dari permukaan tanah, atau lengan momen sebesar 8,67 m terhadap dasar rencana turap. Adapun tekanan tanah pasif yang bekerja pada bagian tertanam turap dihitung menggunakan Kp_3 = 1,54 pada Lapisan 3, dengan persamaan σp(D) = 12,13D + 24,82 dan resultan Pp(D) = 24,82D + 6,06D².

Kedalaman penanaman turap (D) ditentukan melalui iterasi hingga momen penahan (Mp) melampaui momen penggerak (Ma = Pa × lengan momen = 671,28 × 8,67 = 5.820,01 kN.m). Ringkasan hasil iterasi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Iterasi Kedalaman Penanaman Turap (D)

D (m)	σp(D) (kN/m)	Pp (kN.m)	Yp (kN.m)	Mp (kN.m)	Mp (kN.m)	Evaluasi
7	109,70	470,84	4,23	1994,56	5820,01	Tidak Aman
7.5	115,76	527,20	5,55	2403,37	5820,01	Tidak Aman
8	121,83	586,61	4,88	2863,85	5820,01	Tidak Aman
8.5	127,89	649,04	5,20	3379,04	5820,01	Tidak Aman
9	133,95	714,50	5,53	3951,97	5820,01	Tidak Aman
9.5	140,02	783,00	5,85	4585,68	5820,01	Tidak Aman
10	146,08	854,52	6,18	5283,20	5820,01	Tidak Aman
10.5	152,14	929,08	6,50	6047,55	5820,01	Tidak Aman
11	158,21	1006,67	6,83	6881,77	5820,01	Tidak Aman
11,5	164,27	1087,29	7,16	7788,9	5820,01	Aman

Hasil iterasi menunjukkan bahwa kedalaman penanaman minimum yang memenuhi keseimbangan momen adalah D = 11,5 m, dengan Mp = 6.047,55 kN.m > Ma = 5.820,01 kN.m. Sebagai faktor keamanan tambahan, kedalaman penanaman turap yang digunakan pada perencanaan akhir ditetapkan sebesar 14 m, sehingga total panjang turap terpasang termasuk bagian yang menonjol di atas permukaan tanah dapat berfungsi pula sebagai ruang transisi lereng dan area kerja pelaksanaan konstruksi di lapangan.

Penentuan dimensi CCSP

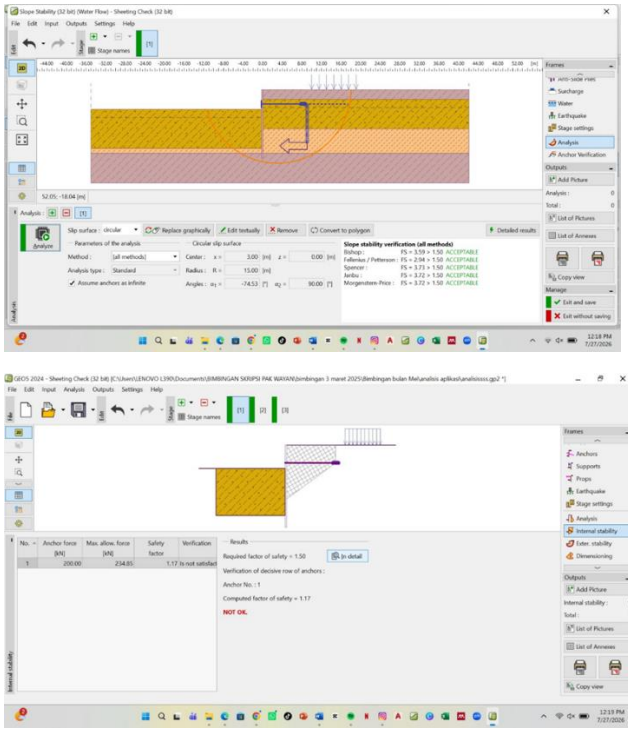
Jenis dinding penahan tanah yang dipilih dalam penelitian ini adalah Corrugated Concrete Sheet Pile

(CCSP) karena memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi dalam menahan tekanan tanah lateral, dengan bentuk penampang bergelombang yang meningkatkan kapasitas momen dan efisiensi struktur dibandingkan penampang datar. Pemilihan CCSP juga mempertimbangkan kemudahan pelaksanaan konstruksi serta ketahanannya terhadap kondisi hidrolik dan lingkungan jenuh air di tepi sungai, dibandingkan alternatif beton cor di tempat (cast in situ) yang kurang efektif pada medan curam dengan akses terbatas.

Material yang digunakan adalah beton bertulang pracetak mutu K-700 dengan tulangan baja ulir U-40 (diameter 13, 16, dan 19 mm) serta baja polos U-24 (diameter 6 mm), dan berat jenis beton 24 kN/m³. Berdasarkan kebutuhan momen tahanan terhadap tekanan tanah lateral, dipilih tipe CCSP W-600 A1000 dengan momen retak sebesar 42,60 t.m. Spesifikasi teknis CCSP terpilih meliputi tinggi 600 mm, lebar 996 mm, dan panjang 12 m per lembar. Pada bagian atas struktur dipasang capping beam berdimensi 60 × 80 cm yang berfungsi mengikat antar-lembar sheet pile untuk meminimalkan deformasi, dilengkapi sistem drainase pada bagian belakang struktur untuk mengurangi tekanan air tanah.

Analisis menggunakan GEO5

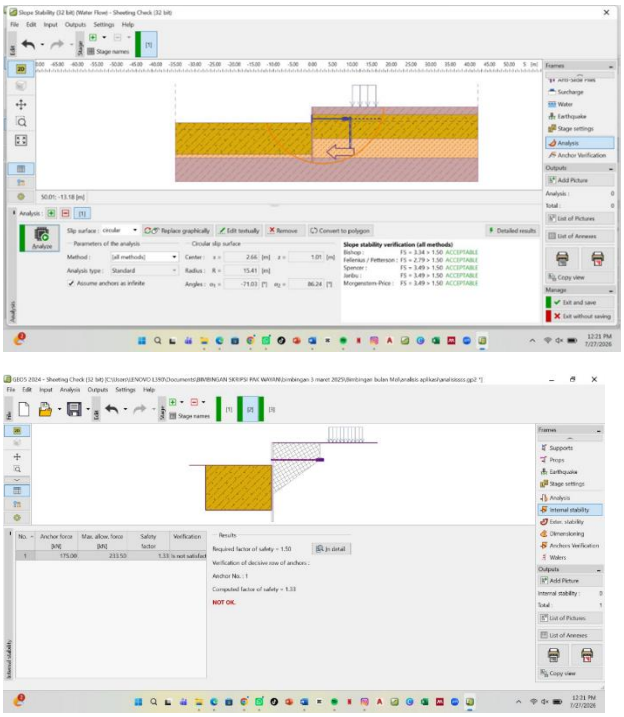
Pemodelan 1



Gambar 4 Pemodelan 1

Meskipun stabilitas global pada Pemodelan 1 telah memenuhi persyaratan, hasil verifikasi stabilitas internal menunjukkan bahwa sistem angkur belum memenuhi kriteria keamanan. Nilai faktor keamanan angkur yang diperoleh sebesar 1,17 masih lebih kecil dari nilai minimum yang disyaratkan, yaitu 1,50, sehingga desain dinyatakan *Not Satisfactory*. Oleh karena itu, dilakukan pengembangan pada pemodelan berikutnya melalui penyesuaian konfigurasi angkur dan parameter perkuatan hingga diperoleh desain yang memenuhi persyaratan stabilitas global maupun stabilitas internal.

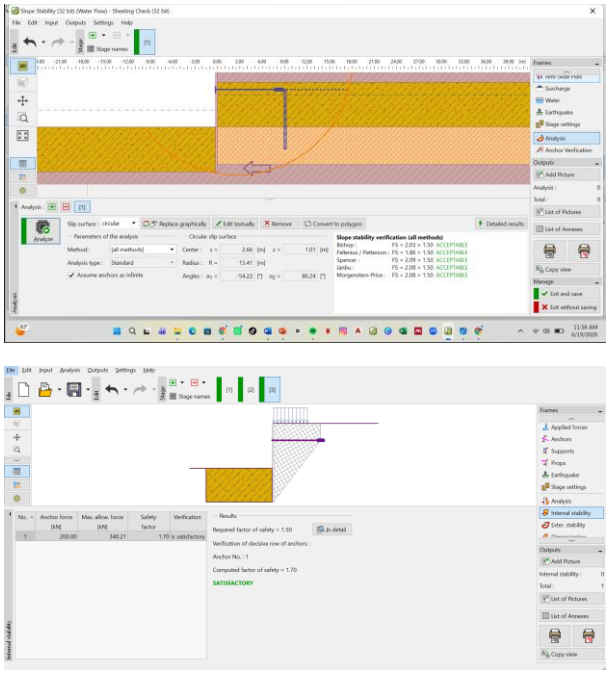
Pemodelan 2



Gambar 5 Pemodelan 2

Hasil verifikasi stabilitas internal menunjukkan bahwa sistem angkur mengalami peningkatan dibandingkan dengan Pemodelan 1. Nilai faktor keamanan meningkat dari 1,17 menjadi 1,33, namun masih berada di bawah nilai faktor keamanan minimum yang dipersyaratkan yaitu 1,50, sehingga hasil verifikasi masih dinyatakan Not OK. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kapasitas sistem angkur telah mengalami perbaikan, tetapi belum mampu memberikan tahanan yang cukup terhadap gaya tarik yang bekerja. Berdasarkan hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa Pemodelan 2 menunjukkan peningkatan kinerja sistem perkuatan dibandingkan Pemodelan 1, terutama pada stabilitas internal angkur. Meskipun demikian, hasil verifikasi masih belum memenuhi persyaratan desain sehingga diperlukan pengembangan desain lebih lanjut pada Pemodelan 3 agar diperoleh sistem perkuatan yang memenuhi persyaratan stabilitas global maupun stabilitas internal.

Pemodelan 3



Gambar 6 Pemodelan 3

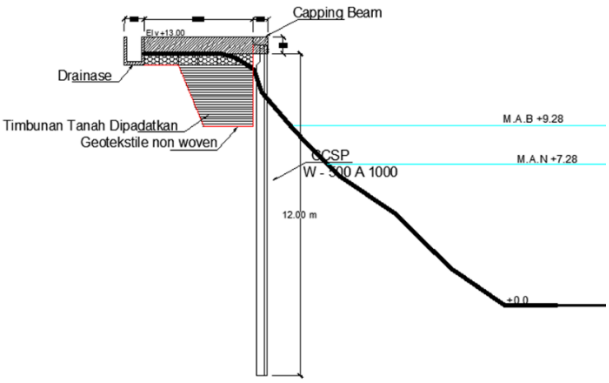
Hasil verifikasi stabilitas internal menunjukkan bahwa sistem angkur telah memenuhi persyaratan keamanan. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,56, lebih besar daripada faktor keamanan minimum yang dipersyaratkan yaitu 1,50, sehingga hasil verifikasi dinyatakan Satisfactory. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kapasitas angkur telah mampu menahan gaya tarik yang bekerja sehingga tidak terjadi kegagalan pada sistem perkuatan internal. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa Pemodelan 3 merupakan desain yang dipilih dalam penelitian ini karena telah memenuhi seluruh persyaratan stabilitas, baik stabilitas global maupun stabilitas internal. Dengan nilai faktor keamanan global yang berada di atas batas minimum serta nilai faktor keamanan internal sebesar 1,56, sistem perkuatan menggunakan CCSP dan angkur dinyatakan layak digunakan sebagai alternatif perkuatan tebing Sungai Kayan pada lokasi penelitian

Perbandingan ketiga pemodelan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Pemodelan Stabilitas Struktur pada GEO5

Parameter	Pemodelan 1	Pemodelan 2	Pemodelan 3
Fk Global	5,59	5,34	2,78
Fk Internal Angkur	1,17	1,33	1,56
Keterangan	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Memenuhi

Penurunan nilai faktor keamanan global dari Pemodelan 1 ke Pemodelan 3 menunjukkan bahwa konfigurasi sistem perkuatan pada tahap optimasi semakin mendekati kondisi rencana aktual, namun tetap berada jauh di atas batas minimum 1,50 sehingga aman. Sebaliknya, faktor keamanan internal angkur meningkat secara konsisten seiring penyesuaian konfigurasi, yang menunjukkan perbaikan kapasitas angkur dalam menahan gaya tarik yang bekerja. Berdasarkan evaluasi tersebut, Pemodelan 3 dipilih sebagai desain akhir karena merupakan satu-satunya skenario yang memenuhi seluruh persyaratan keamanan, baik stabilitas global maupun stabilitas internal, sehingga dinyatakan layak diterapkan sebagai alternatif perkuatan tebing Sungai Kayan.



Gambar 7 Detail Perencanaan Struktur Terpilih

Rencana anggaran biaya

Perhitungan volume pekerjaan disusun berdasarkan dimensi hasil perencanaan teknis untuk total panjang dinding penahan 700 m, terdiri atas segmen hilir kanan 300 m, hilir kiri 300 m, dan hulu 100 m. Perhitungan mengacu pada pola Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Sumber Daya Air/Cipta Karya Kementerian PUPR serta Standar Satuan Harga Kabupaten Bulungan. Rekapitulasi volume pekerjaan utama disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Volume Pekerjaan Utama

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume
A. PEKERJAAN PERSIAPAN			
1	Pengukuran (Uitzet dan Bouwplank)	m'	700
2	Pembersihan Lokasi (Land Clearing)	m²	2800
3	Mobilisasi dan Demobilisasi	ls	1
B. PEKERJAAN TANAH			
4	Galian tanah	m³	11200
5	Timbunan Tanah Dipadatkan	m³	6300
C. PEKERJAAN TURAP CCSP			
6	Pekerjaan Turap CCSP	lembar	703
7	Pemasangan CCSP	m'	9842
D. PEKERJAAN CAPPING BEAM			
8	Beton Capping Beam (Fc 20 MPa)	m³	378
9	Bekisting Capping Beam	m²	1260
10	Pembesian Capping Beam (Utama D12)	kg	7457,52
11	Pembesian Capping Beam (Sengkang Ø12)	kg	11106,59
E. PEKERJAAN ANGKUR			
12	Pengadaan dan Pemasangan Anchor VSL	buah	700
13	Panjang Total Anchor	m'	4200
14	Anchor Head / Bearing Plate	buah	700
F. PEKERJAAN LAIN-LAIN			
15	Pengadaan dan Pemasangan Spun Pile Ø500 mm	m'	5600
16	Pekerjaan Drainase	m³	280
17	Pekerjaan Jalan Inspeksi	m²	3500

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Satuan (Rp)
A. PEKERJAAN PERSIAPAN					
1	Pengukuran (Uitzet dan Pemasangan Bouwplank)	700.00	m'	35,000.00	24,500,000.00
2	Pembersihan Lokasi (Land Clearing)	2,800.00	m²	15,000.00	42,000,000.00
3	Mobilisasi dan Demobilisasi	1.00	ls	750,000,000.00	750,000,000.00
B. PEKERJAAN TANAH					
4	Galian Tanah (alat berat, dibuang/ditumpuk di Galian Tanah (alat berat, dibuang/ditumpuk di sekitar	11,200.00	m³	65,000.00	728,000,000.00
5	Timbunan Tanah Dipadatkan	6,300.00	m³	120,000.00	756,000,000.00
C. PEKERJAAN STRUKTUR					
6	Pengadaan CCSP W-600 A1000 (14 m/lembar)	703.00	lembar	8,500,000.00	5,975,500,000.00
7	Pemancangan / Pemasangan CCSP	9,842.00	m'	350,000.00	3,444,700,000.00
8	Pengadaan dan Pemasangan Ground Anchor VSL Y1030H26.5R-R (bor, injeksi grout, stressing)	700.00	buah	12,500,000.00	8,750,000,000.00
9	Anchor Head / Bearing Plate	700.00	buah	950,000.00	665,000,000.00
10	Pengadaan dan Pemasangan Spun Pile Ø500 mm (8 m/tiang)	5,600.00	m'	850,000.00	4,760,000,000.00
11	Beton Capping Beam Fc 20 MPa (0,60 × 0,90 m)	378.00	m³	1,450,000.00	548,100,000.00
12	Bekisting Capping Beam	1,260.00	m²	165,000.00	207,900,000.00
13	Pembesian Capping Beam – Tulangan Utama D12	7,457.52	kg	18,500.00	137,964,120.00
14	Pembesian Capping Beam – Sengkang Ø12–150	11,106.59	kg	18,500.00	205,471,915.00
D. PEKERJAAN DRAINASE DAN PELENGKAP					
15	Pekerjaan Drainase Beton Bertulang (0,8 × 0,5 m)	280	378	1,350,000.00	378,000,000.00
16	Pekerjaan Jalan Inspeksi (lebar 5 m)	3500	1260	285,000.00	997,500,000.00
				Sub Total	26,995,136,035.00
				PPN 12 %	3,239,416,324.20
				Total	30,234,552,359.20
				Pembulatan	30,234,552,359.20

Perhitungan RAB dilakukan dengan mengalikan volume setiap item pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan (RAB = Volume × Harga Satuan Pekerjaan). Untuk pekerjaan khusus yang belum tercantum dalam AHSP daerah, seperti pemasangan CCSP dan angkur, digunakan referensi harga proyek sejenis dan harga pasar. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh total biaya pelaksanaan pekerjaan dinding penahan tanah sebesar Rp 30.234.552.359,20, atau sekitar Rp 30,23 miliar untuk keseluruhan pekerjaan sepanjang 700 m dinding penahan beserta sistem angkur dan pekerjaan pendukungnya.

4. KESIMPULAN

1. Hasil penyelidikan tanah (borlog dan uji N-SPT) menunjukkan bahwa lokasi penelitian tersusun atas tiga lapisan tanah dengan karakteristik berbeda, yaitu lempung kelanauan, lempung kepasiran, dan pasir halus, masing-masing dengan parameter geoteknik (γ, c, φ) yang memengaruhi besarnya tekanan tanah lateral dan menjadi dasar perencanaan dinding penahan tipe CCSP. Analisis stabilitas lereng eksisting menggunakan metode Bishop menghasilkan faktor keamanan sebesar 0,78, sejalan dengan hasil GEO5 sebesar 0,89, yang keduanya menunjukkan lereng dalam kondisi tidak stabil dan memerlukan perkuatan.

2. Berdasarkan kondisi morfologi Sungai Kayan dan karakteristik geoteknik tanah, dipilih struktur Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) tipe W-600 A1000 sepanjang 14 m yang diperkuat sistem angkur prestressed bar VSL Y1030H26.5R-R sepanjang 6 m sebagai dinding penahan tanah. Hasil analisis pada pemodelan akhir (Pemodelan 3) menggunakan GEO5 menunjukkan faktor keamanan stabilitas global sebesar 2,78 dan faktor keamanan internal angkur sebesar 1,56, keduanya lebih besar dari nilai minimum yang disyaratkan SNI 8460:2017 sebesar 1,50, sehingga struktur dinyatakan aman dan layak digunakan sebagai alternatif penanganan longsoran tebing Sungai Kayan.

3. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan penahan tebing sepanjang 700 m, mencakup pengadaan dan pemancangan CCSP, pemasangan sistem angkur, pekerjaan tanah, serta pekerjaan pendukung lainnya, menghasilkan estimasi total biaya sebesar Rp 30.234.552.359,20 (± Rp 30,23 miliar). Hasil perencanaan menunjukkan bahwa desain yang dihasilkan memenuhi aspek keamanan dan kestabilan struktur sekaligus memberikan gambaran estimasi biaya yang dapat menjadi dasar pengambilan keputusan pelaksanaan konstruksi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Atibrata, A. L. (2020). *Perencanaan dinding penahan tanah jenis Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) pada pekerjaan galian Apartemen Bengawan Malang* . Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill.

Cahyana, R., & Purwanto, E. (2025). Analisis safety factor Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) pada pekerjaan pengaman tanggul Sungai Bogowonto Hilir dengan software Plaxis. *Jurnal Ilmiah Nusantara*, *2*(6), 876–884.

Craig, R. F. (2004). *Craig's soil mechanics* (7th ed.). Spon Press.

Darmataksiah. (2023). *Perencanaan dinding turap tipe sheet pile baja pada STA 10+150 ruas jalan Bypass BIL-Mandalika* [Skripsi, Universitas Mataram].

Das, B. M. (1995). *Mekanika tanah (prinsip-prinsip rekayasa geoteknis) jilid 2* (N. E. Mochtar & I. B. Mochtar, Terj.). Erlangga.

Ganesha, K. P. (2023). *Perencanaan dinding penahan tanah*. Universitas Jember. Digital Repository Universitas Jember.

Gedeon, G. (1994). *Design of sheet pile walls* (EM 1110-2-2504). Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers.

Irfanda, A. (2020). *Pengaruh perubahan desain dinding penahan tanah terhadap biaya dan stabilitas (Studi kasus: Embung Sidorejo, Boyolali, Jawa Tengah.* Universitas Islam Indonesia.

Junaidi, F. A., Sari, S. N., & Ardian, O. H. (2023). Analisa rancangan anggaran biaya dan penjadwalan pada pembangunan dinding penahan tanah. *STORAGE: Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer*, *2*(3), 77–86.

Khuzaifah, E. (2019). Studi tentang dinding penahan (Retaining Wall). *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, *9*(1), 7–18.

Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik* (SNI 8460:2017). Badan Standardisasi Nasional.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). *Morfologi sungai*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Ramadhan, L. G. (2024). *Perencanaan konstruksi turap Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) pada proyek pembangunan jalan Bypass BIL-Mandalika STA 2+000* . Universitas Islam Indonesia.

Yuliet, R. (2014). Studi stabilitas turap beton pada tepi Sungai Anai Kabupaten Padang Pariaman. *Jurnal Teknik Sipil*, *13*(1), 56–68.

Rochim, A. (2021). Corrugated sheet pile analysis on riverbank retaining wall project in factory area of the Sukoraharjo Street. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1125*(1), Article 012018. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1125/1/012018

Shafira, C., Sulistyo, T., & Damayanti, L. (2020). Analisis safety factor dengan perkuatan Corrugated Concrete Sheet Pile menggunakan geolistrik dan cone penetration test (Studi kasus pada proyek perbaikan lereng PT Komatsu Remanufacturing Asia). *Jurnal Tugas Akhir Teknik Sipil*, *4*(1), 1–12.

Shaju, A., Fabitha, K. J., Shabhanam, P. S., Joseph, J., & Sheeja, M. K. (2022). Stability analysis of an unstable slope at Kanjikuzhi, Idukki, using GEO5 software. In *Lecture notes in civil engineering* (Vol. 484, pp. 385–394). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-3393-4_33

Soedarmo, G. D., & Purnomo, S. J. E. (1993). *Mekanika tanah 1*. Kanisius.

Taleb, H. A., & Berga, A. (2017). Finite element analysis of slope stability reinforced with pile. *International Review of Civil Engineering*, *8*(1), 25–33. https://doi.org/10.15866/irece.v8i1.11147

Wibowo, T. P., & Wulandari, T. E. (2023). Analisis stabilitas struktur retaining wall basement terhadap tekanan tanah menggunakan software Plaxis 8.6. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Arsitektur (JITAS)*, *2*(1), 14–22. https://doi.org/10.31289/jitas.v2i1.1942