

**ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN DENGAN DINDING  
PENAHAN TANAH DI ATAS LAPISAN TANAH LUNAK**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan untuk melengkapi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Strata Satu  
(S-1) pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas HKBP Nommensen Medan*

Disusun Oleh:

**FRANS PUTRA PARDAMEAN GIRSANG**  
20310041

Telah diuji dihadapan Tim Penguji Tugas Akhir pada tanggal 30 Agustus 2024  
dan dinyatakan telah lulus sidang sarjana

Disahkan oleh:

**Dosen Pembimbing I**



**Bartholomens, S.T., M.T.**

**Dosen Pembimbing II**



**Nurvita Lusani M. Simanjuntak, S.T., M.S.**

**Dosen Penguji I**



**Ir. J. Oberly Simanjuntak, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.**

**Dosen Penguji II**



**Luki Hariando Purba, S.T., M.Eng.**

**Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Ir. Timbang Pangaribuan, M.T.**

**Ketua Program Studi**



**Ir. Yetty Riris Saragi, S.T., M.T., IPU., ACP.**

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Pembangunan infrastruktur adalah bagian penting didalam pengembangan ekonomi di suatu negara. Proyek pembangunan seperti jalan tol dapat mengembangkan jaringan transportasi pada suatu wilayah dan dapat mendorong kegiatan ekonomi seperti mobilitas barang dan jasa. Investasi modal publik yang didalamnya tercakup investasi transportasi dapat memberikan pengaruh yang besar dan positif dalam sektor ekonomi di tingkat nasional. Dengan jaringan dan sistem transportasi yang memiliki ketersediaan akses yang tinggi, mobilitas dan keandalan dapat meningkatkan keselamatan dan mengurangi waktu tempuh, dimana hal ini dapat mengurangi ongkos perjalanan dalam pendistribusian dan menaikkan produktivitas ekonomi di suatu daerah (Prasetyo & Djunaedi, 2019).

Namun pada pelaksanaannya, pembangunan infrastruktur seperti jalan tol seringkali menghadapi tantangan teknis, termasuk masalah terkait dengan stabilitas tanah. Mengingat wilayah geografis yang akan dibangun umumnya memiliki karakteristik tanah yang tidak stabil, rentan terhadap erosi, longsor, dan perubahan kondisi geologi laninnya. Hal ini dapat mengancam keberlanjutan proyek infrastruktur dan bahkan keselamatan pengguna jalan tol pada waktu mendatang. Oleh karena itu perbaikan stabilitas tanah adalah salah satu aspek penting yang dapat dipertimbangkan dalam pelaksanaan dan perencanaan proyek.

Proyek pembanguna Jalan Tol Inderapura – Kuala Tanjung terletak pada kawasan yang memiliki tanah dasar yang tidak stabil, dimana ketika setelah dilakukan pengujian dan penyelidikan, tanah keras terdapat pada kedalaman kurang lebih 30 meter. Terkhusus pada bagian gerbang tol, dalam perencanaannya terdapat galian dan timbunan yang berbatasan langsung dengan batas wilayah pembangunan sehingga diperlukan dinding penahan tanah (DPT) atau *retaining wall*. Dinding penahan tanah menjadi sangat relevan karena kemungkinan adanya tanah berlereng akibat galian dan timbunan yang rentan terhadap erosi atau longsor.

Dinding penahan tanah (*Retaining Wall*) adalah struktur yang memiliki fungsi untuk menjamin kestabilan tanah pada kondisi tanah tertentu, terutama pada daerah lereng alam dan lereng buatan juga pada lereng akibat urugan tanah yang memiliki beda tinggi antara bidang tanah dan bidang lainnya. Sifat fisik dan mekanik dari tanah akan terganggu akibat dari adanya pengaruh dari luar atau eksternal. Maka dari itu penting mendesain kestabilan dari struktur dinding penahan tanah untuk dapat menahan beban eksternal dan beban dari tanah (Kalalo et al., 2017).

Hal yang dapat dipertimbangkan dalam penggunaan dinding penahan tanah yaitu penambahan pondasi tiang pancang. Tiang pancang dapat ditanam di bawah permukaan tanah untuk menambah kekakuan struktural dinding penahan tanah. Dengan menambahkan tiang pancang, kekuatan dinding penahan tanah dapat ditingkatkan, sehingga mampu menahan tekanan lateral yang lebih besar dari tanah di belakangnya. Alternatif ini diperlukan terutama dalam kondisi tanah yang tidak stabil seperti yang ditemukan di proyek ini.

Terdapat dua alternatif yang akan dianalisis. Alternatif pertama melibatkan penimbunan tanah dan penanganan tanah dengan metode preloading dan *Prefabricated Vertical Drains* (PVD), kemudian dilanjutkan dengan pemasangan tiang pancang serta dinding penahan tanah. Sementara itu, alternatif kedua mencakup pemasangan tiang pancang dan dinding penahan tanah terlebih dahulu, yang kemudian diikuti dengan penimbunan tanah dan penanganan tanah menggunakan metode preloading dan PVD. Kedua alternatif ini dianalisis untuk menentukan metode yang paling efektif dalam mendukung stabilitas timbunan pada lokasi pembangunan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan pada latar belakang yang sudah dijabarkan, maka dapat dirumuskan sejumlah masalah seperti berikut:

- a. Bagaimana stabilitas timbunan dengan dinding penahan tanah (DPT) yang memakai tiang pancang pada saat pelaksanaan konstruksi?

- b. Bagaimana stabilitas timbunan dengan dinding penahan tanah (DPT) yang memakai tiang pancang pada saat operasional?
- c. Bagaimana deformasi timbunan pada saat operasional?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui stabilitas timbunan dengan dinding penahan tanah (DPT) yang memakai tiang pancang pada saat pelaksanaan konstruksi.
- b. Untuk mengetahui stabilitas timbunan dengan dinding penahan tanah (DPT) yang memakai tiang pancang pada saat operasional.
- c. Untuk mengetahui deformasi timbunan pada saat operasional.

### **1.4 Batasan Masalah**

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data-data yang dipakai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah data sekunder yang diperoleh dari proyek Jalan Tol Inderapura – Kuala Tanjung.
- b. Perhitungan dan analisis dilakukan menggunakan program geoteknik dengan metode *finite element*.
- c. Penyusunan laporan tidak menyertakan rancangan anggaran biaya dan detail gambar.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Kemudian manfaat dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui stabilitas timbunan dengan dinding penahan tanah yang memakai tiang pancang pada saat pelaksanaan dan operasional.
- b. Mengetahui dampak dari urutan pengerjaan dinding penahan tanah dan tiang pancang.
- c. Diharapkan dapat digunakan sebagai perbandingan untuk penelitian yang akan datang.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tanah**

##### **2.1.1 Defenisi Tanah**

Pada umumnya tanah merupakan material yang tersusun dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu dengan yang lainnya dan dari bahan-bahan organik yang sudah mengalami pelapukan, dan didalamnya juga disertai oleh zat-zat yang mengisi ruang kosong yang dapat berupa zat cair maupun gas. Tanah digunakan untuk bahan bangunan dan juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan (Das, 1995).

Masih menurut Das (1995), proses pembentukan agregat ini berasal dari batuan induk yang mengalami pelapukan seiring dengan penambahan waktu. Pelapukan yang terjadi dapat berupa pelapukan biologis, pelapukan fisik, dan pelapukan kimiawi. Pelapukan biologis terjadi akibat aktivitas organisme hidup seperti tumbuhan, hewan maupun mikroorganisme. Pelapukan fisik terjadi akibat perubahan suhu, tekanan maupun gerusan air. Sedangkan pelapukan kimiawi terjadi akibat interaksi batuan dengan senyawa-senyawa kimia. Jika hasil pelapukan berpindah dari tempat asalnya maka tanah ini disebut tanah terangkut, sedangkan jika masih di tempat asal disebut tanah residu.

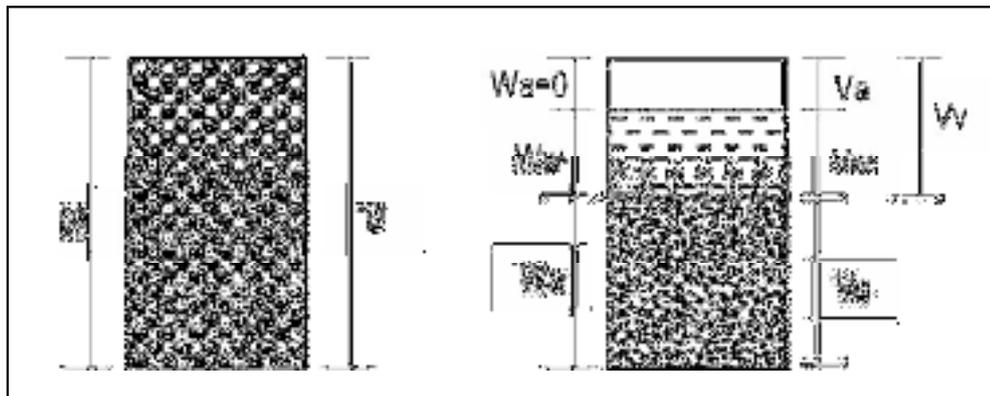
##### **2.1.2 Propertis Tanah**

Menurut Darwis (2018) properti atau sifat-sifat dari tanah dasar sangat mempengaruhi berbagai komponen-komponen konstruksi yang akan dibangun. Properti tanah ditunjukkan dengan berbagai indikator perhitungan yang dapat disebut juga sebagai indeks properti atau indeks sifat-sifat tanah., seperti berat volumem kadar air, porositas, angka pori, derajat kejenuhan, derajat kepadatan, derajat kerapatan, berat jenis, analisis butiran, batas cair, batas plastis, batas susut, dan sebagainya.

Pada prinsipnya sebuah massa tanah dapat terbagi menjadi dua atau tiga komponen penyusun utama, yaitu meliputi butiran tanah, air dan udara. Pada tanah dalam keadaan jenuh terdapat butiran tanah dan semua pori-porinya terisi oleh air,

Pada tanah tidak jenuh terdapat butiran tanah, udara dan air. Sedangkan pada tanah kering terdiri dari butiran tanah dan semua pori-porinya terisi oleh udara (Das, 1995)

Hubungan antara bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 2. 1 Diagram Fase Tanah

(Sumber: Dasar-Dasar Mekanika Tanah, H. Darwis, 2018)

Keterangan:

- W = berat total tanah
- Wa = berat udara = 0 (diabaikan)
- Ww = berat air
- V = volume total tanah
- Va = volume udara
- Vw = volume air
- Vv = volume pori
- Vs = volume butir

Gambar 2.1 menunjukkan komponen tanah yang memiliki volume V dan berat total W, dapat dirumuskan beberapa hubungan sebagai berikut:

$$W = W_s + W_w \tag{2.1}$$

$$V_v = V_w + V_a \tag{2.2}$$

$$V = V_s + V_w + V_a \tag{2.3}$$

a. Berat Volume Basah ( $\gamma_b$ )

Berat volume basah adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V), parameter ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad 2.4$$

b. Berat Volume Kering ( $\gamma_d$ )

Berat volume kering adalah perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume total tanah (V), parameter ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad 2.5$$

c. Berat Volume Butiran Padat ( $\gamma_s$ )

Berat volume butiran padat adalah perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume butiran padat ( $V_s$ ), parameter ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad 2.6$$

d. Porositas / *Porosity* (n)

Porositas adalah perbandingan antara volume pori/ rongga ( $V_v$ ) dengan volume total (V). Nilai porositas dinyatakan dalam persen (%) ataupun desimal, parameter ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$n = \frac{V_v}{V} \quad 2.7$$

e. Angka Pori (e)

Angka pori adalah perbandingan antara volume pori/rongga ( $V_v$ ) dengan volume butiran ( $V_s$ ), parameter ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad 2.8$$

f. Kadar Air (w)

Kadar air adalah perbandingan antara berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran padat ( $W_s$ ), parameter ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad 2.9$$

g. Derajat Kejenuhan (S)

Derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air ( $V_w$ ) dengan volume total rongga pori ( $V_v$ ), parameter ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad 2.10$$

Jika tanah dalam keadaan jenuh air, maka nilai  $S = 1$ . Nilai derajat kejenuhan ini dapat dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, seperti tampak pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Derajat Kejenuhan dan Konsistensi Tanah

<b>Konsistensi Tanah</b>	<b>Derajat Kejenuhan (S)</b>
Tanah Kering	0,00
Tanah Agak Lembab	>0 – 0,25
Tanah Lembab	0,26 – 0,50
Tanah Sangat Lembab	0,51 – 0,75
Tanah Basah	0,76 – 0,99
Tanah Jenuh Air	1,00

(Sumber: *Dasar-Dasar Mekanika Tanah*, H. Darwis, 2018.)

h. Berat Jenis atau Berat Spesifik/*Specific Gravity* ( $G_s$ )

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ) dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ) pada temperatur 4°C ( $\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$  atau  $9,81 \text{ kN/m}^3$ ), parameter ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad 2.11$$

Nilai parameter  $G_s$  tidak berdimensi. Interval nilai  $G_s$  untuk berbagai jenis tanah, berkisar antara 2,58 sampai 2,75. Kecuali untuk jenis tanah humus dan gambut biasanya interval  $G_s$  antara 1,25 sampai 1,80. Nilai berat jenis untuk berbagai jenis tanah dijabarkan dalam Tabel. 2.2 berikut.

Tabel 2. 2 Berat Jenis ( $G_s$ ) berbagai jenis tanah

Jenis Tanah	Berat Jenis ( $G_s$ )
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Anorganik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber: Dasar-Dasar Mekanika Tanah, H. Darwis, 2018)

- i. Hubungan antara Angka Pori dan Porositas

$$e = \frac{n}{1 - n} \quad 2.12$$

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad 2.13$$

- j. Berat Volume Tanah Basah ( $\gamma_b$ )

$$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w (1 + w)}{1 + e} \quad 2.14$$

- k. Berat Volume Tanah Jenuh Air ( $S=1$ )

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1 + e} \quad 2.15$$

- l. Berat Volume Tanah Kering Sempurna ( $S=0$ )

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} \quad 2.16$$

m. Berat volume Tanah Terendam Air / Berat Volume Efektif ( $\gamma'$ )

$$\gamma' = \frac{\gamma_w(G_s - 1)}{1 + e} \quad 2.17$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad 2.18$$

n. *Modulus Young* (E)

Nilai dari modulus young (E) merupakan gambaran dari elastisitas tanah yang didapat dari perbandingan antara tegangan dan regangan yang terjadi. Nilai ini bisa didapat dari hasil percobaan *Triaxial test*. Berdasarkan jenis tanah dan data sondir, nilai modulus elastisita (E) dapat ditentukan secara empiris, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

Jenis Tanah	E (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Lempung</b>	
a) Sangat Lunak	3 – 30
b) Lunak	20 – 40
c) Sedang	45 – 90
d) Berpasir	300 – 425
<b>Pasir</b>	
a) Berlanau	50 – 200
b) Tidak Padat	100 – 250
c) Padat	500 – 1000
<b>Pasir dan Kerikil</b>	
a) Padat	800 – 2000
b) Tidak Padat	500 – 1400
<b>Lanau</b>	20 – 200
<b>Loses</b>	150 – 600
<b>Cadas</b>	1400 - 14000

(Sumber: *Mekanika Tanah II*, Hary Christady Hardiyatmo, 2008)

o. *Poisson Ratio*

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai *poisson ratio* ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2. 4 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio

<b>Jenis Tanah</b>	<b>Poisson Ratio (<math>\mu</math>)</b>
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir padat	0,20 – 0,40
Pasir kasar (angka pori, $e = 0,4 - 0,7$ )	0,15
Pasir halus (angka pori, $e = 0,4 - 0,7$ )	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loses	0,10 – 0,30

(Sumber: *Mekanika Tanah II, Hary Christady Hardiyatmo, 2008*)

p. Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )

Sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam tanah. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2. 5 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

<b>Jenis Tanah</b>	<b>Sudut Geser Dalam (<math>\phi</math>)</b>
Kerikil kepasiran	35° - 40°
Kerikil kerakal	35° - 40°
Pasir padat	35° - 40°
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	25° - 30°
Lempung	20° - 25°

(Sumber: *Mekanika Tanah Jilid 2, Braja M. Das, 1993*)

q. Kohesi (c)

Kohesi mengacu pada kekuatan atau gaya yang mengikat partikel-partikel tanah menjadi satu. Nilai kekuatan geser tanah yang disebut kohesivitas menunjukkan seberapa tahan tanah terhadap perubahan bentuk lateral yang disebabkan oleh tegangan tanah.

Nilai kohesi didapat dari pengujian *Direct Sheer Test* atau dari data sondir (qc) dengan rumus sebagai berikut.

$$c = qc/20 \quad 2.19$$

r. Permeabilitas (k)

Permeabilitas adalah sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga atau pori tanah. Rentang koefisien permeabilitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut.

Tabel 2. 6 Hubungan Antar Permeabilitas dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Nilai k (cm/detik)
Kerikil sedang kasar	$> 10^{-1}$
Kerikil halus-kasar	$10^{-1} - 10^{-3}$
Pasir halus, pasir lanau	$10^{-3} - 10^{-5}$
Lanau, lanau berlempung, lempung berlanau	$10^{-5} - 10^{-7}$
Lempung gemuk	$< 10^{-7}$

(Sumber: Mekanika Tanah Jilid 2, Braja M. Das, 1993)

### 2.1.3 Klasifikasi Tanah

Karakteristik dan sifat tanah sangat bervariasi sehingga dibutuhkan pengelompokan atau klasifikasi tanah, gunanya untuk memahami sifat-sifat tanah sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi teknik. Klasifikasi tanah adalah bidang pengetahuan yang berhubungan dengan pengelompokan tanah berdasarkan perbedaan karakteristiknya, ini merupakan bidang ilmu yang senantiasa terus berkembang yang mempelajari struktur dari sistem klasifikasi tanah, definisi dari

kelas-kelas yang digunakan untuk mengelompokkan tanah, serta cara implementasinya dalam situasi praktis lapangan (Darwis, 2018)

Menurut Hardiyatmo (2002), secara umum digunakan dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway Transportation Officials*). Kedua sistem ini memakai parameter tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas.

a. Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Klasifikasi USCS diajukan pertama kali oleh Casagrande pada tahun 1942 dan selanjutnya disempurnakan pada tahun 1952 bekerjasama dengan *United States Bureau of Reclamation*. Kemudian *American Standard Testing of Materials* (ASTM) menggunakan USCS sebagai standar dalam pengklasifikasian dan rekayasa pekerjaan tanah. Dalam USCS, tanah diklasifikasikan dalam dua kategori utama, yaitu:

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*), yaitu berupa tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanahnya lolos saringan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G ataupun S. Huruf G untuk kerikil (*Gravel*) atau tanah berkerikil, dan huruf S untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir-halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanahnya lolos saringan N0.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah:

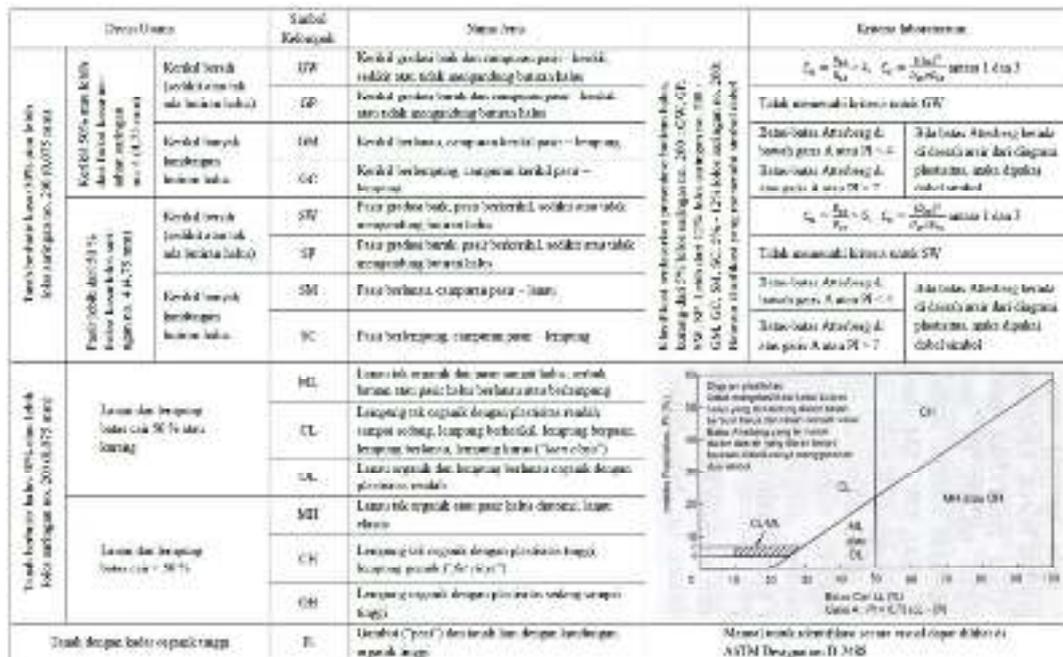
W = tanah dengan gradasi baik (*well graded*)

P = tanah dengan gradasi buruk (*poorly graded*)

L = plastisitas rendah (*low plasticity*) ( $LL < 50$ ) H

= plastisitas tinggi (*high plasticity*) ( $LL > 50$ )

Selanjutnya tanah dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok utama dan sub-kelompok seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Klasifikasi Tanah Sistem USCS  
(Sumber: Mekanika Tanah I, Hary Christady Hardiyatmo, 2002)

b. Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*)

Sistem klasifikasi tanah AASTHO pada awalnya dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam tujuh kelompok, A-1 sampai A-7, setelah dilakukan beberapa kali perbaikan sistem ini dipakai pada tahun 1945.

Menurut sistem ini tanah dikelompokkan menjadi 7 kelompok dengan beberapa sub kelompok didalamnya, semakin kecil angkanya, semakin baik untuk bahan subgrade jalan, dan sebaliknya semakin besar angkanya semakin jelek untuk subgrade.

Tanah A-1 adalah tanah granuler (kerikil atau pasir) yang memiliki gradasi baik, tanah A-2 adalah tanah granuler (yang lolos ayakan No. 200 kurang dari 35 %) tetapi didalamnya terdapat lempung dan lanau. Sedangkan dari kelompok A-4 sampai dengan A-7 merupakan tanah lempung-lanau. Perbedaan

antara kedua kelompok ini adalah didasarkan pada batas-batas Atterberg. Rincian lengkap mengenai sistem klasifikasi AASTHO dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Klasifikasi umum	Material granular ( $< 95\%$ lolos saringan no. 200)						Tanah-tanah lempung ( $> 30\%$ lolos saringan no. 200)			
	A-1		A-2	A-3		A-4	A-5	A-6	A-7	
Gravelly sand	SP-10	SP-15	SP-20	SP-25	SP-30					SP-40
Sand	SM-10	SM-15	SM-20	SM-25	SM-30	SM-40	SM-50	SM-60	SM-70	
Sandy clay	SC-10	SC-15	SC-20	SC-25	SC-30	SC-40	SC-50	SC-60	SC-70	
Clayey sand	CS-10	CS-15	CS-20	CS-25	CS-30	CS-40	CS-50	CS-60	CS-70	
Clayey sand with gravel	GS-10	GS-15	GS-20	GS-25	GS-30	GS-40	GS-50	GS-60	GS-70	
Sandy clay with gravel	GC-10	GC-15	GC-20	GC-25	GC-30	GC-40	GC-50	GC-60	GC-70	
Clayey sand with gravel	GP-10	GP-15	GP-20	GP-25	GP-30	GP-40	GP-50	GP-60	GP-70	
Clayey sand with gravel	GM-10	GM-15	GM-20	GM-25	GM-30	GM-40	GM-50	GM-60	GM-70	
Clayey sand with gravel	MG-10	MG-15	MG-20	MG-25	MG-30	MG-40	MG-50	MG-60	MG-70	
Clayey sand with gravel	MS-10	MS-15	MS-20	MS-25	MS-30	MS-40	MS-50	MS-60	MS-70	
Clayey sand with gravel	MT-10	MT-15	MT-20	MT-25	MT-30	MT-40	MT-50	MT-60	MT-70	
Clayey sand with gravel	MT-10	MT-15	MT-20	MT-25	MT-30	MT-40	MT-50	MT-60	MT-70	

Gambar 2. 3 Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO

(Sumber: Mekanika Tanah I, Hary Christady Hardiyatmo, 2002)

### 2.1.4 Kuat Geser Tanah

Kekuatan tanah pada umumnya diartikan sebagai kuat geser tanah, namun pada perhitungan lebih lanjut ditemukan bahwa tanah memiliki beberapa aspek kekuatan tanah, meliputi:

- Kuat geser (*shear strength*)
- Daya dukung (*bearing capacity*)
- Tekanan tanah lateral (*earthlateral pressure*), dan
- Stabilitas lereng (*slope stability*)

Tanah yang adalah campuran dan gabungan dari bahan-bahan yang saling bergesekan (*frictional materials*) memungkinkan material-material yang ada meluncur dan berguling satu dengan yang lainnya. Akibat dari peristiwa ini adalah kekuatan tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan efektif didalam tanah itu sendiri. Dimana semakin dalam posisi tanah maka semakin besar tekanan dan juga kekuatannya (Das, 1995)

Masih menurut Das (1995), kuat geser tanah sendiri sangat dibutuhkan dalam berbagai perhitungan dalam pengaplikasian dinding penahan tanah dan stabilitas lereng. Kuat geser tanah merupakan kekuatan material tanah dalam melawan tegangan geser yang timbul di dalam tanah. Terdapat dua komponen utama dalam menentukan nilai kuat geser tanah yaitu, gaya kohesi yang dipengaruhi oleh jenis dan kepadatan tanah, serta gaya gesekan antara butir-butir tanah yang sebanding dengan tegangan normal pada bidang gesernya, sehingga Coulumb (1776) memformulasikan kuat geser sebagai berikut:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad 2.20$$

Dimana:  $\tau$  = kuat geser tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

$c$  = kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

$\phi$  = sudut geser dalam tanah (derajat)

$\sigma$  = tegangan normal pada bidang runtuh ( $\text{kN/m}^2$ )

### 2.1.5 Kapasitas Daya Dukung Tanah

Menurut Darwis (2018) Kapasitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kekuatan tanah untuk menahan atau memikul penurunan akibat dari adanya pembebanan. Daya dukung izin adalah tekanan dimana tanah dengan mudah dapat menahan beban yang bekerja. Sedangkan daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*,  $q_{ult}$ ) merupakan keadaan dimana tanah gagal menahan tekanan akibat beban yang bekerja, biasanya beban yang dimaksud adalah pondasi suatu struktur bangunan.

Dalam merencanakan suatu pondasi, tekanan yang dirancang untuk dapat diteruskan ke tanah adalah tekanan yang sudah diizinkan ( $q_a$ ), yang didapat dari hasil perbandingan antara tekanan ultimit ( $q_{ult}$ ) dan faktor keamanan (SF), seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$q_a = \frac{q_{ult}}{SF} \quad 2.21$$

### 2.1.6 Tekanan Tanah Lateral

Menurut Hardiyatmo (2002), tekanan tanah lateral adalah tekanan yang ditimbulkan dari tanah pada struktur pendukung di atas permukaan tanah di sekelilingnya. Atau dengan kata lain bisa diartikan sebagai tekanan yang ditimbulkan oleh tanah pada arah horizontal. Parameter ini sangat dibutuhkan terutama pada perhitungan dan pemodelan struktur pendukung seperti dinding penahan tanah (*retaining walls*), terowongan (*tunnel*), pondasi dalam (*deep foundation*), dan ruang bawah tanah (*basement*). Tegangan tanah dapat dibagi menjadi tiga macam yakni tekanan tanah saat diam, tekanan tanah pasif dan tekanan tanah aktif.

#### a. Tekanan Tanah Lateral Saat Diam

Tekanan tanah lateral saat diam merujuk pada tekanan tanah ke arah lateral ketika tidak mengalami regangan pada tanah. Kondisi ini muncul akibat tekanan vertikal mengalami perubahan bentuk ke arah lateral akibat pengaruh *poisson rasio* sehingga tanah disekitarnya menahan perubahan ke arah lateral. Untuk lebih jelasnya, diuraikan pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 4 Tekanan Tanah Lateral Saat Diam

(Sumber: *Mekanika Tanah II, Hary Christady Hardiyatmo*)

Menurut Hardiyatmo (2002) posisi tekanan tanah yang ada di dinding dapat berupa tekanan tanah pada saat diam dan tekanan tanah lateral pada kedalaman tertentu dapat dituliskan kedalam persamaan sebagai berikut.

$$K = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad 2.22$$

Karena  $\sigma_v = \gamma \cdot z$ , maka tekanan tanah lateral saat diam adalah.

$$\sigma_h = K_0 \cdot \gamma \cdot z \quad 2.23$$

Karena  $\sigma_h = P_0$ , dan  $z = H$ , maka

$$P_0 = K_0 \cdot \gamma \cdot H \quad 2.24$$

Dimana:  $P_0$  = tekanan tanah saat diam (ton/m)

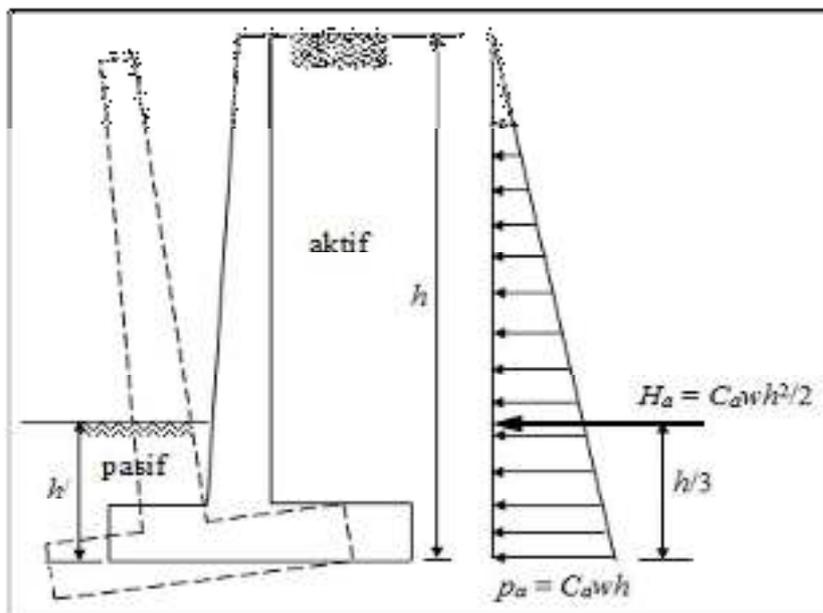
$K_0$  = koefisien tekanan tanah saat diam

$\gamma$  = berat volume tanah basah (ton/m<sup>3</sup>)

$H$  = kedalaman tanah (m)

#### b. Tekanan Tanah Aktif

Tekanan tanah aktif adalah tekanan yang dihasilkan oleh massa tanah yang mengakibatkan gerakan lateral atau tekanan pada struktur dinding penahan. Diagram tekanan tanah aktif ditunjukkan Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2. 5 Diagram Tekanan Tanah Aktif

(Sumber: Mekanika Tanah II, Hary Christady Hardiyatmo)

Menurut teori Rankine, tekanan tanah aktif dibagi menjadi dua jenis yaitu tekanan tanah datar dan tanah miring. Pada tekanan tanah lateral aktif koefisien pada tanah datar dituliskan dalam persamaan berikut

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad 2.25$$

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad 2.26$$

Sedangkan untuk tanah miring dituliskan dalam persamaan berikut.

$$K_a = \cos \beta \left( \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos 2\beta - \cos 2\varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos 2\beta - \cos 2\varphi}} \right) \quad 2.27$$

Dan nilai tekanan tanah aktif bisa dihitung melalui persamaan berikut.

1. Menghitung tekanan tanah aktif untuk tanah kohesif

$$P_a = (0,5 \times K_a \times \gamma \times H^2) - (2 \times c \times \sqrt{K_a}) \quad 2.28$$

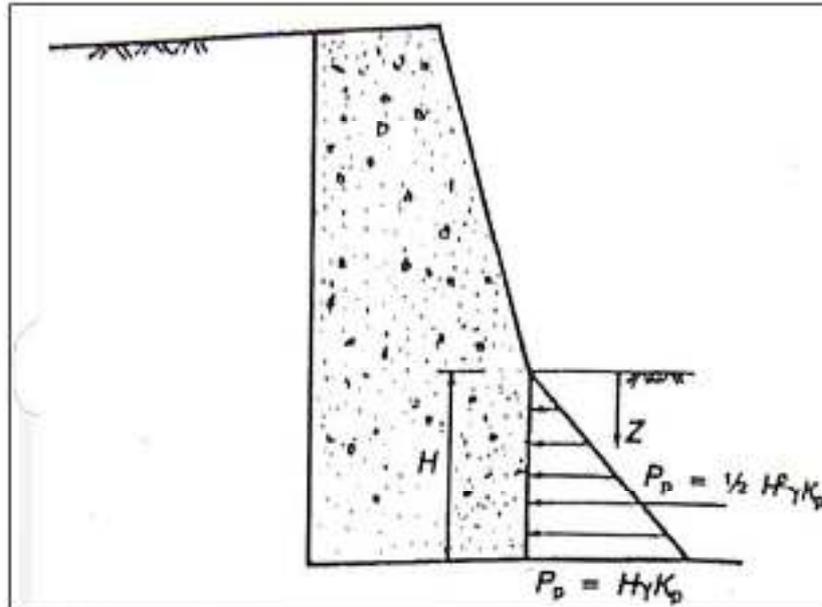
2. Menghitung tekanan tanah aktif untuk tanah non-kohesif

$$P_a = 0,5 \times K_a \times \gamma \times H^2 \quad 2.29$$

Dimana:  $P_a$  = tekanan tanah aktif (ton/m)  
 $K_a$  = koefisien tekanan tanah aktif  
 $\gamma$  = berat volume tanah basah (ton/m<sup>3</sup>)  
 $H$  = kedalaman tanah (m)  
 $c$  = kohesi (ton/m<sup>2</sup>)

- c. Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah pasif terjadi ketika struktur pendukung memberikan tekanan atau gaya lateral pada massa tanah. Diagram tekanan tanah pasif dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 Diagram Tekanan Tanah Pasif

(Sumber: Mekanika Tanah II, Hary Christady Hardiyatmo, 2003)

Persamaan koefisien tanah pasif untuk tanah datar

$$K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad 2.30$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad 2.31$$

Persamaan koefisien tanah pasif untuk tanah datar

$$K_p = \cos \beta \left( \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos 2\beta - \cos 2\varphi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos 2\beta - \cos 2\varphi}} \right) \quad 2.32$$

Dan nilai tekanan tanah pasif dapat dihitung dengan persamaan berikut.

1. Menghitung tekanan tanah pasif untuk tanah kohesif

$$P_p = (0,5 \times K_p \times \gamma \times H^2) - (2 \times c \times \sqrt{K_p}) \quad 2.33$$

2. Menghitung tekanan tanah pasif untuk tanah non-kohesif

$$P_p = 0,5 \times K_p \times \gamma \times H^2 \quad 2.34$$

Dimana:  $P_p$  = tekanan tanah pasif (ton/m)  
 $K_p$  = koefisien tekanan tanah pasif  
 $\gamma$  = berat volume tanah basah (ton/m<sup>3</sup>)  
 $H$  = kedalaman tanah (m)  
 $c$  = kohesi (ton/m<sup>2</sup>)

### 2.1.7 Stabilitas Lereng

Menurut Pangemanan & A.E Turangan (2014), pada keadaan pekerjaan dilapangan, permukaan tanah tidak serta merta terdiri dari bidang-bidang yang rata namun mempunyai variasi ketinggian dari satu lokasi ke lokasi lain sehingga menimbulkan kemiringan yang sering disebut sebagai lereng. Lereng adalah suatu kondisi topografi yang sering didapati pada berbagai proyek konstruksi sipil. Lereng bisa dibuat dengan sengaja oleh manusia atau mungkin terjadi secara alami. Bencana alam yang sering biasa terjadi pada lereng baik alami ataupun buatan adalah longsor. Kerusakan atau kelongsoran lereng terutama terjadi ketika musim penghujan. Meningkatnya tekanan air pori pada lereng menjadi penyebabnya. Akibatnya terjadi penurunan nilai kuat geser tanah ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) yang akhirnya mengakibatkan kelongsoran.

Pada ranah teknik sipil, terdapat tiga jenis lereng yaitu:

1. Lereng alam, yaitu lereng yang disebabkan oleh proses alam, contohnya adalah lereng pada bukit.
2. Lereng yang dibentuk melalui tanah asli, seperti yang terjadi ketika lahan dibuka untuk membangun jalan atau saluran air untuk tujuan irigasi, dilakukan melalui cara pemotongan tanah.
3. Lereng yang terbentuk karena pemadatan tanah, seperti pada bendungan ataupun tanggul jalan.

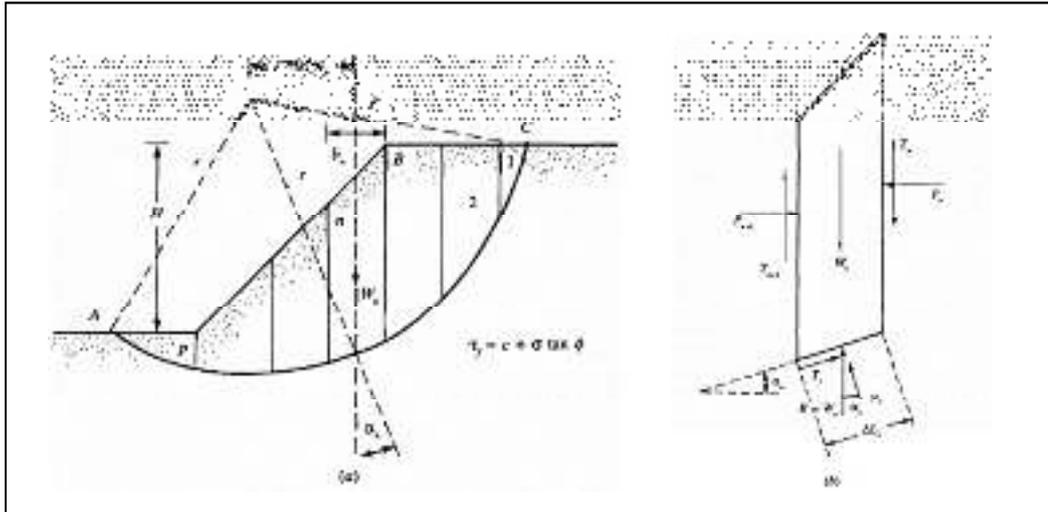
Menurut Pangemanan & A.E Turangan (2014). Gaya luar yang bekerja dalam material pembentuk lereng mengakibatkan material cenderung tergelincir. Kekuatan geserlah yang membuat benda-benda ini tetap di tempatnya meskipun ada kecenderungan untuk tergelincir. Walaupun suatu lereng telah stabil dari waktu ke

waktu, lereng tersebut masih dapat menjadi tidak stabil karena sejumlah alasan berikut:

1. Tipe dan kondisi lapisan tanah atau batuan yang membentuk lereng.
2. Geometri penampang lereng seperti misalnya kemiringan lereng dan tinggi.
3. Peningkatan kadar air pada tanah (misalnya melalui rembesan air atau infiltrasi hujan).
4. Berat dan distribusi beban.
5. Getaran atau gempa.

Analisis stabilitas lereng dapat diartikan sebagai pemanfaatan pengetahuan mengenai kekuatan geser tanah untuk mendapatkan kemantapan lereng. Pada dasarnya kekuatan dan tegangan tanah inilah yang menentukan kestabilan lereng. Massa tanah dapat dipindahkan hingga runtuh akibat aksi gravitasi dan sebab-sebab lain, yang bersama-sama dapat menciptakan kekuatan pendorong (Pangemanan & A.E Turangan, 2014)

Menurut Rajagukguk et al., (2014), A.W. Bishop mengembangkan metode Bishop, yang menggunakan metode potongan atau irisan untuk mengilustrasikan gaya-gaya yang bekerja pada setiap potongan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.7. Pendekatan Bishop digunakan untuk memeriksa permukaan gelincir (*slip surface*). Metode ini mengasumsikan bahwa total gaya normal bekerja pada pusat dasar potongan, yang dapat dihitung dengan menguraikan gaya-gaya pada potongan secara vertikal atau normal. Komponen irisan yang membentuk kemiringan tersebut dirancang untuk memenuhi persyaratan keseimbangan. Dimana metode ini membuat asumsi bahwa gaya yang bekerja pada irisan memiliki resultan bernilai nol pada arah vertikal.



Gambar 2. 7 Gaya Yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber: Mekanika Tanah Jilid 2, Braja M. Das, 1993)

Nilai *safety factor* pada metode Bishop ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (cb_n + W_n \tan \phi) \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{i=1}^{i=n} W_n \times \sin \alpha_n} \quad 2.35$$

Dengan,

$$m_{\alpha(n)} = \cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \cdot \sin \alpha_n}{F_s} \quad 2.36$$

- Dimana:  $F_s$  = faktor aman  
 $c$  = kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ )  
 $\phi$  = sudut gesek dalam tanah ( $^\circ$ )  
 $W_n$  = berat irisan ke-n (kN)  
 $bn$  = lebar potongan ke-n (m)  
 $\alpha$  = sudut dasar irisan ( $^\circ$ )

## 2.2 Tanah Lunak

Tanah lunak mempunyai sifat-sifat daya dukung yang sangat rendah, angka kompresibilitas yang cukup tinggi dan konsolidasi terjadi dalam kurun waktu yang relatif lama. Menurut Das (1995) dalam Zuhri et al. (2020) mengatakan bahwa nilai

hasil pengujian di lapangan dan laboratorium, akan mengategorikan tanah tersebut lunak apabila: koefisien rembesan ( $k$ ) sangat rendah  $\leq 0,0000001$  cm/dt, batas cair (LL)  $\geq 50\%$ , angka pori ( $e$ ) antara 2,5 – 3,2, kadar air dalam keadaan jenuh antara 90% - 120%, dan berat spesifik ( $G_s$ ) berkisar antara 2,6 – 2,9.

Kemudian menurut SNI 02-1726-2012 dalam Prayogo & Saptowati (2016), jenis lapisan tanah dapat diidentifikasi berdasarkan nilai uji SPT, dimana tanah yang memiliki nilai SPT antara 0 – 14 merupakan tanah lunak, SPT antara 15 – 50 merupakan tanah sedang, dan SPT diatas 50 merupakan tanah keras.

### **2.2.1 Perbaikan Tanah Lunak**

Menurut Siswanto et al. (2023), sebagai penyokong konstruksi, tanah lunak dengan nilai SPT yang kecil dan daya dukung yang rendah membutuhkan adanya tindakan perbaikan tanah. Fungsi utama dari perbaikan tanah adalah sehingga kekuatan tanah meningkat, khususnya pada parameter kuat geser yang diperlukan dalam mendukung struktur di atasnya, dan untuk mencegah pemampatan yang mungkin terjadi, kemudian tanah dapat menopang beban atau bangunan dengan stabil. Adapun tujuan dari perbaikan tanah lunak adalah sebagai berikut:

- a. Meningkatkan daya dukung dan kuat geser tanah.
- b. Memperkecil sifat kompresibilitas tanah.
- c. Meminimalkan potensi liquifikasi.
- d. Meminimalkan penurunan tanah (*settlement*).

Metode perbaikan tanah lunak didasarkan pada biaya proyek dan kondisi lapangan. Beberapa metode yang sering digunakan dalam memperbaiki tanah lunak adalah seperti pemakaian geotekstil, perbaikan dan peningkatan tanah dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*), *preloading*, perkuatan dengan *pile* dan lain-lain. PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) merupakan alternatif metode perbaikan tanah lunak yang biasa dipakai. Tanah lunak sendiri memiliki kandungan air dan udara yang mengisi void atau rongga pada tanah, dengan menggunakan metode ini maka kandungan air dan udara yang ada pada tanah dapat dikeluarkan dengan cepat sehingga tanah memiliki rongga yang relatif kecil, sehingga daya dukungnya meningkat. Penggunaan PVD mempercepat pengeluaran air pori dari tanah yang

memiliki permeabilitas rendah dapat dipercepat untuk mendapatkan waktu pemampatan tanah yang lebih cepat. PVD memiliki bentuk seperti lembaran beralur yang memiliki 2 (dua) bagian, yaitu selimut inti (*jacket*) dan inti (*core*) yang terbuat dari bahan *polipropilena*. Bagian inti berguna dalam mengalirkan air keluar dari tanah, dan selimut inti berguna sebagai pencegah butiran-butiran tanah masuk ke bagian inti yang mana bisa menghambat dan mengurangi efisiensi aliran air pada inti PVD (Siswanto et al., 2023).

Penyelesaian dalam perancangan PVD dijelaskan oleh Baron (1948) berdasarkan asumsi dari teori Terzaghi mengenai konsolidasi linear satu dimensi. Untuk waktu konsolidasi dinyatakan oleh persamaan berikut.

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot C_h}\right) \cdot 2F(n) \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - U_h}\right) \quad 2.37$$

- Dimana: t = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai  $U_h$   
D = diameter *equivalen* lingkaran tanah dari pengaruh PVD  
 $C_h$  = koefisien konsolidasi arah horizontal  
F(n) = faktor tahanan akibat jarak antara PVD  
 $U_h$  = derajat konsolidasi arah horizontal

Dengan nilai F(n) didapat dari persamaan berikut.

$$F(n) = \ln\left(\frac{D}{dw}\right) - \frac{3}{4} \quad 2.38$$

- Dimana: F(n) = faktor tahanan akibat jarak antara PVD  
D = diameter *equivalen* lingkaran tanah dari pengaruh PVD  
= 1.13s untuk pola susunan bujursangkar  
= 1.05s untuk pola susunan segitiga  
dw = diameter *equivalen* PVD (lebar/tebal drainase)

Selanjutnya untuk mendapatkan derajat konsolidasi rata-rata dihitung memakai rumus seperti dibawah ini.

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_h) \quad 2.39$$

Dimana:  $U$  = derajat konsolidasi tanah rata-rata  
 $U_v$  = derajat konsolidasi akibat aliran air pori arah vertikal  
 $U_h$  = derajat konsolidasi akibat aliran air pori arah horizontal

Untuk nilai dari derajat konsolidasi tanah akibat aliran air pori arah vertikal didapat dari persamaan berikut.

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} \quad 2.40$$

Dimana:  $U_v$  = derajat konsolidasi akibat aliran air pori arah vertikal  
 $T_v$  = faktor waktu pengaliran vertikal

Nilai dari faktor waktu pengaliran vertikal didapat dari persamaan dibawah ini

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{H_{dr}^2} \quad 2.41$$

Dimana:  $T_v$  = faktor waktu pengaliran vertikal  
 $C_v$  = koefisien konsolidasi arah vertikal  
 $H_{dr}$  = panjang lintasan drainase/tanah terkompresibel

Pemasangan PVD biasanya diikuti dengan *preloading*, *preloading* merupakan teknik yang berfungsi dalam mempercepat tahapan konsolidasi pada tanah dasar yang lunak. Teknik ini dilakukan dengan menempatkan beban sementara, seperti timbunan tanah atau material lain, di atas permukaan tanah. Tujuan dari penerapan *preloading* adalah untuk mempercepat pengeluaran air pori dari tanah dan mengurangi penurunan berlebih setelah konstruksi. Dengan metode ini, stabilitas tanah dapat ditingkatkan, sehingga struktur yang dibangun di atasnya menjadi lebih stabil dan aman (Siswanto et al., 2023).

## **2.3 Timbunan**

Timbunan merupakan upaya untuk memindahkan massa tanah yang memiliki tujuan untuk mencapai elevasi subgrade akhir atau rencana yang ditentukan dalam gambar desain. Timbunan juga berfungsi dalam menggantikan material lama yang sudah tidak sesuai spesifikasi lagi. Nilai angka aman (SF) penting untuk diperhitungkan pada analisis stabilitas timbunan untuk mengurangi resiko keruntuhan (Setiawan et al., 2020).

Menurut Setiawan et al. (2020) Tanah timbunan yang berada di atas tanah lunak harus mempunyai kekuatan dan stabilitas yang baik akibat dari pengaruh lingkungan sekitar terutama air untuk menopang beban yang ada di atasnya. Tanah timbunan yang memiliki kekuatan dan stabilitas yang rendah dapat mengakibatkan kerusakan struktur yang direncanakan di atas timbunan. Metode perbaikan tanah yang dapat digunakan untuk menambah kekuatan dan stabilitas timbunan dapat berupa pemberian perkuatan geosintetik pada lapisan timbunan dan juga pemasangan tiang pancang.

### **2.3.1 Deformasi Vertikal Timbunan**

Menurut Tay et al. (2008), deformasi suatu timbunan terjadi sebagai akibat dari perubahan volume, pergerakan lateral, atau perpindahan geser yang terjadi di dalam material timbunan dan fondasinya. Perubahan volume bisa disebabkan oleh faktor-faktor seperti pemadatan atau pengembangan material yang terjadi karena perubahan beban atau kondisi lingkungan. Pergerakan lateral, yang sering dipicu oleh tekanan horizontal dari massa timbunan, dapat menyebabkan distribusi tekanan yang tidak merata sehingga mengakibatkan ketidakstabilan struktur timbunan. Sementara itu, perpindahan geser terjadi ketika gaya-gaya internal melebihi kekuatan geser material, sehingga lapisan-lapisan material cenderung bergeser satu sama lain.

Selanjutnya, menurut Manual Pengerasan Jalan nomor 04/SE/Db/2017 Direktorat Jenderal Bina Marga, deformasi untuk timbunan di atas tanah lunak memiliki batas izin sebesar 100 mm atau 10 cm.

### 2.3.2 Analisis Stabilitas Timbunan

Menurut Pangemanan & A.E Turangan (2014), faktor keamanan ditentukan dengan memperhitungkan tegangan geser rata-rata di sepanjang bidang longsor yang mungkin terjadi dan kekuatan geser tanah rata-rata di sepanjang permukaan longsor. Faktor keamanan (SF) merupakan perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang menyebabkan pergerakan. Perhitungan faktor keamanan dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$SF = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad 2.42$$

Dimana:

$\tau_f$  = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

$\tau_d$  = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor ( $\text{kN/m}^2$ )

Menurut *mohr-Coulumb*, tahanan geser ( $\tau$ ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, sepanjang bidang longsohnya dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad 2.43$$

Dimana:  $c$  = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma$  = kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

$\varphi$  = sudut gesek dalam tanah ( $^\circ$ )

Sedangkan untuk mendapatkan nilai tegangan geser yang terjadi ( $\tau_d$ ) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsohnya dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\tau_d = cd + \sigma \tan \varphi_d \quad 2.44$$

Dimana:  $cd$  = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

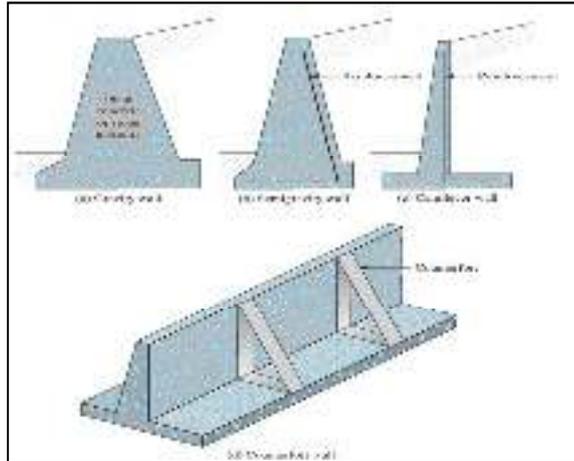
$\varphi_d$  = sudut gesek dalam yang bekerja sepanjang bidang longsor ( $^\circ$ )

## 2.4 Dinding Penahan Tanah

Menurut Bowles (1999) dalam Supit, (2019), dinding penahan tanah (DPT) adalah jenis struktur bangunan yang digunakan untuk menopang tanah alami dan menjaganya agar tidak runtuh karena kemiringan atau ketidakstabilan yang tidak dapat ditopang oleh lereng tanah itu sendiri. Salah satu konsep yang paling populer untuk perkuatan tanah dalam proyek-proyek teknik sipil adalah penggunaan dinding penahan tanah. Dinding penahan tanah adalah jenis struktur yang dirancang guna menopang beban tanah baik secara vertikal maupun pada kemiringan tertentu. Konstruksi ini dibuat dengan fungsi untuk memberikan stabilitas tanah atau bahan lain yang kondisi massa bahannya tidak mempunyai kemiringan alami, dinding penahan tanah juga dapat dipakai dalam menahan atau menopang tumpukan tanah atau material lainnya.

Menurut Supit (2019), struktur dinding mendapat dorongan secara aktif oleh tanah yang tertahan, yang menyebabkan struktur miring atau terguling dan juga bergeser. Kemantapan berat sendiri dinding dan berat tanah di atasnya akan menentukan seberapa stabil dinding penahan tanah. Macam-macam dinding penahan tanah adalah seperti disebutkan dibawah ini dan dijelaskan pada Gambar 2.8 berikut:

1. DPT tipe kantilever
2. DPT tipe gravitasi
3. DPT tipe kirb
4. DPT tipe counterfort



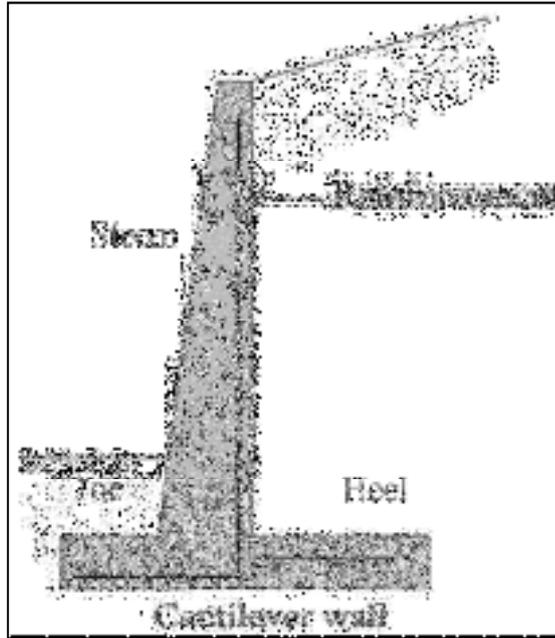
Gambar 2. 8 Tipe-Tipe Dinding Penahan Tanah

(Sumber: *Principles of Foundation Engineering, Braja Das, 2007*)

#### 2.4.1 Dinding Penahan Tipe Kantilever

Menurut Das (2011), dinding kantilever merupakan jenis dinding penahan tanah yang digunakan untuk menahan tanah yang relatif tinggi. Karena terbuat dari beton bertulang, yang membuatnya relatif mudah dikerjakan, dinding penahan tanah ini juga sangat populer di Indonesia. Dinding penahan tanah mengurangi momen yang terjadi pada badan tegak dinding dengan menyalurkan beban dorongan aktif tanah timbunan ke dasar dinding. Hal ini dapat menghemat material dinding jika diperlukan dimensi yang lebih kecil. Sebaliknya, penahan tanah dasar berfungsi untuk memperkuat gaya tahanan pasif dinding pada dasarnya, sehingga meningkatkan tahanan geser dan tahanan guling dinding.

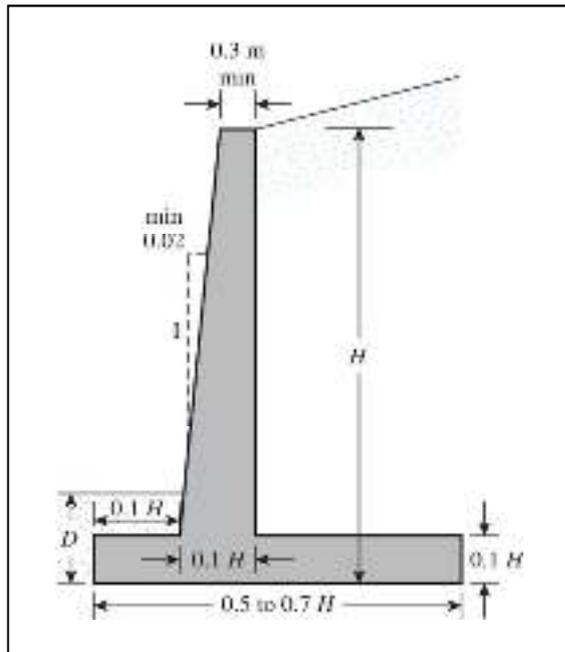
Menurut Das (2011), dinding penahan kantilever pada umumnya berbentuk seperti huruf T, yang terbuat dari beton bertulang, terdiri dari pelat dasar (*base slab*) yang mempunyai dua bagian yaitu bagian ujung kaki tapak (*toe*) dan tumit tapak (*heel*), dan bagian dinding vertikal (*stem*), seperti yang terlihat pada gambar 2.9 berikut.



Gambar 2. 9 Dinding Penahan Tanah Kantilever

(Sumber: *Principles of Foundation Engineering, Braja Das, 2007*)

Menurut Das (2011) Beberapa pengukuran dinding penahan tanah harus diasumsikan oleh insinyur saat mendesain dinding. Asumsi ini, yang dikenal sebagai proporsional, memungkinkan insinyur untuk menilai stabilitas bagian dinding dengan melakukan uji coba. Bagian-bagian tersebut dapat diubah dan diperiksa ulang jika pemeriksaan stabilitas memberikan hasil yang tidak diinginkan. Dimensi umum dari beberapa komponen dinding penahan tanah kantilever yang dapat digunakan untuk pemeriksaan awal dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2. 10 Perkiraan Dimensi Untuk Komponen Dinding Kantilever

(Sumber: *Principles of Foundation Engineering*, Braja Das, 2007)

#### 2.4.2 Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Menurut Das (2011), Faktor-faktor berikut ini harus diperhitungkan saat menentukan stabilitas dinding penahan tanah:

1. Nilai faktor keamanan terhadap penggulingan, pergeseran dan daya dukung tanah harus dipenuhi sesuai dengan syarat yang ada.
2. Tekanan pada dasar pondasi tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah yang diizinkan.
3. Penurunan yang terjadi pada tanah di dasar pondasi tidak boleh berlebihan.

Gaya-gaya yang mempengaruhi dinding penahan tanah meliputi berat sendiri ( $W$ ), tekanan air pori di dalam tanah ( $P_w$ ), gaya tekanan tanah aktif total tanah urug ( $P_a$ ), gaya tekanan tanah pasif total di depan dinding ( $P_p$ ). Untuk mencegah tekanan akibat rembesan dan mempertahankan volume tanah dibelakang dinding penahan tanah akibat penambahan kadar air, maka gaya-gaya diatas harus diimbangi dengan stabilitas dinding penahan tanah yang akan dirancang (Das, 2011).

a. Stabilitas Terhadap Penggeseran

Gaya-gaya yang menggeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh tekanan tanah pasif dan dengan gesekan tanah yang terjadi di dasar pondasi. Adapun perhitungan faktor aman penggeseran dapat dilihat berdasarkan persamaan berikut.

$$Fgs = \frac{\sum Rh}{\sum Ph} \geq 1.5 \quad 2.45$$

Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran untuk tanah granuler ( $c=0$ ) dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \sum Rh &= W \times f \\ \sum Rh &= W \operatorname{tg} \delta_b, \text{ dengan } \delta_b = \phi \end{aligned} \quad 2.46$$

Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran untuk tanah kohesif ( $\phi = 0$ ) dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\sum Rh = Ca \times B \quad 2.47$$

Tahanan dinding penahan tanah terhadap pergeseran untuk tanah yang memiliki nilai  $c > 0$  dan  $\phi > 0$  dinyatakan dalam persamaan dibawah ini.

$$\sum Rh = Ca \times B + W \operatorname{tg} \delta_b \quad 2.48$$

Dengan:

$\sum Rh$  = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

$W$  = berat total dinding penahan tanah (ton)

$\delta_b$  = sudut gesek antara tanah dan fondasi, biasanya  $1/3 - 2/3 \phi$

$Ca$  =  $ad \times c$

$Ca$  = adhesi antara tanah dan dasar fondasi

$c$  = kohesi tanah dasar ( $\text{ton}/\text{m}^2$ )

$ad$  = faktor adhesi

$B$  = lebar fondasi

$\sum Ph$  = jumlah gaya-gaya horizontal

f =  $\text{tg } \delta_b$   
 = koefisien gesek antara tanah dasar dan dasar fondasi

b. Stabilitas Terhadap Penggulingan

Tekanan tanah lateral dapat menggulingkan dinding penahan tanah, tekanan tanah ini diakibatkan oleh tanah timbunan di belakang dinding penahan, dengan pusat rotasi di ujung kaki depan pelat pondasi. Perhitungan faktor aman penggulingan dapat dinyatakan dalam persamaan.

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \geq 1.5 \quad 2.49$$

$$\sum M_w = W \times B \quad 2.50$$

$$\sum M_{gl} = \sum P_{ah} \times h + \sum P_{av} \times B \quad 2.51$$

Dengan:

$\sum M_w$  = momen perlawanan terhadap guling (tm)

$\sum M_{gl}$  = momen yang mengakibatkan guling (tm)

W = berat tanah diatas pelat fondasi dan berat sendiri dinding penahan (ton)

B = lebar kaki dinding penahan (m)

$\sum P_{ah}$  = jumlah gaya-gaya horizontal (ton)

$\sum P_{av}$  = jumlah gaya-gaya vertikal (ton)

c. Stabilitas Terhadap Keruntuhan Kapasitas Dukung Tanah

Beberapa persamaan digunakan dalam menghitung stabilitas daya dukung tanah dasar, termasuk persamaan Terzahi (1943) dan persamaan Vesic (1973). Ketika mencari stabilitas terhadap daya dukung tanah dasar menurut Vesic (1973) terdapat faktor kapasitas dukung yang dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut.

Tabel 2. 7 Faktor-Faktor Kapasitas Dukung Vesic (1973)

$\phi$ (°)	<b>Nc</b>	<b>Nq</b>	<b>N<math>\gamma</math></b>
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: Dasar-Dasar Mekanika Tanah, H. Darwis, 2018)

Menurut Das (2011), dalam persamaan terzaghi, dalam penggunaan perhitungan daya dukung tanah dasar untuk dinding penahan tanah tidak akurat tepat. Hal ini dikarenakan persamaan tersebut hanya bekerja pada fondasi yang dibebani secara vertikal dan terpusat. Namun, beban yang dihasilkan pada dinding penahan tanah cenderung eksentrik dan miring. Oleh karena itu, persamaan Hansen dan Vesic lebih cocok dipakai untuk menentukan daya dukung tanah. Persamaan Hansen dan Vesic untuk beban miring dan eksentris dapat dilihat dalam persamaan berikut.

$$Q_u = d c i_c c N_c + d q i_q D_f \gamma N_q + d \gamma i_\gamma 0,5 B \gamma N_\gamma \quad 2.52$$

Dengan faktor kemiringan beban dinyatakan dalam persamaan-persamaan dibawah ini.

$$iq = \left(1 - \frac{0,5 \times H}{V + A' \times Ca \times c \operatorname{tg}\varphi}\right)^5 \geq 0 \quad 2.53$$

$$ic = iq - \frac{(1 - iq)}{Nc \operatorname{tg}\varphi} \quad 2.54$$

$$i\gamma = \left(1 - \frac{0,7 \times H}{V + A' \times Ca \times c \operatorname{tg}\varphi}\right)^5 \quad 2.55$$

Faktor kedalaman menurut Hansen ditentukan dengan persamaan berikut.

$$dc = 1 + 0,4 \times \left(\frac{D}{B}\right) \quad 2.56$$

$$dq = 1 + 2 \times \left(\frac{D}{B}\right) \times \tan\varphi \times (1 - \sin\varphi)^2 \quad 2.57$$

$$d\gamma = 1 \quad 2.58$$

Dengan:

$dc, dq, d\gamma$  = faktor kedalaman

$ic, iq, i\gamma$  = faktor kemiringan

$D$  = kedalaman pondasi (m)

$B$  = lebar dasar pondasi (m)

$\gamma$  = berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

$Nc, Nq, N\gamma$  = faktor kapasitas dukung

Nilai faktor keamanan dari keruntuhan kapasitas dukung tanah dasar dihitung menggunakan persamaan berikut

$$F = \frac{qu}{q} \geq 3 \quad 2.59$$

Dengan:

$qu$  = kapasitas dukung ultimit ( $\text{ton/m}^2$ )

$q$  = tekanan akibat beban struktur ( $\text{ton/m}^2$ )

d. Stabilitas Lereng Terhadap Kelongsoran Global

Untuk menstabilkan lereng, dinding penahan tanah juga harus aman dari keruntuhan lereng secara total. Perhitungan analisis kestabilan lereng terhadap kelongsoran dapat dilakukan dengan menggunakan program Plaxis. Intensitas kelongsoran suatu lereng dibagi menurut Bowless (1989) dalam Hardiyatmo sesuai dengan nilai angka aman (SF) lereng tersebut, yang ditampilkan pada Tabel 2.8 berikut.

Tabel 2. 8 Hubungan Nilai Faktor

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

(Sumber: Dasar-Dasar Mekanika Tanah, H. Darwis, 2018)

## 2.5 Pondasi Tiang Pancang

Pondasi merupakan bagian penting dalam sebuah konstruksi yang berfungsi untuk menopang beban di atasnya. Setiap pondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menahan beban dengan batas keamanan tertentu. Secara umum, terdapat dua jenis pondasi utama yang digunakan, yaitu pondasi dangkal dan dalam. Pondasi dangkal biasanya digunakan untuk konstruksi dengan total beban yang ringan dan tanah yang cukup kuat dibagian atasnya, sedangkan pondasi dalam digunakan untuk konstruksi yang memiliki total beban besar dan atau tanah yang tidak cukup kuat dibagian atasnya. Mengingat kondisi tanah keras yang ditemui dalam penelitian ini terdapat di kedalaman yang cukup dalam, maka digunakan pondasi dalam berupa tiang pancang. Tiang pancang menembus lapisan tanah keras untuk mencapai lapisan yang lebih kuat dibawahnya, memastikan stabilitas yang lebih baik (Das, 2011).

Menurut Santoso & Hartono (2020), pondasi tiang pancang adalah salah satu jenis pondasi dalam yang menerima dan mendistribusikan beban dari struktur atas ke tanah pada kedalaman tertentu, biasanya karena lapisan tanah keras yang cukup dalam. Tipe pondasi ini biasanya dipakai di tempat-tempat dimana lapisan tanah keras berada id kedalaman lebih dari 10 meter. Tiang pancang biasanya berbentuk

panjang dan langsing, ditancapkan kedalam tanah untuk memindahkan beban dari struktur di atasnya ke dalam tanah yang lebih dalam yang memiliki kekuatan tanah yang lebih besar. Komponen ini biasanya terbuat dari bahan beton, baja maupun kayu. Tiang pancang dimasukkan kedalam tanah dengan cara didongkrak atau dibor dan dihubungkan dengan *Pile cap (poer)*. Karakteristik penyebaran beban tiang pancang dikelompokkan berbeda-beda tergantung dari jenis dan tipe tanah.

Menurut Santoso & Hartono (2020), pada umumnya pengaplikasian tiang pancang menggunakan metode-metode sebagai berikut.

1. Pemancangan dengan menggunakan palu pancang, tiang pancang dibangun dengan memukul bagian atas tiang secara bertahap. Bisa memakai alat berupa *Drop hammer*, *Diesel hammer*, dan *Hydraulic hammer*.
2. Pemancangan dengan memakai alat penggetar yang diletakkan pada ujung atas tiang pancang. Cara ini biasanya digunakan untuk tanah dengan kohesivitas rendah. Dapat menggunakan alat berupa *Vibratory pile driver*.

Menurut Anggoro Wiratmoko et al. (2019) pemakaian pondasi tiang pancang memiliki keuntungan dan kekurangan. Keuntungan dari penggunaan pondasi tiang pancang adalah antara lain adalah sebagai berikut.

1. Tiang pancang dengan material beton memiliki mutu beton yang terkontrol karena pembuatannya secara pabrikasi.
2. Daya dukung tiang terdistribusi secara merata di sekeliling tiang.
3. Memiliki harga yang lebih ekonomis dibanding dengan menggunakan pondasi sumuran.
4. Memiliki persediaan ukuran dan jumlah yang cukup banyak dipasaran.
5. Pelaksanaan pemancangan relatif hanya membutuhkan waktu yang singkat.
6. Perhitungan daya dukung menggunakan rumus tiang pancang mempermudah pemantauan pekerjaan konstruksi.

Adapun kekurangan dari pemakaian tiang pancang adalah sebagai berikut.

1. Karena pemasangannya menimbulkan suara yang keras, maka dapat menimbulkan masalah getaran dan kegaduhan di daerah berpenduduk padat.

2. Terkendala apabila akses jalan pada lokasi konstruksi sempit, karena dimensi tiang pancang yang lumayan panjang.

### 2.5.1 Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode *Mayerhof*

Menurut Hardiyatmo (2008), perhitungan kapasitas daya dukung tiang pancang menurut metode Mayerhoff menggunakan data SPT, dibagi menjadi dua kategori yaitu untuk tanah kohesif dan tanah non-kohesif. Karakteristik tanah kohesif adalah butir-butir tanahnya memiliki daya lekat satu sama lain, sedangkan untuk tanah non-kohesif butir-butir tanahnya memiliki sangat sedikit daya lekat atau bahkan tidak ada sama sekali. Dalam penelitian ini tanah yang menjadi objek penelitian adalah tanah non-kohesif. Yang tidak memiliki kemampuan untuk saling menempel.

Adapun rumus kapasitas dukung tiang pancang dengan metode Mayerhof untuk tanah non-kohesif adalah sebagai berikut.

#### a. Tahanan Ujung

Menurut Mayerhof tahanan ujung dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut.

$$Q_p = 40 \times N_{rerata} \times A_p \quad 2.60$$

Dengan:

$N_{rerata}$  = nilai SPT rata-rata sekitar ujung tiang pancang

$N_1$  = nilai SPT pada kedalaman 4D dari ujung tiang kebawah

$N_2$  = nilai SPT pada kedalaman 8D dari ujung tiang keatas

$A_p$  = luas penampang tiang ( $m^2$ )

#### b. Tahanan Gesek

Koefisien perlawanan gesek untuk tiang pancang pada tanah non-kohesif berupa pasir berplempung adalah sebesar 0,2. Nilai kapasitas dukung selimut ditunjukkan dalam persamaan berikut.

$$Q_s = 0,2 \times N - SPT \times A_s \quad 2.61$$

Dengan:

$N$  -SPT = nilai rata-rata SPT sepanjang tiang

$A_s$  = luas selimut tiang

c. Kapasitas Dukung Ultimit

$$Q_u = Q_P + Q_s \quad 2.62$$

### 2.5.2 Kapasitas Dukung Ijin

Menurut Hardiyatmo (2008), kapasitas ijin tiang dapat diperoleh dengan cara membagi kapasitas dukung ultimit dengan faktor aman tertentu. Faktor aman perlu diberikan karena pertimbangan berikut.

1. Dapat memberi jaminan keamanan terhadap ketidakpastian yang terkait dengan metode hitungan yang digunakan.
2. Dapat memastikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah, jika terjadi perubahan pada sifat-sifat tanah yang mempengaruhi daya dukung tersebut.
3. Memastikan material tiang pancang cukup kokoh untuk menopang beban kerja.
4. Menjamin penurunan total yang terjadi tetap berada dalam batas-batas toleransi yang diperbolehkan.

Daya dukung ijin pondasi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$Q_a = \frac{Q_u}{S_f} \quad 2.63$$

Dengan:

$Q_a$  = kapasitas daya dukung ijin pondasi

$Q_u$  = kapasitas ultimit pondasi

SF = angka aman untuk tahanan ujung

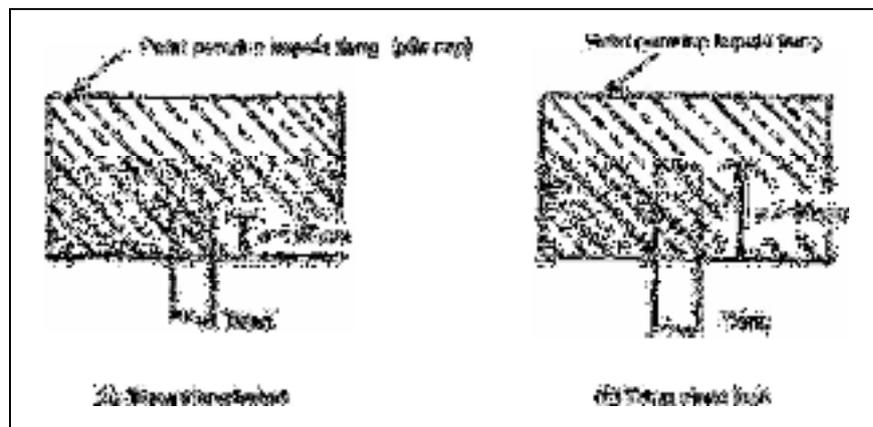
### 2.5.3 Daya Dukung Lateral Terhadap Tiang

Menurut Hardiyatmo (2008), gaya lateral yang mempengaruhi tiang ditentukan oleh beberapa faktor, termasuk kekakuan atau tipe tiang, jenis tanah,

penanaman ujung tiang kedalam pelat penutup kepala tiang, sifat gaya-gaya, dan besar defleksi. Dalam analisis gaya lateral, penting untuk membedakan tiang berdasarkan model ikatannya dengan pelat penutup tiang. Karena model ikatan ini memiliki dampak signifikan pada perilaku tiang dalam menahan beban lateral. Tiang-tiang ini dapat dikelompokkan dalam 2 tipe, yaitu.

1. Tiang ujung jepit (*fixed end pile*)
2. Tiang ujung bebas (*free end pile*)

Menurut McNulty (1956) dalam buku Hardiyatmo (2008) mendefinisikan tiang ujung jepit (*fixed end pile*) adalah tiang yang ujung atasnya terjepit atau tertanam didalam pelat penutup kepala tiang dengan kedalaman minimal 60 cm. Sebaliknya tiang ujung bebas (*free end pile*) adalah tiang-tiang yang bagian atasnya tidak terjepit atau terjepit ke dalam pelat penutup kepala tiang atau hanya terjepit dengan kedalaman kurang dari 60 cm. Kedua jenis tiang ini dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut.



Gambar 2. 11 Tiang Ujung Bebas dan Tiang Ujung Jepit  
(Sumber: Mekanika Tanah II, Hary Christady Hardiyatmo, 2003)

Perhitungan daya dukung lateral dalam penelitian ini didasarkan pada metode Broms (1964). Untuk tiang dalam tanah granular ( $c = 0$ ), Broms (1964) menyebutkan hal berikut.

1. Tidak memperhitungkan tekanan tanah aktif yang bekerja dibelakang tiang.
2. Distribusi tekanan tanah pasif sepanjang bagian depan tiang sama dengan tiga kali lipat tekanan tanah pasif Rankine.
3. Tekanan tanah ultimit atau tahanan lateral ultimit tidak dipengaruhi oleh bentuk penampang tiang.
4. Tahanan tanah lateral sepenuhnya termobilisasi pada gerakan tiang yang diperhitungkan.

Menurut Hardiyatmo (2008), dibawah ini adalah parameter-parameter yang diperlukan untuk menghitung beban lateral yang bekerja pada pondasi tiang.

- a. Menentukan kriteria jenis tiang panjang atau pendek

Kriteria untuk jenis tanah berpasir (granuler) akibat beban lateral dapat dijelaskan dengan persamaan berikut.

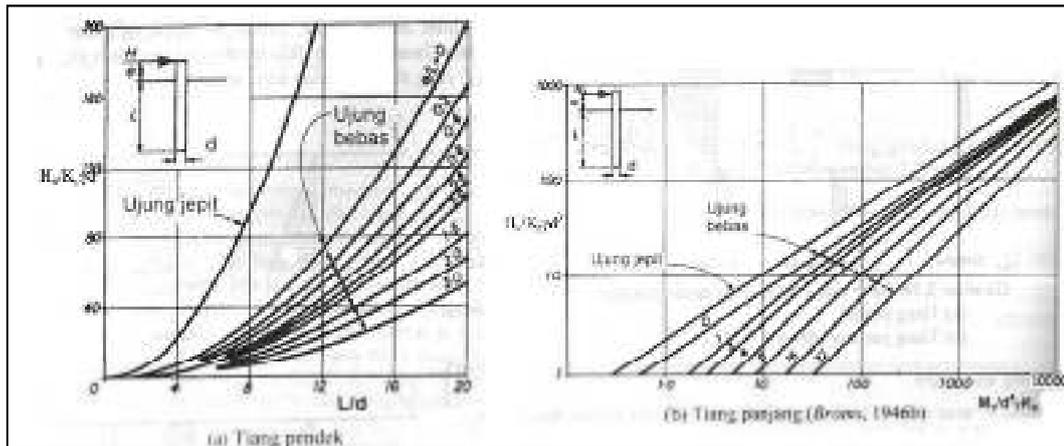
$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I_p}{nh}} \quad 2.64$$

Dengan:

- T = faktor kekakuan
- $E_p$  = modulus elastisitas tiang ( $t/m^2$ )
- $I_p$  = momen inersia tiang ( $m^4$ )
- $nh$  = koefisien variasi modulus ( $t/m^3$ )

Kriteria untuk jenis tiang didasarkan pada syarat tertentu. Jika  $L > 2T$ , maka tiang tersebut dikategorikan sebagai tiang ujung jepit yang dianggap sebagai tiang pendek, dan jika  $L > 4T$  tiang dikategorikan sebagai tiang panjang. Disini, L adalah panjang dari pondasi.

Berikut ini adalah grafik tahanan lateral untuk setiap jenis tiang yang ditampilkan pada Gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2. 12 Grafik Tahanan Lateral Ultimit Tiang dalam Tanah Granuler (Broms,1964)

(Sumber: Mekanika Tanah II, Hary Christady Hardiyatmo, 2003)

b. Daya Dukung Lateral Maksimum pada Tiang Secara Analitis

pada tiang ujung jepit yang kaku, kegagalan tiang akan terjadi dalam bentuk translasi, beban lateral ultimit dapat dirumuskan dengan persamaan berikut ini.

$$Hu = \left(\frac{3}{2}\right) \cdot \gamma \cdot d \cdot L^2 \cdot Kp \tag{2.65}$$

Perhitungan koefisien tekanan pasif menggunakan persamaan berikut.

$$Kp = \tan^2 \times (45 + \phi/2) \tag{2.66}$$

Dengan:

- Hu = beban lateral ultimit (kN)
- $\gamma$  = berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)
- d = diameter tiang (m)
- L = panjang tiang (m)

Momen maksimum yang ditahan oleh tiang (*ultimate bending moment*)

$$Mmax = \gamma_{sat} \times d \times L^3 \times Kp \tag{2.67}$$

Dengan:

- $\gamma_{sat}$  = berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)

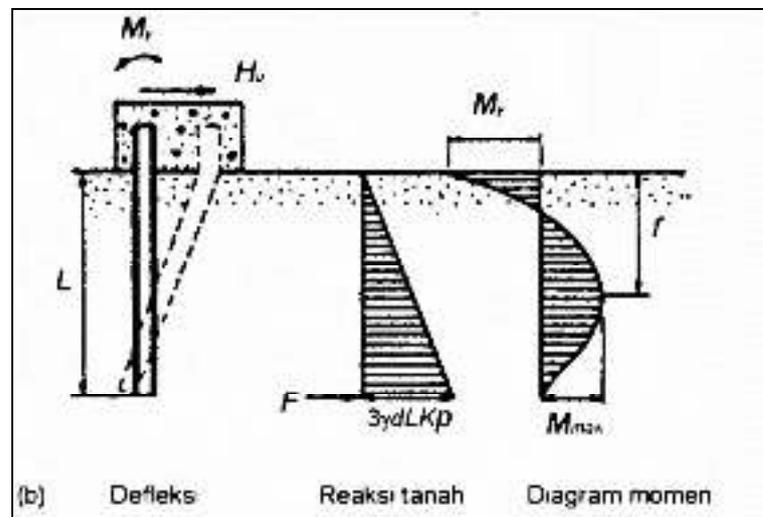
- d = diameter tiang (m)
- L = panjang tiang (m)
- Kp = koefisien tekanan tanah pasif

Apabila  $M_{max} > M_y$ , jadi keruntuhan tiang bisa diprediksi akan berbentuk seperti pada Gambar.2.13. Dengan mempertimbangkan keseimbangan horizontal tiang pada gambar 2.13 ini, dapat diperoleh.

$$F = \left(\frac{3}{2}\right) \cdot \gamma \cdot d \cdot L^3 \cdot Kp - H_u \tag{2.68}$$

Dengan:

- $\gamma$  = berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)
- d = diameter tiang (m)
- L = panjang tiang (m)
- Kp = koefisien tekanan tanah pasif
- Hu = beban lateral ultimit (kN)



Gambar 2. 13 Tiang Ujung Jepit Dalam Tanah Granuler (Broms, 1964)

(Sumber: Mekanika Tanah II, Hary Christady Hardiyatmo, 2003)

Dengan mempertimbangkan momen tepada kepala tiang (pada permukaan tanah), dan mensubstitusikan nilai F pada Persamaan 2.45, didapat nilai (untuk  $M_{max} > M_y$ ).

$$M_y = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \gamma \cdot d \cdot L^3 \cdot Kp - H_u L \quad 2.69$$

Untuk mendapatkan nilai maksimum daya dukung lateral pada tiang, dilakukakn perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$f = 0,82 \times \sqrt{\frac{H_u}{\gamma \cdot d \cdot Kp}} \quad 2.70$$

$$H_u = \frac{2 \times M_y}{e + \frac{2f}{3}} \quad 2.71$$

Untuk menentukan nilai daya dukung lateral yang diizinkan, digunakan persamaan berikut.

$$H_{izin} = H_u / SF \quad 2.72$$

Dengan:

$H_{izin}$  = daya dukung lateral izin tiang

$H_u$  = daya dukung ultimit tiang

SF = faktor keamanan

## 2.6 Pembebanan

### 2.6.1 Beban Lalu Lintas

Menurut Zuhri et al. (2020), dalam perancangan struktur geoteknik, seperti dinding penahan tanah dan fondasi timbunan jalan, pemodelan dan pertimbangan beban lalu lintas sangatlah penting. Tekanan yang ditimbulkan oleh kendaraan dapat meningkatkan tegangan pada lapisan tanah di bawahnya, yang pada akhirnya dapat mengurangi stabilitas dan meningkatkan risiko longsor. Jika beban lalu lintas tidak diperhitungkan dengan baik, hal ini dapat menyebabkan ketidakstabilan pada struktur geoteknik, sehingga memperhatikan beban lalu lintas menjadi aspek yang sangat penting dalam desain dan konstruksi infrastruktur tersebut. Manajemen beban lalu lintas juga diperlukan untuk meminimalkan dampak negatif pada stabilitas struktur geoteknik. Salah satu cara efektif adalah dengan membatasi kendaraan dengan beban atau berat tertentu dari melewati area yang rawan. Selain

itu, pemantauan dan pemeliharaan yang berkelanjutan sangat penting untuk memastikan bahwa dinding penahan tanah dan struktur geoteknik lainnya tetap stabil dan mampu menahan beban lalu lintas yang melintas. Dengan pengelolaan yang tepat, risiko kerusakan dapat diminimalkan, dan kekuatan struktur dapat dipertahankan dalam jangka panjang.

Berikut adalah ketentuan beban lalu lintas sesuai dengan SNI 8460 tahun 2017:

Tabel 2. 9 Beban Lalu Lintas Untuk Analisa Stabilitas

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)
I	15
II	12
III	12

(Sumber: Persyaratan Perancangan Geoteknik SNI 8460, 2017)

## 2.7 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

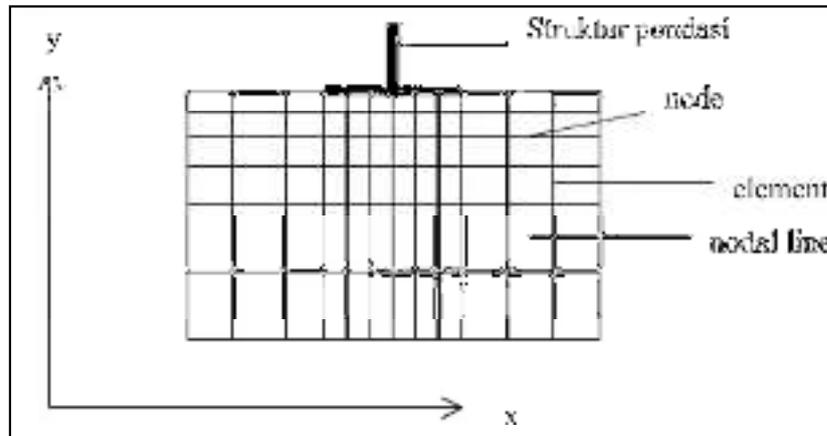
Menurut Setiawan et al. (2020), metode elemen hingga merupakan teknik pemodelan grafis yang sederhana yang mana memungkinkan pembuatan model elemen hingga yang kompleks dapat diselesaikan dengan cepat menggunakan program komputer. Meskipun metode ini menggunakan data yang sederhana, tetapi dapat menghasilkan perhitungan yang kompleks serta mengeluarkan output tampilan yang rinci. Hasil perhitungan metode ini didapat secara otomatis berdasarkan prinsip perhitungan angka yang akurat. Metode elemen hingga memecah tanah menjadi unit-unit terpisah yang disebut sebagai elemen hingga. Keterhubungan antar elemen-elemen ini terlihat pada titik simpul (*nodes*) dan batas-batas yang telah ditentukan.

Menurut Setiawan et al. (2020), secara garis besar terdapat 8 (delapan) langkah dasar pengerjaan dengan metode *finite element*, yaitu sebagai berikut:

### a. *Discretization*

Ini adalah tahapan dimana suatu continuum dibagi menjadi sistem yang lebih kecil yang disebut sebagai *finite element*. Dalam sistem ini terdapat *nodal line* yang memisahkan elemen-elemen yang ada. Pertemuan antara *nodal line*

ini disebut *nodal point*. Contoh pembagian continuum menjadi elemen-elemen dapat dilihat pada Gambar 2.14 dibawah ini.



Gambar 2. 14 Contoh Pembagian continuum menjadi elemen-elemen  
(Sumber: Modul Pelatihan, Yusep Muslih Purnawan, 2008)

b. Pemilihan fungsi aproksimasi

Tahapan ini dipakai dalam menentukan *displacement* setiap elemen menggunakan polynomial berderajat  $n$ . Dimana semakin tinggi  $m$ , semakin tinggi ketelitiannya. *Displacement* suatu node dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\{u\} = [N]\{q\} \quad 2.73$$

Dimana:

$[N]$  = matriks fungsi interpolasi

$\{q\}$  =  $\{u_1, u_2, \dots, v_1, v_2, \dots\}^T$

c. Menentukan hubungan antara Regangan-Perpindahan dan Tegangan-Regangan

d. Penurunan persamaan elemen

Penurunan persamaan dilakukan dengan menggunakan metode *variational* atau *redisual* (misal metode Galerkin). Persamaan elemen dapat ditulis sebagai berikut.

$$[k]\{q\} = \{Q\} \quad 2.74$$

Dimana:

$[k]$  = matriks properti elemen

$\{Q\}$  = vektor gaya node

e. *Assembling* properti elemen ke persamaan global

Persamaan-persamaan elemen yang ada digabungkan sehingga mendapatkan *stiffness relation* untuk semua elemen. Langkah ini dilakukan untuk mendapatkan kompatibilitas *displacement* setiap node. *Stiffness relation* ditulis dalam persamaan sebagai berikut.

$$[K]\{r\} = \{R\} \quad 2.75$$

Dimana:

$[K]$  = global *stiffness* matriks

$\{r\}$  = global nodal *displacement vector*

$\{R\}$  = global nodal *force vector*

f. Menghitung besaran-besaran primer yang tidak diketahui

g. Menghitung besaran-besaran sekunder

h. Interpretasi

Jika ditinjau dari geometri, pemodelan metode *finite element* dimodelkan kedalam salah satu dari antara 2 kondisi berikut, yaitu.

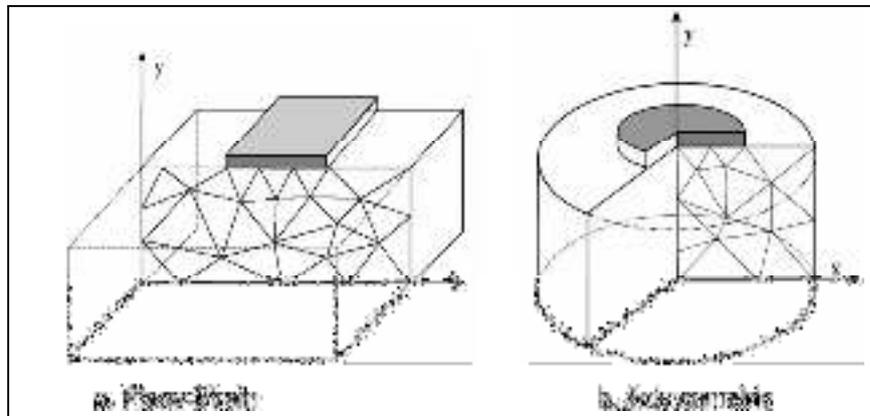
a. *Plane Strain*

Kondisi ini digunakan ketika struktur dianggap memiliki panjang tak hingga tegak lurus potongan melintang. Pada kondisi ini  $\epsilon_z = 0$ ,  $u_z = 0$ . Contoh struktur dengan kondisi ini misalnya pondasi menerus, *embankment*, *cofferdam*, dll.

b. *Axisymmetric*

Kondisi ini diterapkan pada struktur berbentuk lingkaran, di mana beban berputar mengelilingi sumbu lingkaran, dan tegangan serta deformasi bersifat seragam ke segala arah radial. Koordinat x dianggap sebagai sumbu radial, koordinat y sebagai garis aksial simetri, dengan sumbu x negatif tak bisa

digunakan. Contoh struktur dengan kondisi ini adalah pondasi plat lingkaran. Kondisi *plane strain* dan *axisymmetric* dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut.



Gambar 2. 15 Kondisi *Plane Strain* dan *Axisymmetric*

(Sumber: Modul Pelatihan, Yusep Muslih Purnawan, 2008)

## 2.8 Plaxis

Plaxis adalah aplikasi analisis geoteknik yang dirancang khusus untuk analisis stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga, yang mampu melakukan analisis hingga mendekati perilaku sebenarnya. Geometri tanah yang akan dievaluasi dapat dimasukkan dan diteliti. Aplikasi ini menghadirkan berbagai macam analisis, termasuk penurunan, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, angka keamanan, pola keruntuhan dan lain-lain (Tay et al., 2008).

Menurut Tay et al. (2008), aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk memodelkan geometri dan mesh elemen dengan cepat menurut penampang melintang dari keadaan yang diprediksi oleh perencana. Aplikasi Plaxis diprogram untuk menerapkan tahapan pelaksanaan lapangan ke dalam proses kerja di program. Dengan demikian, diharapkan pemrograman ini akan mencerminkan kondisi lapangan dengan akurat, sehingga *output* dari program dapat dianggap sebagai representasi keadaan lapangan yang sesungguhnya.

Analisis dengan program ini didasarkan pada geometri yang akan direncanakan. Dalam analisis diperlukan data-data sebagai berikut.

1. Berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ )
2. Berat volume tanah basah ( $\gamma$ )
3. Modulus young
4. Poisson ratio ( $\nu$ )
5. Kohesi ( $c$ )
6. Sudut geser ( $\phi$ )
7. Sudut dilatasi ( $\omega$ )

Menurut Tay et al. (2008), pada pemakaiannya program Plaxis pada umumnya terdiri dari 4 tahapan pengerjaan yaitu.

*a. Input Program*

Pada input program, masukkan geometri yang akan dianalisis dan parameter geometri global.

*b. Calculation Program*

Untuk menganalisa, program perhitungan membutuhkan nilai material perkuatan dan data tanah yang digunakan dalam melakukan perhitungan.

*c. Output Program*

Pada tahap *output program*, hasil dari analisis yang telah dikerjakan program akan ditampilkan.

*d. Curve Program*

Dalam tahapan ini, program akan menampilkan hasil keamanan geometri tanah, stabilitas dan lain-lain.

## **2.9 Keaslian Penelitian**

Keaslian penelitian penting disertakan untuk menunjukkan bahwa tidak ada unsur plagiarisme antara penelitian yang dilakukan dan penelitian sebelumnya. Sepengetahuan penulis, penelitian tentang Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Gerbang Tol Kuala Tanjung ini belum pernah dilakukan.

Tabel 2. 10 Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Kesimpulan Penelitian
Umi Sakinah dkk (2024)	Pemodelan Numerik Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu Kali Pada Solusi Perbaikan Kelongsoran Lereng	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Untuk mendapatkan nilai deformasi untuk setiap tahapan pemodelan melalui analisis metode elemen hingga dengan menggunakan PLAXIS.</li> <li>2. Untuk mendapatkan faktor keamanan untuk setiap pemodelan lereng yang dianalisis menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan reduksi phi-c.</li> <li>3. Membandingkan faktor keamanan yang diperoleh dari metode Bishop dan metode elemen hingga dengan menggunakan pendekatan reduksi phi-c di PLAXIS.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Deformasi yang dihasilkan pada setiap tahapan pemodelan menggunakan PLAXIS masih berada di bawah 0,1 meter.</li> <li>2. Dalam pemodelan lereng yang dianalisis menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan reduksi phi-c melalui PLAXIS, faktor keamanan selalu melebihi nilai aman minimum 1,5. Namun, nilai ini menunjukkan penurunan selama tahap kondisi galian dan konstruksi karena adanya urugan dan tidak adanya <i>sealent</i>. Ketika dibandingkan, faktor keamanan dari semua pemodelan dengan metode elemen hingga tidak berbeda lebih dari 8% dari hasil yang diperoleh dengan metode Bishop. Meskipun metode Bishop didasarkan pada pendekatan coba-coba, namun terbukti memberikan hasil SF yang sangat</li> </ol>

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Kesimpulan Penelitian
			mendekati perhitungan dengan metode elemen hingga.
Isdianto & Dian (2023)	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus: Ruas Jalan Gesek-Simpang Busung, Kabupaten Bintan)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Untuk mengetahui faktor keamanan lereng pada kondisi awal tanpa dinding penahan tanah.</li> <li>2. Untuk mendapatkan faktor keamanan lereng setelah perkuatan dengan dinding penahan tanah dilakukan.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Berdasarkan SNI 8460 tahun 2017 faktor keamanan yang dibutuhkan untuk stabilitas lereng adalah harus diatas 1,5 yang dapat dikatakan bahwa lereng tersebut adalah stabil. Nilai <i>Safety Factor</i> pada kondisi awal hasil analisis terlihat bahwa belum terjadi longsor namun dalam kondisi kritis dengan faktor keamanan tercapai 1.066. Maka kondisi kemantapan lereng tidak aman atau lereng tidak stabil.</li> <li>2. Penanganan dengan perkuatan memakai dinding penahan tanah dipilih karena keterbatasan area kerja dilapangan di area perkebunan penduduk sekitar. Sehingga setelah sebagai akibat dari perkuatan dengan dinding penahan tanah (DPT), faktor keamanan sebesar 2,213 tercapai, sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi lereng</li> </ol>

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Kesimpulan Penelitian
			tersebut aman dan stabil.
Hendrix (2023)	Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis 8.6	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mencari <i>safety factor</i> (SF) dan deformasi vertikal tanah pada lereng eksisting jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 2 +400.</li> <li>2. Mencari <i>safety factor</i> (SF) dan deformasi vertikal tanah pada variasi ketinggian lereng timbunan 2 m, 4 m, 6 m, 8 m, 10 m, 12 m, dan 14 m.</li> <li>3. Mencari <i>safety factor</i> (SF) stabilitas lereng timbunan dan penurunan tanah yang terjadi dengan variasi tinggi timbunan dengan perkuatan geotekstil.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hasil analisis lereng timbunan eksisting menunjukkan bahwa selama masa konstruksi dengan beban struktural, faktor keamanannya adalah 1,797. Setelah konstruksi, dengan beban lalu lintas faktor keamanannya adalah 1,404, yang memenuhi faktor keamanan minimum yang disyaratkan yaitu &gt;1,3. Penurunan tanah yang diamati selama konstruksi dengan beban struktural adalah 0,105 meter, sedangkan pasca konstruksi, dengan beban lalu lintas penurunan tanah sedikit meningkat menjadi 0,121 meter.</li> <li>2. Analisis stabilitas selama masa konstruksi menunjukkan faktor keamanan untuk lereng 2 m, 4 m, 6 m, 8 m, 10 m, 12 m dan 14 m akibat beban struktur secara berturut-turut adalah 4,247; 2,720; 2,052; 1,797; 1,601; 1,441; 1,293. Dengan nilai penurunannya</li> </ol>

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Kesimpulan Penelitian
			<p>berturut-turut sebesar 0,026 m; 0,049 m; 0,076 m; 0,105 m; 0,139 m; 0,176 m; dan 0,217 m.</p> <p>3. Analisis stabilitas saat kondisi paska konstruksi menghasilkan angka aman untuk lereng 2 m, 4 m, 6 m, 8 m, 10 m, 12 m dan 14 m akibat beban struktur secara berturut-turut adalah 2,641; 1,940; 1,556; 1,404; 1,334; 1,225; 1,138.</p> <p>Dengan nilai penurunan tanahnya berturut-turut sebesar 0,036 m; 0,061 m; 0,090 m; 0,121 m; 0,151 m; 0,196 m; dan 0,241 m.</p>

### 2.10 Literatur Review

Pada subbab ini, akan dibahas mengenai isi dari literatur berupa jurnal terdahulu yang relevan sebagai dasar teoritis dalam pengerjaan penelitian ini. Jurnal ini mencakup penelitian yang berkaitan erat dengan topik yang akan dibahas. Salah satu jurnal yang dijadikan sebagai dasar pengerjaan adalah jurnal berjudul “Pemodelan Numerik Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu Kali Pada Solusi Perbaikan Kelongsoran Lereng” yang disusun oleh Umi Sakinah dkk. dan dipublikasikan oleh Universitas Muhammadiyah Jakarta pada tahun 2024.

Adapun latar belakang dari penelitian ini yaitu untuk mengkaji permasalahan kelongsoran yang berada di daerah strategis Tanjung Redeb, dimana di atas lereng terdapat menara BTS (*Base Transceiver Station*) dan dibawahnya terdapat

workshop alat berat. Walaupun sudah banyak dilakukan tindakan solusi teknik sipil telah diterapkan untuk menstabilkan lereng tersebut, pergerakan tanah terus terjadi, mengakibatkan kelongsoran yang masih berlangsung. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat deformasi serta faktor keamanan yang dapat dicapai melalui pembangunan dinding penahan tanah, sebagai upaya untuk meningkatkan stabilitas lereng. Dengan menggunakan metode pemodelan numerik dan analisis elemen hingga yang dilakukan dengan perangkat lunak PLAXIS, studi ini berfokus pada penyediaan solusi yang efektif untuk mengatasi kelongsoran yang ada.

Kemudian adapun landasan teori yang terdapat dalam jurnal ini antara lain berupa:

#### 1. Stabilitas lereng

Bahwa stabilitas lereng dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti hidrologi, iklim, topografi, dan karakteristik material tanah. Faktor hidrologi misalnya, berperan penting karena keberadaan air dapat meningkatkan tekanan pori dan mengurangi kekuatan tanah, sehingga mempercepat terjadinya longsor. Iklim juga mempengaruhi stabilitas lereng melalui curah hujan yang tinggi, yang dapat menyebabkan tanah jenuh air dan menambah beban pada lereng. Sementara itu, topografi lereng seperti kemiringan dan ketinggian juga menentukan besar kecilnya gaya gravitasi yang bekerja, yang mempengaruhi kecenderungan terjadinya gerakan tanah atau longsor. Longsoran sendiri merupakan gerakan material di lereng akibat keruntuhan geser tanah, di mana proses ini terjadi ketika tegangan yang dialami tanah melebihi kuat geser puncaknya. Dengan kata lain, longsor terjadi ketika gaya yang bekerja pada tanah melampaui batas kekuatan yang mampu menahan pergerakan material, menyebabkan lereng menjadi tidak stabil dan runtuh.

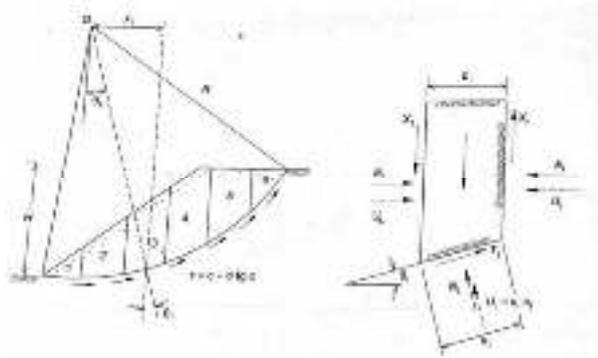
#### 2. Analisis stabilitas lereng

Analisis stabilitas lereng adalah upaya untuk menilai kestabilan permukaan tanah yang miring, yang melibatkan perlawanan terhadap komponen gravitasi yang berpotensi menyebabkan pergeseran tanah. Lereng dapat mengalami ketidakstabilan akibat gaya gravitasi yang bekerja pada massa tanah, dan kekuatan lereng ditentukan oleh kemampuan material

tanah untuk menahan gaya geser. Stabilitas ini penting untuk berbagai jenis lereng, baik yang alami maupun buatan, seperti lereng galian atau urugan tanah. Dalam prakteknya, analisis stabilitas lereng dapat dilakukan menggunakan pendekatan manual melalui diagram-diagram seperti diagram keseimbangan batas, atau dengan memanfaatkan program komputer yang dapat menghitung lebih akurat faktor keamanan lereng. Pendekatan modern dengan program komputer memberikan hasil yang lebih cepat dan akurat, terutama untuk lereng yang kompleks dan memerlukan perhitungan rinci.

### 3. Metode analisis dengan irisan dan Bishop

Terdapat dua metode utama dalam analisis stabilitas lereng, yaitu metode irisan dan metode Bishop. Metode irisan digunakan ketika tanah tidak homogen, yaitu ketika karakteristik tanah bervariasi di sepanjang lereng. Pada metode ini, massa tanah yang longsor dipecah menjadi beberapa irisan vertikal, dan masing-masing irisan dianalisis secara terpisah untuk menghitung gaya-gaya yang bekerja, termasuk gaya geser dan gaya normal. Metode ini cocok untuk kasus di mana variasi dalam kekuatan tanah signifikan. Di sisi lain, metode Bishop adalah pengembangan dari metode irisan yang lebih spesifik dalam mengasumsikan bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan memiliki resultan nol dalam arah vertikal. Hal ini memungkinkan metode Bishop untuk memberikan hasil yang lebih akurat dalam menghitung stabilitas lereng, terutama untuk kondisi yang lebih kompleks. Kedua metode ini sering digunakan dalam kombinasi dengan perangkat lunak untuk memberikan solusi optimal pada berbagai kondisi lereng.



Gambar 2. 16 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber: Umi Sakinah, 2024)

#### 4. Metode elemen hingga (*finite element method*)

Metode elemen hingga, atau *finite element method* (FEM), adalah teknik yang digunakan untuk mengevaluasi stabilitas lereng secara cepat dan akurat. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Clough dan Woodward pada tahun 1967 dan telah berkembang pesat dalam bidang geoteknik. Dengan menggunakan metode ini, lereng dibagi menjadi unit-unit elemen kecil yang saling berhubungan, memungkinkan analisis mendetail terhadap tegangan dan deformasi pada setiap elemen. Program komputer yang memanfaatkan FEM memungkinkan pengguna untuk memodelkan kondisi lereng secara realistis, sehingga tegangan-tegangan dan deformasi di berbagai titik lereng dapat dianalisis dengan tepat. Hasil dari metode ini sangat berguna dalam mengevaluasi stabilitas lereng, memprediksi potensi longsor, dan merancang struktur penahan yang tepat.

#### 5. Dinding penahan

Dinding penahan adalah struktur yang dibangun di kaki lereng dengan tujuan meningkatkan stabilitas lereng, terutama dalam menahan gerakan massa tanah yang berpotensi longsor. Dengan adanya dinding penahan, pergerakan tanah yang menuju area berisiko longsor dapat dicegah, sehingga lereng menjadi lebih stabil. Ada dua jenis perahan kaki lereng yang umum digunakan: pertama, dinding penahan yang memotong langsung ke lereng, dan kedua, dua dinding penahan yang dipasang di luar kaki lereng dan membentuk struktur bertingkat atau trap. Dinding penahan yang

memotong kaki lereng sering digunakan ketika ruang di luar kaki lereng terbatas, dinding ini menciptakan kaki lereng yang tegak dan kokoh. Biasanya, setelah dinding dibangun, lereng di atasnya juga diubah topografinya yaitu dengan mengurangi kemiringan lereng di atasnya dan mencegah longsor.

Metode penelitian dengan perangkat lunak PLAXIS digunakan untuk mengevaluasi stabilitas tanah dalam berbagai kondisi, seperti kondisi awal, penggalian, konstruksi, dan setelah dinding penahan tanah (DPT) dibangun. Data yang digunakan berasal dari hasil uji laboratorium, seperti kekuatan geser dan kohesi tanah. Kondisi awal menggambarkan keadaan tanah sebelum ada perubahan, sedangkan kondisi galian dan konstruksi mempertimbangkan efek dari penggalian dan pembangunan. Setelah DPT dibangun, PLAXIS digunakan untuk mengevaluasi seberapa efektif dinding tersebut dalam meningkatkan stabilitas lereng dan menahan tekanan tanah.

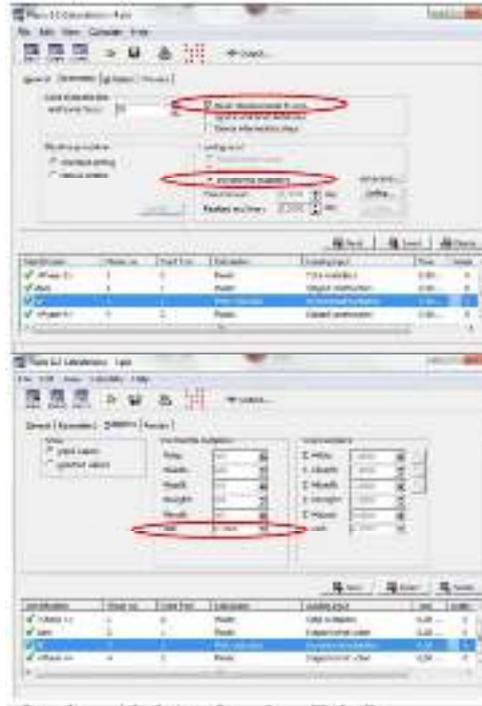
Metode elemen hingga (*finite element method*) memerlukan perhatian pada beberapa hal penting, terutama dalam memperoleh data yang diperlukan untuk perhitungan, seperti parameter dan data tanah. Data-data ini mencakup sifat fisik dan mekanik tanah, seperti kekuatan geser, kohesi, dan sudut gesek dalam, yang menjadi dasar analisis stabilitas. Namun untuk beberapa data yang tidak diperoleh dari uji laboratorium, bisa didapatkan melalui penyelidikan lapangan atau perbandingan nilai-nilai yang diambil dari beberapa sumber referensi, seperti studi sebelumnya ataupun dari hubungan nilai-nilai data yang sudah diketahui.

Def	Laport	Bayang	Layar
1. Sifat	20000- 42500	7000- 20000	30000- 42500
2. Sifat	20700- 41400	20700- 41400	20700- 41400
3. Sifat	40000- 40000	100000- 100000	100000- 100000
4. Sifat	600	750	1000
5. Sifat	11334	11734,1	12142,6
6. Sifat	7-20	20-32	20-32

Gambar 2. 17 Mencari Nilai E Dari Data yang Diketahui

(Sumber: Umi Sakinah, 2024)

Setelah data diperoleh, analisis dilanjutkan dengan pendekatan seperti metode reduksi Phi-c, yang digunakan untuk menghitung faktor keamanan lereng. Proses ini membantu dalam menentukan batas stabilitas tanah. Tahapan berikutnya adalah memasukkan semua data ke dalam program, di mana setiap tahap pekerjaan dijabarkan secara detail, mulai dari penggalian hingga konstruksi, untuk memodelkan perubahan yang terjadi pada lereng dan mengevaluasi kestabilannya secara keseluruhan.



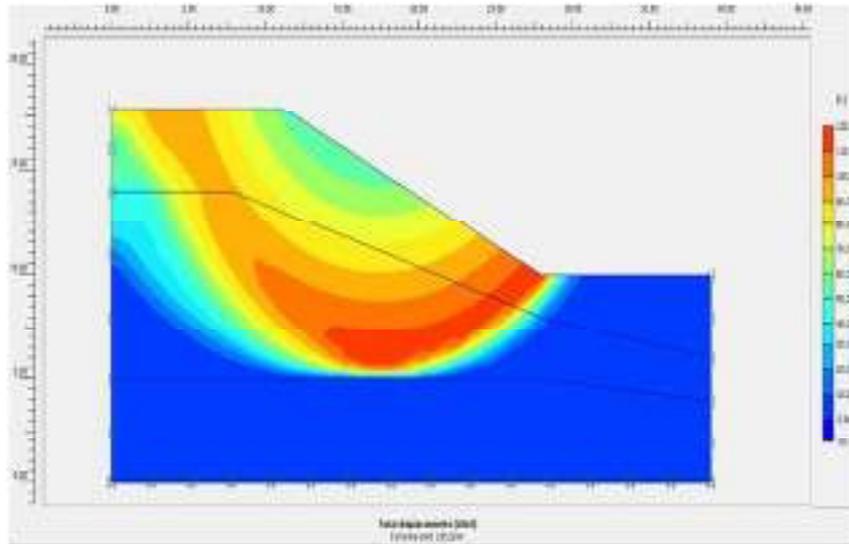
Gambar 2. 18 Tampilan Pengisian Parameter dan Tahapan Pekerjaan

(Sumber: Umi Sakinah, 2024)

Setelah penginputan data dan pelaksanaan analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS, hasil yang diperoleh berupa output-output yang memberikan informasi detail mengenai perilaku dan stabilitas lereng. Output ini meliputi distribusi tegangan dan deformasi pada elemen-elemen tanah, yang menunjukkan bagaimana gaya dan beban mempengaruhi struktur tanah. Selain itu, hasil analisis dapat mencakup faktor keamanan lereng, deformasi maksimum yang diharapkan, dan potensi area rawan longsor. Adapun hasil analisis menggunakan metode elemen hingga dengan PLAXIS adalah sebagai berikut:

#### 1. Output PLAXIS kondisi awal

Hasil analisis pada tahapan kondisi awal ditunjukkan dalam gambar dibawah ini.



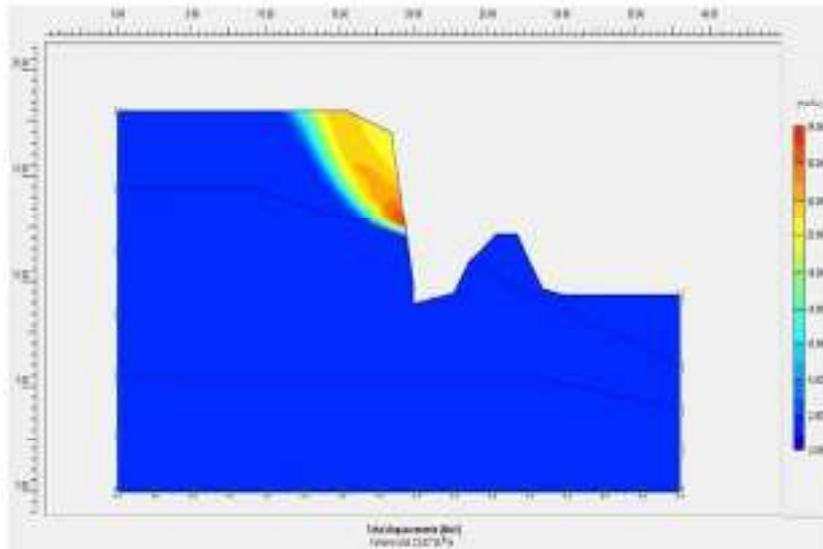
Gambar 2. 19 Pola Keruntuhan Lereng

(Sumber: Umi Sakinah, 2024)

Dalam pemodelan lereng pada kondisi awal, nilai faktor keamanan yang diperoleh adalah 4,493. Angka ini menunjukkan tingkat keamanan lereng terhadap kemungkinan longsor, di mana nilai yang lebih tinggi menandakan stabilitas yang lebih baik. Selain itu, hasil analisis juga menunjukkan deformasi maksimum sebesar  $18,71 \times 10^{-3}$  meter. Deformasi ini menggambarkan sejauh mana lereng mengalami perubahan bentuk atau pergeseran di bawah kondisi beban yang ada.

## 2. Output PLAXIS tahap kondisi galian

Hasil analisis pada tahapan kondisi galian ditunjukkan dalam gambar dibawah ini.



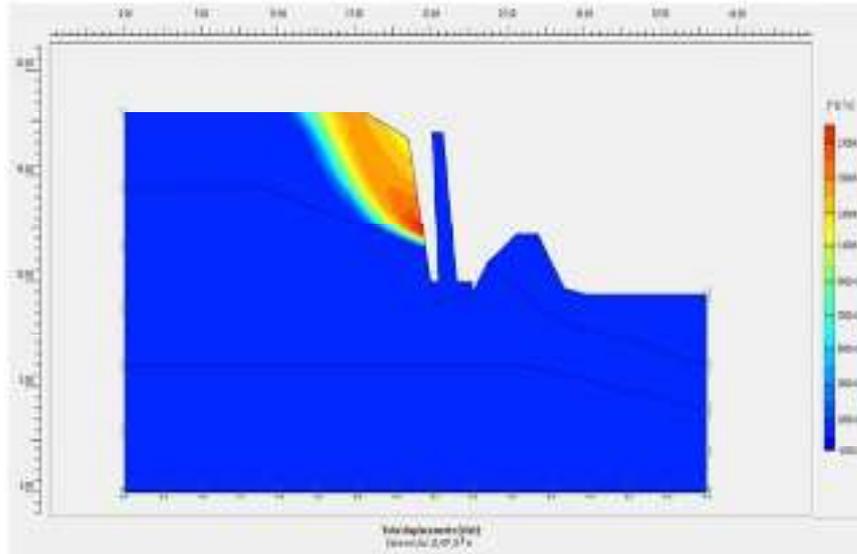
Gambar 2. 20 Pola Keruntuhan Lereng Tahap Kondisi Galian

(Sumber: Umi Sakinah, 2024)

Pada pemodelan lereng dalam tahap kondisi galian, nilai faktor keamanan yang diperoleh adalah 3,6. Faktor keamanan ini menunjukkan bahwa lereng mengalami penurunan dibandingkan dengan kondisi awal. Selain itu, analisis juga mengindikasikan deformasi sebesar  $26,04 \times 10^{-3}$  meter. Deformasi ini mengukur sejauh mana lereng mengalami perubahan bentuk atau pergeseran akibat proses penggalian. Peningkatan deformasi menunjukkan bahwa lereng menjadi lebih rentan terhadap perubahan struktural.

### 3. Output PLAXIS tahap kondisi konstruksi

Hasil analisis pada tahapan kondisi konstruksi ditunjukkan dalam gambar dibawah ini.



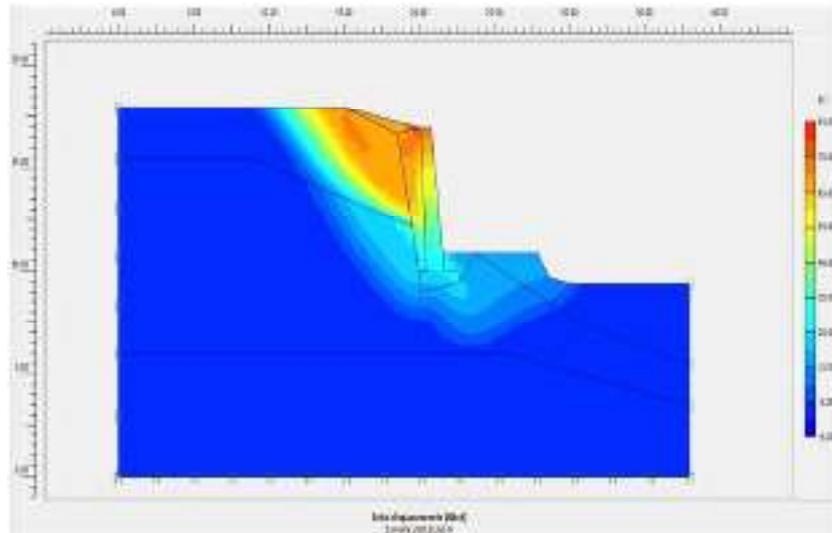
Gambar 2. 21 Pola Keruntuhan Lereng Tahap Kondisi Konstruksi

(Sumber: Umi Sakinah, 2024)

Pada pemodelan lereng dalam tahap kondisi konstruksi, diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 3,361. Nilai ini menunjukkan terdapat sedikit penurunan stabilitas dibandingkan dengan tahap galian. Selain itu, deformasi yang tercatat adalah sebesar  $24,68 \times 10^{-3}$  meter, yang menggambarkan pergeseran atau perubahan bentuk lereng akibat beban dan aktivitas selama proses konstruksi. Meskipun deformasi lebih kecil dibandingkan dengan tahap galian, nilai faktor keamanan menurun.

#### 4. Output PLAXIS tahap kondisi saat DPT terpasang

Hasil analisis pada tahapan kondisi DPT terpasang ditunjukkan dalam gambar dibawah ini.



Gambar 2. 22 Pola Keruntuhan Lereng Tahap Saat DPT Terpasang  
(Sumber: Umi Sakinah, 2024)

Pada pemodelan lereng dalam tahap kondisi setelah dinding penahan tanah (DPT) terpasang, nilai faktor keamanan yang diperoleh adalah sebesar 6,374. Nilai ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam stabilitas lereng setelah DPT dipasang, menandakan bahwa struktur penahan berhasil menahan tekanan tanah dan mencegah potensi longsor. Selain itu, deformasi yang tercatat sebesar  $23,91 \times 10^{-3}$  meter menunjukkan adanya pergeseran tanah yang relatif kecil, menandakan bahwa pemasangan DPT telah efektif dalam mengurangi pergerakan tanah. Dengan faktor keamanan yang tinggi dan deformasi yang minimal, kondisi lereng setelah pemasangan DPT dianggap sangat stabil, memastikan keamanan struktur di sekitarnya.

Sehingga setelah dilakukan analisis, dapat ditarik beberapa kesimpulan dari penelitian ini yaitu berupa:

1. Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan PLAXIS, besar deformasi pada setiap tahap analisis berada dalam orde di bawah 0,1 meter. Hal ini menunjukkan bahwa pergeseran atau perubahan bentuk tanah yang terjadi selama setiap tahap, mulai dari kondisi awal, galian, konstruksi, hingga pemasangan dinding penahan tanah (DPT), tetap berada dalam batas yang relatif kecil dan dapat diterima. Deformasi yang rendah ini menandakan bahwa lereng cukup stabil selama proses berlangsung, dan risiko terjadinya

keruntuhan atau longsor minimal. Dengan deformasi yang terkendali, dapat disimpulkan bahwa desain dan tindakan penanganan yang diterapkan efektif dalam menjaga kestabilan lereng.

2. Dalam setiap pemodelan lereng yang dianalisis menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan reduksi  $\Phi$ -c melalui PLAXIS, faktor keamanan yang dihasilkan selalu melebihi batas minimum yang disyaratkan, yaitu 1,5. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum, lereng berada dalam kondisi stabil di setiap tahap. Namun, pada tahap kondisi galian dan kondisi konstruksi, terjadi penurunan faktor keamanan. Penurunan ini disebabkan oleh adanya urugan dan penggalian tanah yang mengubah distribusi tegangan dan kestabilan tanah. Meskipun demikian, nilai faktor keamanan masih tetap di atas ambang batas, menunjukkan bahwa meski ada penurunan stabilitas, lereng tetap berada dalam kondisi yang relatif aman sepanjang proses berlangsung.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Gambaran Umum**

Studi ini dilakukan pada gerbang tol Kuala Tanjung, gerbang tol yang menghubungkan Kuala Tanjung dengan Kota Indra Pura ini dibangun dengan tujuan utama untuk memperlancar arus logistik dari dan ke Pelabuhan Kuala Tanjung. Jalan tol ini adalah bagian penting dari sistem jaringan Tol Trans Sumatera yang menghubungkan Medan dengan berbagai kota di Sumatera Utara.

Namun pada saat proses konstruksi, setelah dilakukan penyelidikan tanah menggunakan uji SPT, didapat kondisi tanah dasar yang kurang baik. Tanah keras ditemukan pada kedalaman kurang lebih sekitar 40 meter, dan nilai NSPT rata-rata hanya berkisar antara 2 hingga 5. Hal ini menuntut perlunya pembangunan dinding penahan tanah yang disertai dengan penanganan tambahan menggunakan pondasi tiang pancang untuk memastikan stabilitas dan keamanan struktur gerbang tol tersebut.

### **3.2 Lokasi Penelitian**

Studi ini dilakukan di Gerbang Tol Kuala Tanjung, khususnya pada STA 0 + 675. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.

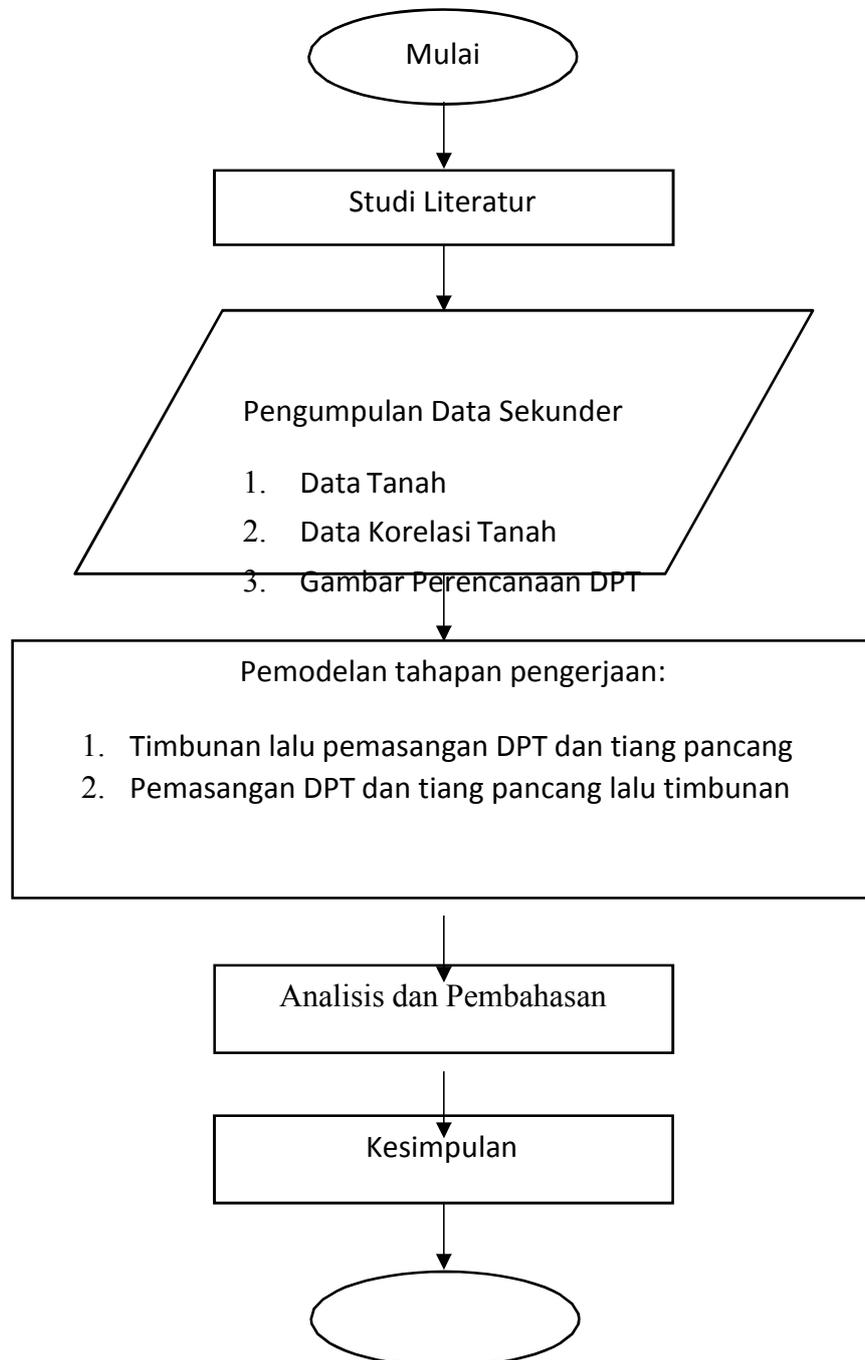


Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

*(Sumber: Google Earth, 2024)*

### 3.3 Bagan Alir

Berikut adalah bagan alir dari penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Kriteria Desain Geoteknik

Kriteria perencanaan yang dipakai dalam tinjauan stabilitas dan penurunan adalah seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1 berikut

Tabel 3. 1 Kriteria Desain Geoteknik

Tinjauan	Kriteria Desain	Sumber
Faktor keamanan kondisi statik	Minimum 1.5	SNI 8460:2017
Penurunan Total	Minimum 100 mm	Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2017

(Sumber: Proyek Jalan Tol Indrapura – Kuala Tanjung, 2024)

### 3.5 Studi Literatur

Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan referensi-referensi atau sumber-sumber yang berhubungan tentang penelitian yang akan dikerjakan. Referensi ini dapat berupa artikel, jurnal maupun karya ilmiah lainnya.

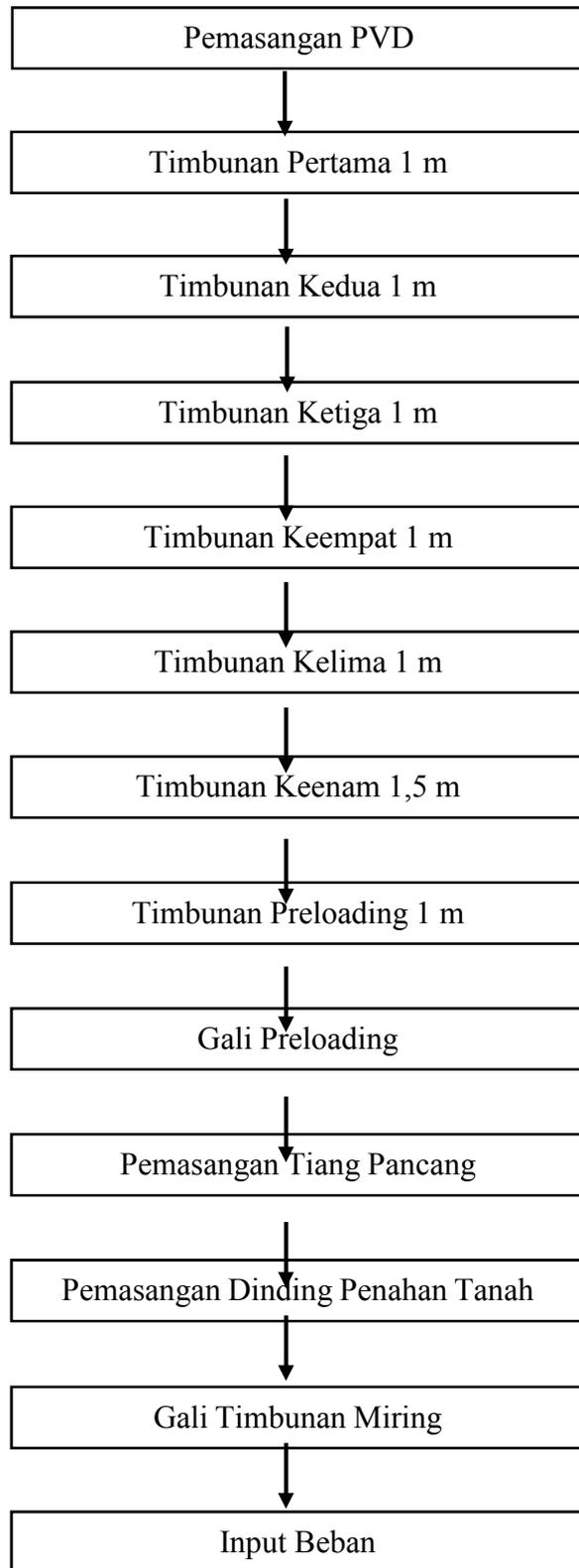
### 3.6 Pengumpulan Data Sekunder

Penelitian ini membutuhkan data untuk mengkaji stabilitas timbunan dan dinding penahan tanah dengan menggunakan *finite element*. Data ini adalah data sekunder dari proyek jalan tol Indrapura – Kuala Tanjung. Dalam penelitian ini data yang dipakai antara lain adalah:

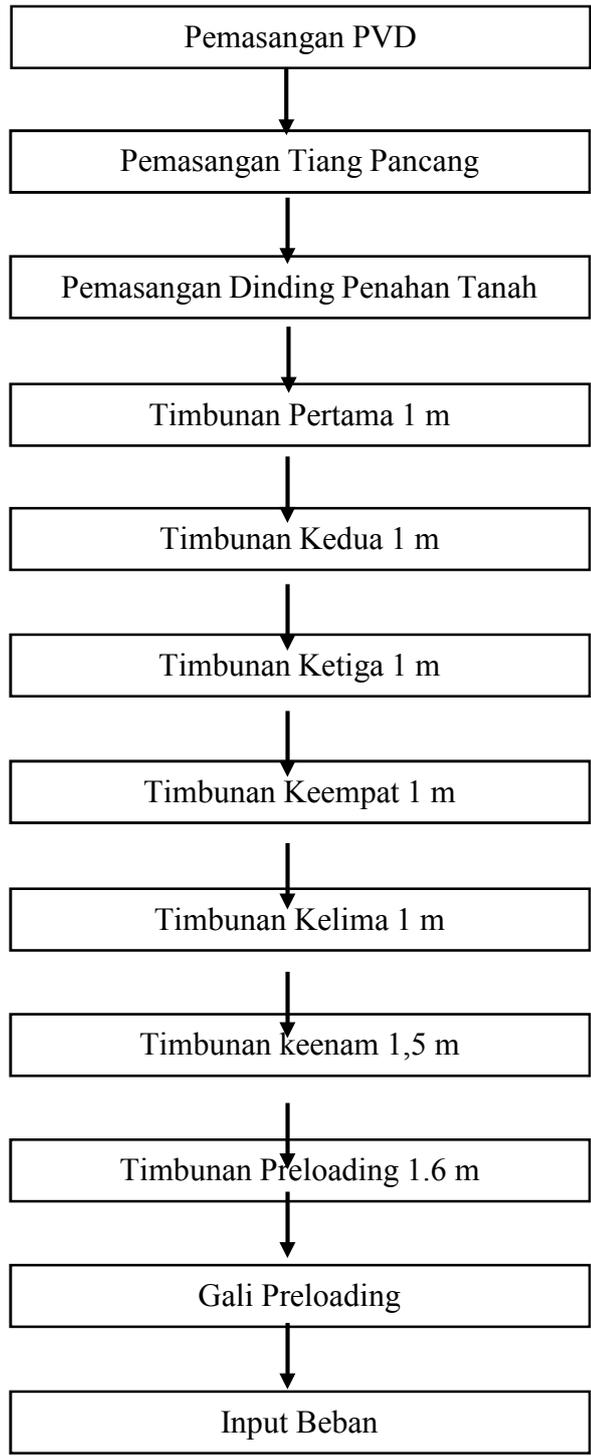
- a. Data tanah
- b. Data korelasi tanah
- c. Gambar perencanaan DPT

### 3.7 Pemodelan dan Analisis

Pemodelan dan analisis dilakukan dengan dua alternatif. Alternatif pertama dimulai dengan penimbunan dan penanganan tanah menggunakan preloading dan PVD, kemudian dilanjutkan dengan pemasangan tiang pancang dan dinding penahan tanah. Alternatif kedua dimulai dengan pemasangan tiang pancang dan dinding penahan tanah terlebih dahulu, kemudian dilakukan penimbunan dan penanganan tanah dengan preloading dan PVD. Tahapan-tahapan pengerjaan tiap alternatif dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 berikut:

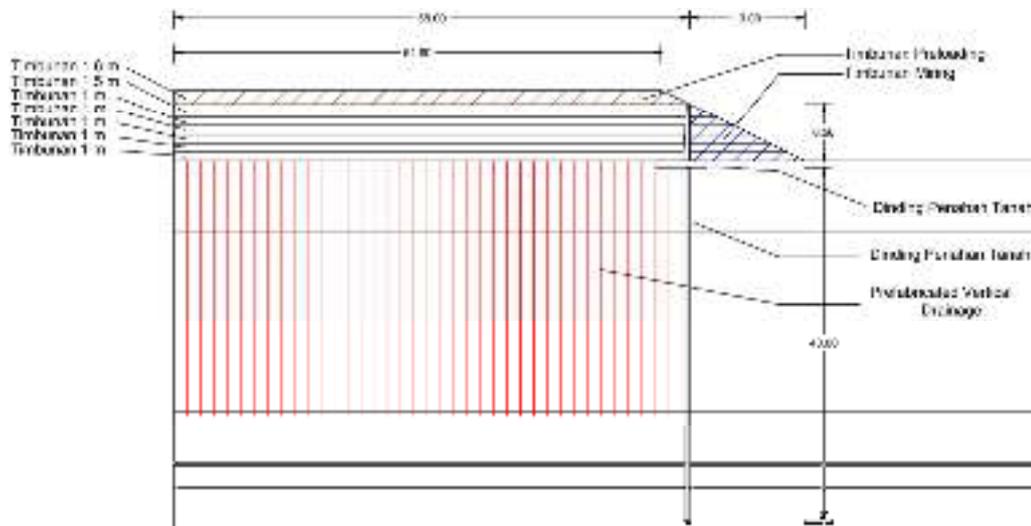


Gambar 3. 3 Diagram Tahapan Pengerjaan Alternatif 1



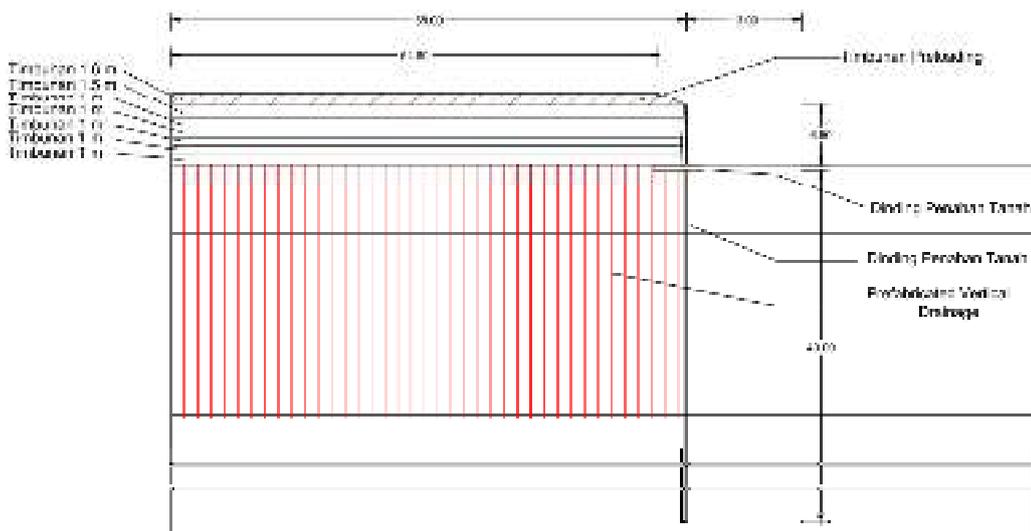
Gambar 3. 4 Diagram Tahapan Pengerjaan Alternatif II

Adapun sketsa pemodelan pengerjaan pada Alternatif I dan Alternatif II ditunjukkan dalam Gambar 3.5 dan Gambar 3.6 berikut:



Gambar 3. 5 Sketsa Pemodelan Alternatif I

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)



Gambar 3. 6 Sketsa Pemodelan Alternatif II

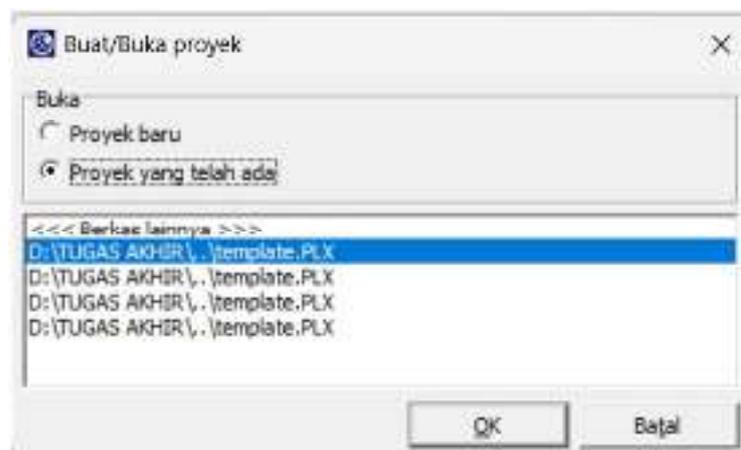
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Adapun analisis dengan metode *finite element* dengan menggunakan *software* plaxis dilakukan dengan mengikuti tiga (3) tahapan yaitu *Input*, *Calculation*, dan *Output*.

a. *Plaxis Input*

1. Buat/Buka Proyek

Hal pertama yang dilakukan adalah membuka aplikasi Plaxis dengan cara *double* klik program *Plaxis Input*, setelah itu akan muncul tab menu pilihan “proyek baru/proyek yang telah ada”. Kemudian pilih “proyek baru” lalu klik “OK” untuk memulai pekerjaan baru yang ditunjukkan dalam Gambar 3.7.

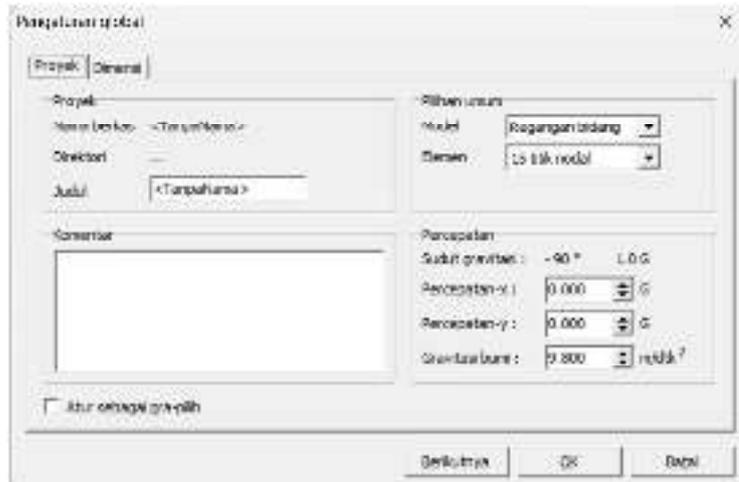


Gambar 3. 7 Kotak Dialog Membuat Proyek Baru

(Sumber: *Plaxis*, 2024)

2. Pengaturan Global

Pada tahap ini terdapat dua tab dialog utama yaitu “Proyek” dan “Dimensi”. Pada tab dialog “Proyek”, masukkan judul proyek, sedangkan pada tab “Pilihan Umum” masukkan tipe model analisis berupa “Regangan Bidang” dan jenis elemen dasar “15 titik nodal” untuk analisis yang mengeluarkan tegangan dan beban runtuh yang lebih detail dan teliti. Tahapan ini ditunjukkan dalam Gambar 3.8 berikut:



Gambar 3. 8 Tab Pengaturan Global

(Sumber: Plaxis, 2024)

Kemudian dalam tab “Dimensi”, pada kotak “Satuan” gunakan satuan *metric* (Panjang = m, Gaya = kN, dan Waktu = hari), sesuaikan juga dimensi geometri sesuai dengan dimensi yang direncanakan. Kemudian klik “OK”.



Gambar 3. 9 Tab Dimensi dari Menu Pengaturan Global

(Sumber: Plaxis, 2024)

### 3. Pemodelan Geometri

Adapun tahapan-tahapan untuk penggambaran model adalah sebagai berikut:

- a) Klik opsi Garis Geometri ()

Letakkan atau klik kursor pada koordinat awal 0,0 ; 0.0 untuk titik awal ketika menggambar geometri. Selanjutnya gambar atau modelkan geometri berdasarkan dengan gambar yang telah direncanakan.

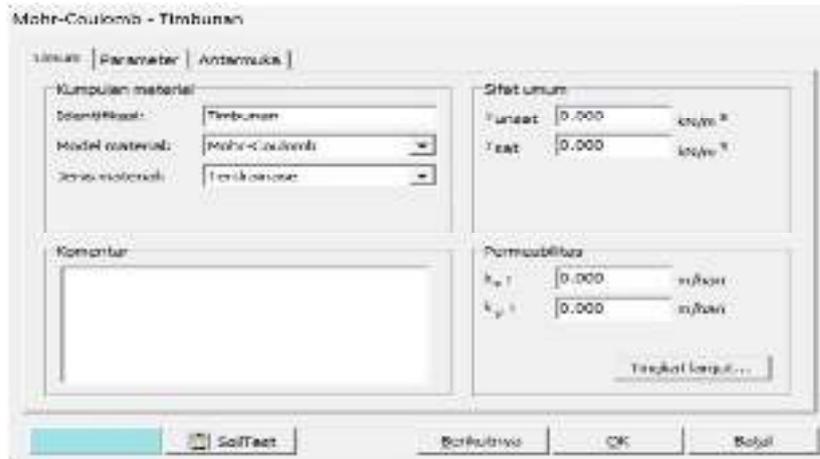
- b) Klik opsi Jepit Standar ()

Ketika opsi ini diklik, Plaxis akan menerapkan kondisi batas umum pada model geometri.

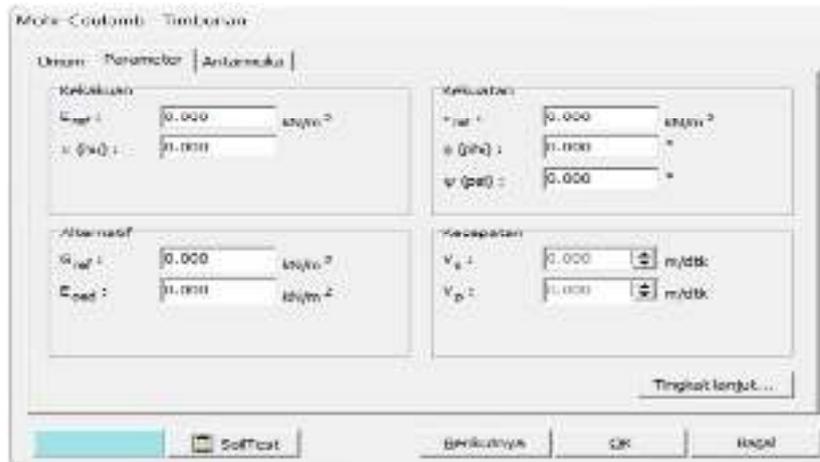
#### 4. *Input* Parameter Kumpulan Data Material ()

Data material dapat dimasukkan pada program melalui pilihan “Kumpulan Data Material”.

- a) Pada tab “Kumpulan Data Material” pilih pilihan “Baru” maka akan muncul kotak dialog baru dengan tiga (3) buah tab yaitu, “Umum, Parameter, dan Antarmuka”.
- b) Dalam tab “Umum” masukkan nama, model material, dan jenis material. Kemudian untuk nilai-nilai parameter seperti sifat umum, berat isi dan permeabilitas tanah dimasukkan sesuai dengan data yang telah diperoleh.
- c) Dalam tab “Parameter” masukkan nilai-nilai dari kekuatan dan kekuatan tanah yang telah diperoleh.
- d) Pada tab “Antarmuka” gunakan kekuatan “kaku” dari Plaxis. Lalu klik “OK” untuk menyimpan material.
- e) Untuk memasukkan material kedalam Geometri yang telah dibuat sebelumnya dapat dilakukan dengan cara klik dan *drag* kumpulan data material yang telah dibuat dari jendela “Kumpulan Data Material” ke tiap lapisan geometri tanah dan lepas didalamnya. Material sudah masuk kedalam geometri jika bidang geometri berubah warnanya.
- f) Kemudian klik tombol “OK” pada jendela “Kumpulan Data Material”



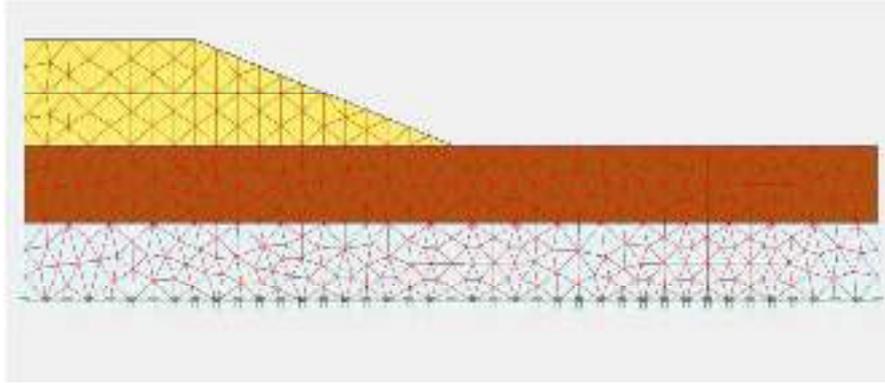
Gambar 3. 10 Lembar Tab Umum dari Jendela Kumpulan Data Material  
(Sumber: Plaxis, 2024)



Gambar 3. 11 Lembar Tab Parameter dari Jendela Kumpulan Data Material  
(Sumber: Plaxis, 2024)

5. Penyusunan Jaring Elemen (🏠)

Klik opsi “Susun Jaringan Elemen” pada *toolbar*. Setelah dilakukan penyusunan jaring elemen, akan muncul sebuah jendela baru dimana jaringan elemen terbentuk pada geometri yang telah dibuat sebelumnya, seperti terlihat pada gambar 3.12 berikut:

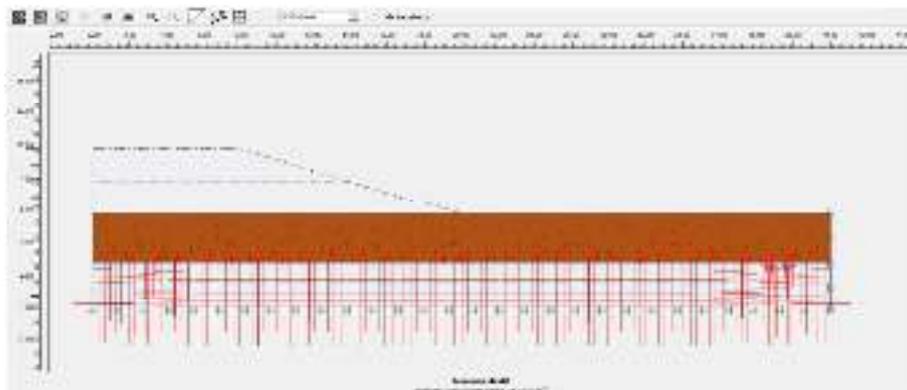


Gambar 3. 12 Jaringan Elemen Hingga (*Meshing*)

(Sumber: Plaxis, 2024)

## 6. Kondisi Awal

- Pilih opsi “kondisi awal” (  ) pada *toolbar*.
- Kemudian klik opsi “garis freatik” (  ), lalu klik titik awal dan akhir koordinat dari letak muka air tanah.
- Klik tombol “hitung tekanan air” (  ).
- Selanjutnya pilih tombol sebelah kanan dari “Switch” (  ).
- Klik opsi “hitung tegangan awal” (  ) pada *toolbar*. Jendela dialog *K0-procedure* akan terbuka lalu klik “Perbaharui” sesuai dengan yang ditunjukkan pada Gambar 3.13 berikut:



Gambar 3. 13 Tegangan Awal

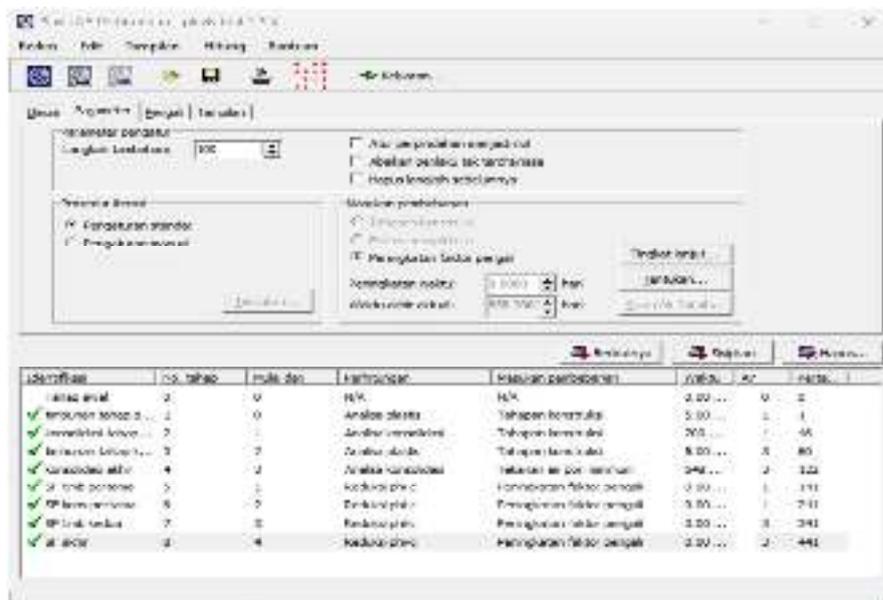
(Sumber: Plaxis, 2024)

f) Kemudian klik opsi “hitung” (  )

b. *Plaxis Calculation*

Pada tahapan *Calculation* ini, terdapat empat (4) tab, yaitu “Umum, Parameter, Pengali, dan Tampilan”. Pada halaman Tab “Umum”, isikan nama tahapan pekerjaan dan juga jenis perhitungan. adapun jenis perhitunganyang tersedia yaitu “Analisa Plastis” yang digunakan untuk memasukkan tahapan penimbunan maupun pemasangan struktur penguat, “Analisa Konsolidasi” yang digunakan untuk memasukkan tahapan dan waktu konsolidasi. Dan “Reduksi phi-c” yang digunakan untuk mencari nilai *safety factor*.

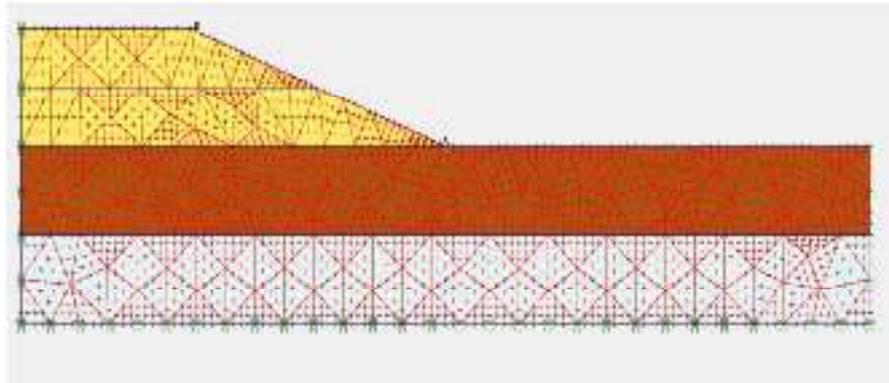
Sedangkan pada Tab “Parameter” dipilih masukan pembebanan berupa “Tahapan Konstruksi”.



Gambar 3. 14 Jendela *Calculation* pada Tab Umum

(Sumber: Plaxis, 2024)

Kemudian tahapan berikutnya adalah memilih titik yang akan dianalisis sehingga dapat menggambarkannya dalam bentuk kurva yaitu dengan memilih opsi “Pilih Titik Untuk Kurva” (  ).

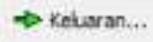


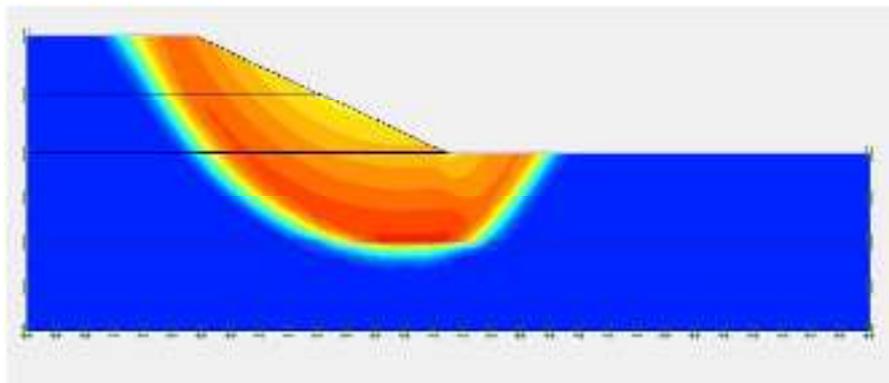
Gambar 3. 15 Pemilihan Titik Kurva Yang Ditinjau

(Sumber: Plaxis, 2024)

Kemudian tahapan terakhir adalah memilih opsi “Hitung” (  ) untuk menjalankan tahapan analisis perhitungan.

c. *Plaxis Output*

Tahap terakhir yang dilakukan setelah tahapan analisis dilakukan dan selesai dihitung, adalah klik opsi “keluaran” (  ) untuk mengeluarkan gambar dari tahap analisis perhitungan yang telah dilakukan.



Gambar 3. 16 *Output* Daerah Potensi Longsor

(Sumber: Plaxis, 2024)

### 3.8 Kesimpulan

Tahapan terakhir yaitu menarik kesimpulan dari penelitian yang dilaksanakan.

