TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN PERKUATAN TANAH DENGAN TIANG BOR DAN *CORRUGATED CONCRETE SHEET PILE (CCSP)*

(Studi Kasus : Ruas Jalan Tretes – Kauman STA 1+990, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah)

Taufik Hidayat

19511257

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

PROGRAM SARJANA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN PERKUATAN TANAH DENGAN TIANG BOR DAN *CORRUGATED CONCRETE SHEET PILE (CCSP)*

(Studi Kasus : Ruas Jalan Tretes – Kauman STA 1+990, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah)

Disusun oleh

Taufik Hidayat

19511257

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memenuhi derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 6 November 2025
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Nur Amalina, S.T., M.Eng.	Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.	Astriana Hardawati S.T., M.Eng.
215111305	NIK: 045110407	NIK:165111301

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tugas akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 22 Oktober 2025

Yang membuat pernyataan,

Taufik Hidayat

(19511257)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang Berjudul Analisis Perbandingan Perkuatan Tanah Dengan Tiang Bor Dan *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir maupun selama masa perkuliahan.
2. Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I
3. Astriana Hardawati S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II
4. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Orang tua tercinta Bapak Faizal Rachman dan Ibu Nuraini Amd.Keb, dua orang terhebat dalam hidup saya yang tidak hentinya memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan di setiap langkah saya dalam menuntut ilmu.
6. Khofifah Rahmat Syahban S.M., yang telah menjadi bagian dari proses ini melalui dukungan dan kebersamaan yang berarti.
7. Sahabat-sahabat terbaik yang selalu hadir di setiap langkah perjuangan, terima kasih atas tawa, semangat,dan kebersamaan yang selalu menguatkan.

Semoga penelitian yang telah dilakukan dan disajikan dalam bentuk laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi dunia Teknik Sipil dan dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian – penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, November 2025

Penulis,

Taufik Hidayat

19511257

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Halaman Pengesahaan ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR LAMPIRAN xi
DAFTAR NOTASI xii
ABSTRAK xiv
ABSTRACT xv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 2
1.5 Batasan Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Perkuatan Tanah 4
2.2 Perkuatan Tanah dengan *Bored Pile* 5
2.3 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Bored Pile* 5
2.4 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* 6
2.5 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan 7
BAB III LANDASAN TEORI 13
3.1 Karakteristik Tanah 13
3.1.1 Tanah 13
3.1.2 Klasifikasi Tanah 18
3.1.3 Kuat Geser Tanah 21
3.2 Dinding Penahan Tanah dengan *Bored Pile* 22
3.2.1 Beban yang bekerja pada *bored pile* 23

3.2.2 Kontrol *bored ple* 23
3.3 *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) 25
3.3.1 Perhitungan Tekanan Lateral Tanah 25
3.3.2 Menghitung Momen 27
3.4 PLAXIS 28
BAB IV Metode penelitian 30
4.1 Objek Penelitian 30
4.2 Lokasi Penelitian 30
4.3 Potongan Melintang 33
4.4 Tahapan Penelitian 35
4.5 Data Tanah 36
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 39
5.1 Data Parameter Beban 39
5.2 Analisis Lereng Asli 41
5.2.1 Analisis Lereng Menggunakan *Corrugated Concrete Sheet Pile* 41
5.2.2 Analisis Lereng Asli Dengan Bored Pile 47
5.3 Analisis Lereng Menggunakan PLAXIS 2D 54
5.3.1 Pemodelan Perkuatan Tanah Dengan *Bored Pile* 57
5.3.2 Pemodelan Perkuatan Tanah dengan Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) 61
5.4 Pembahasan 65
BAB VI KESIMPULAN 67
6.1 Kesimpulan 67
6.2 Saran 67
DAFTAR PUSTAKA 68
LAMPIRAn 70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian Sebelumnya	8
Tabel 3.1	Nilai Derajat Kejenuhan	16
Tabel 3.2	Nilai Permeabilitas Tanah	16
Tabel 3.3	Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	17
Tabel 3.4	Berat Jenis Tanah	17
Tabel 3.5	Nilai Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio	18
Tabel 3.6	Kelompok Klasifikasi AASHTO	19
Tabel 3.7	Sistem Klasifikasi Tanah Unified, Bowles 1991	20
Tabel 5.1	Data Beban Lalu Lintas	39
Tabel 5.2	Perhitungan Momen *CCSP*	47
Tabel 5.3	Perhitungan Momen *Bored Pile*	53
Tabel 5.4	Input Parameter Tanah ke PLXIS 2D	56
Tabel 5.5	Hasil Rekapitulasi Lereng Dengan PLAXIS 2D	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Fase Tanah	14
Gambar 3.2	Klasifikasi Tanah USCS	21
Gambar 3.3	sheet pile Tipe Kantilever	25
Gambar 4.1	Lokasi Perkerasan Jalan Tretes-Kauman Kabupaten Boyolali	31
Gambar 4.2	Potongan Memanjang Perkerasan Jalan Teretes-Kauman	32
Gambar 4.3	Gambar Tipikal Potongan Melintang Rencana Penanganan Longsor STA 1+975 – 1+993	34
Gambar 4.4	Data Log Bor BM 1	36
Gambar 4.5	Bagan Alir Tugas Akhir	37
Gambar 4.6	Bagan Alir PLAXIS	38
Gambar 5.1	Nilai PGA MCE Kota Boyolali	40
Gambar 5.2	Potongan Melintang *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)*	42
Gambar 5.3	Potongan Melintang Bored Pile	49
Gambar 5.4	Stratigrafi Lapisan Tanah Pada Autocad	55
Gambar 5.5	Permodelan Tanah Pada PLAXIS	56
Gambar 5.6	Total *Displacement* pada lereng dengan *Bored Pile*	57
Gambar 5.7	Nilai SF pada lereng dengan Bored Pile	58
Gambar 5.8	Total *Displacement* Bored Pile dengan timbunan	58
Gambar 5.9	Nilai SF Bored Pile dengan timbunan	59
Gambar 5.10	Total *Displacement* Bored Pile dengan beban kendaraan	59
Gambar 5.11	SF Bored Pile dengan beban kendaraan	60
Gambar 5.12	Total *Displacement* Bored Pile dengan beban gempa	60
Gambar 5.13	SF Bored Pile dengan beban gempa	61
Gambar 5.14	Total *Displacement* dengan *CCSP*	61
Gambar 5.15	SF dengan *CCSP*	62
Gambar 5.16	Total *Displacement CCSP* dengan timbunan	62
Gambar 5.17	SF *CCSP* dengan timbunan	63
Gambar 5.18	Total *Displacement CCSP* dengan beban kendaraan	63

Gambar 5.19 SF *CCSP* dengan beban kendaraan 64
Gambar 5.20 *Total Displacement CCSP* dengan beban gempa 64
Gambar 5.21 SF *CCSP* dengan beban gempa 65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tipikal Potongan Melintang STA 1+975 – 1+993 71

DAFTAR NOTASI

SF = *Safety Factor*

K_{Pa} = kilo pascal

kN = kilo newton

c = kohesi (kN/m^2)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

γ_{sat} = berat volume tanah dalam kondisi jenuh (kN/m^3)

γ_{unsat} = berat volume tanah dalam kondisi tidak jenuh (kN/m^3)

φ = sudut geser dalam (^{o})

K_a = koefisien tanah aktif

P_a = tekanan tanah aktif (kN/m^2)

K_P = koefesien tanah pasif

P_p = tekanan tanah pasif (kN/m^2)

M_a = momen tanah aktif (kNm)

M_p = momen tanah pasif (kNm)

M_u = momen perlu (kNm)

z = kedalaman dari muka air (m)

f = jarak dari titik beban horizontal ke permukaan tanah (m)

d = diameter tiang (m)

h_1 = tinggi tanah timbunan (m)

h_2 = tinggi tanah asli (m)

D_0 = kedalaman awal turap dari tanah asli (m)

$\sum M_a$ = total momen aktif (kNm)

$\sum M_p$ = total momen pasif (kNm)

$\sum M_o$ = total momen (kNm)

L = total panjang turap/tiang (m)

A = luas penampang (m^2)

I = momen inersia (m^4)

E_A = kekakuan axial (kN)

E_I = kekauan lentur (kN/m²)

H_u = daya dukung lateral tiang (kN)

M_y = momen maksimum yang dapat ditahan tiang (kNm)

Q_u = kapasitas dukung ultimit tiang (kN)

Q_b = tahanan ujung ultimit tiang (kN)

Q_s = tahanan selimut ultimit tiang (kN)

W_p = berat tiang (kN)

ABSTRAK

Untuk mengetahui perkuatan lereng di ruas Jalan Tretes–Kauman, dibutuhkan analisis yang menyeluruh supaya tanah tetap stabil, terutama saat menahan gaya dari samping dan saat terjadi gempa. Dalam penelitian ini, dua metode diperbandingkan: Tiang Bor (*Bored Pile*) dan *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* tipe W-325. Analisis dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu perhitungan manual dan simulasi numerik.

Perhitungan manual memakai teori Rankine untuk mengetahui tekanan tanah aktif dan menghitung nilai faktor keamanan (SF) awal. Hasilnya kemudian dicek ulang lewat simulasi di software PLAXIS, supaya bisa dilihat lebih detail bagaimana tanah mengalami deformasi dan bagaimana tegangan tersebar.

Dari hasil analisis, metode *CCSP* W-325 menghasilkan nilai SF sebesar 3,076-jauh di atas batas aman (SF >1,3) . Sementara itu, tiang bor menghasilkan SF sebesar 1,488 yang juga masih tergolong stabil (SNI 8460-2017). Gabungan antara pendekatan manual dan simulasi numerik ini menunjukkan hasil yang konsisten, dan bisa dijadikan dasar dalam memilih metode perkuatan lereng yang paling cocok dan efisien untuk lokasi tersebut.

Kata Kunci : Perkuatan lereng, safety factor,PLAXIS

ABSTRACT

A thorough analysis is necessary to evaluate the slope reinforcement along the Tretes–Kauman road segment, ensuring soil stability under lateral loads and seismic conditions.. This study compares two reinforcement methods; *bored piles* and *corrugated concrete sheet piles (CCSP)* type W-325—using both manual and numerical analysis.

Manual calculations are based on Rankine's theory to estimate active earth pressure and determine the initial safety factor (SF). These results are then validated through numerical simulations using PLAXIS software, which provides a more detailed view of deformation and stress distribution.

The analysis shows that the *CCSP* W-325 method yields a safety factor of 3.076, well above the safe threshold (SF >1,3), while the bored pile method produces an SF of 1.488, which is also considered stable (SNI 8460-2017). The combined approach of Rankine theory and PLAXIS simulation delivers consistent results and serves as a reliable reference for selecting an effective and efficient slope reinforcement method for the study area.

Keywords: Slope reinforcement, safety factor, PLAXIS

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan elemen krusial dalam pekerjaan konstruksi. Menurut Braja (1985), secara teknis tanah didefinisikan sebagai material yang tersusun dari butiran mineral padat yang tidak saling terikat secara kimia, berasal dari pelapukan bahan organik maupun anorganik, serta mengandung cairan dan gas yang mengisi pori-pori antar partikel. Lapisan tanah di suatu lokasi bisa terbentuk dari pelapukan lokal (*residual soil*) maupun dari material yang terbawa dari tempat lain (*transported soil*). Jenis pelapukan tanah sangat berpengaruh terhadap sifat fisik dan teknisnya. Tanah dengan partikel bergradasi halus umumnya memiliki karakter kohesif dan konsistensi yang lunak. Sebaliknya, tanah dengan gradasi kasar cenderung bersifat keras dan tidak kohesif. Karakter kohesivitas dan konsistensi ini sangat menentukan performa tanah, termasuk daya dukung, permeabilitas, kompresibilitas, dan potensi kembang susut.

Tanah dasar memiliki peran penting dalam menopang beban dari timbunan di atasnya. Besarnya beban yang harus ditahan dipengaruhi oleh kemiringan dan ketinggian timbunan. Apabila aspek stabilitas timbunan tidak diperhitungkan secara cermat, maka potensi terjadinya keruntuhan seperti longsor dapat muncul, terutama di area badan jalan dan lereng sekitarnya. Dari tiga faktor utama penentu kestabilan-daya dukung, kemiringan, dan tinggi timbunan-dua di antaranya (kemiringan dan tinggi) dapat dikendalikan saat tahap desain. Untuk kondisi tanah yang kompleks, metode perkuatan seperti *Bored Pile* dan *Corrugated Concrete Sheet Pile* terbukti efektif, masing-masing dengan keunggulan tersendiri.

Studi kasus dilakukan di ruas Jalan Tretes–Banyusri, tepatnya di Desa Gondanglegi, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah pada STA 1+990. Penyelidikan tanah dilakukan untuk mengetahui parameter teknis tanah di lokasi tersebut. Untuk mencapai elevasi akhir permukaan jalan, diperlukan perkuatan tanah setinggi sekitar 6–10 meter dari permukaan asli. Tujuan perkuatan ini adalah untuk menjaga

kestabilan jalan sesuai desain. Berdasarkan data pengeboran, kondisi tanah di lokasi terdiri atas: lempung pada kedalaman 0-4 m, lempung berpasir pada 4-8 m, batuan pasir pada 8-16 m, dan kembali lempung pada 16,5-20 m

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana stratigrafi dan interpretasi di area jalan Tretes – Kauman, Kabupaten Boyolali ?
2. Berapa angka keamanan lereng jalan Tretes – Kauman pada kondisi asli dengan menggunakan perkuatan *Bored Pile*?
3. Berapa dimensi yang dibutuhkan pada perkuatan alternatif *Corrugated Concrete Sheet Pile* pada ruas jalan Tretes – Kauman?
4. Berapa angka aman jalan Tretes – Kauman bila diperkuat dengan perkuatan alternatif *Corrugated Concrete Sheet Pile*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini:

1. Untuk mengetahui stratigrafi dan interpretasi tanah di jalan Tretes – Kauman
2. Untuk mengetahui angka aman (*safety factor)* lereng yang diperkuat dengan menggunakan *Bored Pile*.
3. Untuk mengetahui dimensi perkuatan alternatif *Corrugated Concrete Sheet Pile.*
4. Untuk mengetahui angka aman (*safety factor)* lereng yang diperkuat dengan menggunakan *Corrugated Concrete Sheet Pile*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat memberikan informasi mengenai angka keamanan desain *Bored Pile* yang sudah ada.

2. Dapat memberikan gambaran perbandingan nilai angka kemanan antara lereng yang telah dilakukan perkuatan tanah menggunakan *Bored Pile* dan *Corrugated Concrete Sheet Pile*.
3. Menggambarkan proses analisis stabilitas tanah dengan bantuan software PLAXIS 2D.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah:

1. Beban lalu lintas sesuai peraturan Badan Standardisasi Nasional (2017). SNI 8457:2017 – Rancangan Tebal Jalan Beton untuk Lalu Lintas Rendah
2. Stabilitas lereng yang ditinjau hanya bagian STA 1+990
3. Faktor gempa yang digunakan dalam analisis mengacu pada kondisi seismik di lokasi proyek pembangunan Jalan Tretes–Banyusri, yang terletak di Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah.
4. Data tanah asli yang digunakan adalah laporan penyelidikan tanah "Perancangan DED Penanganan Longsor Desa Gondanglegi Ruas Jalan Tretes – Banyusri Kabupaten Boyolali".

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkuatan Tanah

Menurut Darwis (2017), perkuatan tanah (*soil reinforcement*) merupakan salah satu bentuk stabilisasi yang bertujuan untuk meningkatkan dan mempertahankan kapasitas serta kinerja tanah agar memenuhi persyaratan teknis tertentu. Proses ini dilakukan dengan menambahkan material sisipan ke dalam lapisan tanah. Lapisan tanah yang telah diperkuat dengan material tersebut disebut sebagai tanah perkuatan (*reinforced earth*), yaitu sistem tanah yang telah dimodifikasi sehingga mampu bekerja secara terpadu dan memiliki kapasitas yang lebih optimal dibandingkan kondisi awalnya. Secara umum, metode perkuatan tanah dapat dikategorikan berdasarkan tujuan utamanya, yaitu:

1. Perkuatan tanah dasar (*bearing capacity reinforcement*).
2. Perkuatan dinding penahan (*retaining wall reinforcement*).

Terdapat berbagai metode untuk meningkatkan kualitas tanah melalui teknik perkuatan, seperti penggunaan *Corrugated Concrete Sheet Pile* (*CCSP*) dan *Bored Pile*. Kedua metode ini bertujuan untuk memperbaiki karakteristik tanah agar mampu menahan beban struktur maupun beban eksternal. Salah satu bentuk perkuatan yang umum diterapkan adalah stabilisasi lereng, yaitu upaya untuk mengatasi kondisi lereng yang tidak stabil akibat karakteristik tanah setempat.

Ketidakstabilan lereng biasanya dipicu oleh jenis tanah atau formasi geologi yang kurang mendukung, seperti lapisan schist yang telah melapuk, lempung lunak yang terfragmentasi, lempung kaku yang mengalami retakan, lempung berpasir atau berlana, serta massa tanah kohesif yang mengandung kantung-kantung pasir atau lanau jenuh air.

Menurut Hardiyatmo (2003), terdapat berbagai teknik untuk meningkatkan stabilitas lereng, di antaranya pemotongan lereng, pembuatan berm, penurunan muka air tanah, dan pemasangan elemen struktural seperti tiang. Secara umum,

metode stabilisasi lereng dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama, yaitu:

1. Metode geometri: stabilisasi lereng melalui modifikasi bentuk atau kemiringan lereng.
2. Metode hidrologi**:** pengurangan kadar air atau penurunan muka air tanah untuk meningkatkan kestabilan lereng.
3. Metode kimia dan mekanis: peningkatan kekuatan geser tanah dengan injeksi semen (*grouting*) atau pemasangan elemen struktural seperti tiang.

2.2 Perkuatan Tanah dengan *Bored Pile*

Secara umum, *Bored Pile* berfungsi sebagai pondasi dalam yang dirancang untuk menahan beban dari struktur di atasnya. Dibandingkan dengan jenis pondasi lainnya, tiang bor memiliki kemampuan menahan beban yang lebih besar karena karakteristiknya yang khas. Meskipun memiliki fungsi serupa dengan pondasi tiang pancang, metode pelaksanaannya berbeda. Proses *Bored Pile* dimulai dengan pengeboran tanah hingga kedalaman tertentu sesuai desain, dilanjutkan dengan pemasangan tulangan baja, dan kemudian dilakukan pengecoran beton di dalam lubang tersebut.

Bored pile menjadi solusi alternatif ketika penggunaan tiang pancang tidak memungkinkan, terutama pada kondisi proyek yang sensitif terhadap getaran dan kebisingan, seperti area padat penduduk atau lokasi sempit. Selain itu, metode ini juga cocok diterapkan pada kondisi lapangan yang dapat terganggu oleh proses pemancangan konvensional.

2.3 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Bored Pile*

Andika (2022) melakukan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan tiang bor (*Bore Pile*) menggunakan program Geoslope pada Desa Langsat Hulu, Kecamatan Sentajo Raya dan Desa Sungai Langsat, Kecamatan Pangean, Kabupaten Kuantan Singingi, Provinsi Riau. Berdasarkan hasil analisis menggunakan program Geoslope pada lereng yang diperkuat dengan bored pile, diperoleh nilai faktor keamanan (SF) sebesar 2,396 dan 2,905 untuk dua variasi

muka air tanah. Sementara itu, variasi beban vertikal menghasilkan SF sebesar 1,560 dan 1,198. Gabungan kedua variasi tersebut memberikan nilai SF sebesar 1,642. Karena seluruh nilai SF ≥ 1, maka lereng dinyatakan stabil dan aman.

Yudha (2021) melakukan analisis stabilitas dinding penahan tanah dan pondasi *Bored Pile* menggunakan program *plaxis* 8.6 pada Jembatan Kiringan Sungai Opak. Pada kondisi asli tanpa beban gempa, diperoleh nilai SF sebesar 1,148. Perhitungan manual terhadap stabilitas eksternal menunjukkan SF geser = 7,031, SF guling = 1,5, dan daya dukung tanah (Qall) = 252,062 kN. Sedangkan pada kondisi perubahan tanpa beban gempa, hasil analisis Plaxis menunjukkan nilai SF sebesar 1,175.

2.4 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)*

Junadi (2023) melakukan analisis stabilitas timbunan menggunakan *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* dengan bantuan perangkat lunak Plaxis 2D pada ruas jalan sekitar Gerbang Tol Sentul Selatan, mencakup dua segmen: kondisi 1 (STA 1+789 – 1+850) dan kondisi 2 (STA 1+850 – 1+950). Pada kondisi 1, CCSP dipasang di sisi kiri dan kanan jalan, dilengkapi dengan lapisan geotekstil setiap 2 meter. Hasil analisis menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 3,7, yang berarti sistem perkuatan mampu menahan beban hingga 3,7 kali lipat dari beban kerja, termasuk beban kendaraan dan tanah pasif di STA 1+875. Sebaliknya, kondisi 2 tidak menggunakan CCSP maupun geotekstil, namun menghasilkan faktor keamanan lebih tinggi, yaitu 5,2. Hal ini disebabkan oleh tinggi timbunan yang lebih rendah, yakni 2,4 meter, dibandingkan kondisi 1 yang mencapai 4,9 meter. Secara keseluruhan, kedua kondisi menunjukkan nilai faktor keamanan yang melebihi ambang batas minimum 2,0 sebagaimana tercantum dalam Tabel 1, sehingga dinyatakan aman secara teknis.

Chairunissa (2020) melakukan analisis faktor keamanan lereng dengan menggunakan perkuatan *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) pada proyek perbaikan lereng PT. Komatsu Remanufacturing Asia, dengan variasi kedalaman pemancangan 6 m hingga 10 m. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh kedalaman pemancangan berada dalam kategori aman terhadap gaya geser. Nilai

faktor keamanan (SF) tertinggi tercatat pada kedalaman 8 meter sebesar 4,341, diikuti oleh kedalaman 9 meter sebesar 3,614, 10 meter sebesar 3,141, 7 meter sebesar 3,272, dan 6 meter sebesar 2,103.

Astuti (2019) melakukan studi kestabilan Dinding Penahan Tanah tipe *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) pada pekerjaan galian abutmen Jembatan BH 1751 di Kecamatan Lok Ulo, Kebumen. Hasil analisis menunjukkan bahwa pemancangan CCSP sedalam 18 meter menghasilkan faktor keamanan sebesar 0,9, yang belum memenuhi kriteria kestabilan karena berada di bawah nilai minimum 1. Sebaliknya, pemancangan dengan kedalaman 20 meter menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,3, sehingga dinyatakan memenuhi syarat kestabilan

Alhadis (2022) melakukan analisis perkuatan tanah dengan menggunakan Dinding Penahan Tanah Kantilever dan *Sheet Pile* Baja (*analysis strengthening of soil using Cantilever Type Retaining Wall and Steel Sheet Pile*). Hasil analisis nilai angka aman pada lereng menggunakan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dengan aplikasi Plaxis pada kondisi tanpa beban gempa sebesar 1.976 dan pada kondisi dengan beban gempa sebesar 1.746. Nilai angka aman lereng > 1.3, maka lereng yang diperkuat dengan Dinding penahan tanah aman. Sedangankan hasil analisis nilai angka aman pada lereng menggunakan perkuatan Sheet Pile baja dengan aplikasi Plaxis pada kondisi tanpa beban gempa sebesar 1.561 dan pada kondisi dengan beban gempa sebesar 1.495. Nilai angka aman lereng > 1.3, maka lereng yang diperkuat dengan Sheet Pile Baja.

2.5 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan

Rekapan perbandingan dari penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan disajikan dalam Tabel 2.1 sebagai berikut

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian Terdahulu							**Penelitian yang Dilakukan**
Peneliti	**Astuti (2019)**	**Chairunissa (2020)**	**Pamungkas (2021)**	**Andika (2022)**	**Alhadis (2022)**	**Jumadi, Akhmad, Nuryani (2023)**	**Hidayat (2025)**
Judul Penelitian	Kestabilan Dinding Penahan Tanah Jenis Corrugated Concrete Sheet Pile (Ccsp) Pada Pekerjaan Galian Abutmen Jembatan Bh 1751 Di Kecamatan Lok Ulo, Kebumen	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)	Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever Dan Pondasi Bored Pile Menggunakan Program Plaxis 8.6 Pada Jembatan Kiringan Sungai Opak	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Tiang Bor (Bore Pile) Menggunakan Program Geoslope	Analisis Perkuatan Tanah Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dan Sheet Pile Baja (*Analysis Strengthening Of Soil Using Cantilever Type Retaining Wall And Steel Sheet Pile*	Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Corrugated Concrete Sheet Pile Dengan Software Plaxis 2d V22(Studi Kasus: Ruas Jalan Sekitar Gerbang Tol Sentul Selatan)	Analisis Perbandingan Perkuatan Tanah Dengan Tiang Bor Dan *Corrugated Concrete Sheet Pile (Ccsp)*

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	**Astuti (2019)**	**Chairunissa (2020)**	**Pamungkas (2021)**	**Andika (2022)**	**Alhadis (2022)**	**Jumadi, Akhmad, Nuryani (2023)**	**Hidayat (2025)**
Tujuan Penelitian	Menilai kestabilan dinding penahan tanah tipe CCSP yang digunakan pada proyek galian abutmen jembatan BH 1751, dengan mempertimbangkan gaya lateral tanah, kedalaman galian, dan keamanan struktur terhadap kelongsoran dan keruntuhan	Mengidentifikasi distribusi gaya pada sheet pile dan menentukan nilai faktor keamanan berdasarkan variasi kedalaman	Mengetahui tingkat kestabilan lereng sebelum dan sesudah perkuatan pada area sekitar Jembatan Kiringan Sungai Opak, Imogiri, Bantul.	Menganalisis nilai faktor keamanan *(Safety Factor*) lereng yang diperkuat dengan tiang bor (*bored pile*) terhadap variasi muka air tanah dan beban merata, berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *Geoslope*	Mengetahui nilai safety factor (SF) lereng pada lereng asli, DPT, dan CCSP dengan Plaxis dan metode Fellenius.	Melakukan perbandingan stabilitas timbunan pada dua kondisi, yaitu: (1) timbunan setebal 4,9 m pada STA 1+789 – STA 1+850 yang direncanakan menggunakan perkuatan *Corrugated Concrete Sheet Pile*	Mengetahui nilai SF pada lereng dengan menggunakan perkuatan *bored pile* dan CCSP serta mengetahui kondisi tanah pada daerah studi

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	**Astuti (2019)**	**Chairunissa (2020)**	**Pamungkas (2021)**	**Andika (2022)**	**Alhadis (2022)**	**Jumadi, Akhmad, Nuryani (2023)**	**Hidayat (2025)**
Metode Penelitian	Studi kasus teknik sipil pada proyek dengan mengambil parameter tanah di lapangan serta analisis menggunakan teori Rankine dan Coulumb	Rancangan penelitian yang diterapkan dalam studi ini bersifat kuantitatif, dengan fokus pada analisis data numerik untuk mendukung interpretasi hasil	Analisis lereng dengan perkuatan dilakukan dalam dua kondisi, yaitu kondisi eksisting (asli) dan kondisi modifikasi. Modifikasi yang dimaksud terbatas pada perubahan lokasi perkuatan tanpa mengubah dimensi geometrisnya. Evaluasi faktor keamanan lereng pada kedua kondisi dilakukan melalui simulasi menggunakan perangkat lunak Plaxis serta perhitungan manual.	Kajian ini menggunakan metode perhitungan berbasis program Geoslope sebagai alat utama analisis	Metode penelitian menggunakan Perhitungan Fellenius dan juga program plaxis.	Metode penelitian menggunakan pendekatan Kuantitatif Deskriptif	Menggunakan perhitungan manual dan program PLAXIS

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	**Astuti (2019)**	**Chairunissa (2020)**	**Pamungkas (2021)**	**Andika (2022)**	**Alhadis (2022)**	**Jumadi, Akhmad, Nuryani (2023)**	**Hidayat (2025)**
Hasil Penelitian	Faktor keamanan terhadap kelongsoran (sliding): SF = 2,13**,** Faktor keamanan terhadap guling (overturning): SF = 2,41**, f**aktor keamanan terhadap daya dukung tanah (bearing capacity): SF = 3,26**.** Semua nilai SF tersebut berada di atas ambang batas minimum yang disyaratkan dalam perencanaan dinding penahan tanah, yaitu SF ≥ 1,5, sehingga struktur dinyatakan aman dan stabil untuk kondisi eksisting di lokasi proyek	Rekapitulasi gaya pada sheet pile menunjukkan bahwa tekanan tanah aktif berkisar antara 387,716–718,078 kN/m, sedangkan tekanan tanah pasif berkisar antara 815,209–2.255,727 kN/m pada kedalaman 6–10 meter. Tekanan pasif secara konsisten lebih besar, menandakan kontribusi signifikan dalam menahan gaya lateral.	Analisis menggunakan program Plaxis 8.6 terhadap lereng yang diperkuat dengan dinding penahan tanah tipe kantilever dan bored pile pada kondisi asli tanpa beban gempa menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 1,148. Sementara itu, hasil perhitungan manual berdasarkan tinjauan stabilitas eksternal menunjukkan bahwa pada kondisi yang sama, nilai faktor keamanan terhadap geser mencapai 7,031, yang mengindikasikan bahwa lereng Stabil terhadap gaya gseser, ada kondisi perubahan	Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak Geoslope terhadap lereng yang telah diperkuat dengan tiang bor (*bored pile*), diperoleh nilai faktor keamanan (SF) sebagai berikut: Pada variasi muka air tanah 1 dan 2, nilai SF masing-masing sebesar 2,396 dan 2,905, menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi stabil. Untuk variasi beban vertikal 1 dan 2, diperoleh nilai SF sebesar 1,560 dan 1,198, yang juga memenuhi kriteria kestabilan karena SF ≥ 1.	Hasil analisis nilai angka aman pada lereng menggunakan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dengan aplikasi Plaxis pada kondisi tanpa beban gempa sebesar 1.976 dan pada kondisi dengan beban gempa sebesar 1.746. Nilai angka aman lereng > 1.3, maka lereng yang diperkuat dengan Dinding penahan tanah aman. Hasil analisis nilai angka aman pada lereng menggunakan perkuatan Sheet Pile baja dengan aplikasi Plaxis kondisi tanpa beban gempa sebesar 1.561 dan pada kondisi	Pada kondisi 1, dengan pemasangan *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* di sisi kiri dan kanan jalan serta perkuatan geotekstil setiap 2 meter lapisan, diperoleh nilai faktor keamanan **s**ebesar 3,7, yang menunjukkan sistem perkuatan mampu menahan beban hingga 3,7 kali beban kerja (kendaraan dan tekanan tanah pasif). Sebaliknya, pada kondisi 2, tanpa penggunaan CCSP maupun geotekstil, nilai faktor keamanan justru meningkat menjadi 5,2**,** yang mengindikasikan bahwa lereng tetap stabil meskipun tanpa sistem perkuatan tambahan.	Kondisi tanah pada jalan Tretes-Kauman pada kedalaman 0-8 m didominasi oleh tanah lempung, 8-16 m didominasi oleh lapisan batuan pasir. Nilai SF pada perkuatan menggunakan *bored pile* adalah 1,488 dan sudah termasuk aman karena nilai SF > 1,3. Untuk CCSP didapat nilai SF = 3,076 dan sudah sangat aman karena jauh diatas ambang batas yaitu SF >1,5

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	**Astuti (2019*)***	**Chairunissa (2020)**	**Pamungkas (2021)**	**Andika (2022)**	**Alhadis (2022)**	**Jumadi, Akhmad, Nuryani (2023)**	**Taufik (2025)**
			tanpa beban gempa, analisis menggunakan Plaxis 8.6 menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 1,175. Sementara itu, perhitungan manual menunjukkan nilai SF guling = 1,5 dan Qall = 252,062 kN**,** yang mengindikasikan lereng dalam kondisi stabil.	Sementara itu, kombinasi antara variasi muka air tanah dan beban vertikal menghasilkan nilai SF sebesar 1,642, yang menunjukkan bahwa lereng tetap dalam kondisi aman dan stabil.	dengan beban gempa sebesar 1.495. Nilai angka aman lereng > 1.3, maka lereng yang diperkuat dengan Sheet Pile Baja.	Faktor keamanan pada kondisi 2 lebih tinggi dibandingkan kondisi 1 karena tinggi timbunan hanya 2,4 m, sedangkan pada kondisi 1 mencapai 4,9 m. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa kedua area memiliki nilai faktor keamanan yang melebihi batas minimum yang disyaratkan**,** sehingga dinyatakan stabil**.**	

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Karakteristik Tanah

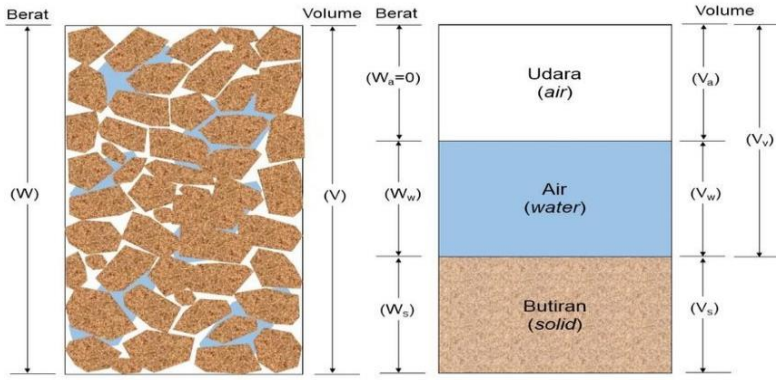
Tanah merupakan lapisan paling atas dari permukaan bumi yang terbentuk melalui proses pelapukan dan transformasi material induk. Karakteristik tanah sangat bervariasi antar lokasi, dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan seperti iklim, topografi, organisme, bahan induk, dan waktu. Perbedaan ini menyebabkan sifat fisik dan kimia tanah, seperti warna, struktur, dan komposisi, tidak seragam di setiap wilayah.Menurut Dokuchaev (1870) dan Fauizek dkk (2018), tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut akibat pengaruh air, udara, serta aktivitas organisme hidup maupun mati. Proses ini menghasilkan perubahan pada struktur, komposisi, dan warna tanah sebagai hasil pelapukan alami..

Selain itu, para ahli geologi menyatakan bahwa tanah merupakan benda alami yang terbentuk di atas permukaan bumi melalui interaksi enam faktor utama, yaitu iklim, bentuk wilayah (relief), organisme (baik mikro maupun makro), bahan induk, waktu, dan aktivitas manusia. Tanah tersusun dari bahan padat organik dan anorganik, serta mengandung cairan dan gas, membentuk lapisan-lapisan yang mampu mendukung pertumbuhan vegetasi. Dengan memahami asal-usul dan karakteristik tanah, para insinyur sipil dapat merancang fondasi, struktur penahan, dan sistem drainase yang sesuai dengan kondisi tanah di lapangan. Oleh karena itu, kajian terhadap sifat dan perilaku tanah menjadi aspek fundamental dalam setiap proyek konstruksi dan analisis geoteknik.

3.1.1 Tanah

Tanah terdiri dari tiga komponen utama: butiran padat, air, dan udara. Ketiganya membentuk sistem tiga fase yang memengaruhi sifat fisik dan mekanik tanah. Tanah dalam kondisi kering hanya terdapat dua bagian saja yaitu butiran tanah dan pori-pori udara. Pada tanah dengan keadaan jenuh air juga terdapat dua bagian, yaitu butiran tanah dan air pori. Sedangkan dalam keadaan tidak jenuh tanah

terdiri dari tiga bagian yaitu butiran tanah, pori-pori udara, dan air pori. Hubungan antara bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Berdasarkan Gambar 3.1(a), elemen tanah memiliki volume total sebesar VV dan berat total sebesar WW. Sementara itu, Gambar 3.1(b) menunjukkan hubungan antara berat dan volume tanah, yang menghasilkan persamaan dasar untuk analisis sifat fisik tanah. Dari ilustrasi tersebut, diperoleh Persamaan 3.1, 3.2, 3.3 sebagai berikut

$W = W_s + W_w$ (3.1)

$V = V_s + V_w + V_a$ (3.2)

$V_v = V_w + V_a$ (3.3)

Dengan :

W = berat total

W_w = berat air

W_s = berat butiran padat

V = volume total

V_w = volume air

V_s = volume butiran padat

V_a = volume udara

V_v = volume rongga

1. Berat Volume Kering

   Dalam satu satuan volume tanah atau perbandingan antara berat tanah kering (Ws) dengan volume tanah (V) dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.4 sebagai berikut.

   $$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

   $$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \quad (3.4)$$

2. Berat Volume Basah

   Dalam satu satuan volume tanah atau perbandingan antara berat tanah basah (W) dengan volume tanah (V) dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.5 sebagai berikut.

   $$\gamma_b = \frac{W}{V}$$

   $$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+e} \quad (3.5)$$

3. Berat Volume Butiran Padat

   Berat tanah butiran kering dalam satu satuan volume butiran tanah dan perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s) dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.6 sebagai berikut.

   $$\gamma_s = \frac{W_s}{v_s} \quad (3.6)$$

4. Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air

   Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.7 sebagai berikut.

   $$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1+e} \quad (3.7)$$

5. Derajat Kejenuhan

   Perbandingan antara volume air (V_w) dengan volume rongga pori tanah (V_v) dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.8 sebagai berikut.

   $$S(\%) = \frac{v_w}{v_s} \text{ x } 100\% \quad (3.8)$$

   Besaran nilai derajat kejenuhan berdasarkan keadaan tanah dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Nilai Derajat Kejenuhan

No	Keadaan	Derajat Kejenuhan (S)
1	Tanah kering	0
2	Tanah agak lembab	> 0 – 0,25
3	Tanah lembab	0,26 – 0,50
4	Tanah sangat lembab	0,51 – 0,75
5	Tanah basah	0,76 – 0,99
6	Tanah jenuh air	1

(Sumber : Hardiyatmo, 1992)

6. Permeabilitas

Permeabilitas diartikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan terjadinya aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir melewati ronga pori. Pori-pori pada tanah saling terhubung, sehingga air dapat mengalir dari tekanan tinggi menuju tekanan yang lebih reendah. Pada tanah permeabilitas dapat diartikan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga-rongga pori tanah. Menurut Das (1983), kisaran nilai permeabilitas pada jenis-jenis tanah dapar dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Nilai Permeabilitas Tanah

No.	Jenis Tanah	*K* (mm/detik)
1	Butiran kasar	$10 - 10^3$
2	Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir butiran sedang	$10^{-2} - 10$
3	Pasir halus, lanau longgar	$10^{-4} - 10^{-2}$
4	Lanau padat, lanau berlempung	$10^{-5} - 10^{-4}$
5	Lempung berlanau, lempung	$10^{-8} - 10^{-5}$

Modulus elastisitas merupakan parameter penting dalam mekanika tanah yang menggambarkan kemampuan tanah untuk mengalami deformasi elastis akibat tegangan yang bekerja. Nilai ini diperoleh dari perbandingan antara tegangan dan regangan, sehingga dapat digunakan untuk menilai kekakuan relatif suatu jenis tanah. Dalam praktik rekayasa geoteknik, pemahaman terhadap nilai modulus elastisitas sangat berperan dalam analisis deformasi dan perencanaan fondasi. Berdasarkan jenis tanah yang digunakan dalam studi ini, nilai-nilai modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

No.	Jenis Tanah	E (kN/m^2)
1	Lempung :	
	Sangat lunak	300 – 3000
	Lunak	2000 – 4000
	Sedang	4500 – 9000
	Keras	7000 – 20000
	Berpasir	30000 – 42500
2	Pasir :	
	Berlanau	5000 – 20000
	Tidak padat	10000 – 25000
	Padat	50000 – 100000
3	Pasir dan kerikil :	
	Padat	80000 – 200000
	Tidak padat	50000 - 140000
4	Lanau	2000 – 20000
5	*Loses*	15000 – 60000
6	Cadas	140000 - 1400000

(Sumber : Bowles, 1977)

7. Berat Jenis

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) dalam volume yang sama pada suhu 4^0C dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.9)$$

Besaran nilai dari berat jenis dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Berat Jenis Tanah

No	Jenis Tanah	Berat Jenis (*Gs*)
1	Kerikil	2,65 – 2,68
2	Pasir	2,65 – 2,68
3	Lanau tak organik	2,62 – 2,68
4	Lempung organik	2,58 – 2,65
5	Lempung tak organik	2,68 – 2,75
6	Humus	1,37
7	Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber : Hardiyatmo, 2018)

8. *Poisson Ratio*

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio regangan aksial terhadap regangan lateral. Nilai *poisson ratio* bisa ditentukan berdasarkan jenis tanah yang dapat dilihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.5 Nilai Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio

No	Jenis Tanah	μ_s (Angka Poisson Tanah)
1	Lempung jenuh	0,40 – 0,50
2	Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
3	Lempung berpasir	0,20 – 0,30
4	Lanau	0,30 – 0,35
5	Pasir padat	0,20 – 0,40
6	Pasir kasar	0,15
7	Pasir halus	0,25
8	Batu	0,10 – 0,40
9	*Loess*	0,10 – 0,30

(Sumber : Bowles, 1997)

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah merupakan metode pengelompokan tanah berdasarkan karakteristik umum dan perilaku fisiknya dalam kondisi tertentu. Tujuan utama dari klasifikasi ini adalah untuk mengidentifikasi jenis tanah, menilai kesesuaiannya terhadap penggunaan tertentu, serta menyajikan informasi dasar mengenai kondisi tanah di suatu lokasi agar dapat dibandingkan dengan daerah lain. Informasi ini penting sebagai acuan dalam perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan teknik sipil (Bowles, 1991).

Terdapat dua klasifikasi yang sering digunakan, yaitu AASHOT (*American Association Of State Highway Transportation Officials*) dan USCS (*Unified Soil Classification System*). Sistem-sistem ini menggunakan indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan indeks plastis. Berikut ini adalah klasifikasi tanah berdasarkan kedua system tersebut.

1. Sistem klasifikasi AASHTO, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Dapat dilihat pada Tabel 3.6

Tabel 3.6 Kelompok Klasifikasi AASHTO

Kelompok	Deskripsi
A-1, A-2, dan A-3	tanah berbutir di mana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200
A-4, A-5, A-6, dan A-7	Tanah di mana lehih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 (sebagian besar adalah lanau dan lempung)

Sistem klasifikasi AASHTO dibuat dengan mempertimbangkan kriteria sebagai berikut (Samtani & Nowatski, 2006) :

1. Ukuran butir tanah
   a. Kerikil : fraksi melewati saringan 75-mm (3-inch) dan tertahan pada saringan No. 10 (2-mm)
   b. Pasir : fraksi melewati saringan No 10 (2 mm) dan tertahan pada saringan No., 200 (0,075 mm)
   c. Lumpur dan lanau : fraksi melewati saringan no 200
2. Plastisitas: Tanah disebut tanah berlumpur (silty) ketika fraksi halus tanah memiliki indeks plastisitas 10 atau kurang. Sedangkan tanah lempung (clay) adalah ketika fraksi halus tanah memiliki indeks plastisitas 11 atau lebih.
3. Bongkahan Batuan (boulder) dan Kerakal/Berangkal (cobbles) yaitu ukuran lebih besar dari 75 mm yang diuji, maka harus dipisahkan dari bagian dari sampel tanah untuk mengklasifikasinya. Namun, persentase material tersebut dicatat..

2. American Society for Testing and Materials (ASTM) menetapkan *Unified Soil Classification System* (USCS) sebagai metode standar dalam pengklasifikasian tanah. Sistem ini telah menjadi acuan luas dalam berbagai aplikasi geoteknik. Dalam USCS, tanah dikategorikan ke dalam dua kelompok utama,yaitu :
   a. Tanah berbutir kasar (coarse-grained soil), mencakup kerikil dan pasir, yang diklasifikasikan berdasarkan distribusi ukuran butir dan tingkat plastisitas yang kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan No.200. Simbol untuk kelompok ini adalah G untuk tanah berkerikil dan S untuk tanah berpasir. Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah

dengan simbol W untuk tanah bergradasi baik dan P untuk tanah bergradasi buruk.

b. Tanah berbutir halus (fine-grained soil), mencakup lanau dan lempung, yang diklasifikasikan berdasarkan batas-batas konsistensi seperti batas cair dan plastis lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan No.200. Simbol kelompok ini adalah C untuk lempung anorganik dan O untuk lanau organik. Simbol Pt digunakan untuk gambut (peat), dan tanah dengan kandungan organik tinggi. Plastisitas dinyatakan dengan L untuk plastisitas rendah dan H untuk plastisitas tinggi.

Menurut Bowles, 1991 Kelompok-kelompok tanah utama sistem klasifikasi Unified dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Gambar 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.7 Sistem Klasifikasi Tanah Unified, Bowles 1991

Jenis	Prefiks	Sub Kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik Gradasi buruk	W P
Pasir	S	Berlanau Lempung	M C
Lanau	M		
Lembung	C	WL< 50 %	L
Organik	O	WL> 50 %	H
Gambut	Pt		

(Sumber : Bowles, 1991)

Keterangan :

G = Untuk kerikil (*Gravel*) atau tanah berkerikil (*Gravelly Soil*).

S = Untuk pasir (*Sand)* atau tanah berpasir (*Sandy soil*).

M = Untuk lanau inorganik (*inorganic silt*).

C = Untuk lempung inorganik (*inorganic clay*).

O = Untuk lanau dan lempung organik.

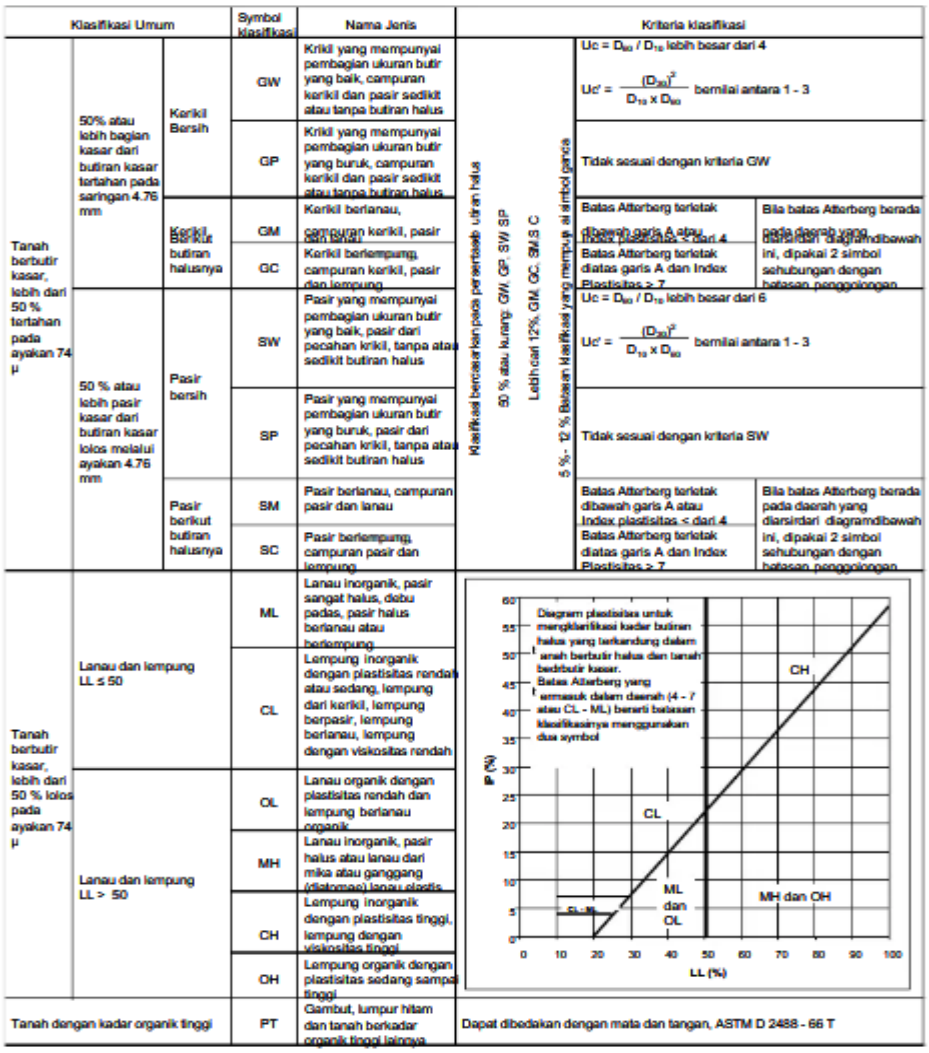
Pt = Untuk gambut (*peat*) dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

W = Untuk gradasi baik (*well graded*).

P = Gradasi buruk (*poorly graded*).

L = Plastisitas rendah (*low plasticity*).

H = Plastisitas tinggi (*high plasticity*).



Gambar 3.2 Klasifikasi Tanah USCS

3.1.3 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan/tarikan (Hardiyatmo, 2006). Kuat geser tanah diukur dengan 2 parameter tanah yaitu kohesi (c) atau gaya tarik-menarik antar partikel dan sudut geser dalam (ϕ) atau gesekan antara butir tanah. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis antara lain ;

1. Kapasitas dukung tanah
2. Stabilitas lereng
3. Gaya dorong pada dinding penahan

Menurut Mohr (1910), keruntuhan material terjadi akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada suatu bidang. Hubungan antara kedua jenis tegangan tersebut dinyatakan melalui fungsi kegagalan yang dikenal sebagai kriteria Mohr-Coulomb, yang secara umum dituliskan pada Persamaan 3.10 berikut.

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.10)$$

dengan :

τ = tegangan geser (kN/m^2)

σ = tegangan normal (kN/m^2)

Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh ;

1. Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya
2. Gesekan antar butir – butir tanah

Coulomb (1776) mendefinisikan nilai τ pada Persamaan 3.11 berikut.

$$\tau = c + \sigma \, tg \, \phi \quad (3.11)$$

dengan ;

τ = kuat geser tanah (kN/m^2)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

ϕ = sudut gesek dalam tanah (^{o})

3.2 Dinding Penahan Tanah dengan *Bored Pile*

Perencanaan pondasi yang baik memegang peranan krusial dalam kestabilan dan keberlanjutan suatu bangunan. Fungsi utama pondasi adalah untuk mentransfer beban vertikal dari struktur bangunan ke lapisan tanah dasar yang memiliki daya dukung memadai, sehingga mencegah terjadinya penurunan atau keruntuhan struktur. Oleh karena itu, untuk mengannalisis daya dukung lateral (Broms, 1964) pondasi *Bored Pile* diperhitungkan menggunakan Persamaan 3.12 dan 3.13 berikut.

$$H_u = \frac{2My}{e+\frac{2f}{3}} \quad (3.12)$$

$$f = 0{,}82\sqrt{\frac{H_u}{dKp\gamma}} \quad (3.13)$$

dengan:

H_u = daya dukung lateral tiang (kN)

M_y = momen maksimum yang dapat ditahan tiang (kN.m)

f = jarak dari titik beban horizontal ke permukaan tanah (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

d = diameter tiang (m)

K_p = koefisien tanah pasif

f = jarak kedalaman titik dimana gaya sama dengan nol (m)

3.2.1 Beban yang bekerja pada *bored pile*

Beban- beban yang bekerja pada *Bored Pile* antara lain ;

1. Beban atau berat sendiri *Bored Pile*
2. Beban atau berat dinding penahan tanah

3.2.2 Kontrol *bored ple*

1. Kapasitas dukung *Bored Pile* Tunggal

Kapasitas dukung *Bored Pile* dapat dihitung menggunakan penjumlahan antara tahanan ujung, tahanan selimut tiang dan berat tiang. Menurut Hardiyatmo (2016), cara statis dalam buku Analisis dan Perancangan Fondasi II, dinyatakan dalam persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (3.14)$$

dengan :

Q_u = Kapasitas dukung ultimit tiang (kN)

Q_b = Tahanan ujung ultimit tiang (kN)

Q_s = Tahanan selimut ultimit tiang (kN)

W_p = Berat tiang (kN)

2. Kapasitas dukung Kelompok Tiang

Untuk menghitung kapasitas kelompok tiang, dapat menggunakan Persamaan 3.15 berikut :

Q_g $=2_D\ (B + L)\ c_u + 1{,}3\ c_b\ N_c B\ L$ (3.15)

dengan:

Q_g = kapasitas ultimit kelompok tiang(kN)

c_u = kohesi tanah di sekeliling kelompok tiang (kN/m^2)

c_b = kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang (kN/m^2)

B = lebar kelompok tiang dihitung dari pinggir-pinggir tiang (m)

L = panjang kelompok tiang (m)

D = kedalaman tiang (m)

N_c = faktor kapasitas dukung

3. Efisiensi kelompok tiang

Efisiensi tiang menurut *Converse-Labarre Formula* (Hardiyatmo, 2010) dengan Persaamaan 3.16 berikut.

$E_g = 1 - \theta \frac{(n\prime-1)m+(m+1)n\prime}{90\ mm}$ (3.16)

dengan:

E_g = efisiensi kelompok tiang

m = jumlah baris tiang

n’ = jumlah tiang dalam satu baris

θ = arc tg d/s, dalam derajat

s = jarak pusat ke pusat tiang

d = diameter tiang

4. Penurunan (*settlement)*

Metode yang digunakan untuk menghitung penurunan pada pondasi tiang tunggal adalah menggunakan Metode Empiris (Vesic, 1970). Rumus yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 3.17 berikut.

$S = \frac{D}{100} + \frac{Q_L}{A_p+E_p}$ (3.17)

dengan,

S = Penurunan pondasi tiang tunggal (m)

D = Diameter tiang (m)

Q = Daya dukung tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

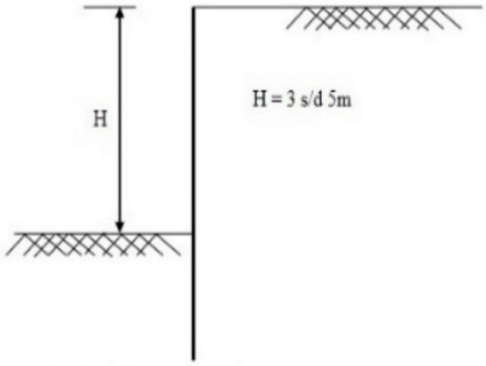
A_p = Luas penampang tiang (m^2)

E_p = Modulus elastisitas bahan tiang (Mpa)

3.3 *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP)

Corrugated Concrete Sheet Pile (*CCSP*), atau turap beton bergelombang dengan bentuk yang disesuaikan berdasarkan spesifikasi pabrikasi, merupakan elemen beton pracetak yang dirancang dengan bentuk khusus dan dipasang secara saling mengait. Sistem ini umum digunakan dalam pekerjaan konstruksi seperti penggalian dan stabilisasi lereng.

Salah satu tipe *sheet pile* yang sering digunakan adalah tipe kantilever, yang berfungsi menahan gaya lateral dengan memanfaatkan kekuatan tanah di bagian depan dinding penahan. Jenis ini cocok diterapkan untuk menahan tanah pada kedalaman sedang hingga tinggi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 *sheet pile* Tipe Kantilever

3.3.1 Perhitungan Tekanan Lateral Tanah

Teori yang digunakan untuk menganaisis tekanan tanah lateral, diantaranya teoi Rankine (1857). Dengan asumsi tanah dalam kedudukan plastis, tidak berkohesi (c = 0), gesekan dinding dan tanah licin sempurna (δ = 0) (Hardiyatmo, 2002).

Koefisien tekanan aktif, dihitung dengan Persamaan 3.18 berikut.

$$K_a = tg^2(45^0 - \frac{\varphi}{2}) \quad (3.18)$$

dimana:

K_a = koefisien tekanan aktif

φ = sudut geser dalam tanah (°)

Koefisian tekanan pasif, dihitung dengan Persamaan 3.19 berikut.

$$K_p = \frac{1}{K_a} \quad (3.19)$$

dimana:

K_p = koefisien tanah pasif

K_a = koefisien tekanan aktif

Setelah diketahui koefisien tekanan tanah, dihitung tekanan tanah aktif pada kedalaman z dari permukaan tanah, dengan Persamaan 3.20 berikut.

$$P_a = z\,\gamma\,k_a \quad (3.20)$$

dimana:

P_a = Tekanan tanah aktif (kN/m)

z = Kedalaman dari muka air (m)

γ = Berat volume tanah (kN/m^3)

K_a = Koefisien tekanan aktif

Tekanan tanah pasif, dihitung dengan Persamaan 3.21 berikut.

$$P_p = z\,\gamma\,k_p \quad (3.21)$$

dimana:

P_p = Tekanan tanah pasif (kN/m)

z = Kedalaman dari muka air (m)

γ = Berat volume tanah (kN/m^3)

K_p = Koefisien tekanan pasif

Tekanan tanah pada tanah kohesif di permukaan tanah atau z = o , tekanan aktif dihitung dengan Persamaan 3.22 berikut.

$$P_a = -2c\sqrt{K_a} \quad (3.22)$$

dimana:

P_a = Tekanan tanah aktif (kN/m)

c = Kohesi (kN/m^2)

K_a = Koefisien tekanan aktif

Tekanan tanah pasif pada tanah kohesif, dihitung dengan Persamaan 3.23.

$P_p = 2c\sqrt{K_p}$ (3.23)

dimana:

P_p = Tekanan tanah pasif (kN/m)

c = Kohesi (kN/m^2)

K_p = Koefisien tekanan pasif

3.3.2 Menghitung Momen

Penulangan dinding penahan tanah turap *sheet pile*, menghitung momen perlu, dengan Persamaan 3.25 berikut.

$M_u = (\frac{1}{2} \text{ x } q_u \text{ x } L^2)/3)$ (3.25)

dimana:

M_u = momen perlu (kNm)

q_u = daya dukung ultimate (kN/m^2)

L = lebar tulangan (m)

Momen Pikul, dihitung dengan Persamaan 3.26 berikut.

$K = (\frac{M_u}{\emptyset.b.d})$ (3.26)

M_u = momen perlu (kNm)

b = lebar penampang (m)

d = tinggi efektif penampang (m)

dimana:

Momen tanah aktif akibat kohesi, dihitung dengan Persamaan 3.27berikut.

$M_a = \frac{1}{6} P_a \text{ x } h^2$ (3.27)

dimana:

M_a = momen tanah aktif (kNm)

P_a = tekanan tanah aktif (kN/m^2)

h = tinggi minimal (m)

Momen tanah pasif akibat dari tekanan tanah dapat dinyatakan dengan Persamaaan 3.28 berikut.

$M_p = \frac{1}{6} P_p \text{ x } h^2$ (3.28)

dimana:

M_p = momen tanah pasif (kNm)

P_p = tekanan tanah pasif (kN/m^2)

h = tinggi minimal (m)

Momen tanah pasif akibat adanya kohesi dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.29 berikut.

$$M_{pc} = \frac{1}{2} \text{ x } c \sqrt{K_p} \text{ x } h^2 \quad (3.29)$$

dimana:

M_{pc} = momen tanah pasif akibat kohesi (kNm)

K_p = Koefisien tekanan pasif

c = Kohesi (kN/m^2)

h = tinggi minimal (m)

3.4 PLAXIS

Plaxis merupakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga dua dimensi yang dirancang khusus untuk menganalisis deformasi dan kestabilan tanah dalam berbagai aplikasi geoteknik, termasuk perencanaan infrastruktur. Kondisi lapangan dapat dimodelkan dalam bentuk regangan bidang (*plane strain*) maupun secara aksimetris. Software ini dilengkapi dengan antarmuka grafis yang intuitif, sehingga memudahkan pengguna dalam membangun model geometri dan jaringan elemen berdasarkan penampang yang akan dianalisis.

Plaxis menggunakan elemen segitiga dengan pilihan 6 atau 15 titik nodal, yang memungkinkan hasil analisis memiliki tingkat akurasi tinggi dan dapat diandalkan. Secara umum, program Plaxis terdiri dari empat sub-program utama, yaitu

Input program (masukan)

a. *Calculation* program (perhitunngan)
b. *Output* program (keluaran)
c. *Curve* program (kurva)

Kondisi yang terdapat di lapangan yang diadaptasi dalam perangkat lunak/program Plaxis ini bertujuan untuk menerapkan tahapan-tahapan pelaksanaan lapangan ke dalam proses kerja di dalam program. Dengan harapan

bahwa pelaksanaan di lapangan dapat diselaraskan sedemikian rupa dengan program, sehingga hasil yang diperoleh dari program dapat dianggap sebagai representasi yang akurat dari situasi yang sebenarnya terjadi di lokasi.

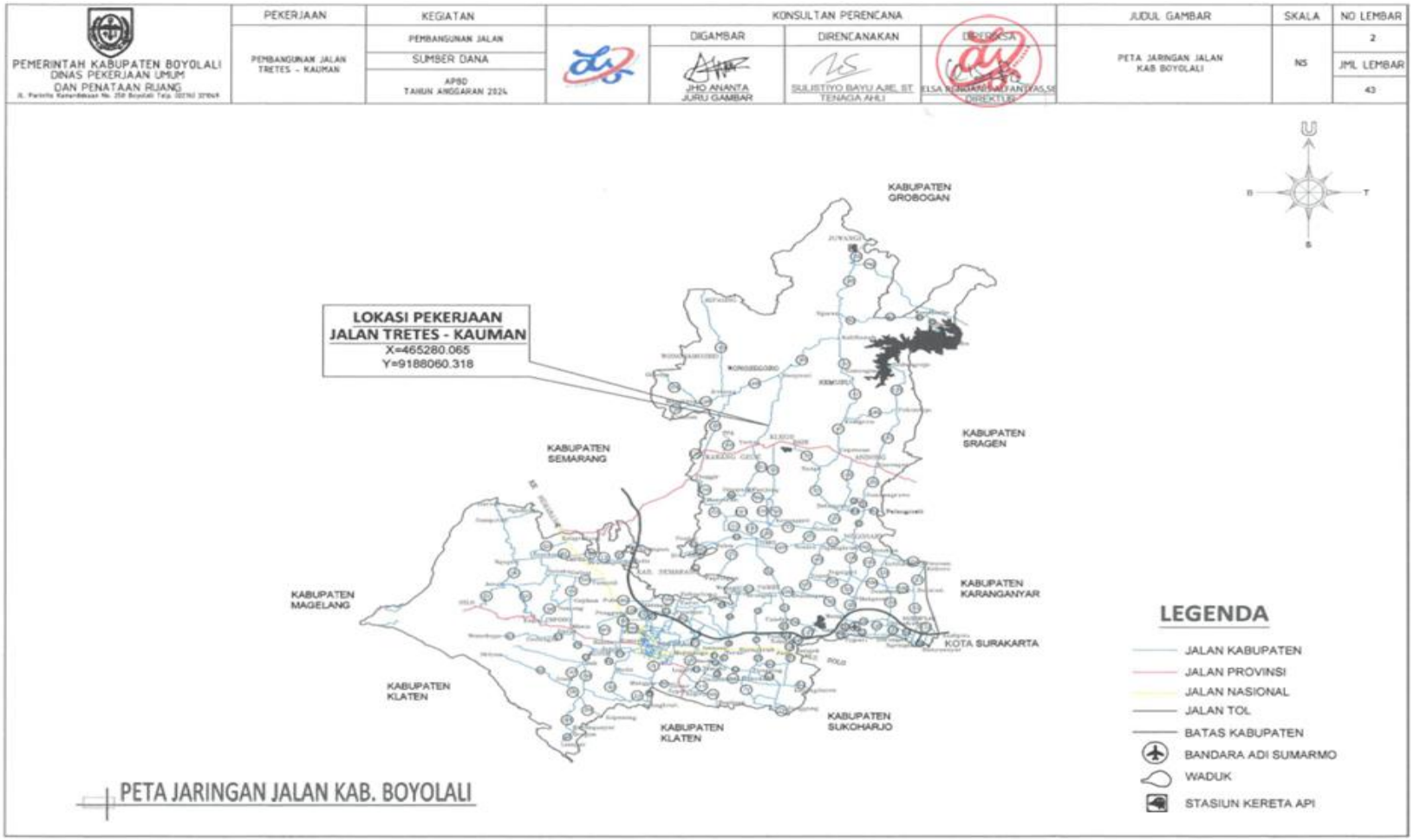
BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Objek Penelitian

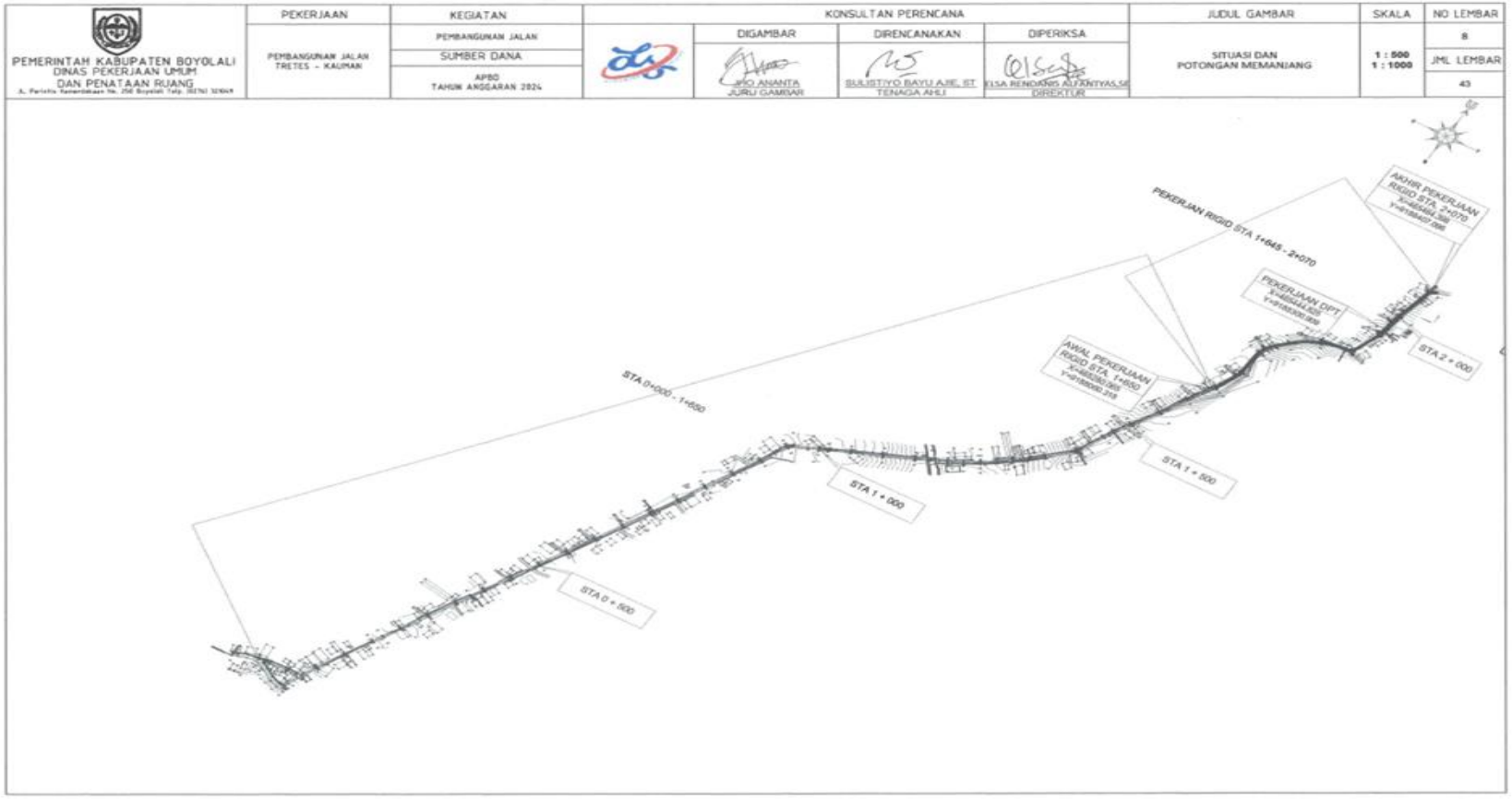
Dalam penelitian ini objek yang ditinjau yaitu pembangunan jalan ruas jalan Tretes – Banyusari Kabupaten Boyolali khususnya pada pekerjaan ruas jalan Tretes – Kauman STA. 1+990.

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dianalisis berada pada proyek pembangunan jalan ruas jalan Tretes – Banyusari Kabupaten Boyolali. Untuk detail Lokasi stasiunnya dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2 sebagai berikut.



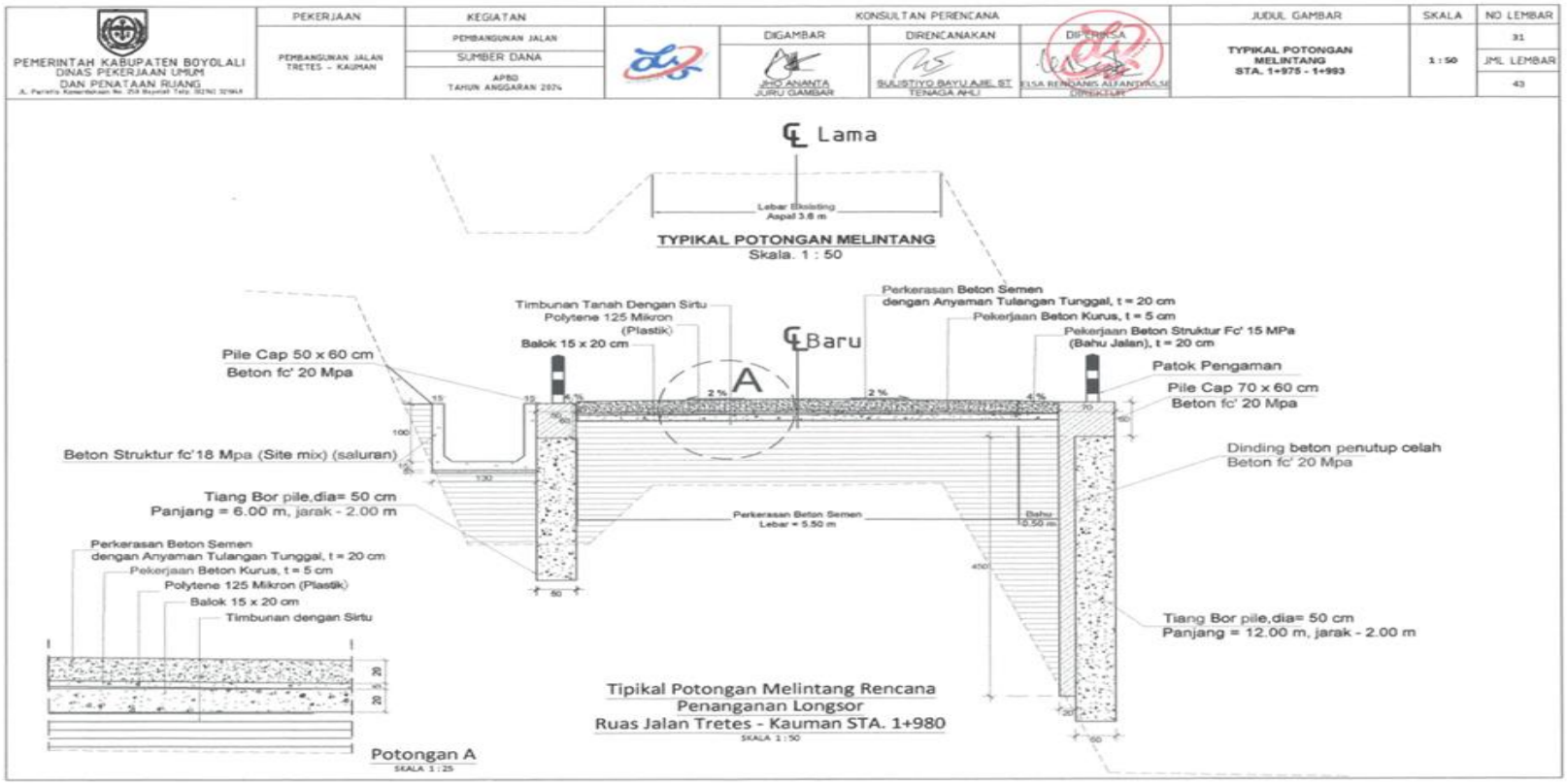
Gambar 4.1 Lokasi Perkerasan Jalan Tretes-Kauman Kabupaten Boyolali
(Sumber: Pemerintah Kabupaten Boyolali, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, 2021)



Gambar 4.2 Potongan Memanjang Perkerasan Jalan Teretes-Kauman
(Sumber: Pemerintah Kabupaten Boyolali, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, 2021)

4.3 Potongan Melintang

Potongan melintang didapatkan dari data proyek, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.3 Gambar Tipikal Potongan Melintang Rencana Penanganan Longsor STA 1+975 – 1+993
(Sumber: Pemerintah Kabupaten Boyolali, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, 2021)

4.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan langkah-langkah yang digunakan untuk mengolah data hingga memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan studi. Data yang telah dikumpulkan dianalisis berdasarkan metode dan prosedur pelaksanaannya. Dalam pelaksanaan penelitian ini, terdapat beberapa tahapan utama yang dijalankan secara berurutan. Adapun alur proses penelitian ini adalah sebagai berikut.

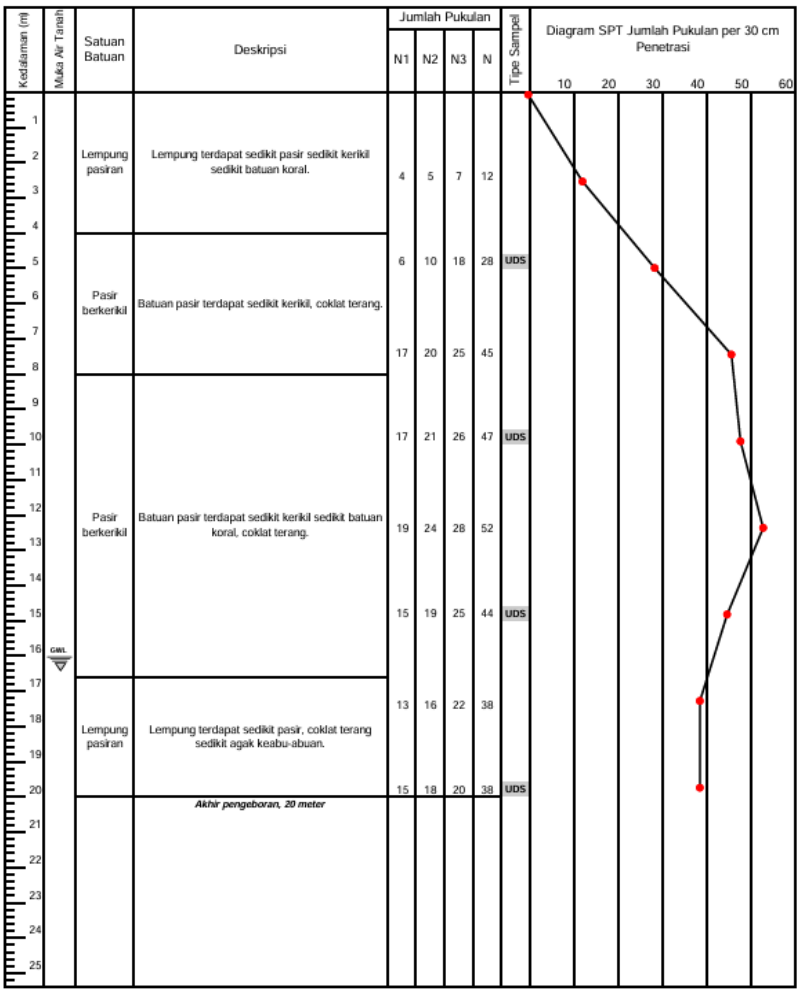
1. Tahap Persiapan

   Tahap ini dilakukan pencarian atau mempelajari literatur yang berhubungan dengan tema penelitian dan melakukan observasi secara langsung di lapangan untuk menentukan konstruksi yang akan dianalisis.
2. Tahap Pengumpulan Data

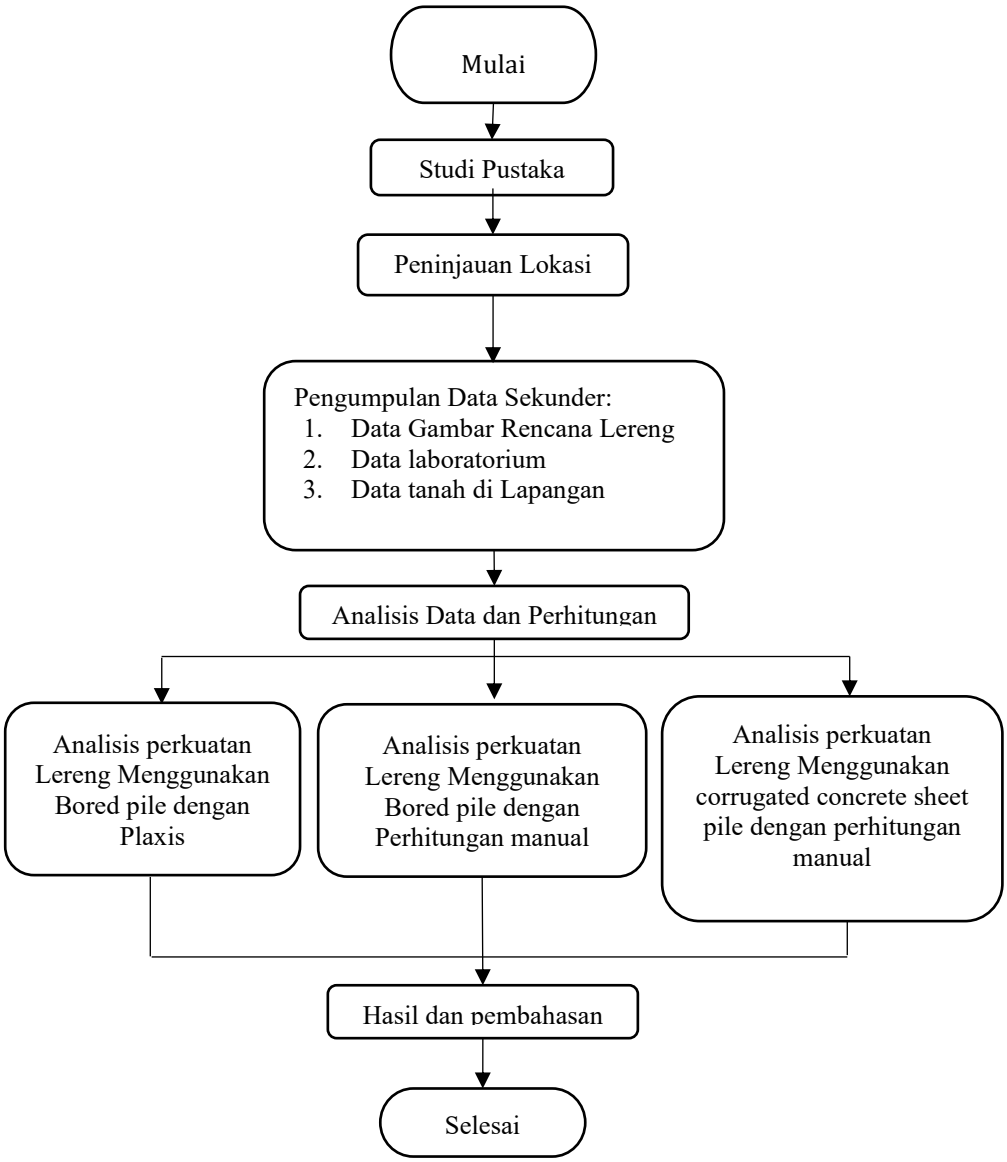
   Pada tahap ini dilakukan permohonan data kepada Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) dengan data yang didapatkan berupa gambar rencana, data tanah, dan data laboratorium.
3. Analisis stabilitas lereng menggunakan program Plaxis untuk mendapatkan angka aman (SF) lereng asli kemudian dilakukan perhitungan manual.
4. Analisis stabilitas lereng menggunakan *Bored Pile* dan *Corrugated Concrete Sheet Pile* dengan program Plaxis kemudian dibuktikan dengan perhitungna manual. Analisis dilakukan dengan kondisi asli. Adapun beberapa Langkah-langkah pada analisis perhitungan manual ini adalah sebagai berikut.
   a. Menghitung berat sendiri dan momen yang bekerja .
   b. Menghitung tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif.
   c. Menghitung stabilitas terhadap penggeseran, penggulingan, dan keruntuhan.
5. Pembahasan hasil analisis perkuatan tanah asli dan lereng menggunakan *Bored Pile* dan *Corrugated Concrete Sheet Pile*.
6. Penarikan kesimpulan dan saran atas penelitian yang telah dilakukan.

4.5 Data Tanah

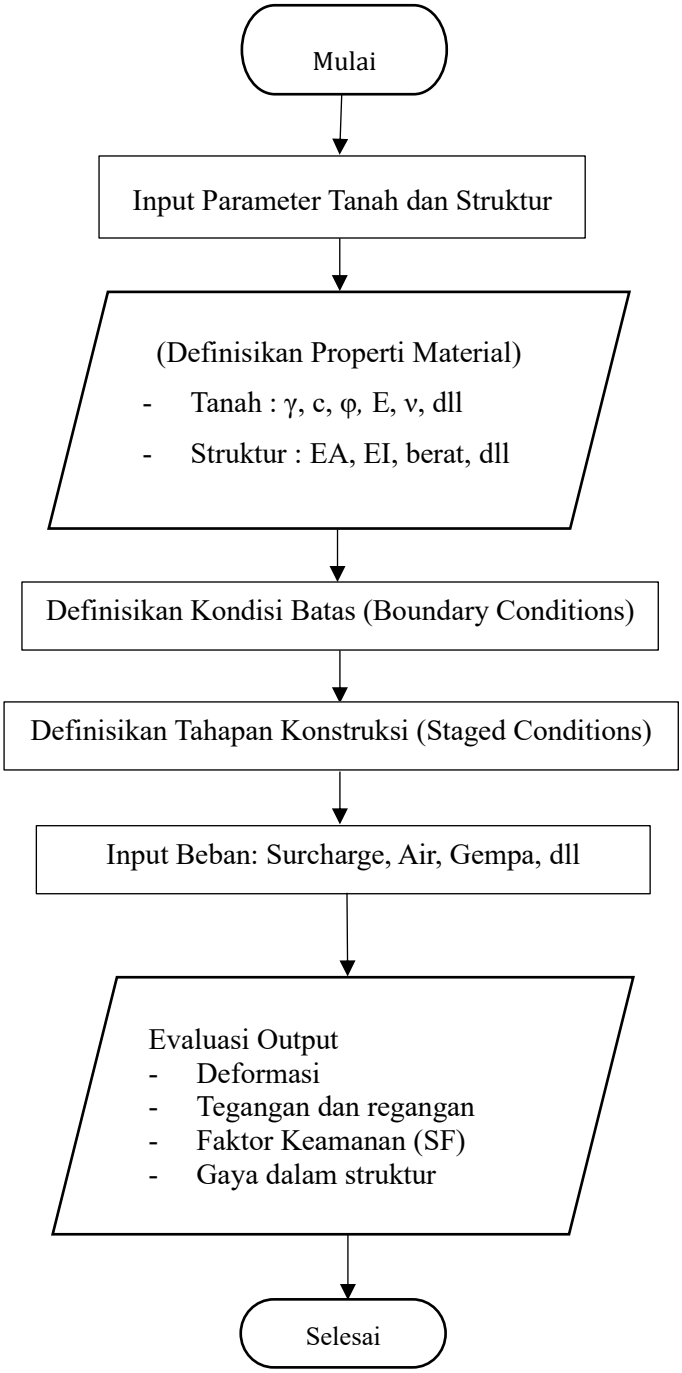
Parameter tanah yang digunakan dalam input program Plaxis maupun dalam perhitungan analisis stabilitas lereng diperoleh dari data proyek yang disediakan oleh CV Prisma Soenoe selaku kontraktor pelaksana. Salah satu data penting yang digunakan adalah posisi muka air tanah, yang tercatat berada pada kedalaman 16,6 meter di bawah permukaan tanah. Untuk kondisi tanah pada jalan Tretes-Kauman pada kedalaman 0-4 didominasi lempung pasir, 4-16 m didominasi oleh lapisan pasir berkerikil. Detail parameter tanah yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.4 Data Log Bor BM 1
(sumber: Lapoan Penyelidikan Tanah, CV Prisma Soenoe)



Gambar 4.5 Bagan Alir Tugas Akhir



Gambar 4.6 Bagan Alir PLAXIS

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Parameter Beban

Dalam penelitian ini, beban yang bekerja pada lereng merupakan beban lalu lintas. Berikut uraian beban yang bekerja pada lereng.

1. Data Beban Lalu Lintas

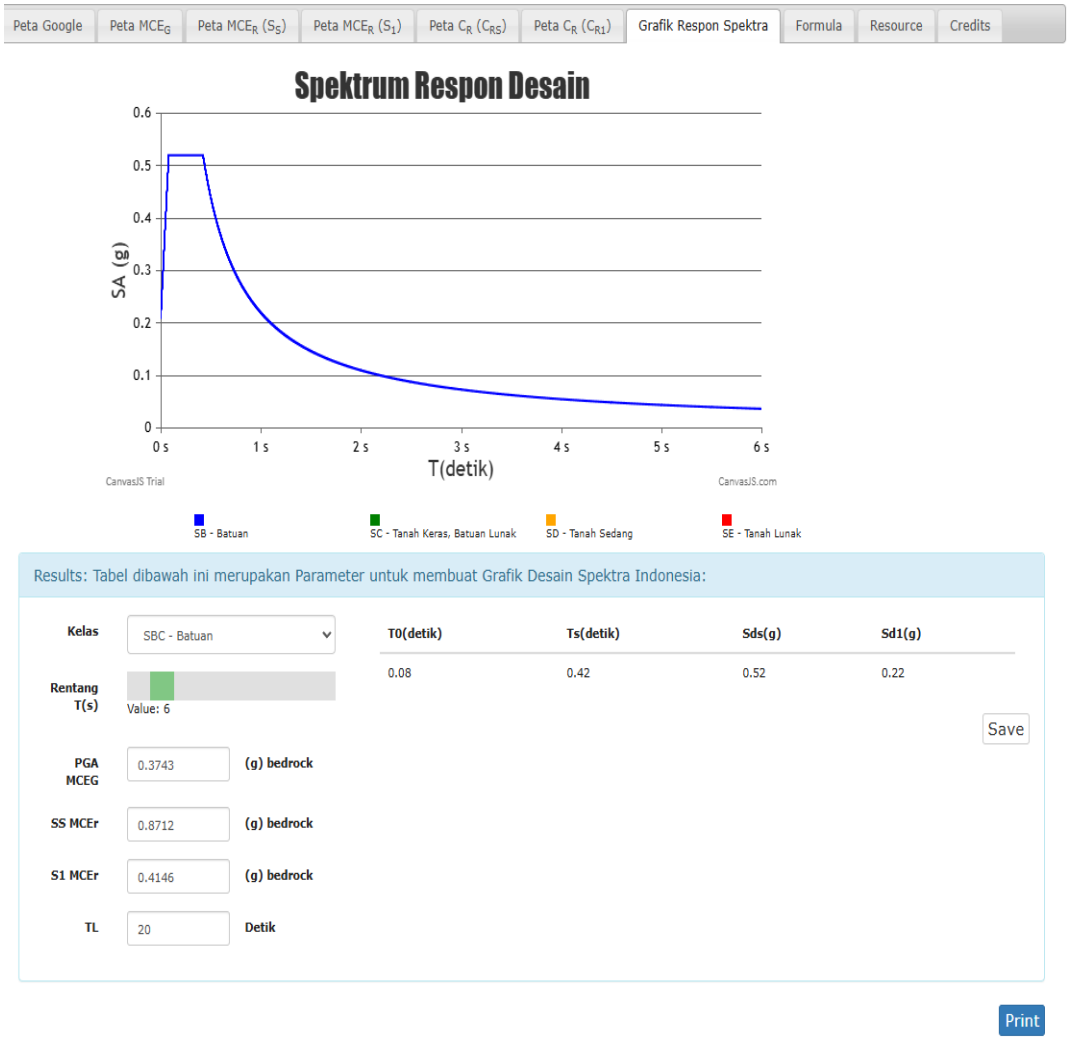
Beban lalu lintas yang digunakan dalam analisis mengacu pada Badan Standardisasi Nasional (2017). SNI 8457:2017 – Rancangan Tebal Jalan Beton untuk Lalu Lintas Rendah, yang mengklasifikasikan sistem jaringan berdasarkan fungsi jalan dan nilai lalu lintas harian rata-rata (LHR). Berdasarkan hasil observasi lapangan, ruas jalan yang dikaji termasuk kategori jalan lokal atau lingkungan. Sesuai klasifikasi jaringan, jalan tersebut masuk dalam jaringan sekunder dengan fungsi jalan lokal dan LHR lebih dari 500 kendaraan per hari. Oleh karena itu, beban lalu lintas yang diterapkan dalam perhitungan adalah sebesar 10 kN/m², dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Data Beban Lalu Lintas

Sistem Jaringan	Fungsi Jalan	LHR	Beban Lalu Lintas (kN/m^2)
Premier	Arteri	Semua	15
	Kolektor	< 10.000	12
		> 10.000	15
Sekunder	Arteri	< 20.000	12
		> 20.000	15
	Kolektor	< 6.000	12
		> 6.000	12
	Lokal	< 500	10
		> 500	10

2. Data Beban Gempa

Data beban gempa untuk analisis geoteknik di Indonesia mengacu pada SNI 1726:2012 dan SNI 8460:2017, yang menetapkan parameter seperti percepatan tanah (PGA), koefisien gempa horizontal (kh), dan spektrum respons. Data ini digunakan untuk desain tahan gempa pada struktur seperti dinding penahan, fondasi, dan lereng. Untuk mencari nilai PGA dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut



Gambar 5.1 Nilai PGA MCE Kota Boyolali
(sumber: Spektrum Respon Desain, rsa.ciptakarya.pu.go.id)

Nilai percepatan tanah desain (PGAD) ditetapkan sebesar 0.5 × PGA MCE untuk mencerminkan tingkat gempa desain yang lebih sesuai. Jadi nilai PGA = 0,18

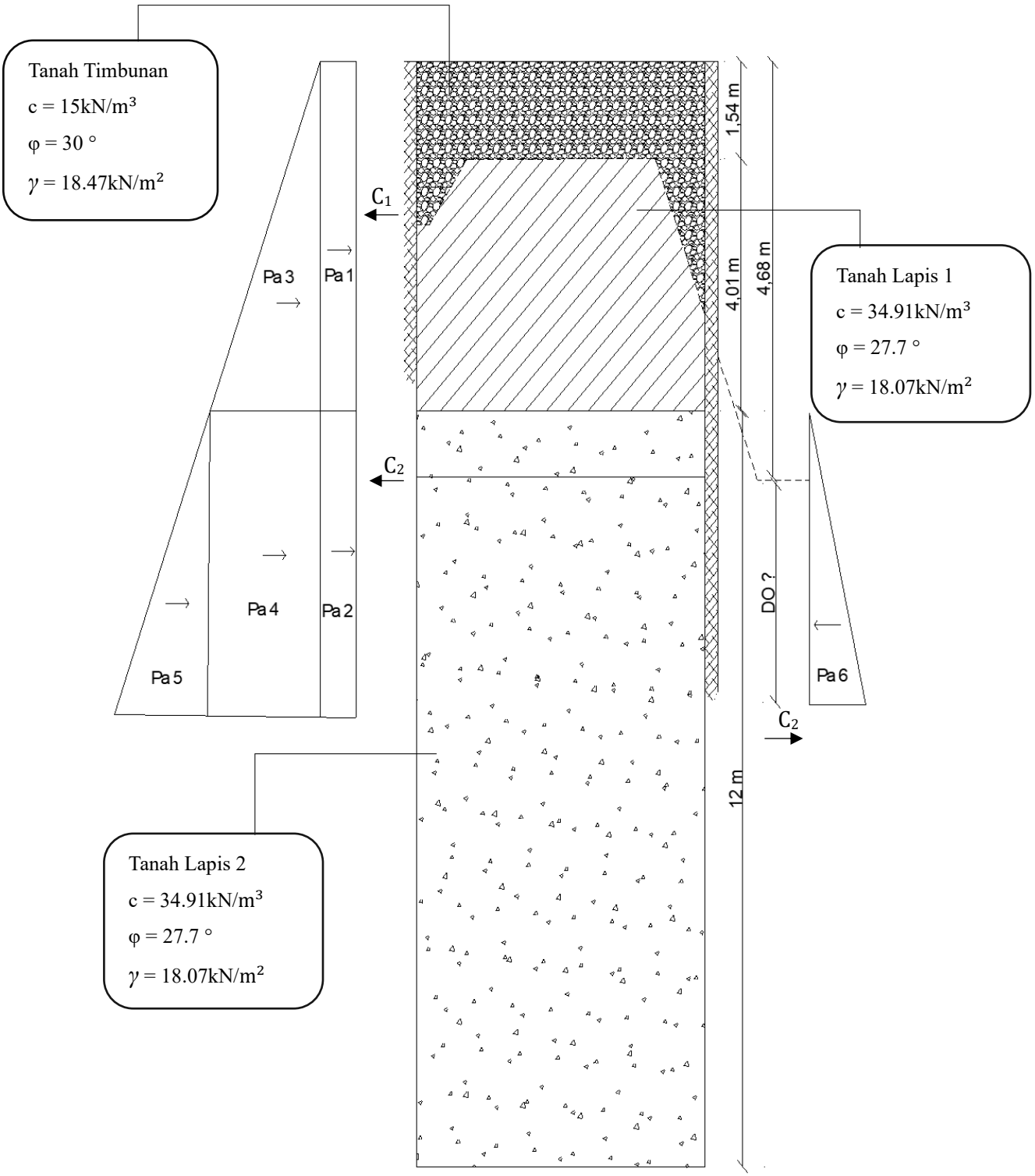
5.2 Analisis Lereng Asli

Analisis yang dilakukan pada lereng asli bertujuan untuk mengetahui nilai angka keamanan (*safety factor*) lereng terhadap beban tanah itu sendiri dan beban kendaraan yang melintas. Perhitungan analisis menggunakan program Plaxis dan perhitungan manual.

5.2.1 Analisis Lereng Menggunakan *Corrugated Concrete Sheet Pile*

Dengan Perhitungan Manual Teori Rankie Analisis perhitungan manual untuk lereng asli yang digunakan dalam penelitian sebagai perbandingan dengan program Plaxis. Perhitungan manual dengan teori Rankine ini berguna untuk mendapatkan nilai *safety factor* dan juga panjang *CCSP* sedalam tanah asli, dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.

.



Gambar 5.2 Potongan Melintang *Corrugated Concrete Sheet Pile* (*CCSP*)

Berdasarkan gambar diatas, Lebar jalan 5,5 m. Contoh perhitungan manual dengan metode Rankine pada *Corrugated Concrete Sheet Pile* (*CCSP)* adalah sebagai berikut

1. Data tanah
   a. Tanah Timbunan
      H_1 = 4,68 meter
      γ_1 = 18,4 kN/m^3
      c_1 = 15 kN/m^2
      φ_1 = 30°

   b. Tanah Asli1 dan 2
      $H_2 = D_0$
      γ_2 = 18,07 kN/m^3
      c_2 = 34,91 kN/m^2
      φ_2 = 27,7°

   dimana
   H_1 = tinggi tanah timbunan (m)
   H_2 = tinggi tanah asli (m)
   γ = berat volume tanah (kN/m^3)
   c = kohesi tanah (kN/m²)
   φ = sudut geser dalam (°)
2. Data *Corrugated Concrete Sheet Pile* (*CCSP)*
   Corrugated Concrete Sheet Pile (*CCSP)* yang dipakai adalah tipe W-325 dengan ketentuan sebagai berikut.
      E beton = 25 GPa = 25,000,000 kN/m²
      A = 0.0325 m × 0.1 m = 0.00325 m²
      I = 1.2 × 10^{-5} m⁴ (estimasi dari profil W-325)
      maka,
      E_A = 25,000,000 × 0.00325 = 81,250 kN
      E_I = 25,000,000 × 1.2 × 10^{-5} = 300 kNm²

dimana

A = luas penampang (m^2)

I = momen inersia (m^4)

3. Menghitung Tekanan Tanah

a) Tanah yang mendorong ke arah lateral

$K_{a1} = tg^2\ (45 - \frac{\varphi}{2})$

$= tg^2\ (45 - \frac{30°}{2})$

$= 0{,}333$

b) Tanah di lapis 2 sedalam D0

$K_{a2} = tg^2\ (45 - \frac{\varphi}{2})$

$= tg^2\ (45 - \frac{27.7°}{2})$

$= 0{,}375$

$K_{p2} = \frac{1}{Ka}$

$= \frac{1}{0{,}375}$

$= 2{,}666$

c) Akibat beban merata

$\sum H_1 = q \times K_{a1}$

$= 10 \times 0{,}333$

$= 3{,}33\ K_{pa}$

$P_{a1} = q \times K_{a1} \times H_1$

$= 10 \times 0{,}333 \times 4{,}68$

$= 15{,}60$ kN/m

$\sum H_2 = q \times K_{a2}$

$= 10 \times 0{,}375$

$= 3{,}75\ K_{pa}$

P_{a2} = q x K_{a2} x H_2

= 10 x 0,375 x D_0

= 3,75 D_0 kN/m

d) Akibat Tanah Aktif

$\sum H_3$ = H_1 x γ_1 x K_{a1}

= 4,68 x 18,42 x 0,333

= 28,71 K_{pa}

P_{a3} = ½ x H_1 x γ_1 x K_{a1} x H_1

= ½ x 28,71 x 4,68

= 67,173 kN/m

$\sum H_4$ = H_1 x γ_1 x K_{a2}

= 4,68 x 18,42 x 0,375

= 32.33 K_{pa}

P_{a4} = H_1 x γ_1 x Ka_2 x D_0

= 32.33 x D_0

= 32,33 D_0 kN/m

$\sum H_5$ = D_0 x γ_2 x K_{a2}

= 6,776D_0 K_{pa}

P_{a5} = ½ x D_0 x γ_2 x K_{a2} x D_0

= ½ x 18,07 x 0,375 x D_0^2

= 3,338 D_0^2 kN/mD_0^2

e) Tekanan Tanah Pasif

$\sum H_6 = K_{p2}.\gamma. D_0$

$= 2,66 \times 18,07 \times D_0$

$= 48, D0\, K_{pa}$

$P_{a6} = ½ \times D_0 \times \gamma_2 \times K_{a2} \times D_0$

$= ½ \times 18,07 \times 2,66 \times D_0^2$

$= 324,093 D_0^2$ kN/m

f) Akibat Tanah Kohesi

$\sum C_1 = -2c_{\sqrt{K_{a1}}}$

$= -2. x15\sqrt{0,577}$

= -17,312 (kohesi tanah timbunan)

$\sum C_2 = -2c_{\sqrt{K_{a2}}}$

$= -2. x34.91\sqrt{0,612}$

= -42,756 (kohesi tanah asli)

$\sum C_2 = 2c_{\sqrt{K_{a2}}}$

$= 2. x34.91\sqrt{0,612}$

= +42,756 (kohesi tanah asli / pa6)

4. Perhitungan Momen

Rekapitulasi perhitungan momen dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Perhitungan Momen CCSP

Nama	Gaya (kPa)	Gaya Total (kN/m)	Lengan (m)	Momen (kNm)
$\sum H_1$	3,330	15,55	D_0 + ½ x 4,68	$15,584D_0 + 37,168$
$\sum H_2$	3,750	3,750 x D_0	½ x D_0	$1,875D_0^2$
$\sum H_3$	28,706	67,18	D_0 + 1/3 x 4,68	$67,173D_0 + 104,78$
$\sum H_4$	32,327	32,33 x D_0	½ x D_0	$16,16D_0^2$
$\sum H_5$	6,776 x D_0	3,338 x D_0^2	1/3 x D_0	$1,129D_0^3$
$\sum C_1$	-17,312	-81.02	D_0 + 2,34	$-81,197D_0 – 189,58$
$\sum C_2$	-42,756	-42,76 x D_0	½ x D_0	$-21,378D_0^2$
$\sum H_6$	48,187 x D_0	-24,1 x D_0^2	1/3 x D_0	$-8,03D_0^3$
$\sum C_2$ (+)	42,756	42,76 x D_0	½ x D_0	$21,38D_0^2$
			$\sum M_a$	$1,129D_0^3 – 3,335D_0^2 – 1,56D_0 – 12,006$
			$\sum M_p$	$-8,031D_0^3 + 21,378D_0^2$

Setelah mendapat nilai $\sum M_a$ dan $\sum M_p$, mencari nilai $\sum M_o$ dengan rumus

$$\sum M_o = \sum M_a - \sum M_p$$
$$= 9,16D_0^3 - 24,713D_0^2 - 1,56D_0 – 12,006$$

5. Menghitung Panjang Turap sedalam D_0

Dengan nilai, $\sum M_o = 9,16D_0^3 - 24,713D_0^2 - 1,56D_0 – 12,006$ mencari nilai D_0 menggunakan penurunan akar 3 matematika, dan didapat nilai D_0 = 2,912. Setelah mendapat nilai D_0, menghitung panjang turap keseluruhan sebagai berikut.

Panjang turap pada tanah asli = 1,5 x D_0
= 1,5 x 2.912
= 4,37 m

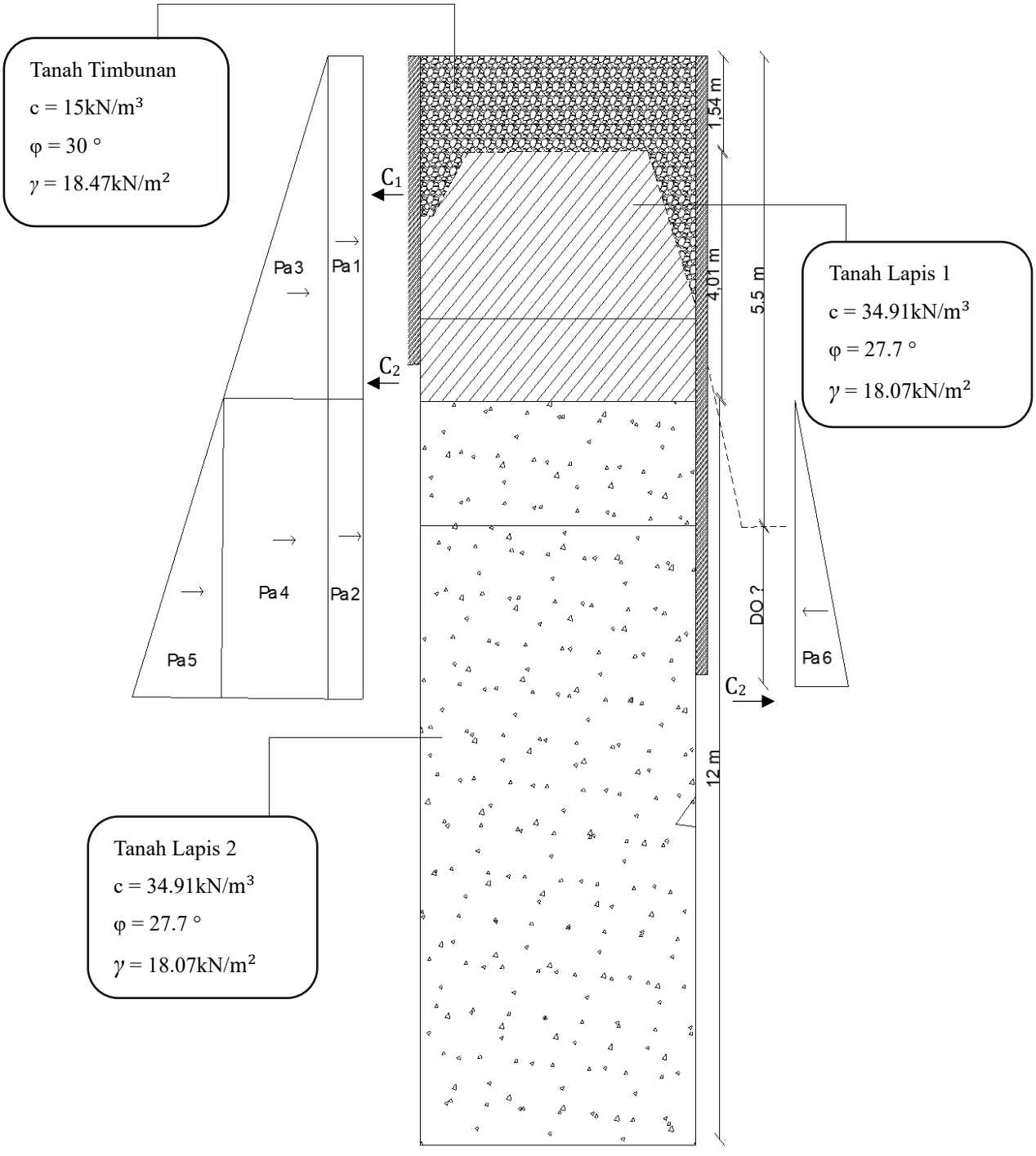
Total Panjang turap (L) = h1 + D_0
= 4,68 + 4,37
= 9,05 = 9,1 m (dibulatkan)

Jadi, total panjang turap dengan SF = 1,5 adalah 9,1 m.

5.2.2 Analisis Lereng Asli Dengan Bored Pile

Sama halnya *Corrugated Concrete Sheet Pile*, analisis perhitungan manual pada *Bored Pile* untuk lereng asli yang digunakan dalam penelitian sebagai

perbandingan dengan program Plaxis. Perhitungan manual dengan teori Rankine ini berguna untuk mendapatkan nilai *safety factor* dan juga panjang *Bored Pile*. Selanjutnya, panjang bored pile ditentukan berdasarkan kebutuhan untuk mencapai zona tanah pasif yang cukup dalam, sehingga mampu menahan gaya lateral secara efektif. Panjang ini juga disesuaikan agar memenuhi kriteria minimum SF yang aman sesuai standar desain geoteknik. Gambar potongan melintang *Bored Pile* bisa dikihat pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 Potongan Melintang Bored Pile

Berdasarkan gambar diatas, Lebar jalan 5,5 m.. Contoh perhitungan manual dengan metode Rankine pada *Bored Pile* adalah sebagai berikut.

1. Data tanah
   1. Tanah Timbunan

      H_1 = 5.5 m

      γ_1 = 18,42 kN/m^3

      c_1 = 15 kN/m^2

      φ_1 = 30°
   2. Tanah Asli Lapis 1 dan 2

      H_2 = D_0

      γ_2 = 18,07 kN/m^3

      c_2 = 34,91 kN/m^2

      φ_2 = 27,7°

   dimana

   H_1 = tinggi tanah timbunan (m)

   H_2 = tinggi tanah asli (m)

   ɣ = berat volume tanah (kN/m^3)

   c = kohesi tanah (kN/m²)

   φ = sudut geser dalam (°)
2. Menghitung Tekanan Tanah

   a) Tanah yang mendorong ke arah lateral

   $K_{a1} = tg^2\ (45 - \frac{\varphi}{2})$

   $= tg^2\ (45 - \frac{30°}{2})$

   = 0,333

   b) Tanah di lapis 2 sedalam D0

   $K_{a2} = tg^2\ (45 - \frac{\varphi}{2})$

   $= tg^2\ (45 - \frac{27.7°}{2})$

   = 0,375

$K_{p2} = \frac{1}{K_a}$

$= \frac{1}{0,375}$

$= 2,666$

c) Akibat beban merata

$\sum H_1 = q \times K_{a1}$

$= 10 \times 0,333$

$= 3,33\ K_{pa}$

$P_{a1} = q \times K_{a1} \times H_1$

$= 10 \times 0,333 \times 5,5$

$= 18,315$ kN/m

$\sum H_2 = q \times K_{a2}$

$= 10 \times 0,375$

$= 3,75\ K_{pa}$

$P_{a2} = q \times K_{a2} \times H_1$

$= 10 \times 0,375 \times D_0$

$= 3,75D_0$ kN/m

d) Akibat Tanah Aktif

$\sum H_3 = H_1 \times \gamma_1 \times K_{a1}$

$= 5,5 \times 18,42 \times 0,333$

$= 33,376\ K_{pa}$

$P_{a3} = ½ \times H_1 \times \gamma_1 \times K_{a1} \times H_1$

$= ½ \times 33,376 \times 5,5$

$= 92,775$ kN/m

$\sum H_4 = H_1 \times \gamma_1 \times K_{a2}$

= 5,5 x 18,42 x 0,375

= 37,991 K_{pa}

P_{a4} = H_1 x γ_1 x K_{a2} x D_0

= 37,991 x D_0

= 37,991D_0 kN/m

$\sum H_5$ = D_0 x γ_2 x K_{a2}

= 6,776D_0 K_{pa}

P_{a5} = ½ x D_0 x γ_2 x K_{a2} x D_0

= ½ x 6,776 x D_0^2

= 3,338Do^2 kN/m

e) Tekanan Tanah Pasif

$\sum H_6$ = K_{p2}. γ_2 .D_0

= 2,66 x 18,07 x D_0

= 48,187D_0 K_{pa}

P_{a6} = ½ x D_0 x Kp_2 x γ_2 x D_0

= ½ x 18,07 x 2,66 x D_0^2

= 324,1D_0^2 kN/m

f) Akibat Tanah Kohesi

$\sum C_1$ = $-2c_{\sqrt{K_{a1}}}$

= $-2.x15\sqrt{0,577}$

= -17,312 (kohesi tanah timbunan)

$\sum C_2$ = $-2c_{\sqrt{K_{a2}}}$

= $-2.x3\ 4.91\sqrt{0,612}$

= -42,756 (kohesi tanah asli)

$\sum C_2 = 2c_{\sqrt{K_{a2}}}$

$= 2.x3\ 4.91\sqrt{0,612}$

= +42,756 (kohesi tanah asli / pa6)

3. Perhitungan Momen

Rekapitulasi perhitungan momen dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Perhitungan Momen Bored Pile

Nama	Gaya (K_{pa})	Gaya Total (kN/m)	Lengan (m)	Momen
$\sum H_1$	3,330	18,315	D_0 + ½ x 5,5	18.315D_0 x 45.77
$\sum H_2$	3,750	3,750 x D_0	½ x D_0	1.825D_0^2
$\sum H_3$	33,736	92,775	D_0 + 1/3 x 5,5	92.775D_0 + 208.743
$\sum H_4$	37,991	37,991 x D_0	½ x D_0	14,489 D_0^2
$\sum H_5$	6,776 x D_0	3,38 x D_0^2	1/3 x D_0	1,12D_0^3
$\sum C_1$	-17,312	-95,215	D_0 + 2,25	-95,21D_0 – 214,22
$\sum C_2$	-42,756	-42,756 x D_0	½ x D_0	-21,09D_0^2
$\sum H_6$	-48,187 x D_0	-24,1 x D_0^2	1/3 x D_0	-8,04D_0^3
$\sum C_2$ (+)	42,756	42,76 x D_0	½ x D_0	21,09D_0^2
			$\sum M_a$	1,129D_0^3 –0,78D_0^2 – 15,87D_0 – 40,293
			$\sum M_p$	-8,04 D_0^3 + 12,742D_0^2

Setelah mendapat nilai $\sum M_a$ dan $\sum M_p$, mencari nilai $\sum M_o$ dengan rumus

$\sum M_o = \sum M_a - \sum M_p$

$= 9,16D_0^3 - 11,96D_0^2 - 15,88D_0 - 40,293$

4. Menghitung Panjang *Bored pile* sedalam D_0

Dengan nilai, $\sum M_o = 9,16D0^3 - 11,96D_0^2 - 15,88D_0 - 40,293$ mencari nilai D_0 menggunakan penurunan akar 3 matematika, dan didapat nilai D_0 = 1,72. Setelah mendapat nilai D_0, menghitung panajng turap keseluruhan sebagai berikut.

Panjang turap pada tanah asli = 1,5 x D_0

= 1,5 x 1,72

= 2,6 m

Total Panjang *bored pile* (L) = h1 + D_0

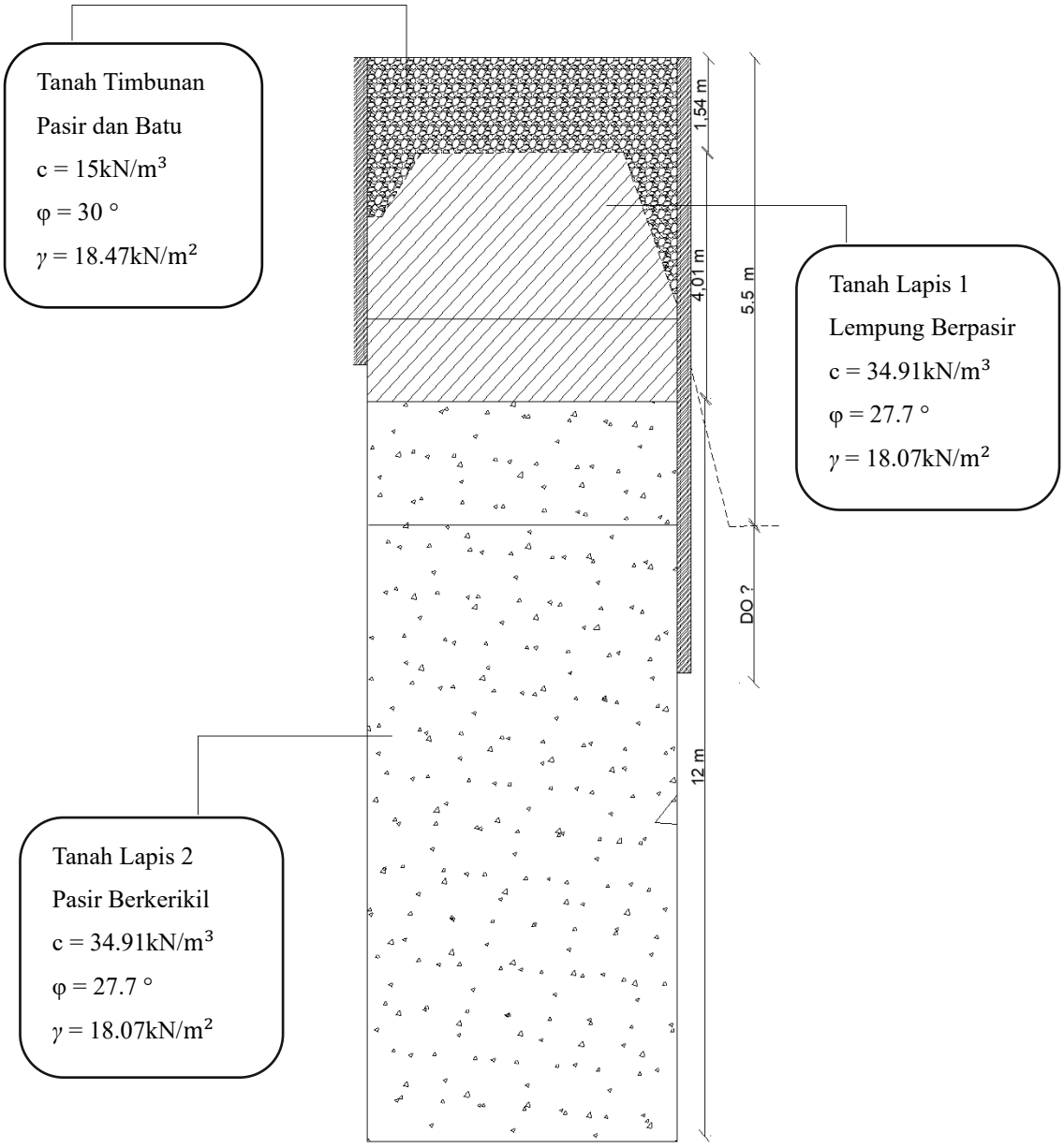
= 5,5 + 2,6

= 8,1 m

Jadi, total panjang turap dengan SF = 1,5 adalah 8,1 m.

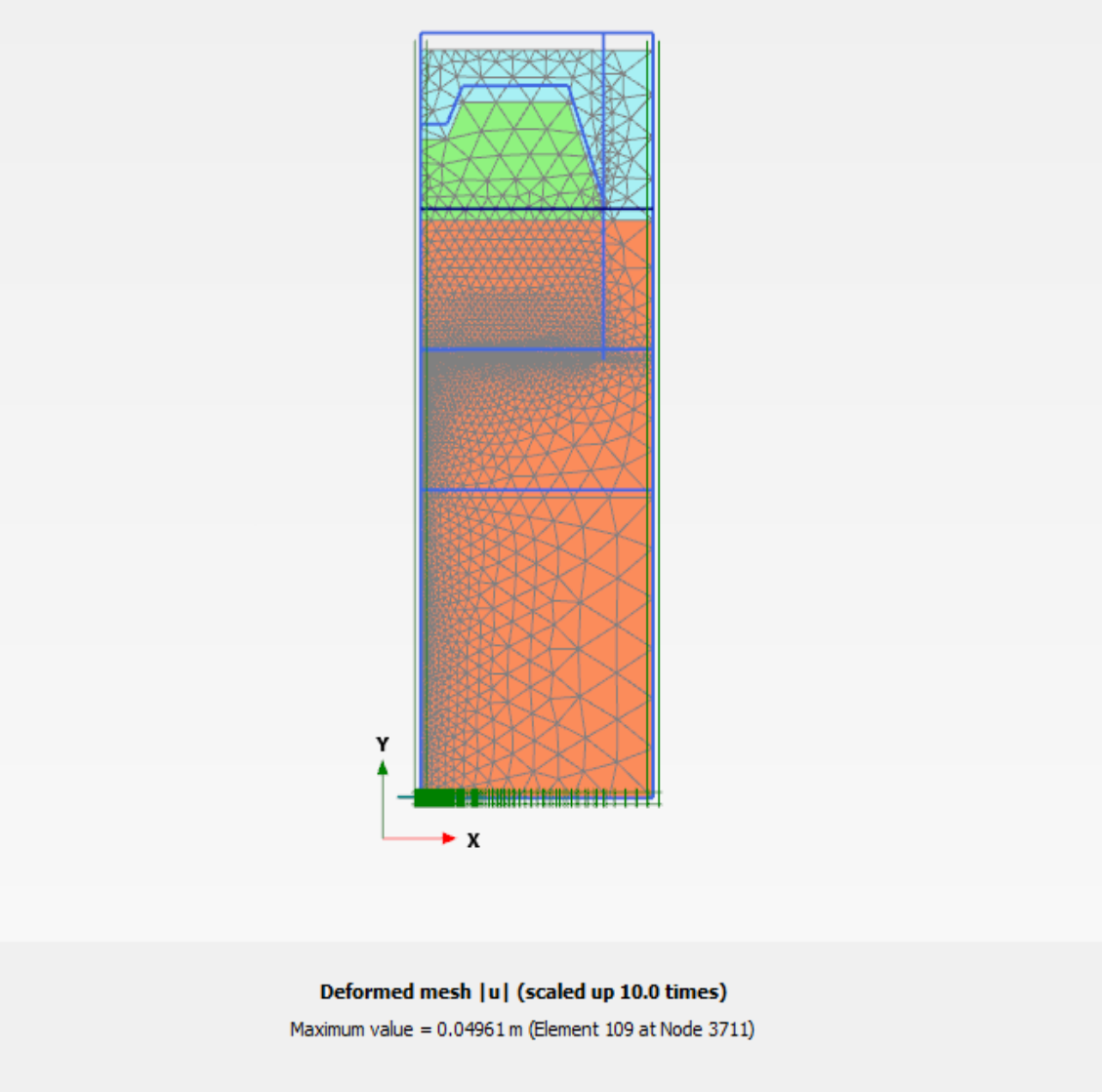
5.3 Analisis Lereng Menggunakan PLAXIS 2D

Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D dengan pendekatan elemen hingga untuk memodelkan kondisi geoteknik secara lebih akurat. Sistem perkuatan yang digunakan berupa bored pile yang dipasang secara vertical dapat dilihat Pada Gambar 5.4 Berikut.



Gambar 5.4 Stratigrafi Lapisan Tanah Pada Autocad

Parameter tanah, *CCSP* dan *Bored Pile,* dimasukkan berdasarkan hasil investigasi lapangan dan laboratorium, dapat dilihat pada Gambar 5.5 Dan Tabel 5.4 berikut.



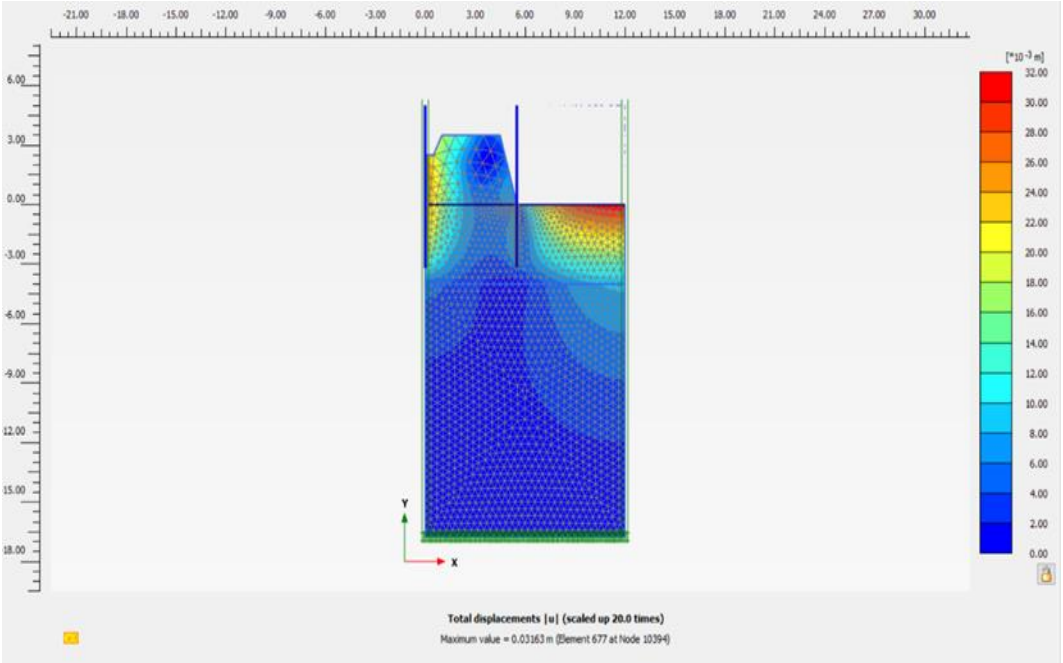
Gambar 5.5 Permodelan Tanah Pada PLAXIS

Tabel 5.4 Input Parameter Tanah ke PLAXIS 2D

	Tanah Timbunan	Lempung Pasiran	Pasir berkerikil	*CCSP*	*Bored Pile*
kedalaman	1,5 m	4 m	12 m	9.1 m	8,1 m
γ_{unsat} (kN/m^3)	18.47	18.07	18.07	-	-
γ_{sat} (kN/m^3)	19.25	19.35	21.57	-	-
E'$_{ref}$ (kN/m^2)	10	12	70	-	-
E_A	-	-	-	81,250	4.160 x 10^6
E_I	-	-	-	300	64.50 x 10^3
v	0.3	0.3	0.3	0,3	0,3
c'$_{ref}$ (K_{pa})	15	34.91	34.91	-	-
$\varphi(^\circ)$	30	27.7	27.7	-	-

5.3.1 Pemodelan Perkuatan Tanah Dengan *Bored Pile*

1. *Total displacement* dan *safety factor* lereng dengan *bored pile*Nilai *Maximum value displacement* dan *SF (safety factor)* pada lereng dengan perkuatan *bored pile* adalah 0,03163 m dan nilai SF adalah 1,488 yang tertera pada Gambar 5.6 dan 5.7 sebagai berikut.



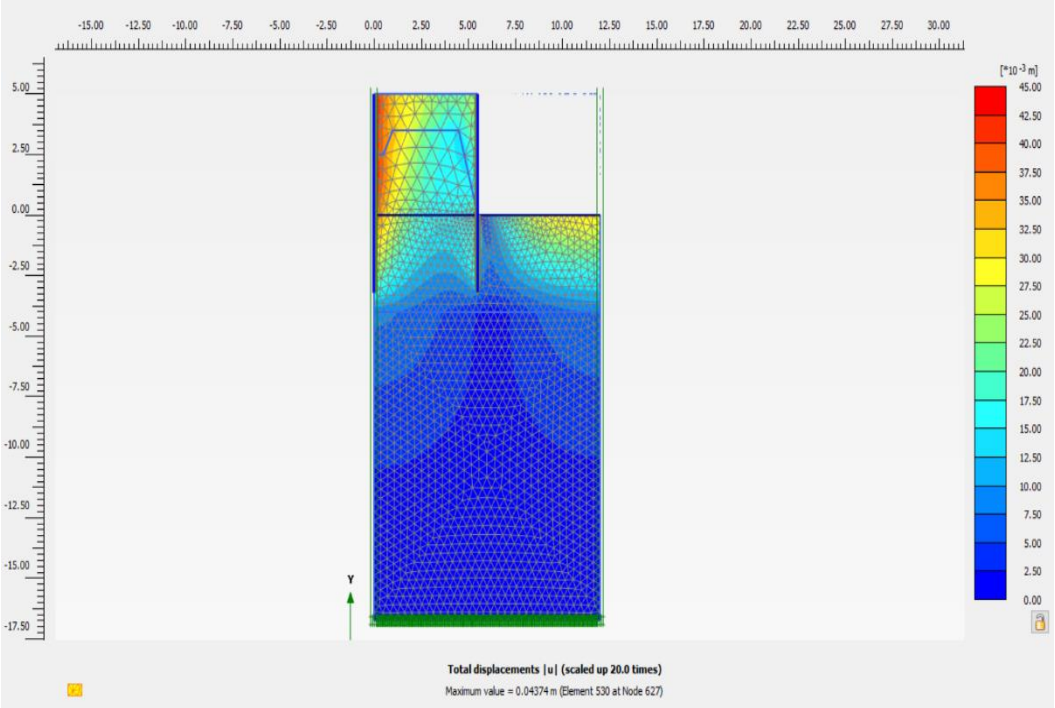
Gambar 5.6 Total *Displacement* pada lereng dengan *Bored Pile*

Reached values	
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.1286E-3
ForceX - Reached total forc	0.000 kN/m
ForceY - Reached total forc	0.000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0.000 kN/m²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.488

Gambar 5.7 Nilai SF pada lereng dengan *Bored Pile*

2. *Total Displacement* dan *safety factor* dengan timbunan

Nilai *Maximum value displacement* dan *SF (safety factor)* timbunan adalah 0,04374 m dan nilai SF adalah 1,381 yang tertera pada Gambar 5.8 dan 5.9 sebagai berikut.



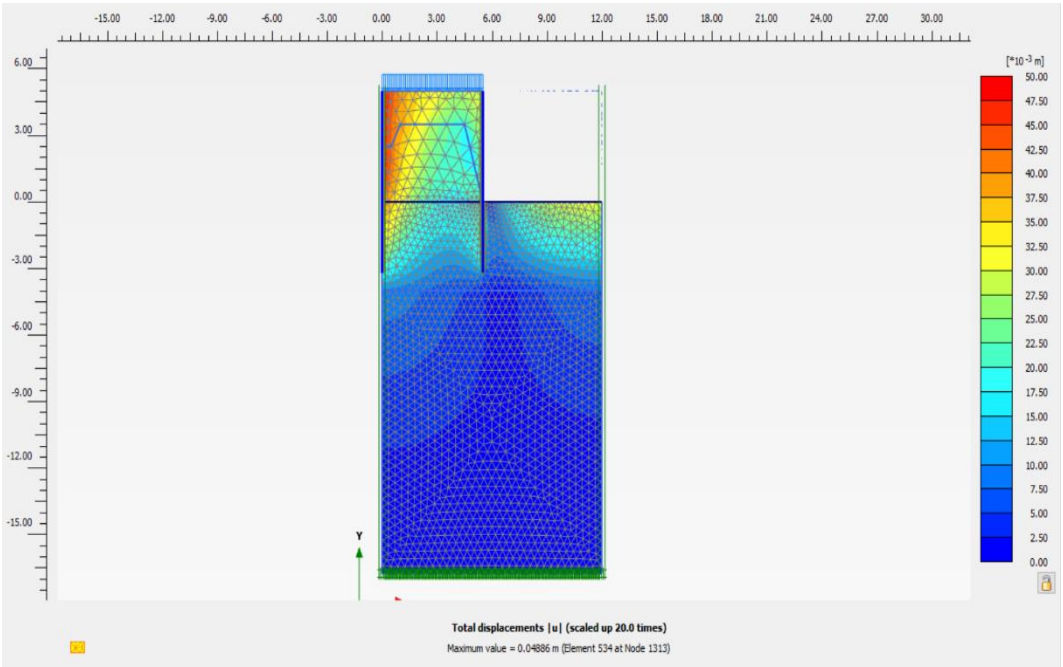
Gambar 5.8 Total *Displacement Bored Pile* dengan timbunan

Reached values	
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.2165E-3
ForceX - Reached total forc	0.000 kN/m
ForceY - Reached total forc	0.000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0.000 kN/m²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.381

Gambar 5.9 Nilai SF *Bored Pile* dengan timbunan

3. *Total Displacement* dan *safety factor* dengan Beban Kendaraan

Nilai *Maximum value displacement* dan *SF (safety factor)* beban kendaraan adalah 0,04886 m dan nilai SF adalah 1,461 yang tertera pada Gambar 5.10 dan 5.11 sebagai berikut.



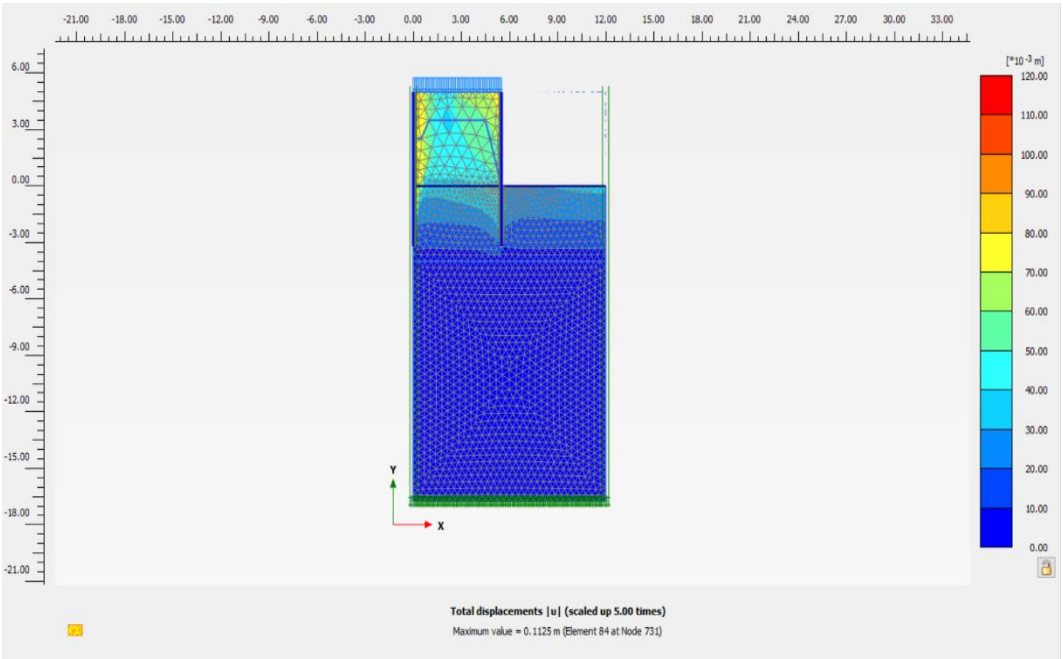
Gambar 5.10 Total *Displacement* Bored Pile dengan beban kendaraan

Reached values	
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.9297E-3
ForceX - Reached total forc	0.000 kN/m
ForceY - Reached total forc	0.000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0.000 kN/m²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.461

Gambar 5.11 *SF Bored Pile* dengan beban kendaraan

4. *Total Displacement* dan *safety factor* dengan beban gempa

Nilai *Maximum value displacement* dan *SF (safety factor)* beban gempa adalah 0,1125 m dan nilai SF adalah 1,3 yang tertera pada Gambar 5.12 dan 5.13 sebagai berikut.



Gambar 5.12 Total *Displacement Bored Pile* dengan beban gempa

Reached values

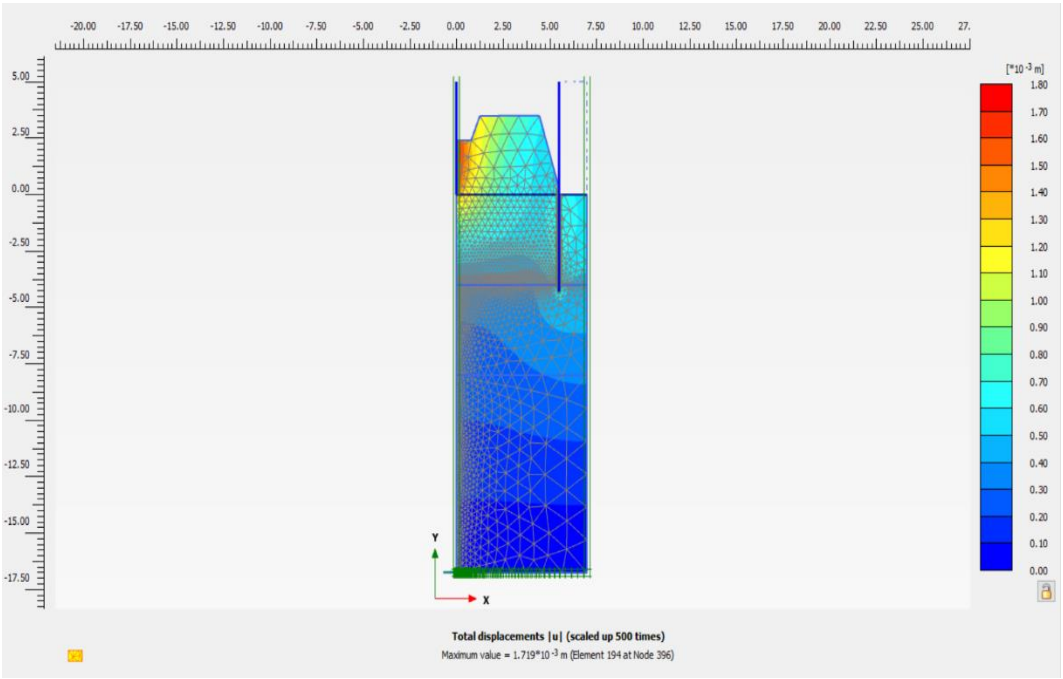
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	1.143E-3
ForceX - Reached total forc	0.000 kN/m
ForceY - Reached total forc	0.000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0.000 kN/m²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.300

Gambar 5.13 SF *Bored Pile* dengan beban gempa

5.3.2 Pemodelan Perkuatan Tanah dengan Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)

1. *Total displacement* dan *safety factor* lereng dengan *CCSP*

Nilai *Maximum value displacement* dan *SF (safety factor)* pada lereng dengan perkuatan *CCSP* adalah 0.017 m dan nilai SF adalah 3,076 yang tertera pada Gambar 5.14 dan 5.15 sebagai berikut.



Gambar 5.14 Total *Displacement* dengan *CCSP*

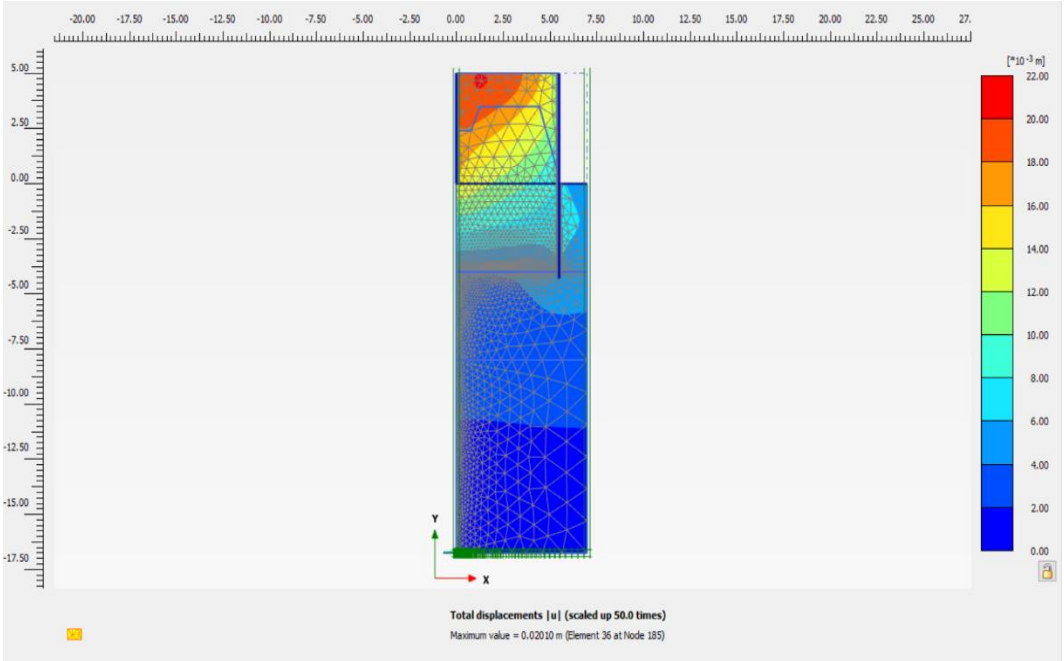
Reached values

Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	6.010E-9
ForceX - Reached total forc	0.000 kN/m
ForceY - Reached total forc	0.000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0.000 kN/m²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	3.076

Gambar 5.15 SF dengan *CCSP*

2. Perkuatan Tanah *CCSP* dengan timbunan

Nilai *Maximum value displacement* dan *SF (safety factor)* timbunan adalah 0,02010 m dan nilai SF adalah 2,686 yang tertera pada Gambar 5.16 dan 5.17 sebagai berikut.



Gambar 5.16 *Total Displacement CCSP* dengan timbunan

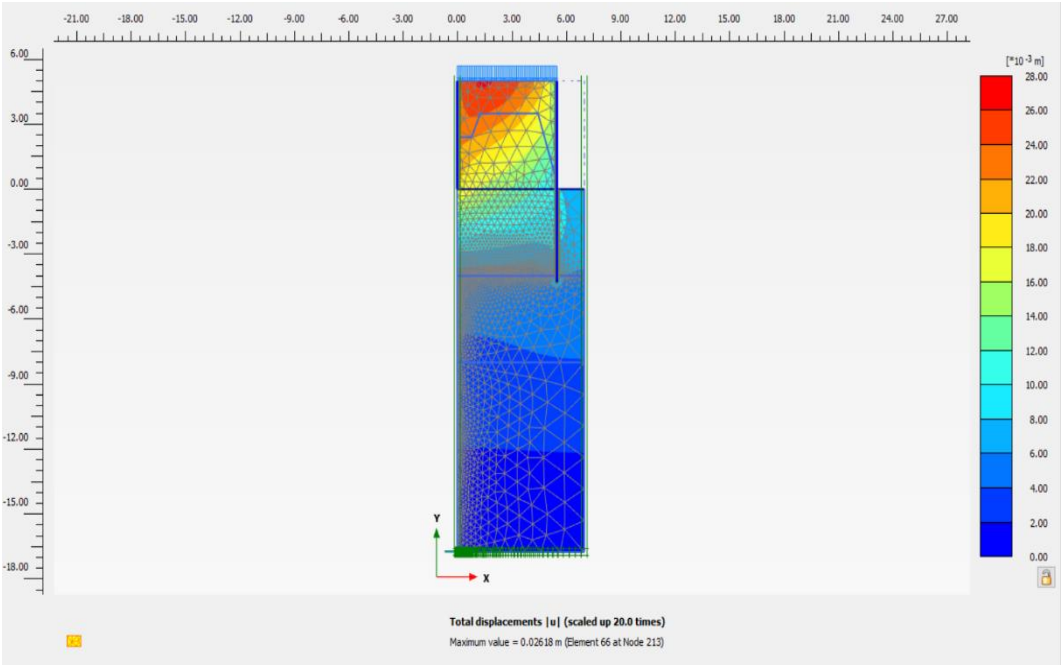
Reached values

Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.4834E-3
ForceX - Reached total forc	0.000 kN/m
ForceY - Reached total forc	0.000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0.000 kN/m²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	2.686

Gambar 5.17 SF *CCSP* dengan timbunan

3. Perkuatan Tanah *CCSP* dengan Beban Kendaraan

Nilai *Maximum value displacement* dan *SF (safety factor)* beban kendaraan adalah 0,02618 m dan nilai SF adalah 2,415 yang tertera pada Gambar 5.18 dan 5.19 sebagai berikut.



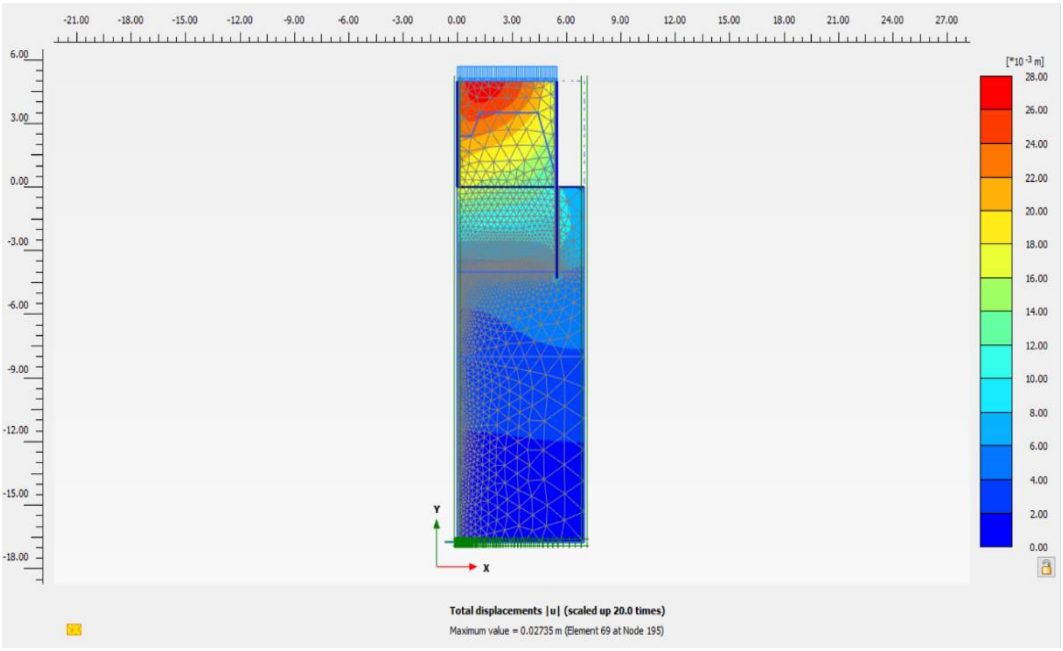
Gambar 5.18 Total *Displacement CCSP* dengan beban kendaraan

Reached values	
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.5741E-3
ForceX - Reached total forc	0.000 kN/m
ForceY - Reached total forc	0.000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0.000 kN/m²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	2.415

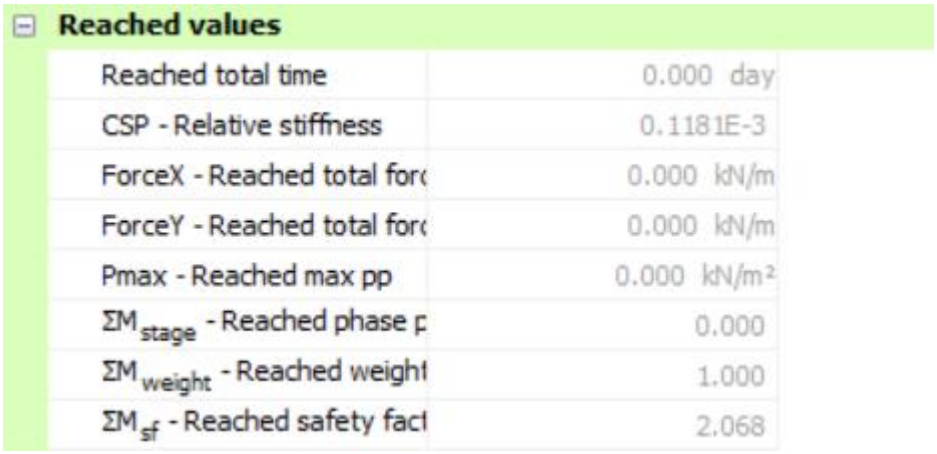
Gambar 5.19 SF *CCSP* dengan beban kendaraan

4. Perkuatan Tanah *CCSP* dengan Beban Gempa

Nilai *Maximum value displacement* dan *SF (safety factor)* beban gempa adalah 0,02735 m dan nilai SF adalah 2,068 yang tertera pada Gambar 5.20 dan 5.21 sebagai berikut.



Gambar 5.20 Total *Displacement CCSP* dengan beban gempa



Gambar 5.21 SF *CCSP* dengan beban gempa

5.4 Pembahasan

Hasil pemodelan dan analisis lereng dengan perkuatan *Bored Pile* dan Corru*gated Concrete Sheet Pile (CCSP)* pada program PLAXIS, menggunakan kombinasi beban timbunan, beban kendaraan serta beban gempa, dapat ditampilkan pada tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Hasil Rekapitulasi Lereng Dengan PLAXIS 2D

Analisis		***Total Displacement* (m)**	***Safety Factor***
Perkuatan Dengan *Bored Pile*	*Bored pile* (TA+BP)	0,03163	1,488
	Timbunan (T+TA+BP)	0,04374	1,381
	Beban Kendaraan (BK+T+TA+BP)	0,04886	1,461
	Beban Gempa (BG+BK+T+TA+BP)	0,1125	1,300
Perkuatan Dengan Corru*gated Concrete Sheet Pile*	*Corrugated Concrete Sheet Pile* (TA + CCSP)	0,01710	3,076
	Timbunan (T+TA+CCSP)	0,0210	2,686
	Beban Kendaraan (BK+T+TA+CCSP)	0,02618	2,415
	Beban Gempa (BG+BK+T+TA+CCSP)	0,02735	2,068

dimana:

TA = Tanah Asli
T = Beban dari Timbunan
BK = Beban dari Kendaraan
BG = Beban dari Gempa
BP = *Bored Pile*
CCSP = *Corrugated Concrete Sheet Pile*

Bowles (1989), menyatakan bahwa nilai *Safety Factor* (SF) merupakan indikator utama dalam menilai kestabilan lereng. Secara umum, nilai SF ≥ 1,3 dianggap aman untuk kondisi statis, dan SF ≥ 1,5 lebih disarankan untuk kondisi dinamis atau beban tambahan. Berdasarkan data pada Tabel 5.4, dilakukan perbandingan antara dua jenis perkuatan lereng *Bored Pile* dan *Corrugated Concrete Sheet Pile* (*CCSP*).

Pada *Bored Pile,* beban timbunan kendaraan dan gempa untuk nilai SF sudah termasuk aman (SF > 1,3). Meskipun nilai SF masih dalam kategori aman, deformasi cukup besar (hingga 0,1125 m pada beban gempa), menunjukkan bahwa sistem ini kurang optimal untuk kondisi dinamis (keadaan struktur terhadap gaya/beban). Sedangkan pada Corru*gated Concrete Sheet Pile,* beban timbunan, kendaraan dan gempa nilai SF jauh diatas ambang batas (SF >1,3) dan deformasi lebih kecil (0,02735 m pada beban gempa).

Alhadis (2022), melakukan analisis nilai *safety factor* dinding penahan dengan *Sheet Pile* Baja, Nilai SF yang didapat sebesar 1,495. Nilai angka aman lereng > 1.3, maka lereng yang diperkuat dengan *Sheet Pile* Baja aman. Sedangkan nilai SF dengan *Bored Pile* dan Corru*gated Concrete Sheet Pile* pada penelitian ini sebesar 1,488 dan 3,076.

BAB VI
KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan perbandingan perkuatan menggunakan *Bored Pile* dan *Corrugated Concrete Sheet Pile* sebaai berikut.

1. Permodelan jenis tanah dapat dilihat pada Gambar 5.4, untuk kondisi tanah pada jalan Tretes-Kauman pada kedalaman 0-4 didominasi lempung pasir, 4-16 m didominasi oleh lapisan pasir berkerikil.
2. Nilai SF pada perkuatan menggunakan *Bored Pile* adalah 1,488 dan sudah termasuk aman karena nilai SF > 1,3.
3. Jenis *Corrugated Concrete Sheet Pile* yang dipakai tipe W-325 dengan panjang 8-15 m. Berdasarkan nilai SF yang didapat, *Corrugated Concrete Sheet Pile* tipe W325 sudah sangat cukup untuk menahan beban seperti beban timbunan, kendaraan, dan beban gempa.
4. Nilai SF pada perkuatan menggunakan *Corrugated Concrete Sheet Pile* adalah 3,076 dan sudah sangat aman karena jauh diatas ambang batas (SF > 1,5).

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis adalah sebagai berikut

1. Berdasarkan perkuatan yang dilakukan menggunakan program PLAXIS, program lain seperti geoscope dan jenis perkuatan lain seperti Dinding Penahan Tanah dan geotextile, juga dapat dijadikan alternatif analisis.
2. Mengembangkan penelitian dengan momodifikasi jenis tanah, jenis perkuatan dan program yang digunakan.
3. Menambahkan faktor lain seperti RAB dan juga efisiensi pelaksanaan dilapangan, agar tidak terjadinya kesalahan dalam pemilihan jenis perkuatan pada tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Anggraini, M., Haris, V.T. and Saleh, A. 2024. Penentuan Klasifikasi Tanah Metode Unified Soil Classification System (USCS), *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin* (JURKIM, 4(2), pp. 86–91.

Astuti, S.W. and Prativi, A. 2018, Kestabilan *Dinding Penahan Tanah* Jenis *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* Jembatan BH 1751 Lok Ulo, *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, III, pp. 40–44.

Atibrata, A.L. 2020. Perencanaan *Dinding Penahan Tanah Jenis Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* Pada Pekerjaan Galian, Fakultas Teknik Muhammadiyah Surakarta.

Fitri, S.N. and Diputra, M.W. 2023. Slope Reinforcement Design for Balikpapan-Samarinda Toll Road Landslide Section 28+000 To 28+100.', *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 25(2), *pp. 180–189. Available at: h ttps://doi.org/10.15294/jtsp.v25i2.46383.*

Gazali, A. and Fathurrahman. 2018. Analisis Desain Penanggulangan Longsoran Pada Ruas Jalan Kusuma Bangsa Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur, Media Ilmiah Teknik Sipil, 6(2), pp. 85–93.

Hardiyatmo, C. H. 2019. Mekanika Tanah 1. Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. 2010. Mekanika Tanah 1 (Edisi-5). Gadjah Mada University Press.

Jumadi, K., Prasetyo, A. D., & Wibowo, R. A. 2024. Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* Dengan Software Plaxis 2d V22 (Studi Kasus: Ruas Jalan Sekitar Gerbang Tol Sentul Selatan) (*Landfill Stability Analysis Using Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) with Plaxi*, *Jurnal Infrastruktur*, 10(1), pp. 25–34.

Pemerintah Kabupaten Boyolali, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang. 2021. Peta jaringan jalan Kabupaten Boyolali: Pekerjaan pembangunan jalan Tretes–Kauman [Peta]. Boyolali: Dinas Pekerjaan Umum dan

Penataan Ruang Kabupaten Boyolali.

Kawengian, S., Balamba, S. and Sarajar, A.N. 2018. Analisis Daya Dukung Lateral pada Tiang Pancang Kelompok di Dermaga Belang, *Jurnal Sipil Statik*, 6(9), pp. 683–692.

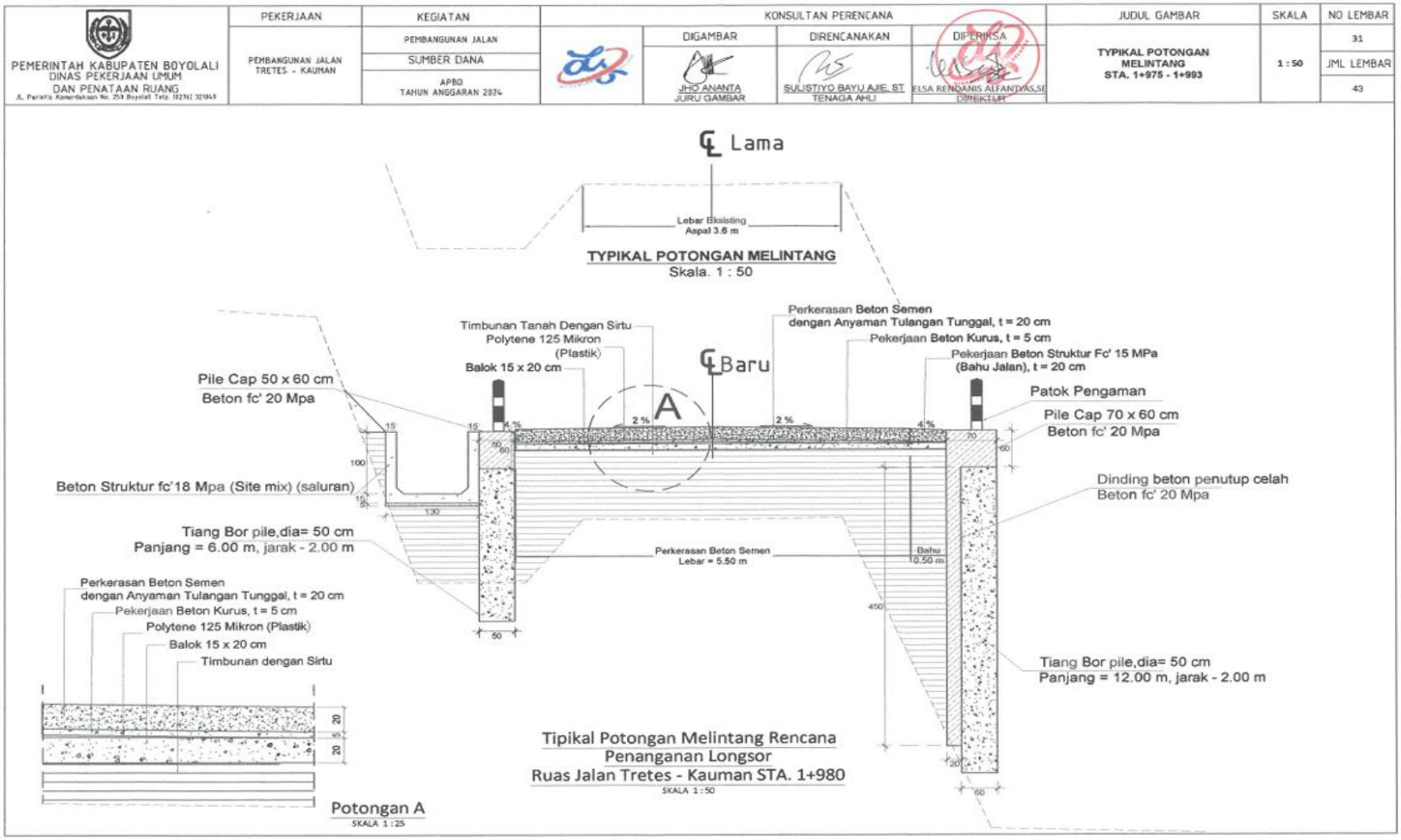
Pamungkas, M.T.Y. 2021. Analisis Stabilitas *Dinding Penahan Tanah Kantilever* Dan Pondasi *Bored Pile M*enggunakan Program Plaxis 8.6 Pada Jembatan Kiringan Sungai Opak.

Rahmadini, R. and Tirtakhalisha, T.D. 2022. Analisis Stabilitas Tanah Lereng Dengan Perkuatan *Sheet Pile* Menggunakan *Plaxis V.8* Dan *Metode Fellenius* (Studi Kasus : Gedung Gandhi Memorial Intercontinental School, Semarang, Jawa Tengah). Universitas Islam Sultan Agung.

Sahara, R.E., Wahyudi, H. and Arif, M. 2017. Perencanaan Perkuatan Timbunan dan Lereng Jalur Kereta Api Daerah Operasi IX Jember Pada STA. Sempolan KM. 12+600 – 12+700 & KM. 14+300 – 14+800, STA. Kalibaru KM. 32+000 – 32+100, dan STA. Garahan KM. 24+800 – 25+400 Provinsi Jawa Timur. Available at: http://repository.its.ac.id/46329/.

Shafira, Totok, 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 Volume 4, Nomor 1, Oktober 2020 Web*, 4, pp. 1–12.

Zulham, A., Ain, M.I.M. and Soeparlan, A.A. 2020. Analisa Kapasitas Dukung *Tiang Bor* Menggunakan Perhitungan Manual Diverifikasi Dengan *PDA (PileDriving Analyzer)* Pada Proyek *Overpass* Km 13 Jalan Tol Balikpapan-Samarinda, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Balikpapan Abstrak.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Tipikal Potongan Melintang STA 1+975 – 1+993