TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN PERKUATAN TANAH DENGAN TIANG BOR DAN DINDING PENAHAN TANAH TIPE KANTILEVER PADA PEKERJAAN PEMBANGUNAN JALAN TRETES-KAUMAN KABUPATEN BOYOLALI

(COMPARATIVE ANALYSIS OF SOIL REINFORCEMENT USING BORED PILES AND CANTILEVER RETAINING WALL IN THE CONSTRUCTION OF THE TRETES-KAUMAN ROAD, BOYOLALI REGENCY)

Naufally Andrew Safalah

19511251

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN PERKUATAN TANAH DENGAN TIANG BOR DAN DINDING PENAHAN TANAH TIPE KANTILEVER PADA PEKERJAAN PEMBANGUNAN JALAN TRETES-KAUMAN KABUPATEN BOYOLALI

(COMPARATIVE ANALYSIS OF SOIL REINFORCEMENT USING BORED PILES AND CANTILEVER RETAINING WALL IN THE CONSTRUCTION OF THE TRETES-KAUMAN ROAD, BOYOLALI REGENCY)

Disusun oleh:

Naufally Andrew Safalah
19511251

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

Diuji pada tanggal 11 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.**
1511305	**NIK:045110407**	**NIK:165111301**

Mengesahkan
Ketua Program Studi Teknik Sipil

19/12 2025

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Tenik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah diluiskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan 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, 10 Desember 2025

Yang membuat pernyataan,

Naufally Andrew Safalah

(19511251)

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulisan tugas akhir ini dengan judul "Analisis Perbandingan Perkuatan Tanah dengan Tiang Bor dan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever" dapat diselesaikan. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penelitian ini tidak akan terealisasi tanpa bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas nasehat dan bimbingannya yang sudah diberikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir maupun selama perkuliahan.
2. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku dosen penguji I yang memberikan saran serta masukan terhadap penulis.
3. Ibu Astriana Hardawati S.T., M.Eng. selaku dosen penguji II.
4. Ibu Ir. Yunalia, S.T., M.T., Ph.d (Eng)., IPM. Selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. CV. Prisma Soenoe dan pihak yang terkait karena telah menyediakan data investigasi tanah serta dokumen proyek.
6. Orang tua tercinta bapak Rina Edy dan ibu Dyah Harjanti yang senantiasa memberikan doa serta semangat agar penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
7. Teman-teman sebaya dan teman kos yang banyak memberi semangat dan motivasi agar selesai lama, bercanda tapi membekas buat penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

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, 10 Desember 2025

Penulis,

Naufally Andrew Safalah

19511251

DAFTAR ISI

Halaman Judul		i
Halaman Pengesahan		**Error! Bookmark not defined.**
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI		**Error! Bookmark not defined.**
KATA PENGANTAR		iv
DAFTAR ISI		vi
DAFTAR TABEL		ix
DAFTAR GAMBAR		x
DAFTAR LAMPIRAN		xiii
DAFTAR NOTASI		xiv
ABSTRAK		xvi
ABSTRACT		xvii
BAB I PENDAHULUAN		1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	2
1.3	Tujuan Penelitian	3
1.4	Manfaat Penelitian	3
1.5	Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA		5
2.1	Umum	5
2.2	Perkuatan Tanah dengan *Bored Pile*	5
2.3	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Bored Pile*	6
2.4	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Dinding Penahan Tanah	7

2.5 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang 9
BAB III LANDASAN TEORI 13
3.1 Tanah 13
3.1.1 Propertis Tanah 14
3.1.2 Klasifikasi Tanah 19
3.1.3 Kuat Geser Tanah 22
3.2 *Bored Pile* 24
3.2.1 Perhitungan Beban-beban yang Bekerja Pada *Bored Pile* 24
3.2.2 Kontrol *Bored Pile* Terhadap Daya Dukung Tanah 24
3.3 Dinding Penahan Tanah 26
3.3.1 Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever 26
3.3.2 Tekanan Tanah Lateral 27
3.3.3 Pengaruh Beban di atas Tanah Urug 31
3.3.4 Stabilitas Dinding Penahan Tanah 33
3.4 PLAXIS 36
BAB IV METODE PENELITIAN 38
4.1 Objek Penelitian 38
4.2 Lokasi Penelitian 38
4.3 Potongan Melintang 39
4.4 Tahapan Penelitian 42
4.5 Data Tanah 43
4.6 Bagan Alir 43
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 46
5.1 Data Parameter Beban 46

5.2 Analisis Lereng Asli 47

5.2.1 Analisis Dinding Penahan Tanah Kantilever Menggunakan Perhitungan Manual 47

5.2.2 Analisis Dinding Penahan Tanah *Bored Pile* Menggunakan Perhitungan Manual 55

5.3 Analisis Lereng Menggunakan *PLAXIS 2d* 59

5.3.1 Analisis DPT kantilever dengan program *PLAXIS* 59

5.3.2 Analisis *bored pile* dengan program *PLAXIS* 66

5.4 Pembahasan 72

BAB VI KESIMPULAN 74

6.1 Kesimpulan 74

6.2 Saran 74

DAFTAR PUSTAKA 76

LAMPIRAN 78

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Perbandingan Penelitian Dahulu dan Sekarang	10
Tabel 3. 1	Derajat Kejenuhan	16
Tabel 3. 2	Kisaran Nilai Permeabilitas Tanah	17
Tabel 3. 3	Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	17
Tabel 3. 4	Berat Jenis Tanah	18
Tabel 3. 5	Nilai Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio	18
Tabel 3. 6	Faktor-faktor Kapasitas Dukung Vesic (1973)	34
Tabel 3. 7	Hubungan Nilai Faktor	35
Tabel 4. 1	Tabel Uji N-SPT	43
Tabel 5. 1	Data Beban Lalu Lintas	46
Tabel 5. 2	Momen yang Menahan Penggulingan	53
Tabel 5. 3	Tabel Momen yang Mengakibatkan Penggulingan	53
Tabel 5. 4	Rekapitulasi Perhitungan Momen	57
Tabel 5. 5	Parameter Tanah ke PLAXIS	59
Tabel 5. 6	Rekapitulasi Perhitungan Dengan PLAXIS 2D	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Fase Tanah 14

Gambar 3. 2 Diagram N-SPT 20

Gambar 3. 3 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO 21

Gambar 3. 4 Klasifikasi Tanah Sistem USCS 22

Gambar 3. 5 Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever 27

Gambar 3. 6 Tanah Lateral Saat Diam 28

Gambar 3. 7 Tekanan Tanah Lateral Aktif 30

Gambar 3. 8 Tekanan Tanah Lateral Pasif 31

Gambar 3. 9 Tekanan Tanah Akibat Beban Terbagi Rata 32

Gambar 4. 1 Lokasi Perkerasan Jalan Tretes-Kauman Kabupaten Boyolali 38

Gambar 4. 2 Potongan Memanjang Perkerasan Jalan Teretes-Kauman 39

Gambar 4. 3 Potongan Memanjang Pekerjaan DPT STA 1+965 – 1+996 39

Gambar 4. 4 Potongan Melintang STA 1+980 – 1+990 40

Gambar 4. 5 Gambar Tipikal Potongan Melintang Rencana Penanganan Longsor STA 1+980 41

Gambar 4. 6 Bagan Alir Tugas Akhir 44

Gambar 4. 7 Bagan Alir PLAXIS 45

Gambar 5. 1 Gambar Potongan Melintang Kantilever 47

Gambar 5. 2 Gambar Dimensi DPT Kantilever 48

Gambar 5. 3 Pemodelan Dimensi Kantilever Pada Autocad 49

Gambar 5. 4 Diagram Tanah Lateral Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Autocad 52

Gambar 5. 5 Beban yang Bekerja Pada Dinding dan Tanah 53

Gambar 5. 6 Pemodelan Bidang Momen yang Mengakibatkan Penggulingan Pada Autocad 54

Gambar 5. 7 Pemodelan Tanah lateral Bored Pile pada Autocad 57

Gambar 5. 8 Pemodelan Potongan Melintang Dinding penahan Tanah Kantilever Pada PLAXIS 60

Gambar 5. 9 Jaringan-Jaringan Dinding Penahan Tanah Kantilever 61

Gambar 5. 10 Perhitugan Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Program PLAXIS 62

Gambar 5. 11 Total Displacement Dinding Penahan Tanah Kantilever Tanpa Beban Tambahan 63

Gambar 5. 12 Total Displacement Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan Beban Timbunan 63

Gambar 5. 13 Total Displacement Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan Beban Kendaraan 64

Gambar 5. 14 Total Displacement Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan Beban Gempa 64

Gambar 5. 15 Nilai SF Pada Lereng Dengan Dinding Penahan Tanah Kantilever 65

Gambar 5. 16 Nilai SF Pada Lereng Dengan Timbunan 65

Gambar 5. 17 Nilai SF Pada Lereng Dengan Beban Kendaraan 65

Gambar 5. 18 Nilai SF Pada Lereng Dengan Beban Gempa 66

Gambar 5. 19 Pemodelan Lereng Dengan Bored Pile 66

Gambar 5. 20 Jaringan-Jaringan Pada Bored Pile 67

Gambar 5. 21 Perhitugan Dengan Bored Pile Pada Program PLAXIS 68

Gambar 5. 22 Total Displacement Bored Pile Tanpa Beban 69

Gambar 5. 23 Total Displacement Bored Pile Dengan Beban Timbunan 69
Gambar 5. 24 Total Displacement Bore Pile Dengan Beban Kendaraan 70
Gambar 5. 25 Total Displacement Bored Pile Dengan Beban Gempa 70
Gambar 5. 26 Nilai SF Dengan Beban Gempa 71
Gambar 5. 27 Nilai SF Dengan Bored Pile 71
Gambar 5. 28 Nilai SF Dengan Timbunan 71
Gambar 5. 29 Nilai SF Dengan Beban Kendaraan 72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Potongan Melintang Ruas Jalan STA 1+980 79

Lampiran 2 Permodelan Bored Pile pada Autocad **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR NOTASI

γ_{sat} = Berat volume tanah jenuh (kN/m³)

S = Derajat kejenuhan (%)

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

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

$\sum M_o$ = total momen (kNm)

SF = Safety Factor

kPa = kilo Pascal

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

φ = sudut geser dalam (^{o})

EA = kekakuan axial (kN)

EI = kekauan lentur (kPa)

H = Kedalaman atau tinggi dinding/lereng (m)

B = Lebar fondasi atau tumit dinding (m)

D = Tebal dinding atau diameter tiang tergantung konteks (m)

τ = kuat geser tanah (kPa)

σ = tegangan total (kPa)

u = tekanan pori-pori (kPa)

W = berat total (kN)

W_w = berat air (kN)

W_s = berat butiran padat (kN)

V = volume total (m^3)

V_w = volume air (m^3)

V_s = volume butiran padat (m^3)

V_a = volume udara (m^3)

V_v = volume rongga (m^3)

P_a = tekanan tanah aktif total (kN/m)

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

K_p = koefisien tekanan tanah pasif

c = kohesi (kPa)

ABSTRAK

Pembangunan ruas Jalan Tretes-Banyusri Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah di STA.1+980 membutuhkan pekerjaan perkuatan tanah untuk mencapai *finish grade* kurang lebih 12 meter tanah timbunan. Secara geoteknik, dari pengujian SPT, tanah yang ada di permukaan berupa tanah lempung, batuan pasir, butiran pasir, dan pada kedalaman lebih dari 16 meter tanah berupa lempung. Pada lokasi ini digunakan *bored pile* sebagai perkuatan utama.

Untuk melakukan evaluasi keamanan struktur, dilakukan analisis menggunakan dua metode, yaitu perhitungan manual dan pemodelan numerik dengan perangkat lunak PLAXIS. Perkuatan lereng timbunan harus memiliki kemampuan untuk menanggung beban yang berasal dari tanah serta beban eksternal. Perkuatan menggunakan dinding penahan tanah kantilever juga dianalisis sebagai alternatif perkuatan.

Hasil analisis menggunakan PLAXIS pada lereng yang diperkuat *bored pile* menunjukkan nilai faktor keamanan berkisar antara 1,542 hingga 2,138. Pada perhitungan manual menghasilkan dimensi dinding penahan tanah tipe kantilever, yaitu tinggi dinding 6,64 meter, lebar tumit 3,32 meter, dan tebal dinding 0,604 meter. Hasil analisis stabilitas menunjukkan bahwa struktur tersebut aman terhadap risiko guling (F_{gl} = 4,59) dan geser (F_{gs} = 2,076). Secara keseluruhan, hasil kedua metode tersebut mengindikasikan bahwa sistem perkuatan *bored pile* dan dinding penahan tanah kantilever pada lokasi studi memiliki stabilitas yang memadai.

Kata kunci : stabilitas lereng, *bored pile,* dinding penahan tanah, PLAXIS

ABSTRACT

The construction of the Tretes–Banyusri Road Section in Boyolali Regency, Central Java, particularly at STA 1+980, requires soil reinforcement works to achieve the finish grade, involving approximately 12 meters of embankment fill. In general, based on the SPT, the subsurface conditions consist of clay, sandstone, sand, and clay layers at depths greater than 16 meters. At this location, bored piles were used as the primary reinforcement system.

To evaluate the structural safety, two methods were employed, manual calculations and numerical modeling using the PLAXIS software. The embankment reinforcement must be capable of carrying both soil loads and external loads. A cantilever retaining wall was also analyzed as an alternative reinforcement option.

The PLAXIS analysis of the slope reinforced with bored piles shows factors of safety ranging from 1.542 to 2.138. Manual calculations yield the dimensions of a cantilever retaining wall with a height of 6.64 meters, a heel width of 3.32 meters, and a wall thickness of 0.604 meters. The stability analysis indicates that the structure is safe against overturning (F_{gl} = 4.59) and sliding (F_{gs} = 2.076). Overall, the results of both approaches indicate that the bored pile system and the cantilever retaining wall at the study location possess adequate stability.

Keywords : *slope stability, bored pile, retaining wall, PLAXIS*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah ialah lapisan teratas bumi. Menurut Dokuchaev (1870), Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut karena perubahan alami di bawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Menurut Das (1995), dalam pengertian Teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organic yang telah melapuk yang berpartikel padat disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah yang digunakan untuk konstruksi perlu memenuhi berbagai syarat, baik dari sisi non-teknis maupun teknis, seperti aspek kualitas, kekuatan, dan juga pertimbangan ekonomis. Selain itu, tanah tersebut harus memiliki kapasitas dukung yang memadai agar bisa menjamin stabilitas bangunan, memastikan kelayakannya secara keseluruhan, serta memperpanjang umur konstruksi.

Perkuatan tanah pada badan jalan merupakan elemen yang penting dalam desain dan konstruksi jalan. Stabilitas lereng sangat krusial untuk memastikan keamanan dan keberlanjutan struktur jalan. Kestabilan lereng yang tidak memadai dapat mengakibatkan pergeseran tanah, longsoran, dan kerusakan struktural yang berpotensi membahayakan pengguna jalan dan memerlukan biaya perbaikan yang tinggi. Dalam perancangan jalan, terutama pada daerah dengan kontur tanah yang kompleks atau kondisi geoteknik yang tidak stabil, analisis yang akurat terhadap stabilitas lereng menjadi sangat penting.

Pembangunan jalan ruas jalan Teretes – Banyusri Kabupaten Boyolali yang berlokasi di Boyolali, Jawa Tengah. Tempat Lokasi yang ditinjau yaitu pada

pekerjaan ruas jalan Teretes – Kauman STA. 1 + 980. Pada daerah jalan untuk mencapai *finish grade* permukaan jalan perlu dilakukan perkuatan tanah yang cukup tinggi kurang lebih 12 meter dari permukaan tanah asli setempat. Perkuatan tanah tersebut dimaksudkan untuk memberi kekuatan tanah dalam menjaga kestabilan badan jalan sesuai dengan rencana desain. Di samping itu, secara geoteknik tanah yang ada di daerah tersebut berdasarkan hasil pengamatan boring sebagai berikut: pada kedalaman ±0,00 m s/d -4,00 tanah berupa lempung, pada kedalaman ± -4,00 m s/d -8,00 m tanah berupa batuan pasir,pada kedalaman ± -8,00 m s/d -16,00 m berupa batuan pasir, dan pada kedalaman ± -16,50 m s/d -20,00 m berupa lempung.

Adanya pekerjaan perkuatan tanah membentuk suatu lereng baru sehingga perlu di analisis kestabilan lereng tersebut. Ada berbagai cara untuk menganalisis kestabilan lereng salah satunya menggunakan *software* geoteknik yang berbasis pada analisis metode elemen hingga yaitu PLAXIS. Analisis pada PLAXIS menghasilkan angka keamanan lereng yang menunjukkan kondisi kestabilan lereng.

Pada Pembangunan jalan ruas jalan Teretes – Banyusri Kabupaten Boyolali yang berlokasi di Boyolali, Jawa Tengah khususnya pada pekerjaan ruas jalan Teretes – Kauman STA. 1 + 980 menggunakan perkuatan tanah *bored pile*. Dalam mengoptimalkan fungsinya, maka struktur *bbored pile* harus memiliki kemampuan untuk menanggung beban yang berasal dari tanah serta beban eksternal. Dalam mengetahui faktor keamanan ruas jalan tersebut, peneliti akan memanfaatkan program PLAXIS dengan *bored pile* dan dinding penahan tanah kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan perhitungan manual. Model struktur disesuaikan dengan kondisi nyata di lokasi lapangan agar diperoleh analisis yang ideal.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana kondisi tanah lapangan di jalan Tretes – Kauman Kabupaten Boyolali STA 1+980 berdasarkan nilai SPT?

2. Bagaimana angka keamanan lereng jalan Tretes – Kauman STA 1+980 pada kondisi dengan timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa menggunakan perkuatan *bored pile*?
3. Berapa dimensi yang dibutuhkan pada perkuatan alternatif dinding penahan tanah kantilever pada ruas jalan Tretes – Kauman STA 1+980?
4. Bagaimana angka keamanan lereng jalan Tretes – Kauman STA 1+980 pada kondisi dengan timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa menggunakan perkuatan dinding penahan tanah kantilever?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui kondisi tanah yang berada pada jalan Tretes – Kauman STA 1+980 berdasarkan nilai SPT.
2. Untuk mengetahui angka keamanan lereng jalan Tretes – Kauman STA 1+980 pada kondisi dengan timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa menggunakan perkuatan *bored pile*.
3. Untuk mengetahui dimensi yang dibutuhkan pada perkuatan alternatif dinding penahan tanah kantilever pada ruas jalan Tretes – Kauman STA 1+980.
4. Untuk mengetahui angka keamanan lereng jalan Tretes – Kauman STA 1+980 pada kondisi dengan timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa menggunakan perkuatan dinding penahan tanah kantilever.

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 dinding penahan tanah kantilever.

3. Dapat memberikan gambaran cara menganalisis perkuatan tanah dengan menggunakan *software* PLAXIS 2D.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian harus mempunyai tujuan yang jelas, agar penelitian focus tidak menyimpang dari topik pembahasan. Adapun batasan – batasan penelitian adalah sebagai berikut ini :

1. Beban lalu lintas sesuai peraturan SNI 840 – 2017 Geoteknik (DPU, 2001).
2. Stabilitas lereng yang ditinjau hanya bagian STA 1 + 980.
3. Program PLAXIS yang digunakan adalah versi 21.
4. Faktor gempa yang diperhitungkan adalah faktor gempa yang berada di lokasi proyek Pembangunan jalan ruas jalan Teretes – Banyusri Kabupaten Boyolali yang berlokasi di Boyolali, Jawa Tengah.
5. Data tanah asli yang digunakan adalah laporan penyelidikan tanah "Perancangan DED Penanganan Longsor Desa Gondanglegi Ruas Jalan Tretes – Banyusri Kabupaten Boyolali".
6. Data tanah yang digunakan berdasarkan nilai SPT.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Menurut Hardiyatmo (2012), perkuatan tanah merupakan suatu usaha yang dilakukan untuk tujuan meningkatkan kualitas karakteristik tanah yang fokus utamanya adalah meningkatkan parameter kuat geser tanah. Parameter geser tanah ini berfungsi untuk mendukung sebuah bangunan struktur sehingga mampu menahan beban yang bekerja dan beban sendiri dari suatu struktur dengan deformasi yang diijinkan. Secara umum, tujuan dari perkuatan tanah adalah sebagai berikut.

1. Menaikkan daya dukung dan kuat geser.
2. Menaikkan modulus.
3. Mengurangi *kompresibilitas.*
4. Mengontrol stabilitas volume dalam mengembang dan menyusut.
5. Mengurangi kerentanan terhadap *likuifaksi.*
6. Memperbaiki material untuk bahan konstruksi.
7. Memperkecil pengaruh lingkungan.

Untuk meningkatkan kualitas tanah melalui teknik penguatan tanah, ada berbagai pendekatan yang bisa diterapkan, seperti pemanfaatan dinding penahan tanah dan *bored pile.* Dengan menggunakan salah satu metode ini diharapkan dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan beban struktur dan beban luar. Salah satu bentuk dari perkuatan tanah tersebut yaitu perbaikan lereng.

2.2 Perkuatan Tanah dengan *Bored Pile*

Dinding penahan tanah merupakan salah satu bentuk perkuatan tanah yang sering digunakan dalam rekayasa Teknik Sipil. Dinding penahan merupakan dinding yang digunakan untuk menahan beban tanah secara vertikal ataupun

terhadap kemiringan tertentu yang berfungsi untuk memberikan stabilitas tanah atau bahan lain yang kondisi massa bahannya tidak memiliki kemiringan alami, dan juga digunakan untuk menahan atau menopang timbunan tanah.

Bored Pile merupakan sebuah tiang yang dipasang di dalam tanah dengan cara melubangi tanah terlebih dahulu kemudian diisi dengan tulangan dan di cor dengan campuran beton (Hardiyatmo, 2020). Tiang bor merupakan salah satu jenis perkuatan tanah pada lereng yang berfungsi untuk menstabilkan lereng yaitu dengan menahan tekanan tanah lateral agar tidak terjadi longsor.

2.3 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Bored Pile*

Nurtanti (2019) berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng asli akan diperkuat dengan menggunakan dinding penahan tanah beton bertulang dan turap baja. Hasil analisis didapatkan bahwa stabilitas lereng tanah asli tidak aman. Analisis dengan menggunakan PLAXIS didapatkan (SF tanpa gempa= 1.1049, SF dengan gempa = 1.0932) sedangkan analisis dengan manual Fellenius didapatkan (SF = 0.8613). Hasil angka aman untuk lereng yang diperkuat dengan dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever dengan PLAXIS didapatkan (SF tanpa gempa = 1.8716, SF dengan gempa = 1.2730) sedangkan analisis manual didapatkan (SF Geser = 3.1527, SF guling = 3.7738, SF daya dukung = 3.2651, q_{maks} = 299.281250 kN/m^2 , q_{min} =132.498531 kN/m^2). Berdasarkan hasil analisis didapatkan kesimpulan bahwa dengan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever memenuhi untuk angka aman.

Sundary (2017) berdasarkan hasil analisis stabilitas bendungan sebelum diperkuat pada STA 0+500, STA 0+560, dan STA 0+600 diperoleh factor keamanan di atas 1,5. Hal ini juga terjadi pada analisis rembesan baik pada kondisi *steady state* maupun *rapid drawdown*. Sedangkan stabilitas akibat pengaruh beban gempa *pseudostatic* dengan periode ulang 114 tahun, faktor keamanan diperoleh di atas 1,2 dimana analisis rembesan juga menghasilkan faktor keamanan di atas 1,2. Mekanisme keruntuhan yang terjadi pada ketiga STA tersebut merupakan jenis rotasi. Dengan demikian bendungan aman terhadap bahaya kelongsoran.

Mina (2017) menguji analisis stabilitas dinding penahan tanah jenis Soldier Pile pada Proyek Pembangunan Apartemen Paragon Square menggunakan konsep tekanan tanah aktif Rankine. Stabilitas dinding diuji terhadap momen guling, gaya geser dan daya dukung tanah di bawahnya. Sedangkan, untuk bahan komparasi hasil analisa manual dibandingkan dengan hasil luaran program PLAXIS. Berdasarkan hasil analisis kestabilan diperoleh nilai faktor keamanan stabilitas dinding terhadap guling, geser dan daya dukung berturut-turut adalah 1,714, 2,147 dan 3,742. Sedangkan, hasil analisa menggunakan software PLAXIS didapat nilai faktor 11 keamanan sebesar 1,858. Dinding penahan menggunakan soldier pile dengan diameter 0,8 m dan tinggi 15 m pada pembangunan basement Proyek Apartemen Paragon ditinjau dari nilai faktor keamanan yang dihasilkan ternyata melebihi nilai faktor keamanan yang disyaratkan (=1.5) hal tersebut menunjukkan bahwa soldier pile memiliki daya tahan yang cukup aman.

Harison dkk (2013) dalam penelitiannya menggunakan metode fellenius untukmenganalisis titik kelongsoran pada kondisi awal dengan angka keamanan sebesar 0,98. Sedangkan menggunakan program *PLAXIS* v 8.2 dengan dinding penahan tanah diperoleh angka keamanan sebesar 1,302 dan perkuatan dinding penahan tanah serta *bored pile* diperoleh angka keamanan sebesar 1,363. Kelongsoran tersebut terjadi karena dasar sungai yang dangkal sehingga padasaat banjir muka air banjir hampir sejajar dengan tanggul, hal ini menyebabkandaya dukung di tanggul melemah akibat terendam air

2.4 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Dinding Penahan Tanah

Dermawan, dkk. (2022) melakukann penelitiannya untuk beban yang bekerja pada dinding penahan tanah eksisting akibat tekanan tanah aktif beban merata di atas tanah (Pa1) 6,3476 kNm, akibat tanah di belakang dinding (Pa2) 41,4871 kNm, dan akibat muka air tanah di belakang dinding (Pa3) 4,7381 kNm. Rencana desain dinding penahan tanah setinggi (H) = 4,3 m, lebar atas (ba) = 0,4 m, lebar bawah (bb) = 3,5 m, tebal kaki tumit (D) = 0,8 m, dan lebar plat dinding penahan tanah (D) = 0,8 m. Setelah dilakukan perhitungan stabilitas diperoleh

stabilitas dinding penahan tanah terhadap guling fs menjadi 1,55 >1,5 (aman) dan stabilitas terhadap geser fs menjadi 2,51 > 1,5 (aman). Untuk tegangan tanah di bawah dinding q toe 31,3953 kN/m2 < Qall 2501,3841 kN/m2 (aman) untuk tegangan q hell 1,43 kN/m² > 0 (lebih dari 0, hasil aman). Berdasarkan hasil dari analisis dapat disimpulkan bahwa rencana desain dinding penahan tanah aman untuk digunakan.

Kurniawan (2019) dalam penelitiannya melakukan melakukan analisis stabilitas lereng menggunakan program PLAXIS 8.6 untuk menentukan faktor keamanan lereng sebelum dan sesudah penerapan dinding penahan kantilever dan sheet pile baja. Lokasi yang diteliti berada di Jalan Tol Balikpapan - Samarinda Seksi V, tepatnya di Sta. 2+850 hingga 3+050, yang merupakan segmen dari Jalan Tol Trans Kalimantan Timur. Saat menghitung lereng dengan timbunan asli menggunakan PLAXIS 8.6, kami tidak dapat memperoleh nilai faktor keamanan, sehingga kami beralih ke perhitungan manual, yang menghasilkan angka 0,351. Karena nilai ini berada di bawah 1,25, lereng dianggap tidak stabil dan berisiko runtuh. Sebaliknya, untuk sheet pile baja yang dianalisis menggunakan PLAXIS 8.6, faktor keamanan pada kondisi massa konstruksi tanpa beban seismik mencapai 2,4031, sementara dengan beban seismik sedikit menurun menjadi 2,3535. Sedangkan untuk kondisi pasca-konstruksi, nilai tanpa beban seismik adalah 1,7522 dan dengan beban seismik 1,7359. Semua nilai berada diatas 1,25 sehingga lereng dapat dinyatakan aman dari keruntuhan.

Nurtanti (2019) dalam penelitiannya menganalisis stabilitas struktur dengan menghitung faktor keamanan lereng menggunakan software PLAXIS 8.6 serta perhitungan manual di lokasi Sta +100 di Sungai Pabelan. Lereng asli akan diperkuat menggunakan dinding penahan tanah beton bertulang dan turap baja. Hasil analisis menunjukkan bahwa stabilitas lereng tanah asli tidak memenuhi standar keamanan. Dengan PLAXIS, diperoleh faktor keamanan tanpa gempa sebesar 1.1049 dan dengan gempa 1.0932, sedangkan perhitungan manual Fellenius menghasilkan 0.8613. Untuk lereng yang diperkuat dengan dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever, PLAXIS memberikan faktor keamanan tanpa

gempa 1.8716 dan dengan gempa 1.2730, sementara analisis manual menunjukkan SF geser 3.1527, SF guling 3.7738, SF daya dukung 3.2651, dengan q maksimal 299.281250 kN/m² dan q minimal 132.498531 kN/m². Adapun untuk turap baja, PLAXIS menghasilkan SF tanpa gempa 1.5734 dan dengan gempa 1.3067, sedangkan manual Fellenius memberikan 1.6953.

Iswan dkk (2019) melakukan penelitian mengenai analisa kegagalan struktur lereng tanah pada jalur ganda Kereta Api Martapura-Baturaja. Pengaruh hujan deras yang mengguyur sebagian besar pada wilayah Martapura-Baturaja mengakibatkan kelongsoran dan kemiringan sebagian jalur double track kereta api sepanjang 50 m yang memiliki kondisi geografis terdiri dari tanah timbunan yang cukup tinggi dan curam, sehingga rawan mengalami kelongsoran. Hasil analisis stabilitas lereng eksisting dengan analisis komputasi yaitu Geostudio Slop/w 2007 dengan menggunakan Metode Fellenius menunjukkan kondisi tidak stabil karena dari hasil analisa diperoleh variasi beban dan tiang pile dengan adanya jenis tanah dan kohesi serta sudut geser tanah yang kurang baik sehingga diperlukan adanya perkuatan pada lereng tersebut. Berdasarkan hasil uji laboratorium yang telah dilakukan dari sampel yang diambil dari lokasi, maka analisis stabilitas lereng eksisting dengan analisis komputasi menunjukkan kondisi tidak stabil karena dari hasil analisa nilai angka keamanan 1,731 untuk kondisi 1 dan 1,732 untuk kondisi 2, sehingga diperlukan adanya perkuatan pada lereng tersebut.

2.5 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbandingan penelitian terdahulu dengan yang terbaru bisa dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Dahulu dan Sekarang

Peneliti	Nurtanti	Mina dkk	Kurniawan	Iswan	Pamungkas	Safalah
Tahun	2019	2017	2019	2019	2021	2025
Judul penelitian	Analisis dilakukan dengan program PLAXIS 2D Versi 8.6 dan perhitungan secara manual menggunakan metode Fellenius.	Analisis Kelongsoran Galian Basement Menggunakan Dinding Penahan Soldier Pile dengan Software PLAXIS	Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dan Sheet Pile Baja pada Lereng Jalan Tol Samarinda-Balikpapan STA 2+850 – 3+050	Analisa Kegagalan Struktur Lereng Tanah Pada Jalur Ganda dengan Menggunakan Analisis Komputasi (Studi Kasus : Sta 208+00 Doeble Track Kereta Api Martapura-Baturaja)	Analisis perkuatan tanah dengan menggunakan dinding penahan tanah beton bertulang dan bored pile dengan PLAXIS pada sungai pabelan	Analisis Perbandingan Perkuatan Tanah Dengan Tiang Bor dan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever
Tujuan Penelitian	Untuk mengetahui angka aman lereng asli di Sungai Pabelan, Mungkid,Magelang, lereng diperkuat dengan menggunakan dinding penahan tanah beton tertulang, dan lereng diperkuat dengan menggunakan Steel Sheet Pile.	Untuk menguji kestabilan dinding penahan tanah pola kelongsoran yang terjadi pada pembangunan basement yang menggunakan soldier pile.	Untuk mengetahui angka aman pada lereng timbunan tanah asli, lereng timbunan menggunakan dinding penahan tanah jenis kantilever, dan lereng timbunan menggunakan sheet pile baja.	Untuk menganalisa kegagalan struktur lereng tanah pada jalur ganda Kereta Api Martapura-Baturaja.	Untuk mengetahui angka aman lereng asli di sungai Opal, Kiringan, Bantul, lereng diperkuat dengan menggunakan dinding penahan tanah beton bertulang dan diperkuat dengan menggunakan bored pile.	Untuk mengetahui angka keamanan pada Jalan Tretes-Kauman Kabupaten Boyolali.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Dahulu dan Sekarang

Peneliti	Nurtanti	Mina dkk	Kurniawan	Iswan	Pamnugkas	Safalah
Tahun	2019	2017	2019	2019	2021	2025
Metode Penelitian	Analisis dilakukan dengan program PLAXIS 2D Versi 8.6 dan perhitungan secara manual menggunakan metode Fellenius.	Analisa stabilitas dihitung manual dan perhitungan dari program PLAXIS v.8.2	Analisis dilakukan dengan program PLAXIS 2D Versi 8.6 dan perhitungan secara manual menggunakan metode Fellenius.	Analisa Kegagalan Struktur Lereng Tanah Pada Jalur Ganda dengan program Geostudio Slop/w 2007 dengan menggunakan metode Fellenius	Analisis dilakukan dengan program PLAXIS 2D Versi 8.6 dan perhitungan secara manual menggunakan metode Fellenius.	Analisis dilakukan dengan program PLAXIS dan perhitungan manual metode rankine.
Hasil Penelitian	Angka aman untuk lereng yang diperkuat dengan DPT beton bertulang tipe kantilever dengan PLAXIS (SF tanpa gempa = 1.8716, SF dengan gempa = 1.2730) Analisis manual didapatkan (SF Geser= 3.1527,SFguling= 3.7738, SF daya dukung = 3.2651, qmaks = 299.281250 kN/m^2 , qmin =132.498531 kN/m^2).	Berdasarkan hasil analisis kestabilan diperoleh nilai faktor keamanan stabilitas dinding terhadap guling, geser dan daya dukung berturut-turut adalah 1,714, 2,147 dan 3,742. Sedangkan, pile hasil analisa menggunakan software PLAXIS didapat nilai faktor keamanan sebesar 1,858.	Hasil perhitungan nilai angka aman pada lereng dengan timbunan asli Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta. 2+850 – 3+050 menggunakan perhitungan manual metode Fellenius sebesar 0,351. Nilai angka aman pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever kondisi masa konstruksi	Analisis komputasi menunjukkan kondisi tidak stabil karena dari hasil analisa nilai angka keamanan 1,731 untuk kondisi 1 dan 1,732 untuk kondisi 2, sehingga diperlukan adanya perkuatan pada lereng tersebut. Dari hasil analisis stabilitas lereng yang telah diperkuat dengan kombinasi.	Hasil perhitungan nilai angka aman pada lereng asli menggunakan program PLAXIS tidak didapatkan nilai angka aman, maka digunakan perhitungan manual yang didapat nilai angka aman sebesar 0,741. Sedangkan untuk perhitungan manual dengan ditinjau stabilitas eksternal didapatkan nilai angka aman pada kondisi asli	Hasil dari analisis nilai angka aman yang didapat terhadap kontrol penggulingan sebesar 3,563 dan kontrol terhadap pergeseran sebesar 3,225 dan untuk perhitungan dengan PLAXIS didapatkan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Dahulu dan Sekarang

Peneliti	Nurtanti	Mina dkk	Kurniawan	Iswan	Pamnugkas	Safalah
Tahun	2019	2017	2019	2019	2021	2025
Hasil Penelitian	PLAXIS didapatkan (SF tanpa gempa =1.5734, SF dengan gempa=1.3067) sedangkan analisis dengan manual fellenius didapatkan (SF =1.6953).7	15 m pada pembangunan basement Proyek Apartemen Paragon ditinjau dari nilai faktor keamanan yang dihasilkan ternyata melebihi nilai faktor keamanan yang disyaratkan (=1.5) hal tersebut menunjukkan bahwa soldier memiliki daya tahan yang cukup	dengan beban gempa sebesar 1,9022. Sedangkan nilai angka aman pada kondisi paska konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,5927 dan dengan beban gempa sebesar 1,5862. Nilai angka aman pada lereng dengan perkuatan sheet pile baja pada kondisi masa konstruksi tanpa beban gempa sebesar 2,469 dan dengan beban gempa sebesar 2,363 Sedangkan nilai angka aman pada kondisi paska konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,8022 dan dengan beban gempa sebesar 1,7964.	Dinding penahan tanah dan bor pile menggunakan analisis komputasi diperoleh nilai angka aman yang lebih besar dibandingkan dengan hanya diperkuat dengan dinding penahan tanah sebesar 3,987 untuk kondisi 1 dan 3,983 untuk kondisi 2, sehingga desain perkuatan tersebut aman dan mampu menahan kelongsoran.	Tanpa beban gempa nilai SF geser = 7,031, SF guling = 1,5 dan Qall= 252,062 kN.	Sebesar 1,606 untuk perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever dan 1,642 untuk perkuatan dengan bored pile.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

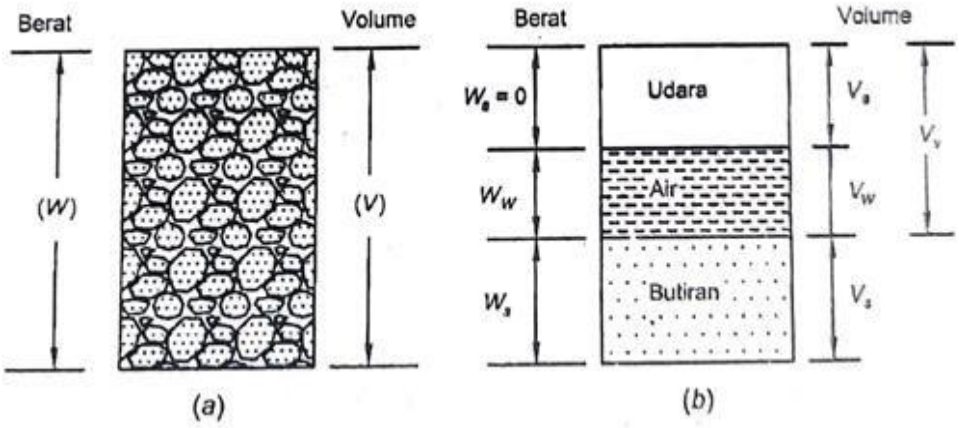
Tanah adalah campuran mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel dapat menyebabkan ikatan antara butiran yang relatif lemah. Ruang diantara partikel-partikel tersebut dapat berisi air, udara ataupun keduanaya.

Menurut Hardiyatmo (2018), proses pembentukan tanah berasal dari batuan induk yang mengalami proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik terjadi akibat beberapa hal seperti, pengikisan akibat erosi, angin, air, manusia ataupun akibat perubahan suhu atau cuaca, membuat batuan berubah menjadi partikel-partikel yang memiliki ukuran lebih kecil. Partikel-partikel tersebut dapat berbentuk bulat, runcing atau berbagai macam bentuk lainnya. Sedangkan proses pelapukan secara kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, ataupun proses kimia lainnya. Apabila hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual dan apabila tanah mengalami perpindahan tempat disebut tanah terangkut.

Untuk istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Namun, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Misalnya, lempung merupakan jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis berbeda dengan pasir dimana digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

3.1.1 Propertis Tanah

Gumpalan tanah pada dasarnya terdiri dari dua atau tiga komponen, yaitu butiran tanah, air dan udara. Tanah dalam kondisi kering hanya terdiri dari dua komponen yaitu butiran tanah dan pori-pori udara. Pada tanah dengan keadaan jenuh air juga terdapat dua komponen, yaitu butiran tanah dan air pori. Sedangkan dalam keadaan tidak jenuh tanah terdiri dari tiga komponen 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, 2018)

Berdasarkan Gambar 3.1 (a) diatas, yang menunjukkan bahwa elemen tanah mempunyai volume V dan berat total W, dan Gambar 3.1 (b) menunjukkan hubungan hubungan berat dengan volumenya. Dari gambar tersebut didapatkan Persamaan 3.1, 3.2, 3.3 sebagai berikut

$$W = Ws + Ww \quad (3.1)$$

$$V = Vs + Vw + Va \quad (3.2)$$

$$Vv = Vw + Va \quad (3.3)$$

Dengan :

W = berat total

Ww = berat air

Ws = berat butiran padat

V = volume total

Vw = volume air

Vs = volume butiran padat

Va = volume udara

Vv = 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.

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

   $$\gamma_d = \frac{Gs\,\gamma w}{1+e} \quad (3.4)$$

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.

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

   $$\gamma_b = \frac{Gs\,\gamma w\,(1+w)}{1+e} \quad (3.5)$$

3. Berat Volume Butiran Padat

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

   $$\gamma_s = \frac{Ws}{Vs} \quad (3.6)$$

4. Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air

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

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma w\ (\mathrm{Gs} + e)}{1+e} \quad (3.7)$$

5. Derajat Kejenuhan

Persamaan 3.8 berikut menunjukkan perbandingan antara volume air (*Vw*) dengan volume rongga pori tanah (*Vs*).

$$\mathrm{S}\ (\%) = \frac{\mathrm{Vw}}{\mathrm{Vs}} \times 100\% \quad (3.8)$$

Tabel 3.1 berikut menunjukkan nilai derajat kejenuhan berdasarkan keadaan tanah.

Tabel 3. 1 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, 2018)

6. Permeabilitas

Permeabilitas diartikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan terjadinya aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir melewati rongga pori. Pori-pori pada tanah saling terhubung, sehingga air dapat mengalir dari tekanan tinggi menuju tekanan yang lebih rendah. Pada tanah permeabilitas dapat diartikan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga-rongga pori tanah. Menurut Das (1983) dalam buku Mekanika Tanah 1 Hardiyatmo Edisi Ke Enam untuk kisaran nilai permeabilitas pada jenis-jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Kisaran 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}

7. Modulus Elastis

   Modulus elastisitas adalah nilai yang menunjukkan angka elastis tanah dari perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Untuk nilai-nilai modulus elastis dapat ditentukan dari jenis tanah seperti pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

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

(Sumber : Bowles, 1977)

8. Berat Jenis

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

$$Gs = \frac{\gamma s}{\gamma w} \quad (3.9)$$

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)

9. *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

Menurut Bowles (1989), klasifikasi tanah dibuat dengan tujuan untuk memberikan informasi karakteristik dan sifat-sifat tanah. Karena sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam sistem klasifikasi mengelompokkan tanah ke dalam kategori uang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisik. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan penguji untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya.

Nilai SPT merupakan jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk menembus tanah dengan tabung bor standar sejauh 300 mm pada interval Tengah dari setiap segmen 450 mm setelah dua segmen awal. Hasil pengukuran ini disebut N-SPT dan dipakai sebagai indicator ketahanan penetrasi tanah serta dapat dipakai untuk mnafsirkan sifat mekanik tanah di lapangan. Untuk diagram nilai N-SPT dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.

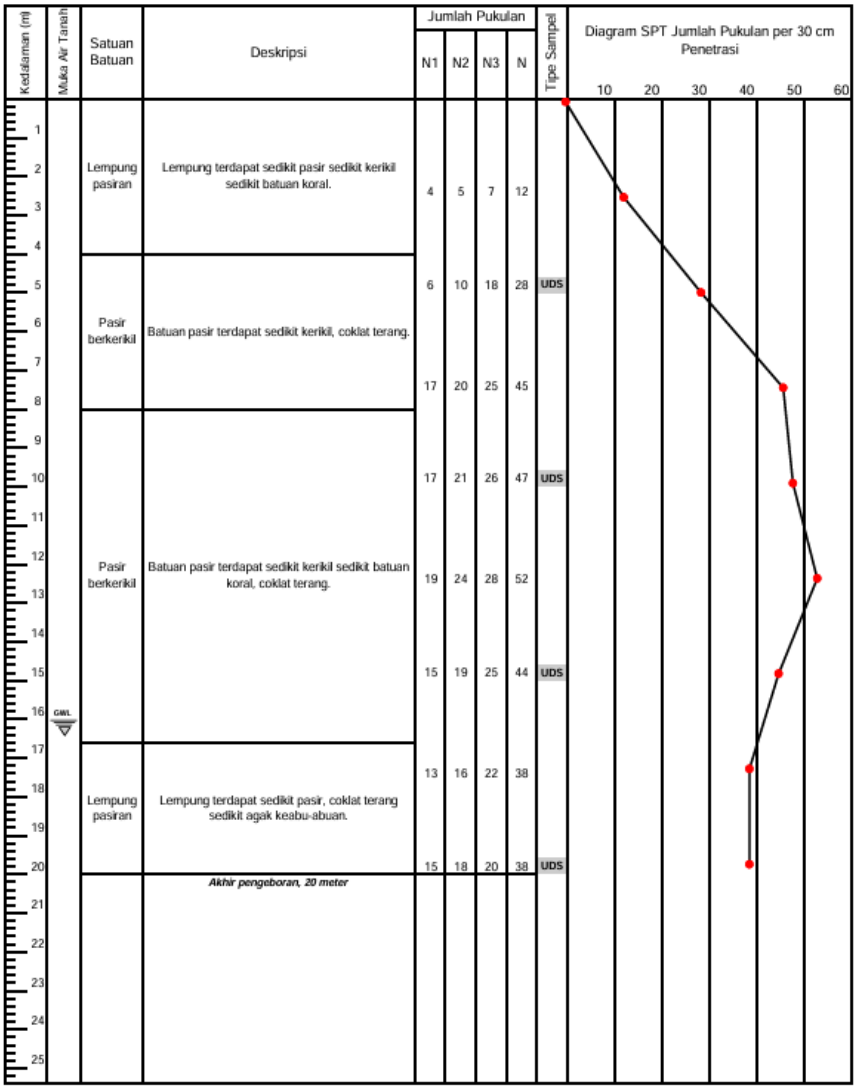
AASHTO (*American Association Of State Highway Transportation Officials*) dan USCS (*Unified Soil Classification System*) adalah dua klasifikasi yang paling umum digunakan. Indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan indeks plastis digunakan oleh sitem-sistem ini. Berdasarkan kedua sistem tersebut, tanah diklasifikasikan sebagai berikut.

1. Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO (*American Association Of State Highway Transportation Officials*)

Termasuk sub-sub kelompok sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah menjadi 7 kelompok dari A-1 sampai A-7. Tanah dalam setiap kelompok dievaluasi terhadap indeks kelompoknya, yang dihitung dengan rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah pengujian analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Detail sistem klasifikasi AASHTO dapat dilihat pada Gambar 3.3

UJI PENETRASI KONUS DENGAN SPT DI LAPANGAN

Proyek	:	DED Penanganan Longsor			
Lokasi	:	Desa Gondanglegi Ruas Jl. Tretes-Banyusri Kab. Boyolali			
Lobang Bor No.	:	BM.1	Kedalaman MAT	:	-16,00 m
Elevasi	:	-6,00 m	Tipe Hammer	:	Donut Hammer
Mulai dikerjakan	:	20 Oktober 2023	Dikerjakan oleh	:	Kamin, ST.
Selesai	:	21 Oktober 2023	Diperiksa oleh	:	Slamet Budirahardjo, ST., MT.



Gambar 3. 2 Diagram N-SPT

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau - lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5* A-7-6**
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	≤ 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40											
Batas Cair (LL)	---		---	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≤ 41	≤ 40	≥ 41
Indek Plastisitas (PI)	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai jelek			

Gambar 3. 3 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

2. Sistem Klasifikasi Tanah USCS (*Unified Soil Classification System*).

   Dalam sistem kalsifikasi USCS tanah diklasifikasikan dalam dua kategori yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Tanah dikategorikan berbutir jika tanah tersebut kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, contohnya seperti tanah jenis kerikil dan pasir. Sedangkan tanah dikategorikan berbutir halus jika tanah tersebut lebih dari 50% lolos saringan nomor 200, contohnya seperti tanah jenis lempung, lanau, lanau atau lempung organik, tanah gambut, dan tanah organik tinggi. Berikut adalah simbol-simbol yang digunakan dalam sistem USCS.

   G = Kerikil (*Gravel*)

   S = Pasir (*sand*)

   C = Lempung (*clay*)

   M = Lanau (*slit*)

   O = Lanau atau lempung organik (*organic slit or clay*)

   Pt = Tanah gambut dan organik tinggi (*peat and highly organic soil*)

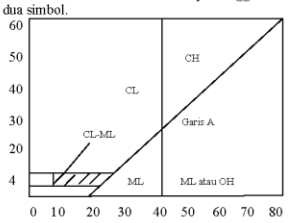
   W = Gradasi baik (*well-graded*)

   P = Gradasi buruk (*poor-graded*)

   H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

   L = plastisitas rendah (*low-plasticity*)

   Kemudian tanah dikelompokkan dalam sejumlah kelompok dan sub-kelompok yang dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut.

<table>
<tr><th colspan="3">Divisi Utama</th><th>Simbol</th><th>Nama Umum</th><th rowspan="2"></th><th>Kriteria Klasifikasi</th></tr>
<tr><td rowspan="8">Tanah berbutir kasar≥ 50% butiran tertahan saringan No. 200</td><td rowspan="4">Kerikil 50%≥ fraksi kasar tertahan saringan No. 4</td><td rowspan="2">Kerikil bersih (hanya kerikil)</td><td>GW</td><td>Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus</td><td rowspan="8">Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus ; Kurang dari 5% lolos saringan no.200: GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no.200 : GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan No.200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel</td><td>Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$
Cc = $\frac{(D_{30})^2}{D10 \times D60}$ Antara 1 dan 3</td></tr>
<tr><td>GP</td><td>Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus</td><td>Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Kerikil dengan Butiran halus</td><td>GM</td><td>Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau</td><td>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4</td><td rowspan="2">Bila batas Atterberg berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol</td></tr>
<tr><td>GC</td><td>Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung</td><td>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI > 7</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Pasir≥ 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4</td><td rowspan="2">Pasir bersih (hanya pasir)</td><td>SW</td><td>Pasir bergradasi-baik , pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus</td><td>Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$
Cc = $\frac{(D_{30})^2}{D10 \times D60}$ Antara 1 dan 3</td></tr>
<tr><td>SP</td><td>Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus</td><td>Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Pasir dengan butiran halus</td><td>SM</td><td>Pasir berlanau, campuran pasir-lanau</td><td>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4</td><td rowspan="2">Bila batas Atterberg berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol</td></tr>
<tr><td>SC</td><td>Pasir berlempung, campuran pasir-lempung</td><td>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI > 7</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Tanah berbutir halus
50% atau lebih lolos ayakan No. 200</td><td rowspan="3">Lanau dan lempung batas cair ≤ 50%</td><td>ML</td><td>Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung</td><td colspan="2" rowspan="6">Diagram Plastisitas:
Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.


Batas Cair LL (%)
Garis A : PI = 0.73 (LL-20)</td></tr>
<tr><td>CL</td><td>Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung “kurus” (lean clays)</td></tr>
<tr><td>OL</td><td>Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Lanau dan lempung batas cair ≥ 50%</td><td>MH</td><td>Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis</td></tr>
<tr><td>CH</td><td>Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (fat clays)</td></tr>
<tr><td>OH</td><td>Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi</td></tr>
<tr><td colspan="3">Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi</td><td>PT</td><td>Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi</td><td colspan="2">Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488</td></tr>
<tr><td colspan="7">Sumber : Hary Christady, 1996</td></tr>
</table>

Gambar 3. 4 Klasifikasi Tanah Sistem USCS

(Sumber: Hardiyatmo, 1996)

3.1.3 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis yang berkaitan dengan kapasitas dukung tanah, gaya dorong pada dinding penahan tanah, dan stabilitas lereng. Menurut teori Mohr (1910), dalam buku kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Menurut Mohr (1910) pada Hardiyatmo (2018),keruntuhan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi tersebut dinyatakan pada Persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (3.10)$$

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan tanah terhadap tarikan atau desakan. Hardiyatmo (2018) menjelaskan dengan menggunakan pemahaman ini apabila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh dua parameter sebagai berikut.

1. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.
2. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, namun tidak bergantung pada tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.

Uji geser langsung, uji Triaxial, uji tekan bebas, dan uji kipas geser adalah beberapa cara untuk mengetahui kekuatan geser tanah. Sedangkan persamaan yang digunakan adalah persamaan *coulomb* yang dapat dilihat pada Persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (3.11)$$

Dengan :

τ = kuat geser tanah

c = kohesi

σ = tegangan total

u = tekanan pori-pori

φ = sudut gesek dalam

3.2 *Bored Pile*

Tiang bor merupakan tipe fondasi silinder yang dibentuk dengan mengebor lubang ke kedalaman yang direncanakan kemudian mengisi lubang tersebut dengan beton bertulang, sehingga beban bangunan dapat ditransfer ke lapisan tanah yang lebih dalam dan mempunyai daya dukung lebih tinggi.

3.2.1 Perhitungan Beban-beban yang Bekerja Pada *Bored Pile*

Dalam perencanaan pondasi yang baik memiliki peran yang sangat penting pada suatu bangunan. Fungsi utama pondasi menyalurkan beban vertikal yang bekerja di atasnya untuk disalurkan ke tanah dasar.

Beban-beban yang bekerja pada *bored pile* meliputi sebagai berikut.

1. Beban *bored pile*
2. Beban dinding penahan tanah per meter.

3.2.2 Kontrol *Bored Pile* Terhadap Daya Dukung Tanah

1. Kapasitas dukung *bored pile* Tunggal

   Kapasitas dukung *bored pile* dapat dihitung menggunakan penjumlahan antara tahanan ujung, tahanan selimut tiang dan berat tiang. Menurut cara statis dalam buku Analisis dan Perancangan Fondasi II, (Hardiyatmo, 2010) dinyatakan dalam Persamaan 3.12 sebagai berikut.

   $$Qu = Qb + Qs - Wp \quad (3.12)$$

   Dengan :

   Qu = Kapasitas dukung ultimit tiang (kN)

   Qb = Tahanan ujung ultimit tiang (kN)

   Qs = Tahanan selimut ultimit tiang (kN)

   Wp = Berat tiang (kN)

   a. Tahanan Ujung Ultimit

      Perhitungan tahanan ujung ultimit berdasarkan nilai SPT dapat dihitung dengan menggunakan metode O'Neil & Reese (1989) dalam buku Analisis

dan Perancangan Fondasi II, (Hardiyatmo, 2010) yang dinyatakan dalam Persamaan 3.13 dan 3.14 sebagai berikut.

Qb = Ab x fb (3.13)

fb = 0,6 x σr x N60 ≤ 4500 kN/m^2 (3.14)

Dengan :

Qb = Tahanan ujung ultimit tiang (kN)

Ab = Luas penampang ujung tiang (m^2)

fb = Tahanan ujung per satuan luas (kN/m^2)

N60 = Nilai SPT rata-rata antara ujunt bawah tiang bor sampai 2db dibawahnya

db = Diameter ujung bawah tiang bor

σr = Tegangan referensi = 100 kN/m^2

b. Tahanan Gesek Ultimit

Perhitungan tahanan gesek ultimit dapat dihitung dengan menggunakan metode O'Neil & Reese (1989) dalam buku Analisis dan Perancangan Fondasi-II, (Hardiyatmo, 2010) yang dinyatakan dalam Persamaan 3.15, 3.16, 3.17, dan 3.18 sebagai berikut.

Qs = As x Po' rata-rata x β (3.15)

Po' = γ tanah x h tanah (3.16)

β = 1,5 – 0,245 $\sqrt{z}$, untuk nilai N60 > 15 (3.17)

β = $\frac{N60}{15}$ (1,5 – 0,245$\sqrt{z}$), untuk nilai N60 ≤ 15 (3.18)

Dengan :

Qs = Tahanan selimut ultimit tiang (kN)

Po' = Tekanan overburden efektif (kN/m^2)

Z = Kedalaman di Tengah-tengah lapisan tanah (m)

As = Luas selimut tiang (m^2)

2. Efisiensi kelompok tiang

Dalam menghitung daya dukung *bored pile* dapat dilihat pada Persamaan 3.19 sebagai berikut.

Q = Qu x n x E (3.19)

Dengan :

Q = Kapasitas dukung tiang maksimum dalam kelompok (kN)

Qu = Kapasitas dukung tiang maksimum satu tiang Tunggal (kN)

n = Banyak tiang dalam kelompok

E = Efisiensi kemolpok tiang

3. Memeriksa beban berdasarkan jumlah tiang yang dipasang per meter
   Nilai P yang menahan > nilai P yang bekerja.

3.3 Dinding Penahan Tanah

Untuk menahan tanah lepas atau alami, dinding penahan tanah mencegah keruntuhan tanah yang miring atau lereng yang kemantapannya tidak bisa dijamin oleh lereng tanah itu sendiri. Tanah yang tertahan memberikan dorongan secara aktif struktur dinding sebagai akibatnya struktur dinding cenderung akan terguling atau akan tergeser. Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh berdasarkan berat sendiri struktur dan berat tanah yang berada diatasnya. Jenis-jenis dinding penahan tanah adalah sebagai berikut.

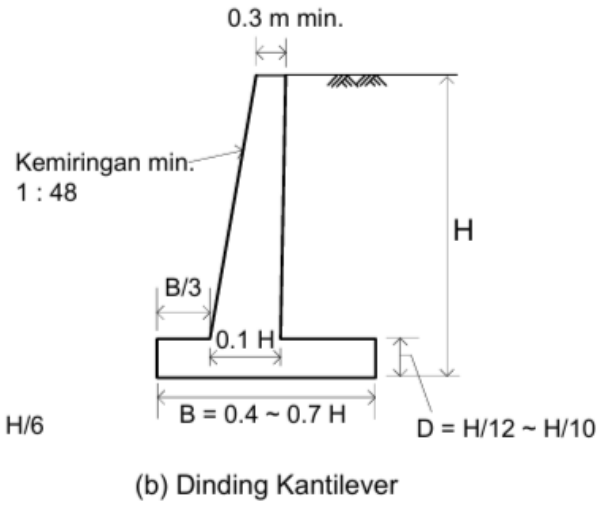
1. Dinding penahan tanah tipe kantilever
2. Dinding penahan tanah tipe gravitasi
3. Dinding penahan tanah tipe krib
4. Dinding penahan tanah tipe tanah bertulang
5. Dinding penahan tanah tipe *counterfort*

Dalam penelitian ini hanya akan membahas dinding penahan tanah tipe kantilever karena jenis dinding tersebut yang akan digunakan.

3.3.1 Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

Dinding penahan tanah tipe kantilever adalah dinding yang terbuat dari kombinasi dinding dan beton bertulang yang berbentuk huruf T. Dimensi pelat dasar dibuat eksentrisitas ($e < B/6$) dengan tebal puncak minimum adalah 0,30 meter. Stabilitas konstruksi tipe kantilever ini diperoleh dari berat sendiri dinding penahan dan berat tanah di atas tumit tapak. Terdapat 3 bagian struktur yang berfungsi

sebagai kantilever, yaitu bagian dinding vertikal, tumit tapak dan ujung kaki tapak (toe). Biasanya ketinggian dinding ini tidak lebih dari 6 – 7 meter (Tanjung, 2016). Dinding penahan tanah tipe kantilever dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai berikut.



Gambar 3. 5 Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever
(sumber: SNI 8460:2017)

3.3.2 Tekanan Tanah Lateral

Menurut Hardiyatmo (2018), Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan oleh akibat dorongan tanah di belakang struktur dinding penahan tanah. Besarnya tekanan lateral sangat dipengaruhi oleh perubahan letak (*displacement*) dari dinding penahan dan sifat- sifat tanahnya.

Ada tiga jenis tekanan tanah yaitu tekanan tanah saat diam, tekanan tanah aktif, dan tekanan tanah pasif. Berikut adalah penjelasan tentang masing-masing jenis tekanan tanah.

1. Tekanan Tanah Lateral Saat Diam

   Tekanan tanah lateral saat diam adalah tekanan tanah ke arah lateral dengan tidak ada regangan yang terjadi dalam tanah. Nilai banding antara tekanan horizontal dan tekanan vertikal pada kedalaman yang ditinjau, didefinisikan

sebagai koefisien tekanan tanah saat diam (K_o) yang dapat dilihat dari Persamaan 3.20 sebagai berikut.

$P_o = K_o \times \gamma \times H$ (3.20)

Dengan :

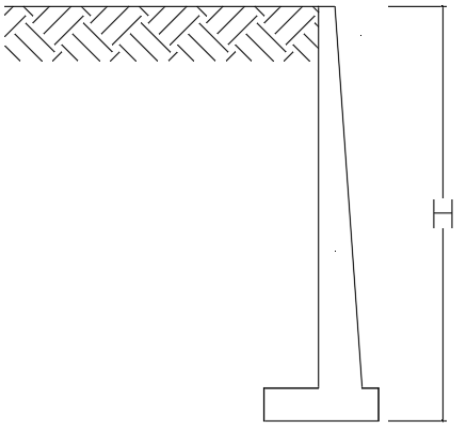
P_o = tekanan tanah saat diam (kN/m)

K_o = koefisien tekanan tanah saat diam

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

H = kedalaman tanah (m)

Tekanan tanah lateral saat diam dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut



Gambar 3. 6 Tanah Lateral Saat Diam

(Sumber : Hardiyatmo, 2014)

2. Tekanan Tanah Lateral Aktif

Tekanan tanah aktif adalah tekanan tanah yang akan terjadi dan bekerja pada suatu dinding penahan tanah jika dinding tersebut harus menahan longsornya tanah. Tekanan tanah aktif ini terjadi saat tanah mengalami kegagalan dan mengalami keruntuhan, sehingga tanah bergerak keluar dari tanah urug ke arah bawah dan samping sehingga menekan dinding penahan tanah. Perbandingan nilai tekanan horisontal dan vertikal disebut K_a. Nilai tekanan tanah aktif lebih kecil dari tekanan tanah saat diam sehingga cenderung mengurangi keseimbangan dinding penahan tanah. Nilai tekanan tanah aktif untuk tanah lateral menggunakan teori Rankine dalam perhitungannya. Untuk menghitung

nilai koefisien tanah aktif pada tanah datar dapat dilihat pada Persamaan 3.21 sebagai berikut.

$K_a = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} = tan^2\ (45° - \frac{\varphi}{2})$ (3.21)

Untuk nilai koefisien tanah aktif pada tanah miring dapat dilihat pada Persamaan 3.22 sebagai berikut.

$K_a = \cos\beta\ (\frac{\cos\beta - \sqrt{cos^2\beta - cos^2\ \varphi}}{\cos\beta + \sqrt{cos^2\beta - cos^2\ \varphi}})$ (3.22)

Tekanan tanah aktif memiliki satuan kN/m², sesuai dengan definisinya sebagai tekanan yang bekerja pada permukaan dinding. Pada tahap berikutnya, tekanan ini digunakan untuk menentukan gaya total tanah aktif (P_a) dengan mempertimbangkan distribusi tekanan sesuai diagram tanah. Perubahan tekanan terhadap tinggi dinding mengubah satuannya dari kN/m² menjadi kN/m, yang menunjukkan gaya linier per satu meter panjang dinding.

Penggunaan satu meter panjang ini merupakan asumsi standar dalam analisis dinding penahan tanah, di mana beban dianggap bekerja pada elemen dinding selebar 1 meter ke arah tegak lurus bidang gambar. Oleh karena itu, seluruh gaya dan momen yang dihasilkan, termasuk *P*a dan momen terhadap titik dasar dinding, dinyatakan dalam satuan kN/m dan kN·m/m.

Tekanan tanah aktif dapat dilihat dari Persamaan 3.26 dan 3.27 sebagai berikut.

a. Menghitung tekanan tanah aktif total untuk tanah kohesif

   $P_a = 0{,}5 \times K_a \times \gamma \times H^2 - 2 \times c\sqrt{Ka}$

b. Menghitung tekanan tanah aktif total untuk tanah non kohesif

   $P_a = 0{,}5 \times K_a \times \gamma \times H^2$

Dengan

P_a = tekanan tanah aktif total (kN/m)

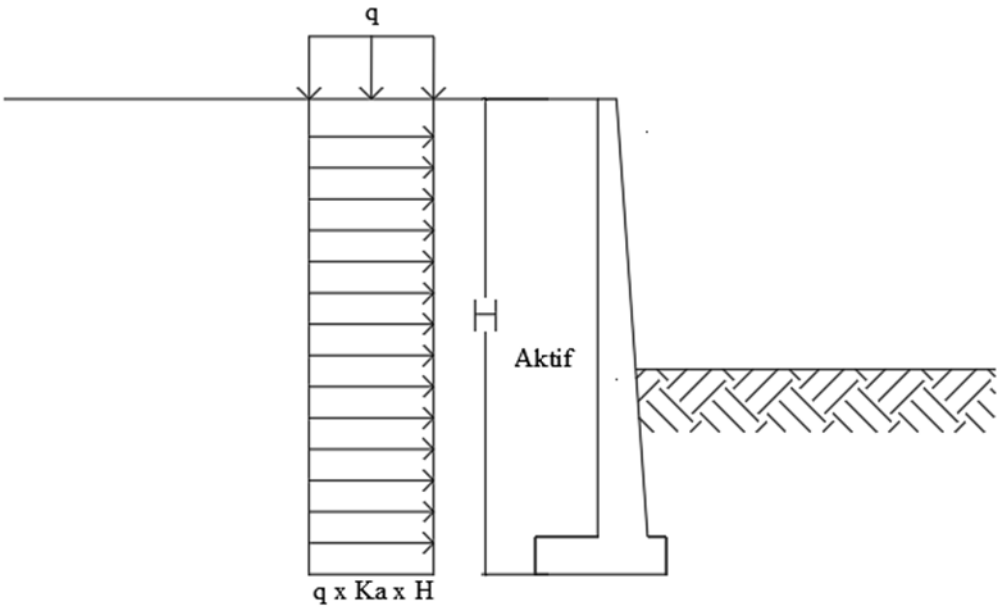
K_a = koefisien tekanan tanah aktif

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

H = kedalaman tanah (m)

c = kohesi (kN/m^2)

Tekanan tanah lateral aktif dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3. 7 Tekanan Tanah Lateral Aktif

(Sumber : Hardiyatmo, 2014)

3. Tekanan Tanah Lateral Pasif

Tekanan tanah lateral pasif adalah suatu gaya yang mendorong dinding penahan tanah ke arah tanah urug. Untuk nilai banding tekanan horizontal dan tekanan vertikal yang terjadi didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah pasif yang dinotasikan dengan K_p. Nilai tekanan tanah pasif dihitung menggunakan teori Rankine yang terbagi menjadi nilai tekanan pasif untuk tanah datar dan nilai tekanan pasif untuk tanah miring. Untuk nilai koefisien tanah pasif pada tanah datar dapat dilihat pada Persamaaan 3.23 sebagai berikut.

$$K_p = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} = tan^2\,(45° + \frac{\varphi}{2}) \qquad (3.23)$$

Untuk nilai koefisien tanah pasif pada tanah miring dapat dilihat pada Persamaan 3.24 sebagai berikut.

$$K_p = \cos\beta\,(\frac{\cos\beta+\sqrt{cos^2\beta-cos^2\,\varphi}}{\cos\beta-\sqrt{cos^2\beta-cos^2\,\varphi}}) \qquad (3.24)$$

Tekanan tanah pasif total dapat dilihat dari Persamaan 3.25 dan 3.26 sebagai berikut.

a. Menghitung tekanan tanah pasif total untuk tanah non kohesif

$P_p = 0{,}5 \times K_p \times \gamma \times H^2$ (3.25)

b. Menghitung tekanan tanah pasif total untuk tanah kohesif

$P_p = 0{,}5 \times K_p \times \gamma \times H^2 + 2 \times c\sqrt{Ka}$ (3.26)

Dengan :

P_p = tekanan tanah pasif total (kN/m)

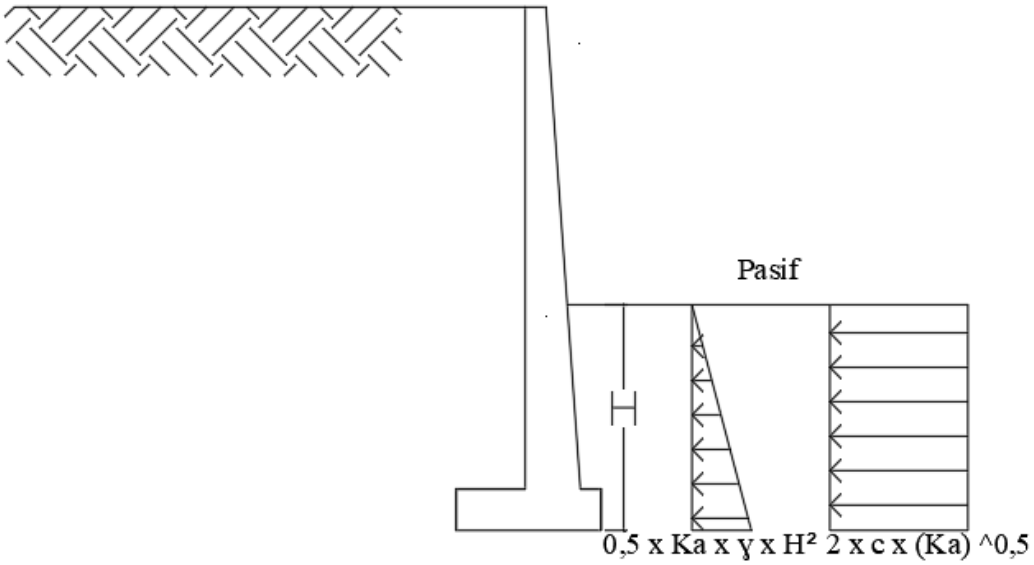
K_p = koefisien tekanan tanah aktif

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

H = kedalaman tanah (m)

c = kohesi (kN/m^2)

Tekanan tanah lateral pasif dapat dilihat pada Gambar 3.8 sebagai berikut.



Gambar 3. 8 Tekanan Tanah Lateral Pasif

(Sumber : Hardiyatmo, 2014)

3.3.3 Pengaruh Beban di atas Tanah Urug

Beban yang berada di atas tanah urug ada bermacam-macam. Beban-beban tersebut baik secara langsung atau tidak langsung akan menentukan dalam analisis perhitungan. Dalam analisis penelitian ini beban yang dipakai adalah beban terbagi rata dimana akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Beban terbagi rata

   Dengan menganggap beban terbagi rata (*q)* sebagai beban tanah setebal (h_s) dengan berat volume (γ) tertentu, maka tinggi lapisan tanah $h_s = \frac{q}{\gamma}$. Persamaan 3.27 berikut menunjukkan perhitungan beban terbagi rata.

   $P_a = h_s \gamma K_a$

   $= q K_a H$ (3.27)

   Dengan :

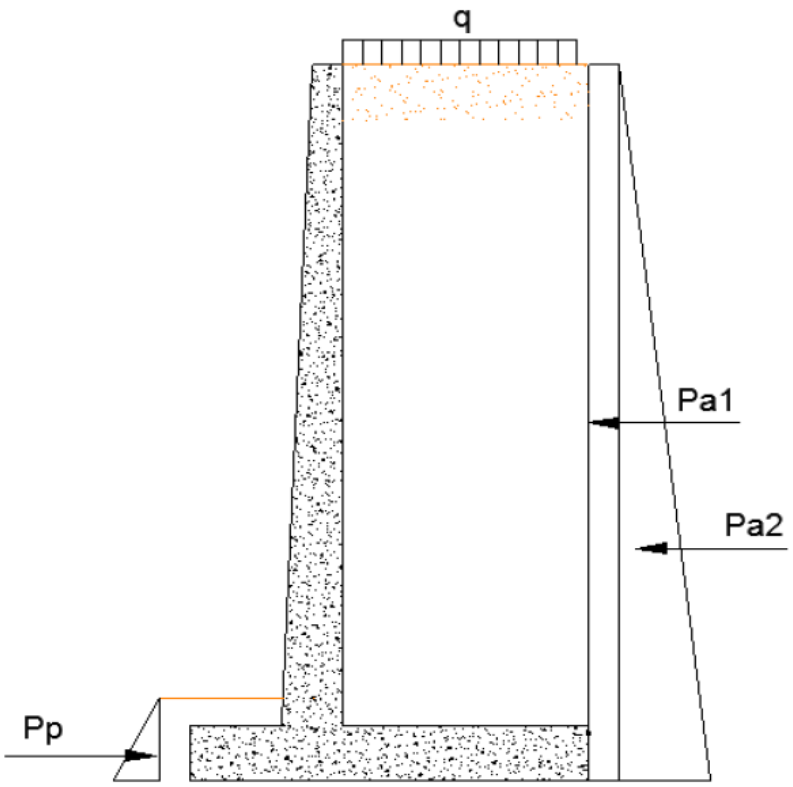
   P_a = tambahan tekanan tanah aktif total akibat beban terbagi rata

   q = beban terbagi rata

   H = tinggi dinding penahan tanah

   K_a = koefisien tekanan tanah aktif

   Diagram untuk tekanan tanah lateral akibat beban terbagi rata dapat dilihat pada Gambar 3.9 sebagai berikut.



Gambar 3. 9 Tekanan Tanah Akibat Beban Terbagi Rata

3.3.4 Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Dalam menghitung stabilitas dinding penahan tanah harus mencukupi hal-hal sebagai berikut.

1. Nilai faktor aman terhadap penggulingan, pergeseran, dan daya dukung tanah dasar harus terpenuhi.
2. Tidak boleh terjadi penurunan yang berlebihan pada tanah dasar fondasi.
3. Tekanan yang terjadi di dasar fondasi tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah ijin.

Berat sendiri (W), gaya tekanan tanah aktif total tanah urug (Pa), gaya tekanan tanah pasif total di depan dinding (Pp), tekanan air pori di dalam tanah (Pw) dan reaksi tanah dasar (R) adalah semua gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah. Untuk memastikan bahwa tekanan rembesan tidak meningkatkan volume tanah di belakang dinding penahan tanah, gaya-gaya ini harus diimbangi dengan stabilitas dinding penahan tanah. Sebagai berikut adalah perhitungan yang digunakan untuk menentukan stabilitas dinding penahan tersebut.

1. Stabilitas terhadap penggulingan

   Tekanan tanah lateral dapat menyebabkan dinding penahan tanah guling karena tanah urug di belakang dinding penahan dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pelat fondasi. Perhitungan faktor aman penggulingan berdasarkan Persamaan 3.28, 3.29, dan 3.30 sebagai berikut.

   $F_{gl} = \frac{\Sigma Mw}{\Sigma Mgl} \geq 1{,}5$ (3,28)

   $\Sigma M_w = W \times B$ (3.29)

   $\Sigma M_{gl} = \Sigma P_{ah} \times h + \Sigma P_{av} \times B$ (3,30)

   Dengan :

   ΣM_w = Momen yang melawan penggulingan (kNm)

   ΣM_{gl} = Momen yang mengakibatkan penggulingan (kNm)

   W = Berat tanah di atas pelat fondasi dan berat sendiri dinding penahan (kN)

B = Lebar kaki dinding penahan (m)

ΣP_{ah} = Jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

ΣP_{av} = Jumlah gaya-gaya vertikal (kN)

2. Stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas dukung

Tabel 3.6 sebagai berikut menunjukkan bagaimana faktor kapasitas dukung menurut Vesic digunakan dalam perhitungan stabilitas terhadap daya dukung tanah dasar.

Tabel 3. 6 Faktor-faktor Kapasitas Dukung Vesic (1973)

φ (°)	Nc	Nq	Nɣ
5	6,49	1,57	0,45
6	6,81	1,72	0,57
7	7,16	1,88	0,71
8	7,53	2,06	0,86
9	7,92	2,25	1,03
10	8,34	2,47	1,22
11	8,80	2,71	1,44
12	9,28	2,97	1,69
13	9,81	3,26	1,97
14	10,37	3,59	2,29
15	10,98	3,94	2,65
16	11,63	4,34	3,06
17	12,34	4,77	3,53
18	13,10	5,26	4,07
19	13,93	5,80	4,68
20	14,83	6,40	5,39
21	15,81	7,07	6,20
22	16,88	7,82	7,13
23	18,05	8,66	8,20

(Sumber : Hardiyatmo, 2014)

Kapasitas dukung ultimit pada dinding penahan tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Hansen dan Vesic untuk beban miring dan eksentris, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3.31 sebagai berikut.

$$Q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0{,}5 B_\gamma N_\gamma \quad (3.31)$$

Dengan faktor kemiringan beban dinyatakan dalam Persamaan 3.32, 3.33, dan 3.34 sebagai berikut.

$l_q = \left(1 - \frac{0{,}5 \text{ x } H}{V + A' x\ ca\ x\ ctg\ \varphi} \right)^5$ (3.32)

$l_c = Iq - \frac{1 - Iq}{Nc\ tg\varphi}$ (3.33)

$d\gamma = 1$ (3.34)

Dengan :

d_c, d_q, d_γ = Faktor kedalaman

i_c, i_q, i_γ = Faktor kemiringan

D = Kedalaman fondasi (m)

B = Lebar dasar fondasi (m)

γ = Berat volume tanah (kN/m^3)

N_c, N_q, N_γ = Faktor kapasitas dukung

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah dasar dihitung dengan Persamaan 3.35 sebagai berikut.

$F = \frac{qu}{q} \geq 3$ (3.35)

Dengan :

q_u = Kapasitas dukung ultimit (kN/m^2)

q = Tekanan akibat beban struktur (kN/m^2)

3. Stabilitas terhadap kelongsoran global

Dinding penahan tanah yang digunakan sebagai perkuatan lereng juga harus stabil dan aman terhadap keruntuhan lereng secara menyeluruh. Analisis stabilitas lereng terhadap kelongsoran dapat dilakukan dengan program PLAXIS. Bowles (1989) dalam Hardiyatmo (2010), mengklasifikasikan intensitas longsor suatu lereng berdasarkan nilai angka aman (SF) lereng yang dapat dilihat pada Tabel 3.7 sebagai berikut.

Tabel 3. 7 Hubungan Nilai Faktor

Nilai Faktor Keamanan	Kemungkinan Longsor
F < 1,07	Longsor terjadi biasa/ sering (lereng labil)
1,07 <F<1,25	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
F >1,25	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

4. Stabilitas terhadap penggeseran

   Gaya- gaya yang menggeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh gesekan tanah dengan dasar fondasi dan tekanan tanah pasif. Perhitungan faktor aman penggeseran dapat dihitung dengan Persamaan 3.36 sebagai berikut.

   $F_{gs} = \frac{\Sigma Rh}{\Sigma Ph} \geq 1{,}5$ (3.36)

   Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran untuk tanah granuler (c=0) dinyatakan dalam Persamaan 3.37 sebagai berikut.

   $\Sigma Rh = W \times f$

   $= W \text{ tg } \delta \text{ b}$, dengan $\delta b = \varphi$ (3.37)

   Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran untuk tanah kohesif ($\varphi = 0$) dinyatakan dalam Persamaan 3.38 sebagai berikut.

   $\Sigma Rh = Ca \times B$ (3.38)

   Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran untuk tanah $c > 0$ dan $\varphi > 0$ dinyatakan dalam Persamaan 3.39 sebagai berikut.

   $\Sigma Rh = Ca \times B + W \text{ tg } \delta \text{ b}$ (3.39)

   Dengan :

   ΣRh = Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

   W = Berat total dinding penahan tanah (kN)

   δb = sudut gesek antara tanah dan fondasi, biasanya diambil 1/3–2/3 φp

   Ca = ad x c = Adhesi antara tanah dan dasar fondasi

   c = Kohesi tanah dasar (kN/m^2))

   ad = Faktor adhesi

   B = Lebar fondasi (m)

   ΣPh = Jumlah gaya - gaya horizontal (kN)

   F = tg δ b = Koefisien gesek antara tanah dasar dan dasar fondasi

3.4 PLAXIS

PLAXIS merupakan suatu perangkat lunak yang digunakan untuk analisis rekayasa geoteknik yang dapat menganalisis respon tanah terhadap beban, perubahan bentuk, dan aliran air. PLAXIS memiliki kemampuan untuk melakukan

simulasi numerik dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) dalam analisis geoteknik. Program PLAXIS ini bertujuan agar mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahap pengerjaan pada program. Sehingga diharapkan pemrograman ini dapat mendekati atau sedekat mungkin dengan pelaksanaan di lapangan agar respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya di lapangan.

Analisis dengan elemen segitiga 6 nodal maupun 15 nodal tersedia dalam program PLAXIS. Untuk analisis 15 nodal maka dapat dilakukan interpolasi dan peralihan nodal dengan turunan berderajat dua. Maka PLAXIS ini terdiri dari 4 Program yaitu :

1. *Input Program*
2. *Calculation Program*
3. *Output Program*
4. *Curve Program*

Geometri yang akan dianalisis serta pengaturan global geometri harus dimasukkan ke dalam program input. Setelah itu, tahap perhitungan program dimulai. Data tentang tanah dan material perkuatan yang akan digunakan untuk perhitungan harus dimasukkan. Tahap output program, yang menampilkan hasil analisis, akan dimulai setelah tahap perhitungan. Selain itu, Curve Program akan mencakup hasil seperti keamanan lereng, gaya stabilitas, dan elemen lainnya.

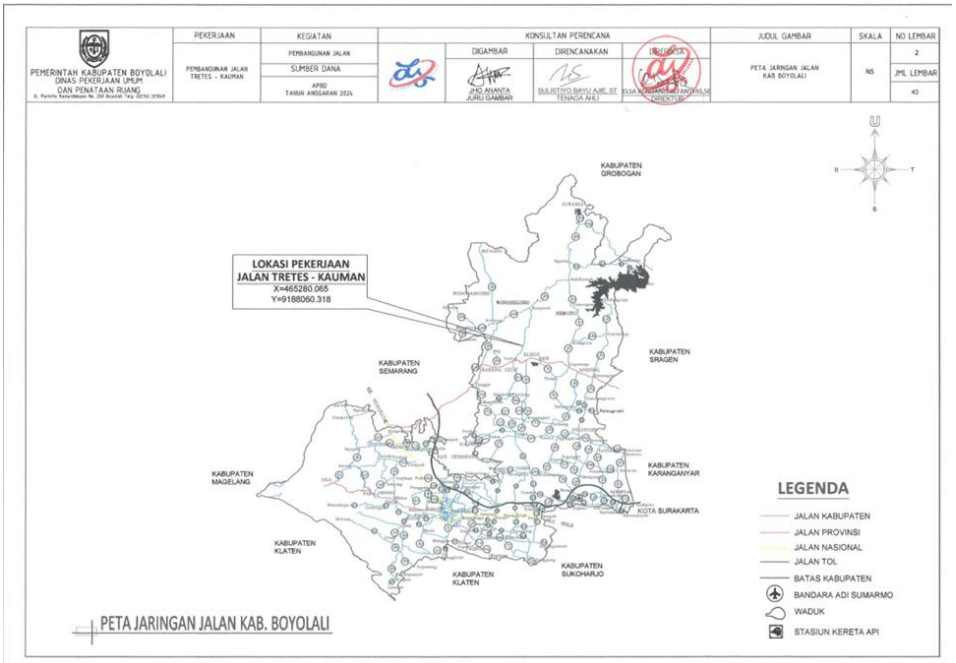
BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Objek Penelitian

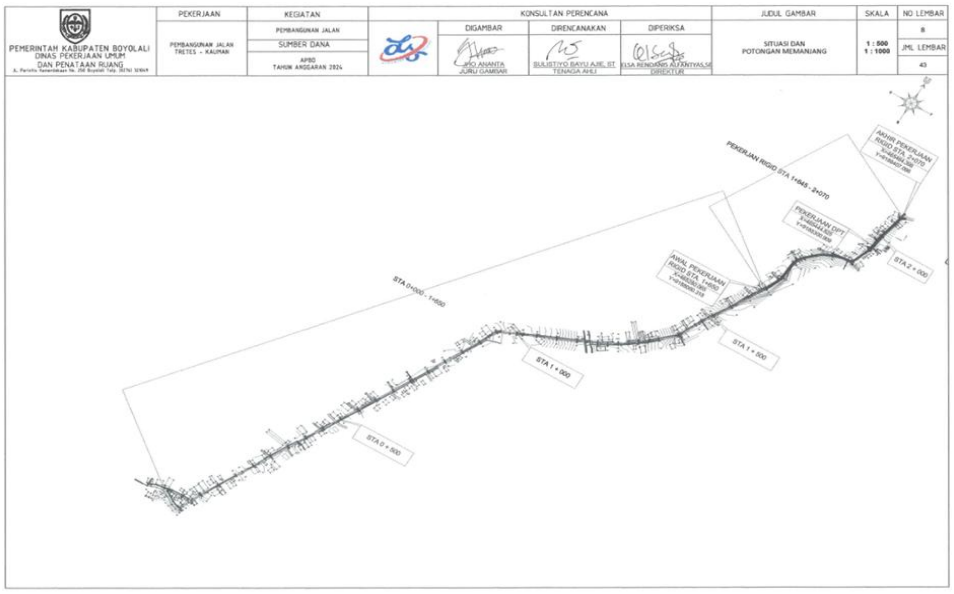
Dalam penelitian ini objek yang ditinjau yaitu pembangunan jalan ruas jalan Tretes – Banyusari Kabupaten Boyolali khususnya pada pekerjaan ruas jalan Tretes – Kauman STA. 1+980.

4.2 Lokasi Penelitian

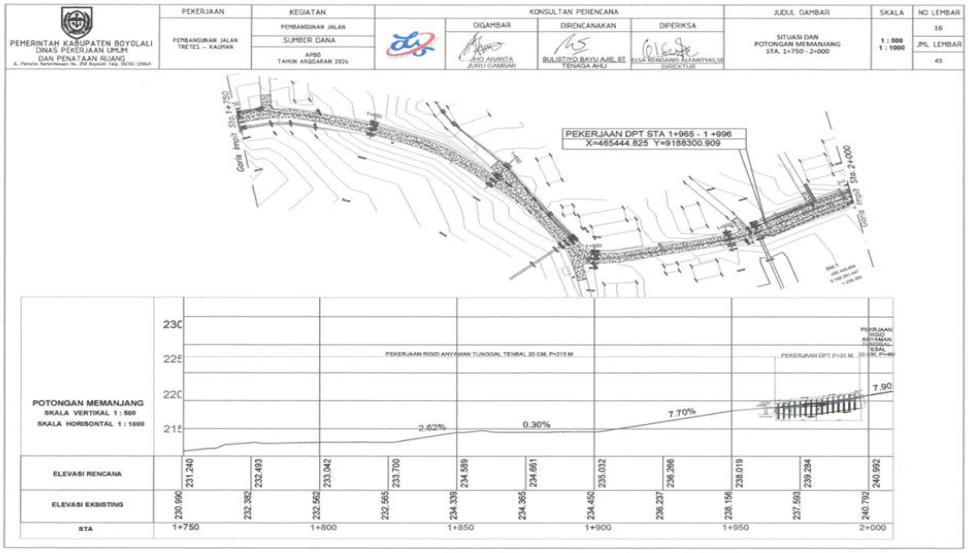
Lokasi penelitian yang dianalisis berada pada proyek pembangunan jalan ruas jalan Tretes – Banyusari Kabupaten Boyolali. Untuk detail Lokasi stasiunnya dapat dilihat pada Gambar 4.1, 4.2, 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Lokasi Perkerasan Jalan Tretes-Kauman Kabupaten Boyolali



Gambar 4. 2 Potongan Memanjang Perkerasan Jalan Teretes-Kauman

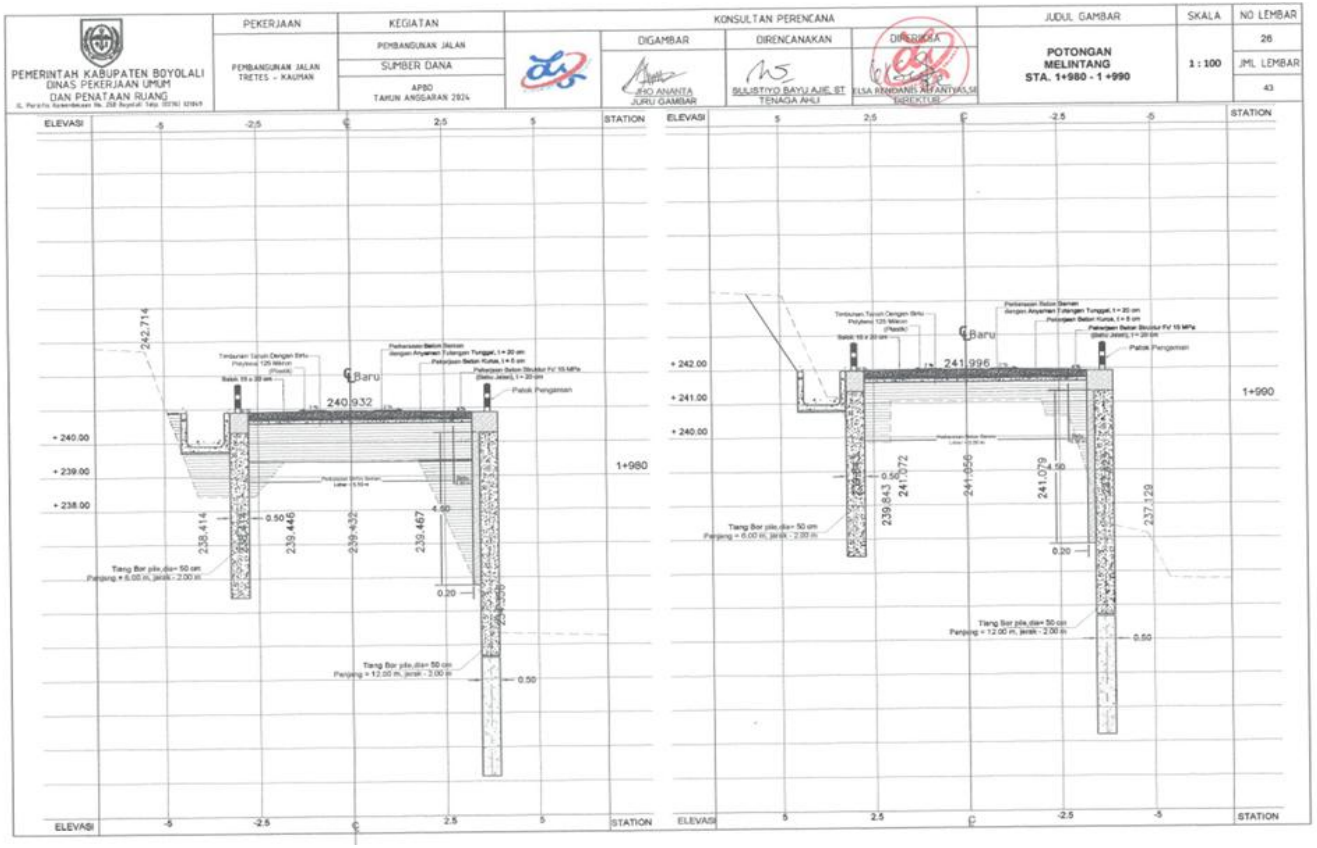


Gambar 4. 3 Potongan Memanjang Pekerjaan DPT STA 1+965 – 1+996

(Sumber: Pemerintah Kabupaten Boyolali, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, 2021)

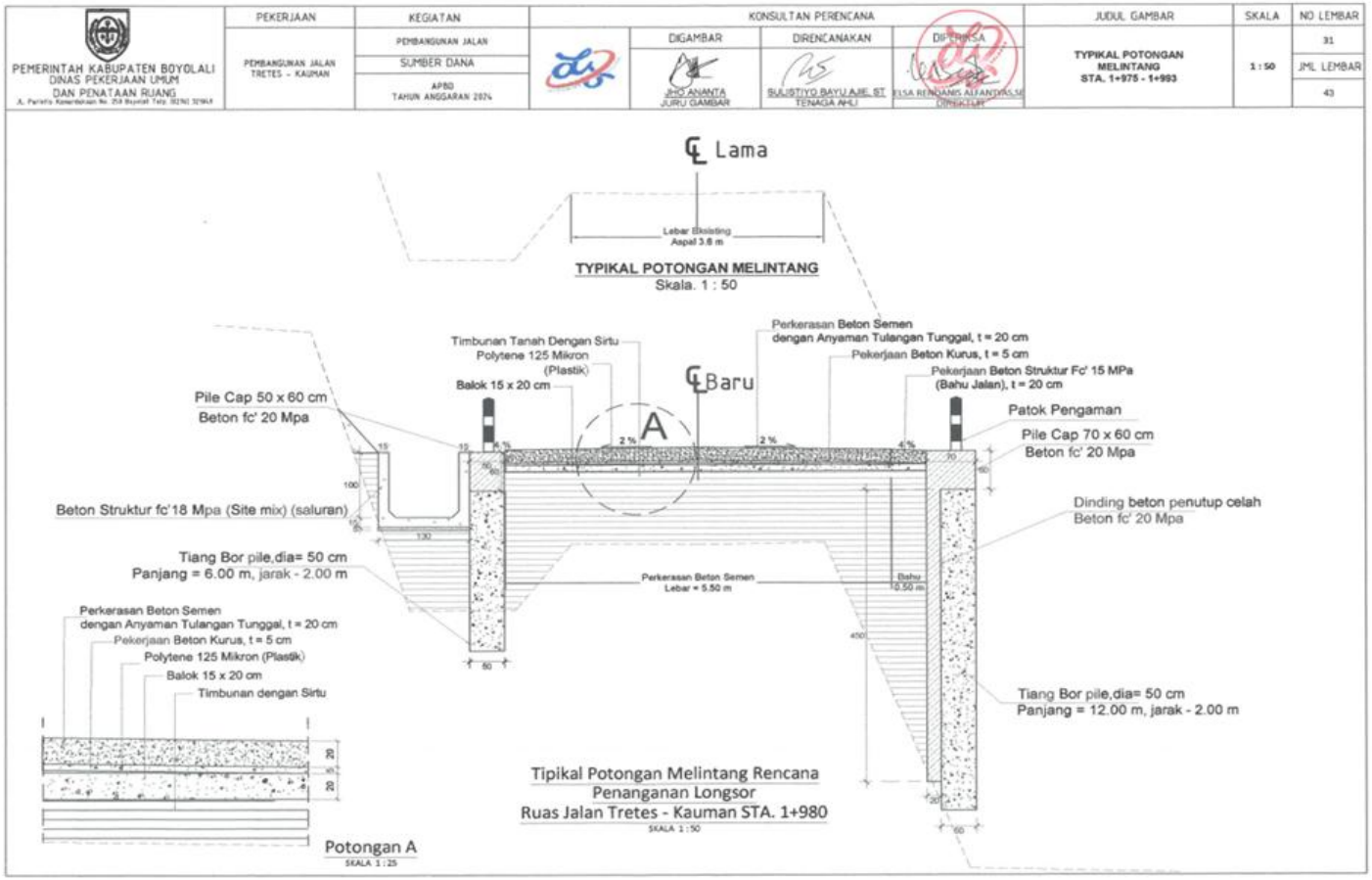
4.3 Potongan Melintang

Potongan melintang didapatkan dari data proyek, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4. 4 Potongan Melintang STA 1+980 – 1+990

(Sumber: Pemerintah Kabupaten Boyolali, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, 2021)



Gambar 4.5 Gambar Tipikal Potongan Melintang Rencana Penanganan Longsor STA 1+980

(Sumber: Pemerintah Kabupaten Boyolali, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, 2021)

4.4 Tahapan Penelitian

Metode pengolahan data untuk mencapai tujuan penelitian dikenal sebagai tahapan penelitian. Data yang diperoleh kemudian dianalisis berdasarkan proses yang digunakan dalam penelitian. Dalam menyelesaikan penelitian ini, ada beberapa tahapan yang dilalui dalam proses ini. Proses penelitian ini digambarkan 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 perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever dengan program PLAXIS kemudian dibuktikan dengan perhitungan 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 pada dinding penahan tanah.
   b. Menghitung tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif.
   c. Menghitung stabilitas terhadap penggeseran, penggulingan, dan keruntuhan.
5. Pembahasan hasil analisis stabilitas lereng asli dan lereng menggunakan *bored pile* dan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever.
6. Penarikan kesimpulan dan saran atas penelitian yang telah dilakukan.

4.5 Data Tanah

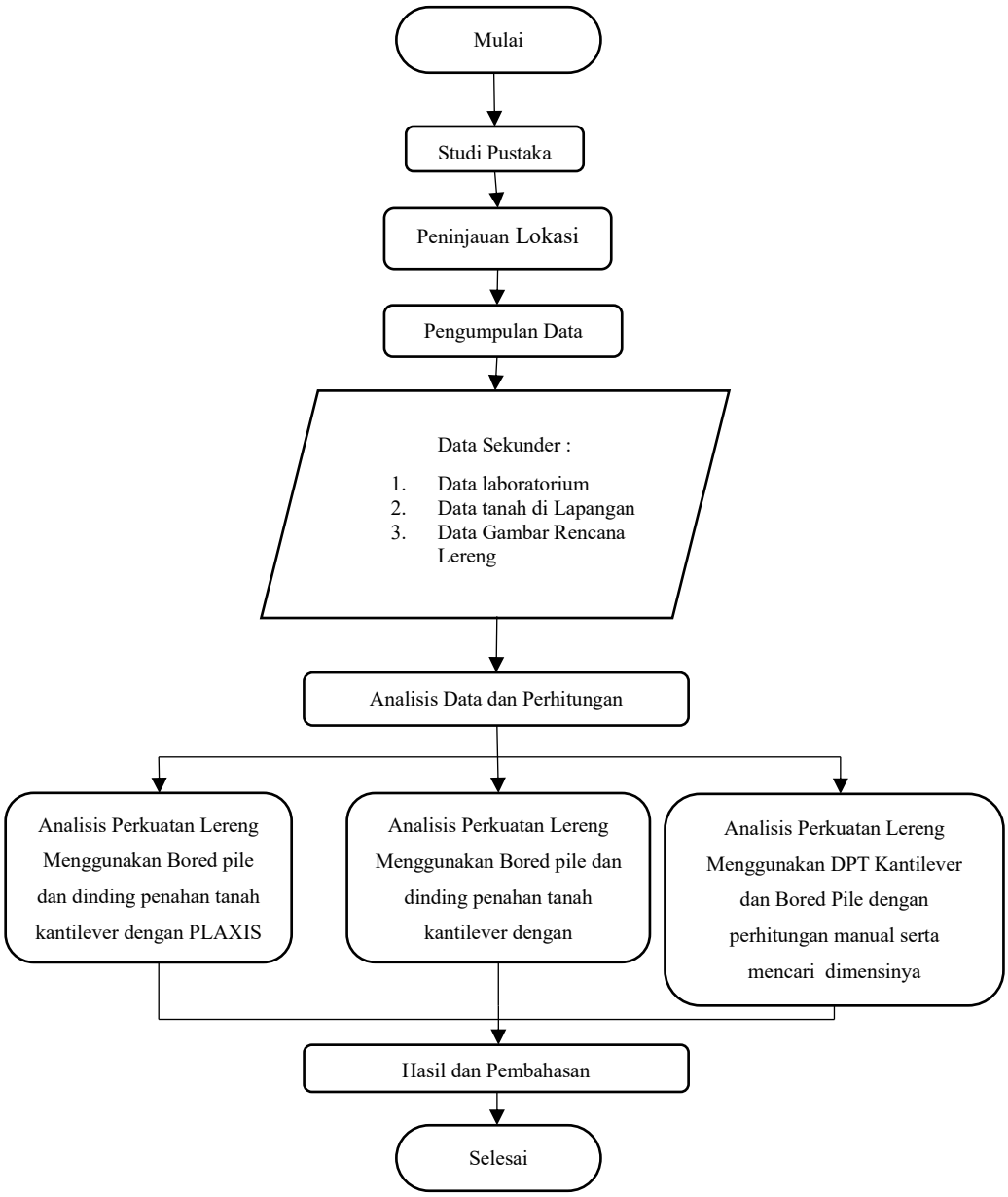
Parameter tanah yang digunakan sebagai data tanah dalam program PLAXIS maupun perhitungan analisis stabilitas lereng berdasarkan pada data proyek tanah yang di dapatkan dari CV. Prisma Soenoe selaku kontraktor proyek. Parameter tanah yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Tabel Uji N-SPT

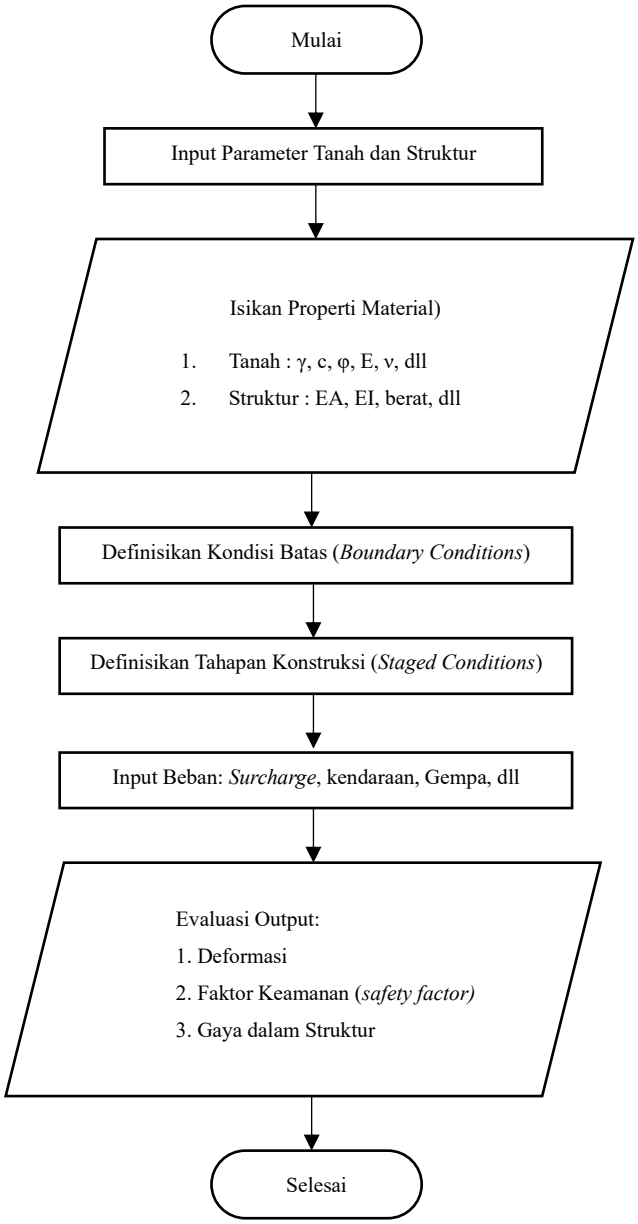
Kedalaman	Deskripsi	Jumlah Pukulan (N)
0 s/d -4,00	Lempung terdapat sedikit pasir	12
-4,00 s/d -8,00	Batuan pasir sedikit kerikil	73
-8,00 s/d -16,50	Batuan pasir terdapat sedikit kerikil	143
-16,50 s/d -20,00	Lempung terdapat sedikit pasir	76

4.6 Bagan Alir

Bagan alir berikut menyajikan rangkaian langkah kerja penelitian secara sistematis mulai dari pengumpulan data lapangan dan laboratorium, pemodelan geometri dan sifat tanah. Diagram ini dirancang untuk mempermudah pemahaman alur kerja, menunjukkan urutan aktivitas, titik keputusan kritis, serta keluaran yang diharapkan pada setiap tahap sehingga pembaca dapat mengikuti proses analisis secara logis dan terstruktur. Adapun bagan alir untuk penelitian atau *flowchart* dari penelitian dan pemrograman dalam PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7 sebagai berikut.



Gambar 4. 6 Bagan Alir Tugas Akhir



Gambar 4. 7 Bagan Alir PLAXIS

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Parameter Beban

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

1. Data Beban Lalu Lintas

   Dalam panduan Geoteknik 4 No.pt T-10-2002-B (2002) mengategorikan sistem jaringan degan lalu lintas harian rata-rata (LHR) yang nantinya dapat diketahui beban lalu lintas yang digunakan. Berdasarkan pengamatan di lapangan, jalan yang ditinjau termasuk jalan lingkungan atau lokal. Maka sesuai dengan sistem jaringan, lalu lintas tersebut termasuk dalam jaringan sekunder dengan fungsi jalan lokal dengan lalu lintas harian rata-rata (LHR) > 500 kendaraan. Maka beban lalu lintas yang digunakan sebagai pembebanan dalam perhitungan yaitu 10 kN/m^2. Besaran beban lalu lintas yang bekerja dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Data Beban Lalu Lintas

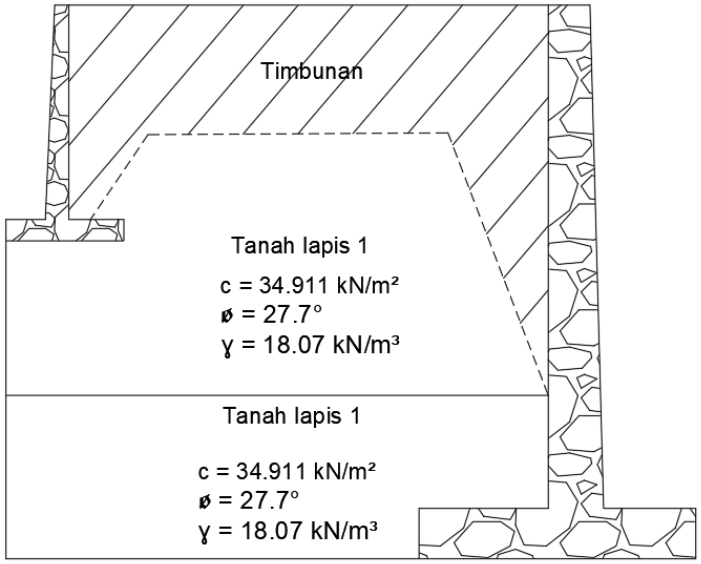
Sistem Jaringan	Fungsi Jalan	LHR	Beban Lalu Lintas (kN/m^2)
Premier	Arteri	Semua	15
	Kolektor	< 10.000	12
		> 10.000	15
Sekunder	Arteri	< 20.000	12
		> 20.000	15
	Kolektor	< 6.000	12
		> 6.000	12
	Lokal	< 500	10
		> 500	10

5.2 Analisis Lereng Asli

Tujuan analisis pada lereng asli adalah untuk mengetahui faktor keamanan lereng terhadap beban tanah dan beban kendaraan yang melintas. Perhitungan untuk analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS dan perhitungan manual.

5.2.1 Analisis Dinding Penahan Tanah Kantilever Menggunakan Perhitungan Manual

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 angka aman pada jalan. Detail gambar irisan jalan dan DPT tipe kantilever dapat dilihat pada Gambar 5.1 sebagai berikut.



Gambar 5. 1 Gambar Potongan Melintang Kantilever

Berdasarkan gambar di atas, Panjang jalan 5,5 m. Panjang total kedalaman untuk kantilever adalah 6,64 meter. Contoh perhitungan manual dengan metode Rankine dan dimensi DPT kantilever adalah sebagai berikut.

1. Data tanah
   a. Tanah Timbunan

h_1 = 4,68 meter

γ = 18,42 kN/m^3

c = 15 kN/m^2

φ = 30°

b. Tanah Asli

h_2 = 1,96 meter

γ = 18,07 kN/m^3

c = 34,91 kN/m^2

φ = 27,7°

dimana :

h_1 = tinggi tanah timbunan

h_2 = tinggi tanah asli

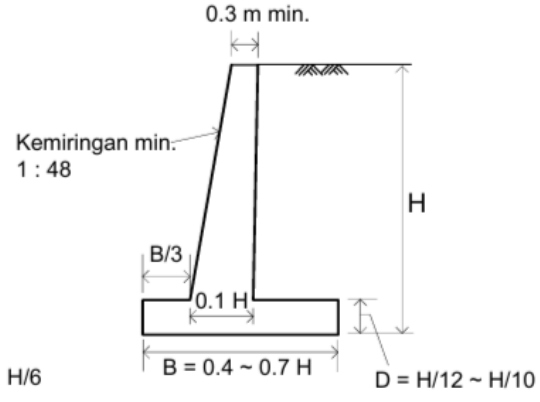
γ = berat volume tanah

c = kohesi tanah

φ = sudut gesek tanah

2. Perhitungan dimensi dinding penahan tanah tipe kantilever

Dalam menentukan dimensi dinding penahan tanah tipe kantilever menggunakan ketentuan dari Gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5. 2 Gambar Dimensi DPT Kantilever

H = 6.64 meter

D = 0,604 meter (H/11)

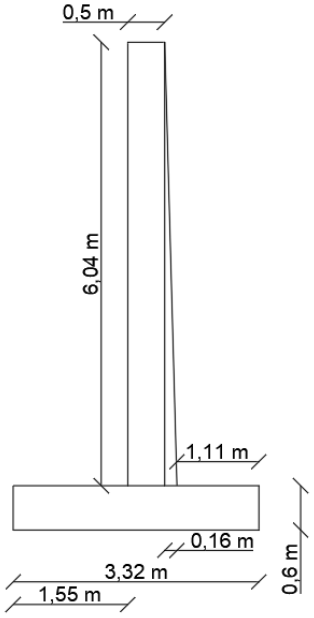
B = 3,32 meter (0,5 x H)

B2 = 1,107 meter (B/3)

B3 = 0,644 meter (0,1 x H)

B4 = 0,5 meter (min 0,3)

Dengan diketahui beberapa dimensi pada dinding penahan tanah maka permodelan pada Autocad dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



Gambar 5. 3 Pemodelan Dimensi Kantilever pada Autocad

3. Perhitungan Tanah Lateral

a) Menghitung koefisien tekanan tanah aktif

$Ka_1 = \frac{1-\sin\theta}{1+\sin\theta}$

$= \frac{1-\sin 30^\circ}{1+\sin 30^\circ}$

$= 0{,}333$

$Ka_2 = \frac{1-\sin\theta}{1+\sin\theta}$

$= \frac{1-\sin 27{,}7^\circ}{1+\sin 27{,}7^\circ}$

= 0,365

b) Akibat beban merata

$\sum H_1$ = q x ka1

= 10 x 0,333

= 3,333 kPa

Pa_1 = q x Ka1 x h1

= 10 x 0,333 x 4,68

= 15,600 kN/m

$\sum H_2$ = q x ka2

= 10 x 0,365

= 3,653 kPa

Pa_2 = q x ka2 x h2

= 10 x 3,653 x 1,96

= 7,161 kN/m

$\sum H_3$ = h1 x ɣ1 x Ka1

= 4,68 x 18,42 x 3,333

= 28,735 kPa

Pa_3 = $\frac{1}{2}$ x $\sum$H3 x h1

= $\frac{1}{2}$ x 28,735 x 4,68

= 67,240 kN/m

$\sum H_4$ = h1 x ɣ1 x Ka2

= 4,68 x 18,42 x 0,365

= 31,494 kPa

Pa_4 = ∑H4 x h2

= 31,494 x 1,96

= 61,728 kN/m

$\sum H_5$ = h2 x ɣ2 x Ka2

= 1,96 x 18,07 x 0,365

= 12,939 kPa

Pa_5 = $\frac{1}{2}$ x ∑H5 x h2

= $\frac{1}{2}$ x 12,939 x 1,96

= 12,680 kN/m

c) Akibat tanah kohesi

Pa_6 = $2c\sqrt{Ka}$

= 2 x 15 x $\sqrt{0,333}$

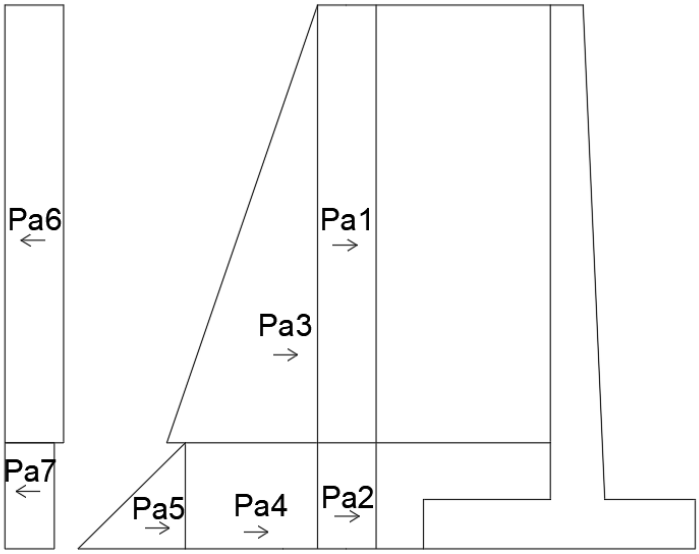
= 17,321 kPa

Pa_7 = $2c\sqrt{Ka}$

= 2 x 34,91 x $\sqrt{0,365}$

= 42,201 kPa

Berdasarkan perhitungan di atas maka diagram tanah lateral dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5. 4 Diagram Tanah Lateral Dinding Penahan Tanah Kantilever pada Autocad

4. Kontrol Terhadap Guling

a) Beban yang bekerja pada dinding

W1 = b x h x ɣ

= 3,32 x 0,604 x 25

= 50,102 kN

W2 = b x h x ɣ

= 0,5 x 6,036 x 25

= 75,455 kN

W3 = $\frac{1}{2}$ x b x h x ɣ

= $\frac{1}{2}$ x 0,164 x 6,036 x 25

= 12,375 kN

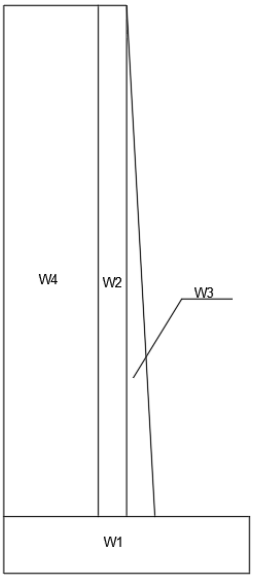
b) Beban tanah

W4 = b x h x ɣ

= 1,55 x 6,036 x 18,42

= 172,344 kN

Dengan adanya beban yang bekerja pada dinding dan beban tanah itu sendiri maka didapatkan Gambar 5.5 sebagai berikut.



Gambar 5. 5 Beban yang Bekerja Pada Dinding dan Tanah

Rekapitulasi perhitungan untuk momen yang menahan penggulingan dan momen yang mengakibatkan penggulingan dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 sebagai berikut.

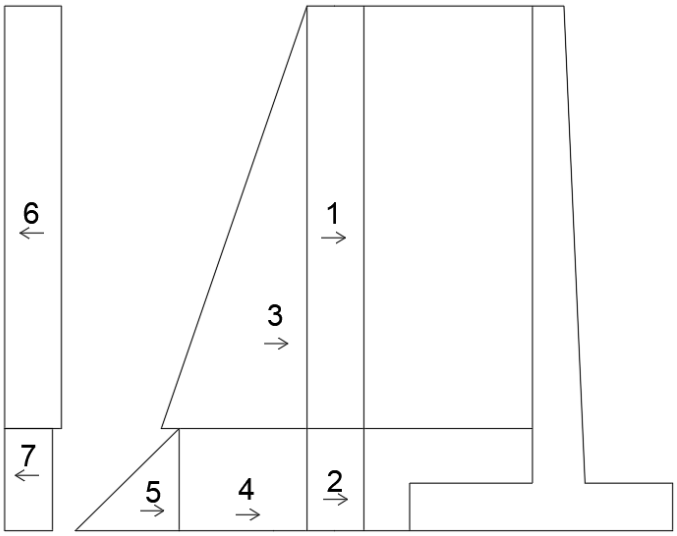
Tabel 5. 2 Momen yang Menahan Penggulingan

Bidang	Berat (kN)	Jarak (m)	Momen (kNm/m)
W1	50,102	0,3	15,031
W2	75,455	3,8	286,727
W3	12,375	2,613	32,335
W4	172,344	3,8	654,908
		Mw	989,001

Tabel 5. 3 Tabel Momen yang Mengakibatkan Penggulingan

Bidang	Pa (kN/m)	Jarak (m)	Momen (kNm/m)
1	15,600	4,270	66,612
2	7,161	0,980	7,017
3	67,241	3,520	236,686
4	61,728	0,980	60,494
5	12,680	0,653	8,280
6	-17,321	4,270	-73,95
7	-42,201	0,980	-27,55
		Mgl	277,573

Pada Tabel diatas terdapat beberapa bidang yang pemodelannya dapat dilihat pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5. 6 Pemodelan Bidang Momen yang Mengakibatkan Penggulingan pada Autocad

Dari data tabel di atas maka dapat dihitung *safety factor* terhadap guling sebagai berikut :

$F_{gl} = \frac{\Sigma Mw}{\Sigma Mgl} \geq 1,5$

$= \frac{989,001}{277,573} \geq 1,5$

$= 3,563 \geq 1,5$ (OK)

5. Kontrol Terhadap Pergeseran

Untuk kontrol terhadap pergeseran dapat dihitung untuk mencari *safety factor* menggunakan rumus sebagai berikut.

$F_{gs} = \frac{\Sigma Rh}{\Sigma Ph} \geq 1,5$

ΣRh = Ca x B x W tgδ B (δB diambil φ2/3)

= 1,57 x 3,32 x 989,001 x 0,34

= 341,4726

$F_{gs} = \frac{\Sigma Rh}{\Sigma Ph} \geq 1{,}5$

$= \frac{341{,}472}{104{,}888}$

$= 3{,}255 \geq 1{,}5$ (OK)

5.2.2 Analisis Dinding Penahan Tanah *Bored Pile* Menggunakan Perhitungan Manual

Dalam analisis dinding penahan tanah *bored pile* dengan perhitungan manual akan didapatkan nilai Do (kedalaman minimum ke dalam tanah) dan D (total *bored pile* yang dipenetrasi ke dalam tanah), dan M max. beban yang dimasukkan dalam perhitungan analisis tersebut adalah beban tanah serta beban merata sebesar 10 kN/m^2 akibat beban lalu lintas. Perhitungan analisis perkuatan tanah dengan *bored pile* sebagai berikut.

1. Perhitungan Tekanan Tanah Lateral

   Dalam perhitungan tekanan tanah lateral tanah pada dinding penahan tanah, tekanann yang terjadi adalah tekanan tanah pasif dan tekanan tanah aktif. Tekanan tanah pasif merupakan tekanan yang menahan tanah, terletak di depan dinding penahan tanah sedangkan untuk tekanan tanah aktif merupakan tekanan yang mendorong tanah, terletak di belakang dinding penahan tanah.

   a) Koefisien tekanan tanah aktif

      Berikut ini adalah contoh perhitungan koefisien tekanan tanah aktif.

      $Ka_1 = tg^2 (45 - \frac{\varphi}{2})$

      $= tg^2 (45 - \frac{30}{2})$

      $= 0{,}333$

      $Ka_2 = tg^2 (45 - \frac{\varphi}{2})$

      $= tg^2 (45 - \frac{27{,}7}{2})$

      $= 0{,}365$

b) Tekanan tanah akibat beban merata

Berikut ini merupakan contoh perhitungan tekanan tanah akibat beban merata lalu lintas pada dinding penahan tanah.

$\sum H_1$ = q x Ka1

= 3,330 kN/m^2

$\sum H_2$ = q x Ka2

= 3,650 kN/m^2

c) Tekanan tanah aktif dan pasif

Berikut ini merupakan contoh perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif lalu lintas pada dinding penahan tanah.

$\sum H_3$ = h1 x ɣ1 x Ka1

= 40,729 kPa

$\sum H_4$ = h1 x ɣ1 x Ka2

= 44, 643 kPa

$\sum H_5$ = Do x ɣ2 x Ka2

= 6,596Do

$\sum H_6$ = Do x ɣ2 x Kp

= 49,507Do

$\sum H_7$ = $2c\sqrt{Ka}1$

= 17,312 kPa

$\sum H_8$ = $2c\sqrt{Ka}2$

= - 42,182 kPa (kohesi tanah aktif)

$\sum H_9$ = $2c\sqrt{Ka}2$

= 42,182 kPa (kohesi tanah passif)

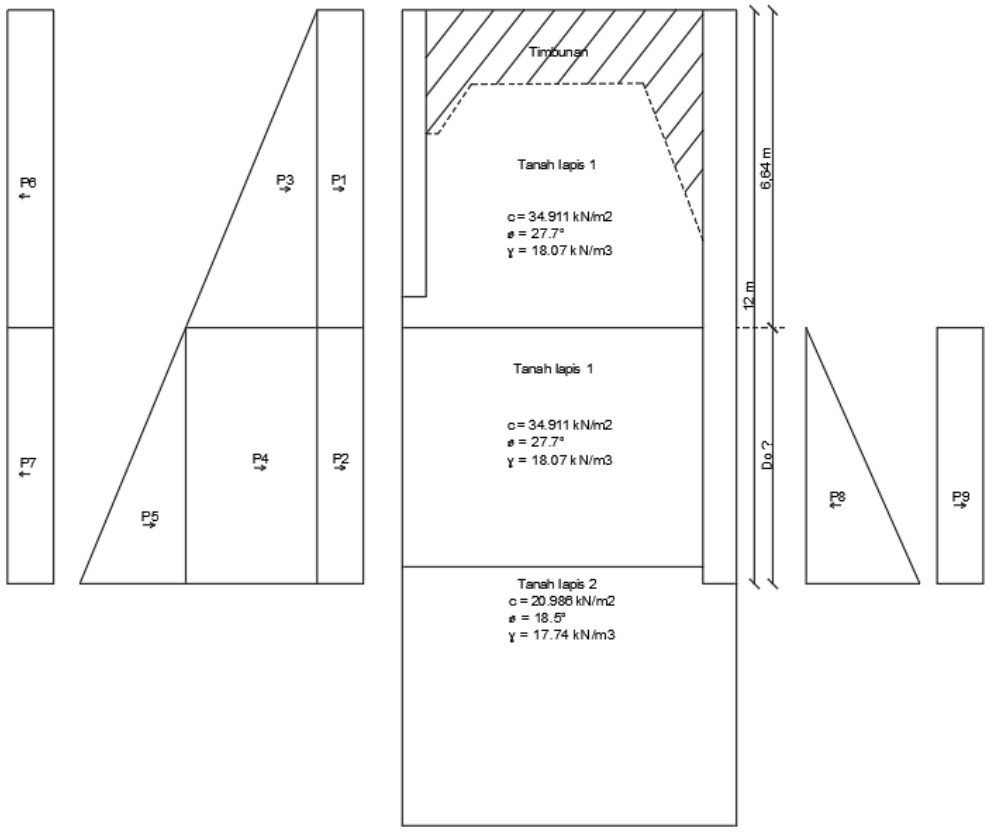
d) Perhitungan momen

Berikut adalah rekapitulasi dari perhitungan momen dapat dilihat dari Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Perhitungan Momen

	Gaya (kPa)	Gaya Total (kN/m)	Lengan (m)	Momen (kNm/m)
P1	3,330	22,111	Do + ½ 6,64	22,111 Do + 73,408
P2	3,65	3,65	½ Do	1,825 Do^2
P3	40,729	135,220	Do + 2,213	135,220Do + 299,287
P4	44,643	44,643 Do	½ Do	22,321 Do^3
P5	6,596 Do	3,298 Do^2	1/3 Do	1,099 Do^3
P6	-17,312	-114,951	Do + ½ 6,64	-114,952Do – 381,640
P7	-42,182	-42,182 Do	½ Do	-21,41 Do^2
P8	-49,507 Do	-24,753 Do^2	1/3 Do	-8,321 Do^3
P9	42,182	42,183 Do	½ Do	21,41 Do^2
			∑Ma	1,099Do^3+2,736Do^2+42,379Do-78,945
			∑Mp	-8,321Do^3+21,41Do^2

Dengan adanya tabel di atas maka dapat dimodelkan dalam Autocad seperti Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5. 7 Pemodelan Tanah lateral Bored Pile pada Autocad

Setelah mendapatkan nilai ∑Ma dan ∑Mp maka dapat dicari nilai ∑Mo dengan rumus sebagai berikut.

$$\sum Mo = \sum Ma - \sum Mp$$

$$= 9.420Do^3\text{-}18{,}674Do^2\text{+}42{,}379Do\text{-}78{,}945$$

2. Menghitung Panjang *bored pile* sedalam Do

Dengan dapatnya nilai ∑Mo = $9.420Do^3$-18,674Do^2+42,379Do-78,945 maka dapat dicari untuk nilai Do dengan cara turunan pangkat 3 matematika, sehingga didapatkan nilai Do sebesar 1,92. Dengan diketahui nilai Do, kemudian menghitung panjang turap keseluruhan sebagai berikut.

Panjang turap pada tanah asli (D) = 1,5 x Do
= 1,5 x 1,92
= 2,88 m

Total panjang *bored pile* = h1 + D
= 6,64 + 2,88
= 9,52 m

Jadi, total panjang *bored pile* dengan SF 1,5 adalah 9,52 m. Untuk panjang total yang dipakai dalam analisis menggunakan panjang sebesar 10m.

3. Menghitung EA dan EI

Dengan diameter *bored pile* 0,50 m maka perhitungan untuk mencari EA dan EI sebagai berikut.

A $= \frac{\pi \, x \, D^2}{4}$
$= 0.196 \text{ m}^2$

I $= \frac{\pi \, x \, D^4}{64}$
$= 0.00307 \text{ m}^4$

EA = E x A
$= 30\times10^6 \text{ kN/m}^2 \times 0.19635 \text{ m}^2$
$= 5.89\times10^6 \text{ kN}$

EI = E x I

$= 30\times10^{6}$ kN/m² × 0.00307 m⁴

$= 9.21\times10^{4}$ kNm²

Selain data EA dan EI yang telah didapat ada beberapa parameter yang dipakai dalam program PLAXIS yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Parameter Tanah ke PLAXIS

	Tanah timbunan	Tanah lapis 1	Tanah lapis 2
γ_{unsat} (kN/m^3)	18,42	18,07	17,74
γ_{sat} (kN/m^3)	19,25	19,35	21,57
E'$_{ref}$ (MPa)	10	12	70
v	0,3	0,3	0,3
c'_{ref}	15	34,91	20,98
φ	30	27,7	18,5

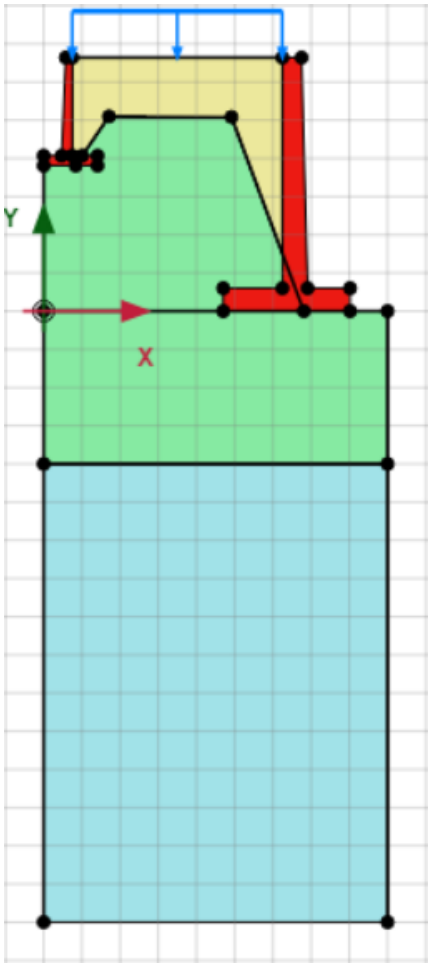
5.3 Analisis Lereng Menggunakan PLAXIS 2D

Analisis lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan *bored pile* menggunakan program PLAXIS dilakukan pada kondisi dinding penahan tanah asli dengan timbunan. Beban-beban yang bekerja mencakup beban lalu lintas dan beban gempa dengan percepatan sebesar 0,13 g. Untuk analisis dinding penahan tanah dan *bored pile* menggunakan program PLAXIS, analisis dimodelkan dengan dua dimensi pada potongan melintang.

5.3.1 Analisis DPT kantilever dengan program PLAXIS

1. Pemodelan Dinding Penahan Tanah pada Program PLAXIS

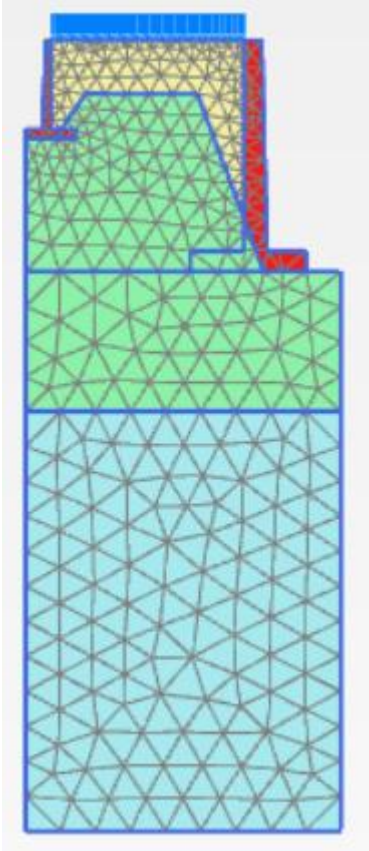
   Pada tahap pemodelan, semua parameter dan data geoteknik dimasukkan ke dalam program PLAXIS. Beban-beban yang bekerja meliputi beban lalu lintas, beban timbunan, dan beban gempa. Pemodelan dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dalam program PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5. 8 Pemodelan Potongan Melintang Dinding penahan Tanah Kantilever pada PLAXIS

2. Pembuatan Jaringan Elemen

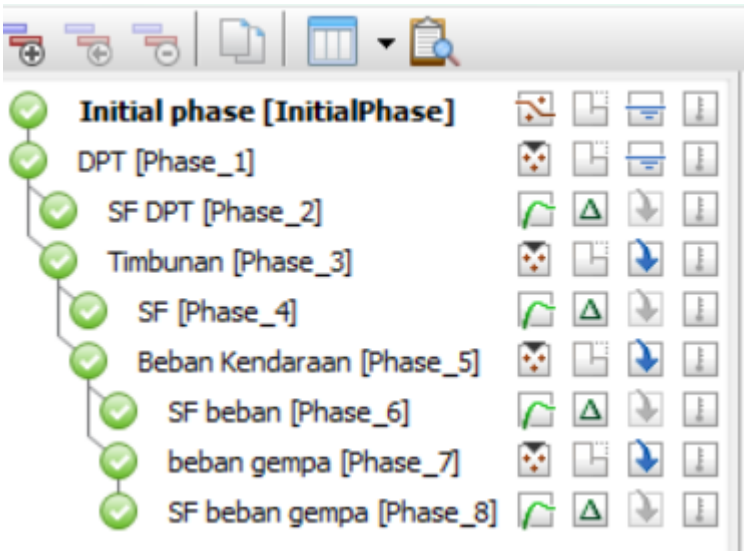
   Setelah pemodelan di lapangan diterapkan sesuai dengan kondisi sebenranya, Langkah berikutnya adalah melakukan meshing agar model geometri dibagi menjadi elemen-elemen imajiner. Penyusunan meshing pada program *PLAXIS* digunakan jenis fine. Jaringan yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5. 9 Jaringan-Jaringan Dinding Penahan Tanah Kantilever

3. Tahap *Calculation*

   Setelah semua parameter dan data diinput, maka Langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan dengan memasukkan tab parameter dengan *plastic analysis* agar mendapatkan besaran *displacement* yang terjadi, *phi/reduction* untuk mengetahui angka keamanan dan *stage construction* digunakan sebagai *loading input.* Pada PLAXIS *calculation* ada beberapa tahap yang akan dianalisis diantaranya adalah *gravity load,* timbunan dan beban kendaraan, SF tanpa beban gempa, SF dengan beban gempa. PLAXIS *calculation* pada dinding penahan tanah kantilever dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



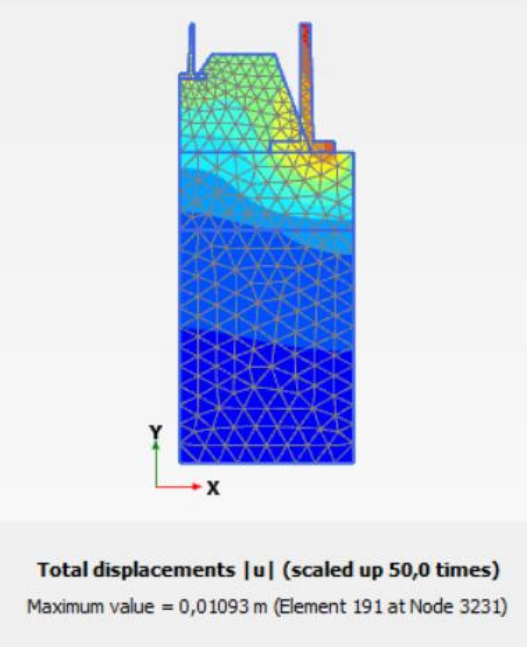
Gambar 5. 10 Perhitugan Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Program PLAXIS

4. Hasil Output dengan Program PLAXIS

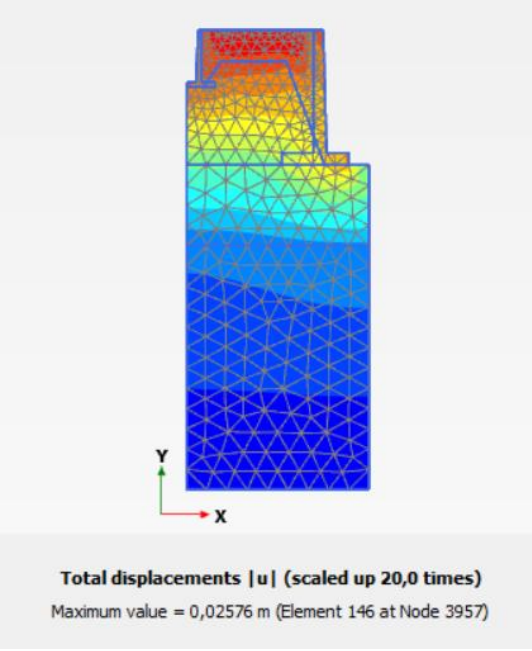
   Setelah selesai melakukan semua tahap sampai perhitungan menggunakan program PLAXIS, maka selanjutnya dapat diketahui besaran nilai total *displacement* serta SF dinding penahan tanah kantilever dengan timbunan. Hasil dari perhitungan analisis dinding penahan tanah kantilever menggunakan program PLAXIS dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini.

   1) Total *Displacement*

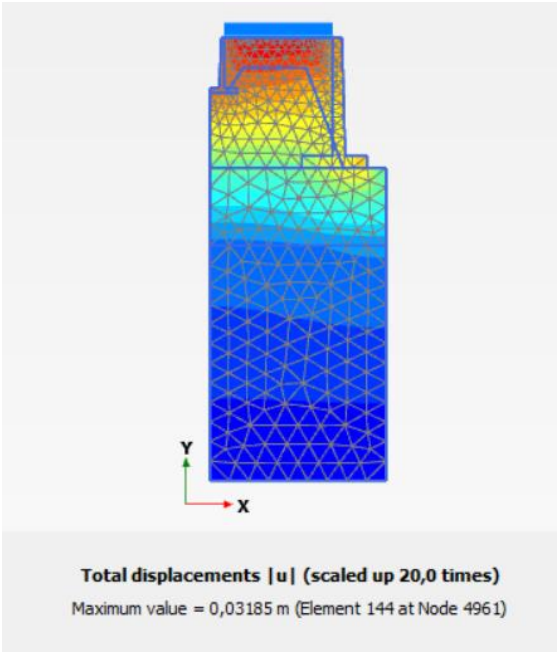
      Nilai total displacement dengan beban gempa adalah sebesar 0,0367 m, besar nilai total *displacement* dengan dinding penahan tanah kantilever adalah 0,0109 m, besar nilai total *displacement* dengan timbunan adalah 0,025 m, dan untuk nilai total *displacement* dengan beban kendaraan adalah 0,031 m yang dapat dilihat pada Gambar 5.11, Gambar 5.12, Gambar 5.13, dan Gambar 5.14 sebagai berikut.



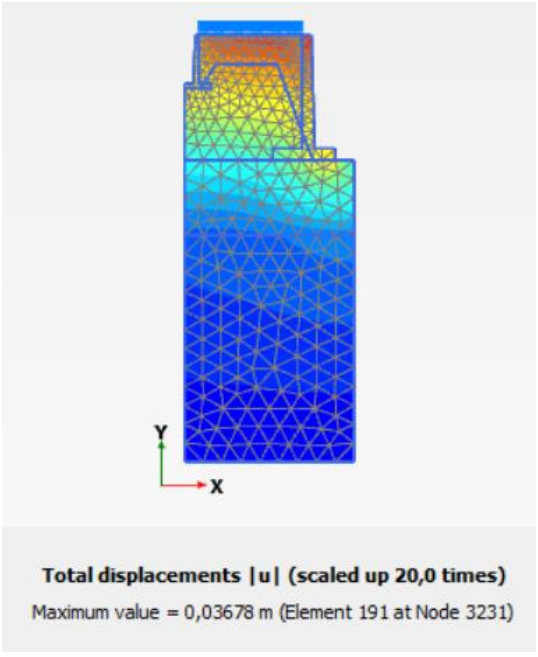
Gambar 5. 11 Total *Displacement* Dinding Penahan Tanah Kantilever Tanpa Beban Tambahan



Gambar 5. 12 Total *Displacement* Dinding Penahan Tanah Kantilever dengan Beban Timbunan



Gambar 5. 13 Total *Displacement* Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan Beban Kendaraan

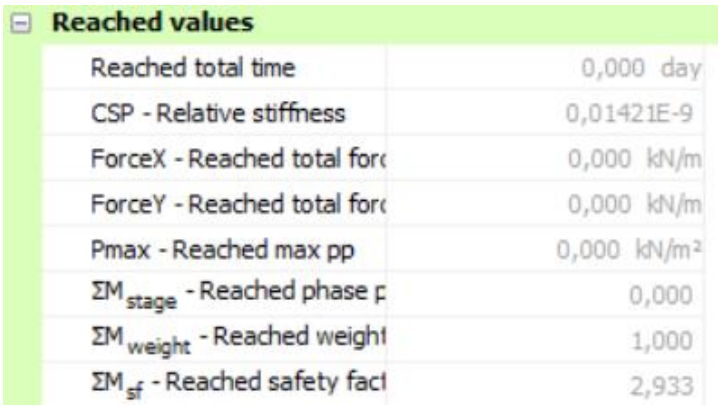


Gambar 5. 14 Total *Displacement* Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan Beban Gempa

2) *Safety Factor*

Nilai angka aman yang didapatkan dari *output* program PLAXIS sebagai berikut. Angka aman pada lereng dengan dinding penahan tanah kantilever adalah 2,933, nilai angka aman pada lereng dengan timbunan adalah 2,293,

nilai angka aman pada lereng dengan beban kendaraan adalah 2,110, dan nilai angka aman pada lereng dengan beban gempa adalah 1,769 yang dapat dilihat pada Gambar 5.15, Gambar5.16, Gambar 5.17, dan Gambar 5.18 di bawah ini.

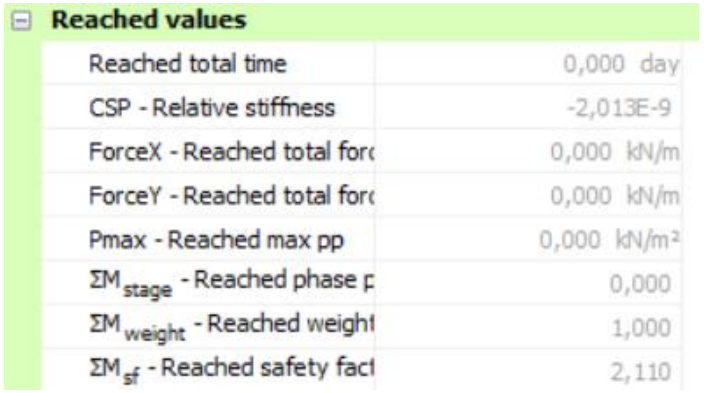


Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	0,01421E-9
ForceX - Reached total forc	0,000 kN/m
ForceY - Reached total forc	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0,000 kN/m²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	2,933

Gambar 5. 15 Nilai SF Pada Lereng Dengan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	0,03197E-6
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	2,293

Gambar 5. 16 Nilai SF Pada Lereng Dengan Timbunan



Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	-2,013E-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	2,110

Gambar 5. 17 Nilai SF Pada Lereng Dengan Beban Kendaraan

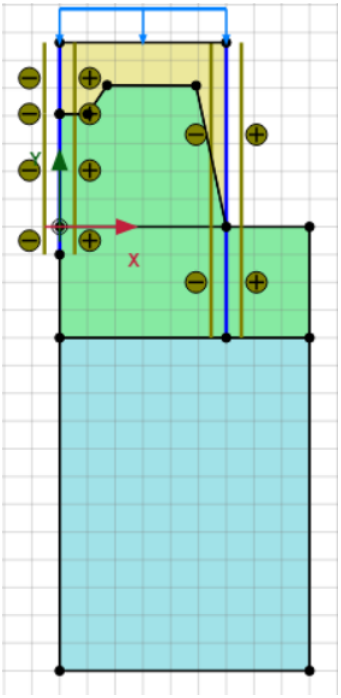
Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	0,05118E-6
ForceX - Reached total forc	0,000 kN/m
ForceY - Reached total forc	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0,000 kN/m²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,769

Gambar 5. 18 Nilai SF Pada Lereng Dengan Beban Gempa

5.3.2 Analisis *bored pile* dengan program PLAXIS

1. Pemodelan Lereng Dengan *Bored Pile* pada Program PLAXIS

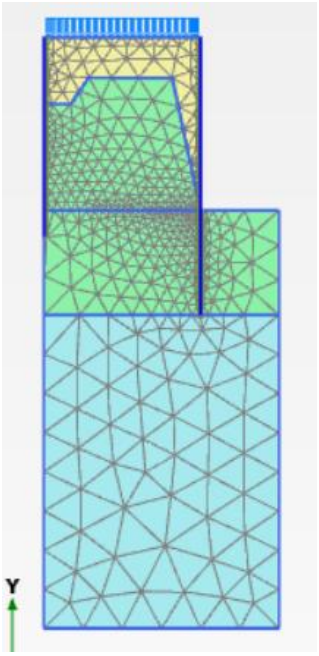
   Pada tahap pemodelan, semua parameter dan data geoteknik dimasukkan ke dalam program PLAXIS. Beban-beban yang bekerja meliputi beban lalu lintas, beban timbunan, dan beban gempa. Pemodelan dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dalam program PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.19 sebagai berikut.



Gambar 5. 19 Pemodelan Lereng Dengan *Bored Pile*

2. Pembuatan Elemen Jaringan

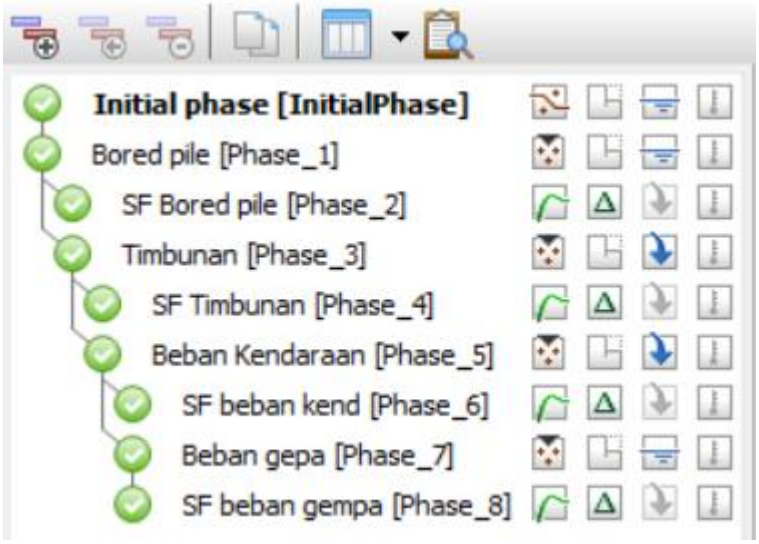
   Setelah pemodelan di lapangan diterapkan sesuai dengan kondisi sebenarnya, Langkah berikutnya adalah meshing dimana model geometri dibagi menjadi elemen-elemen imajiner. Penyusunan meshing pada program *PLAXIS* digunakan jenis medium. Jaringan yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.20 sebagai berikut.



Gambar 5. 20 Jaringan-Jaringan Pada *Bored Pile*

3. Tahap *calculation*

   Setelah semua parameter dan data diinput, maka Langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan dengan memasukkan tab parameter dengan *plastic analysis* agar mendapatkan besaran *displacement* yang terjadi, *phi/reduction* untuk mengetahui angka keamanan dan *stage construction* digunakan sebagai *loading input.* Pada PLAXIS *calculation* ada beberapa tahap yang akan dianalisis diantaranya adalah *gravity load,* timbunan dan beban kendaraan, SF tanpa beban gempa, SF dengan beban gempa. PLAXIS *calculation* pada dinding penahan tanah kantilever dapat dilihat pada Gambar 5.21 sebagai berikut.



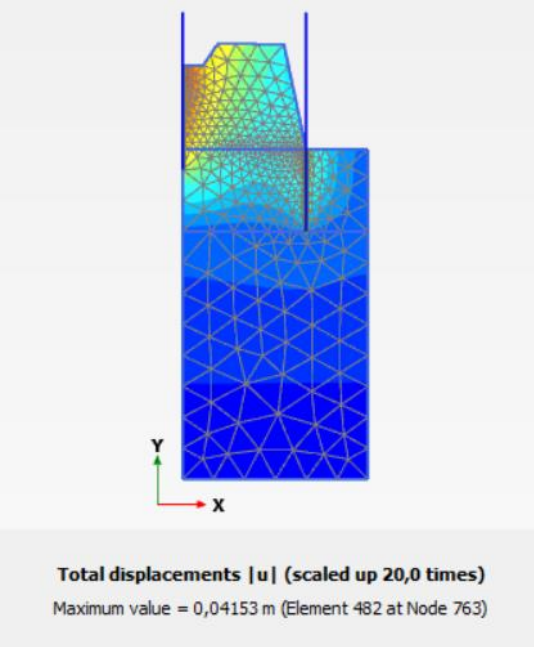
Gambar 5. 21 Perhitungan Dengan *Bored Pile* Pada Program PLAXIS

4. Hasil *Output* Dengan Program PLAXIS

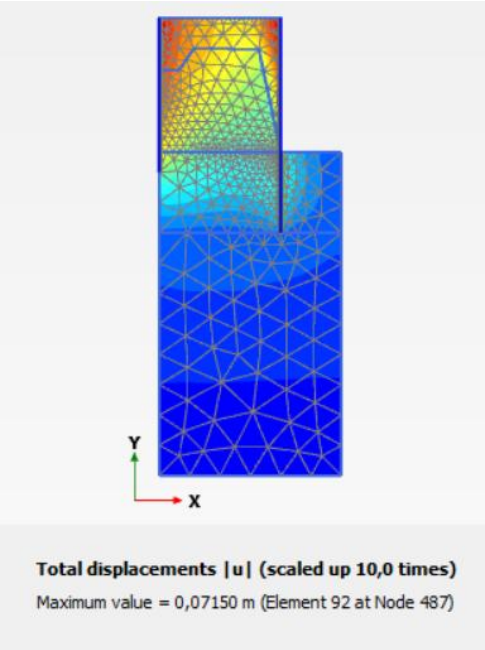
   Setelah melakukan perhitungan menggunakan program PLAXIS, maka tahap selanjutnya dapat mengetahui besaran nilai total *displacement* serta SF dinding penahan tanah kantilever dengan timbunan. Hasil dari perhitungan analisis dinding penahan tanah kantilever menggunakan program PLAXIS dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini.

   1) Total *Displacement*

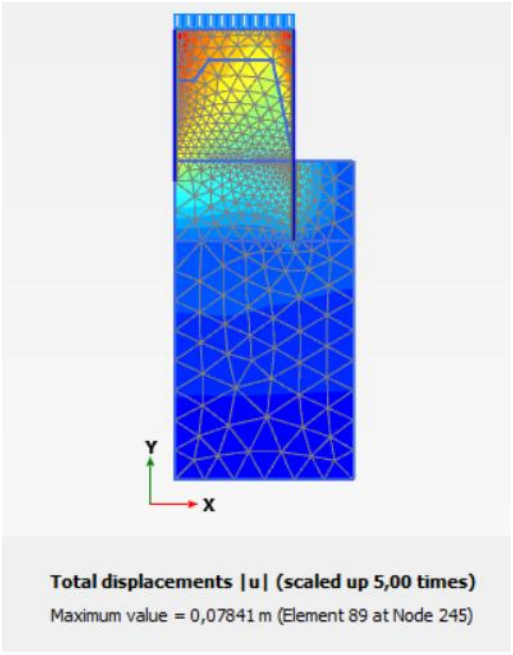
      Untuk hasil total displacement dengan beban gempa adalah sebesar 0,007 m, besar nilai total displacement dengan *bored pile* adalah 0,041 m, besar nilai total displacement dengan timbunan adalah 0,071 m, dan untuk nilai total displacement dengan beban kendaraan adalah 0,078 m yang dapat dilihat pada Gambar 5.22, Gambar 5.23, Gambar 5.24, dan Gambar 5.25 sebagai berikut.



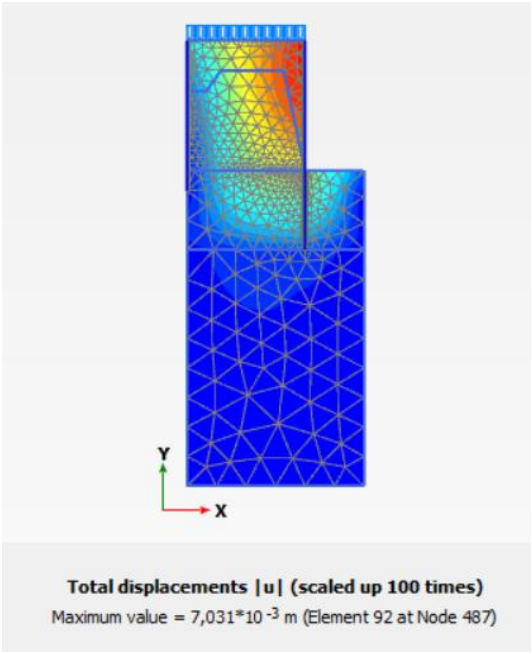
Gambar 5. 22 Total *Displacement* Bored Pile Tanpa Beban



Gambar 5. 23 Total *Displacement* Bored Pile Dengan Beban Timbunan



Gambar 5. 24 Total *Displacement* Bore Pile Dengan Beban Kendaraan



Gambar 5. 25 Total *Displacement* Bored Pile Dengan Beban Gempa

2) *Safety Factor*

Nilai angka aman yang didapatkan dari output program PLAXIS sebagai berikut. Angka aman pada lereng dengan beban gempa adalah 1,642, nilai angka aman pada lereng dengan *bored pile* adalah 1,896, nilai angka aman

pada lereng dengan timbunan adalah 2,025, dan nilai angka aman pada lereng dengan beban kendaraan adalah 1,924 yang dapat dilihat pada Gambar 5.26, Gambar5.27, Gambar 5.28, dan Gambar 5.29 dibawah ini.

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	0,3591E-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	1,642

Gambar 5. 26 Nilai SF Dengan Beban Gempa

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	0,5977E-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	1,896

Gambar 5. 27 Nilai SF Dengan *Bored Pile*

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	1,874E-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	2,025

Gambar 5. 28 Nilai SF Dengan Timbunan

Gambar 5. 29 Nilai SF Dengan Beban Kendaraan

5.4 Pembahasan

Analisis pemodelan dinding penahan tanah kantilever dan *bored pile* pada program PLAXIS yang menggunakan kombinasi beban timbunan, beban kendaraan dan beban gempa dapat dilihat pada rekapitulasi Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Perhitungan Dengan PLAXIS 2D

Analisis		**Total *Displacement* (m)**	**Nilai SF**
Perkuatan Dengan DPT Kantilever	DPT Kantilever	0,0109	2,933
	Beban Timbunan	0,025	2,293
	Beban Kendaraan	0,031	2,110
	Beban Gempa	0,034	1,606
Perkuatan Dengan *Bored Pile*	*Bored Pile*	0,041	1,896
	Beban timbunan	0,071	2,025
	Beban Kendaraan	0,078	1,924
	Beban Gempa	0,007	1,642

Pada perkuatan tanah dengan *bored pile* memiliki nilai SF rata-rata lebih rendah daripada perkutan tanah dengan dinding penahan tanah kantilever, menunjukkan bahwa sistem dengan *bored pile* kurang optimal pada kondisi

dinamis. Perkutan dinding penahan tanah kanilever dengan kombinasi beban timbunan, beban kendaraan dan beban gempa nilai SF jauh diatas ambang batas (SF ≥ 1,5). Selain nilai SF yang tinggi, total *displacement* juga lebih rendah dengan kisaran 0,025-0,034 m. Menunjukkan bahwa perkuatan dengan dinding penahan tanah kantilever memberikan kinerja yang lebih baik.

Kemudian hasil analisis menggunakan perhitungan manual untuk mengetahui nilai SF dengan metode rankine didapatkan nilai kontrol terhadap penggulingan sebesar 3,563 dan kontrol terhadap pergeseran sebesar 3,225. Dimana kedua nilai SF tersebut sudah memenuhi batas minimum angka aman yaitu ≥ 1,5. Perbandingan perhitungan manual menghasilkan nilai SF lebih tinggi sebesar 45,06% dibandingkan dengan perhitungan menggunakan program PLAXIS dikarenakan perhitungan manual menggunakan asumsi konservatf yang menyederhanakan perilaku tanah struktur, sedangkan dengan program PLAXIS memodelkan interaksi nonlinier, deformasi, dann distribusi tegangan nyata dengan mekanisme kegagalan lebih realistis.

BAB VI
KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang talah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil penelitian ini, menunjukkan bahwa kondisi tanah pada Jalan Teretes-Kauman pada kedalaman 0-8 m didominasi dengan tanah lempung, 8-16 m didominasi dengan lapisan batuan pasir berdasarkan diagram N-SPT.
2. Hasil perhitungan nilai angka aman pada lereng dengan perkuatan *bored pile* dengan program PLAXIS dengan kondisi beban timbunan (SF=1,541), dengan beban kendaraan (SF=1,60), dan dengan beban gempa (SF=2,138) sudah termasuk aman karena nilai SF ≥ 1,5.
3. Hasil perhitungan manual didapatkan untuk dimensi dinding penahan tanah kantilever dengan D = 0,604 m, H = 6,64 m, dan B = 3,32 m.
4. Hasil perhitungan nilai angka aman pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dengan program PLAXIS dengan kondisi beban timbunan (SF=2,293), dengan beban kendaraan (SF=2,110), dengan beban gempa (SF=2,602). Nilai angka aman terhadap kontrol penggulingan sebesar 3,563 dan terhadap kontrol pergeseran sebesar 3,225 sudah termasuk aman karena nilai SF ≥ 1,5

6.2 Saran

Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan, saran yang dapat diberikan penulis adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan selain perhitungan manual menggunakan metode Rankine juga bisa menggunakan metode Fellenius yang dapat dijadikan alternatif dalam perhitungan manual.
2. Perlu dilakukan analisis dengan mempertimbangkan muka air tanah.
3. Perlu dilakukan perbandingan dengan perkuatan lainnya seperti, perkuatan *mini pile*, CCSP, dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

Annisa, N. (2018). *Analisis Stabilitas Lereng Penahan Tanah dan Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil pada Bantaran Sungai Gajah Putih. Tugas Akhir.* Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Bowles, J. (1977; 1996). *Physical and Geotechnical Properties of Soils.* USA: McGraw-Hill Book Company.

Hardiyatmo, H. C. (2014). *Analisis dan Perancangan FONDASI I. Edisi Ketiga.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. (2014). *Analisis dan Perancangan Fondasi II. Edisi Ketiga.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika Tanah I. Edisi Keenam.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika Tanah II. Edisi Keenam.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Horison, M. A. (2013). *Analisa Geoteknik Dan Penanggulangan Kelongsoran Tanggul Sungai Banjir Kanal Barat Semarang.* https://ejournal3.undip.ac.id.

Standar Nasional Indonesia. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI 8460:2017).* Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Sudarma, I Made (2018). Analisa Perbandingan Perencanaan Struktur Antara Pondasi Bore Pile Dengan Pondasi Tiang Pancang. *jurnal sipil statik*, 6.

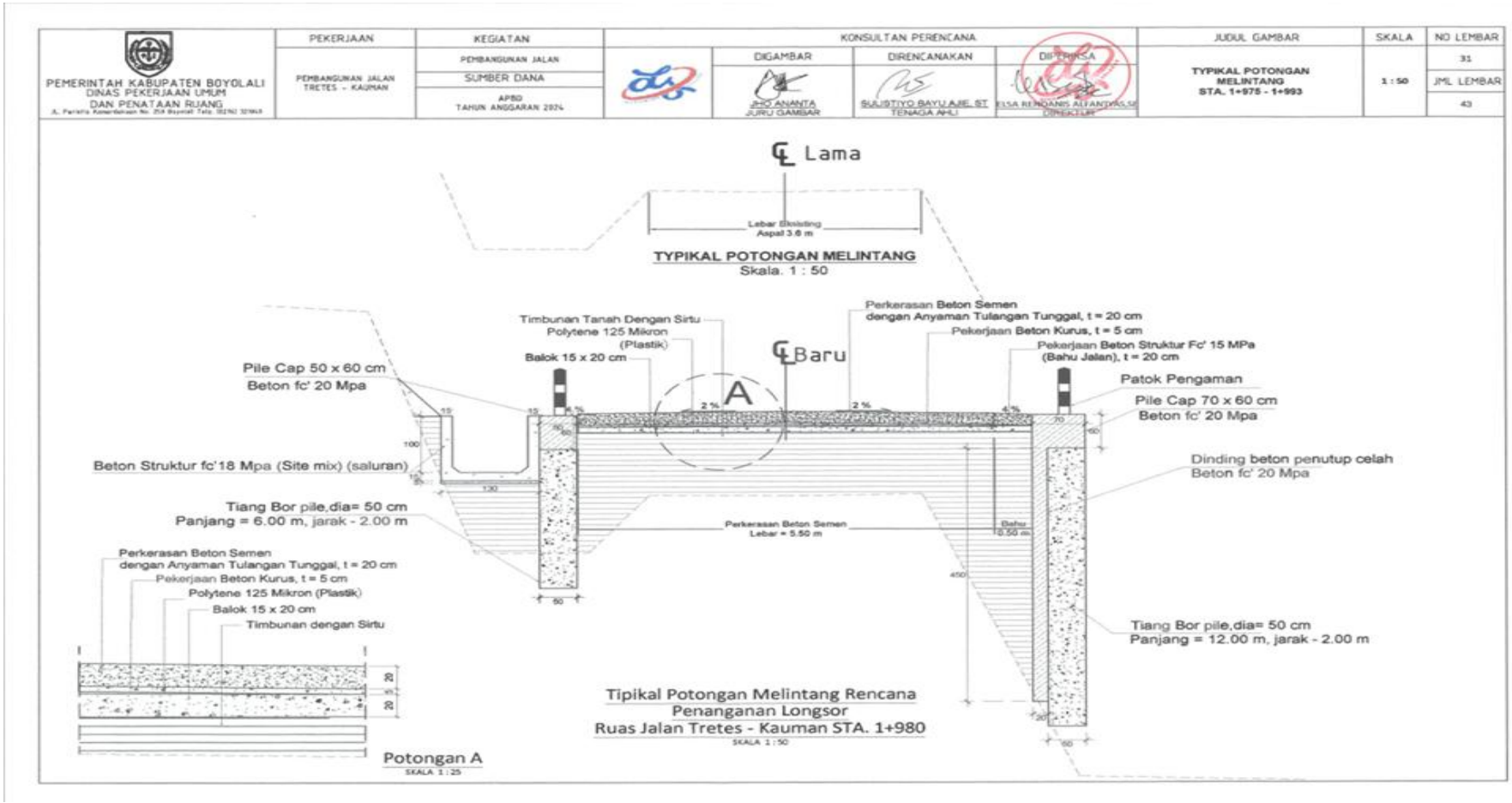
Kurniawan, D. (2019). *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dan Site Pile Baja pada Lereng Jalan Tol Balikpapan-Samarinda Sta 2+850 - 3+050. Tugas Akhir.* Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Mina, E. K. (2017). *Analisis Kelongsoran Galian Basement Menggunakan Dinding Penahan Tanah Soldier Pile dengan Software PLAXIS*. https://jurnal.unirta.ac.id

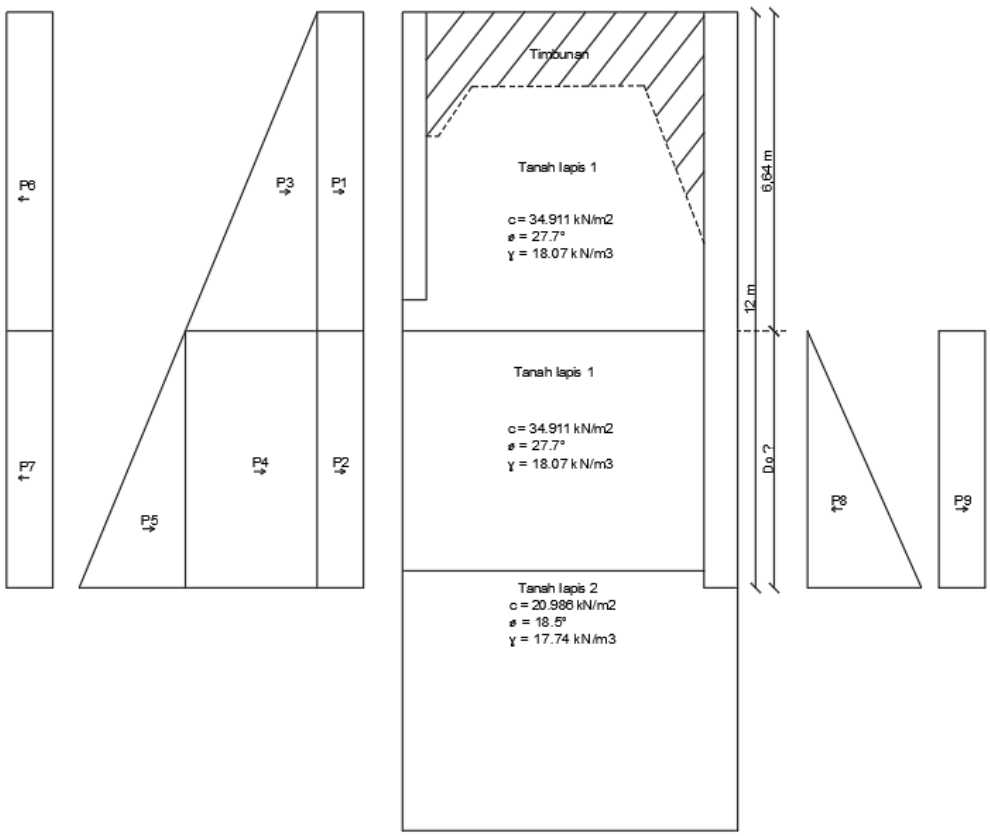
Nurtanti, E. Z. (2019). *Analisis Perkuatan Tanah dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Beton Bertulang dan Dinding Turap dengan Program PLAXIS 8.6 Pada Sungai Pabelan. Tugas Akhir.* Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Septian, R. D. (2019). *Analisis Kegagalan Struktur Lereng Tanah Pada Jalur Ganda Dengan Menggunakan Analisis Komputasi (Studi Kasus: Sta 208+00 Double Track Kereta Api Martapura - Baturaja).* https://journal.eng.unila.ac.id.

LAMPIRAN



Lampiran 1 Potongan Melintang Ruas Jalan STA 1+980



Lampiran 2 Permodelan Bored Pile pada Autocad