

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

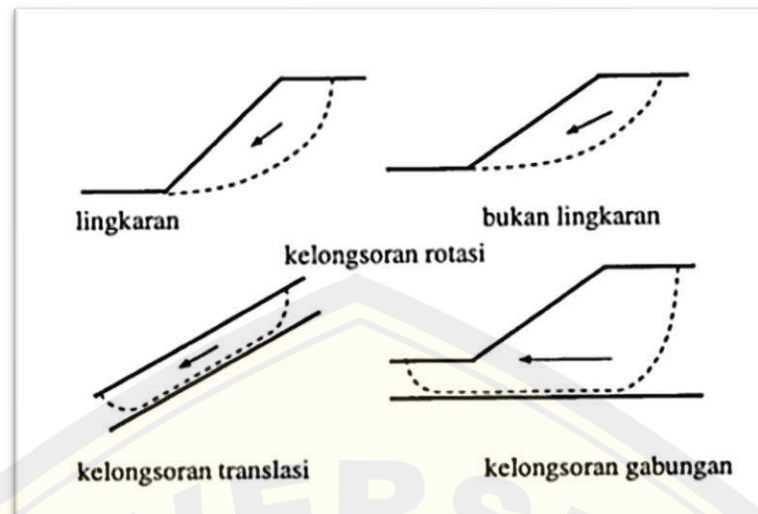
2.1 Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng adalah kondisi di mana tanah atau batuan pada lereng berada dalam keadaan seimbang, yang ditentukan oleh keseimbangan antara gaya yang mendorong lereng bergerak dan gaya yang menahannya. Gaya dorong ini biasanya berasal dari berat tanah itu sendiri, tekanan air dalam tanah, serta beban tambahan seperti bangunan atau kendaraan di atas lereng. Sedangkan gaya penahan berasal dari kekuatan geser tanah, termasuk kohesi dan sudut gesekan antar butir tanah. Jika gaya penahan melebihi gaya yang dapat menimbulkan perpindahan, lereng dianggap relatif stabil (Nurhidayah et al., 2022).

2.1.1 Kelongsoran Lereng

Secara umum, lereng yang curam memiliki risiko longsor yang lebih tinggi, terutama apabila kondisi geologi, tata guna lahan, dan faktor lingkungan tidak mendukung kestabilan. Setiap jenis lereng memiliki potensi terjadinya longsor, yang umumnya terjadi ketika gaya pendorong (*driving force*) melebihi kekuatan geser tanah yang berfungsi sebagai penahan pada bidang longsor (Das, 1995).

Ketidakstabilan pada lereng alami maupun lereng hasil timbunan dan galian dapat disebabkan oleh pengaruh gaya gravitasi serta rembesan air. Tipe-tipe kelongsoran lereng pada Gambar 2.1 dibagi menjadi kelongsoran rotasi, kelongsoran translasi dan kelongsoran gabungan. Kelongsoran rotasi dicirikan oleh lengkungan melingkar pada tanah homogen dan lengkungan tidak beraturan pada tanah heterogen. Di sisi lain, kelongsoran translasi umumnya terjadi ketika lapisan tanah dengan kekuatan geser yang berbeda terletak di dekat permukaan lereng. Ketika perbedaan kekuatan geser ditemukan bahkan pada kedalaman yang relatif dangkal, jenis keruntuhan yang terjadi cenderung berupa kelongsoran gabungan.



Gambar 2. 1 Tipe Tipe Kelongsoran Lereng
(Sumber : Santoso, Budi. 1998. Mekanika Tanah Lanjutan)

2.1.2 Faktor Keamanan (*Factor Safety*)

Untuk mencegah kelongsoran lereng, perlu dilakukan analisis stabilitas lereng. Stabilitas suatu lereng sangat erat kaitannya dengan nilai faktor keamanan (FS), yang dihitung dari rasio antara gaya pendorong (*driving force*) dan gaya penahan (*resisting force*) yang bekerja pada lereng tersebut (Nurhidayah et al., 2022). Menurut Das (2010) secara umum, faktor keamanan dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$Factor\ of\ Safety\ (FS) = \frac{Gaya\ Penahan}{Gaya\ Penggerak} = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.1)$$

Keterangan:

FS = Angka keamanan terhadap kekuatan tanah.

τ_f = Kekuatan geser rata-rata dari tanah (kN/m^3)

τ_d = Tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor (kN/m^3)

Berdasarkan penelitian Bowles (1989), hubungan nilai faktor keamanan lereng dan intensitas longsor ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1 Hubungan FS dengan Longsor

Nilai FS	Kondisi
$FS < 1,07$	Longsor terjadi biasa / sering.
$1,07 < FS < 1,25$	Lereng relatif labil, longsor pernah terjadi. Lereng kritis
$FS > 1,25$	Longsor jarang terjadi. Lereng relatif stabil

Sumber : Modifikasi Bowles, 1989

2.2 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah (*retaining wall*) adalah struktur teknik sipil yang dirancang untuk menahan tekanan lateral tanah pada area dengan perbedaan elevasi, seperti lereng, tebing, atau galian. Fungsinya adalah menjaga agar tanah di belakang dinding tetap stabil dan tidak longsor, terutama pada lokasi dengan risiko kelongsoran atau erosi. Dinding penahan tanah sangat penting dalam pembangunan jalan, basement, taman bertingkat, dan infrastruktur lain yang memerlukan kestabilan tanah (Das, 2010).

Menurut Sujat (2024), dinding penahan tanah merupakan struktur yang berfungsi untuk menahan tekanan lateral tanah sehingga dapat menjaga kestabilan lereng dan mencegah terjadinya pergerakan tanah yang berpotensi menimbulkan longsor. Dinding ini didesain agar mampu menahan gaya dorong dari massa tanah yang cenderung bergerak akibat gravitasi, air tanah, dan beban tambahan di atas permukaan.

Secara umum, dinding penahan tanah dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis berdasarkan prinsip kerjanya, yaitu:

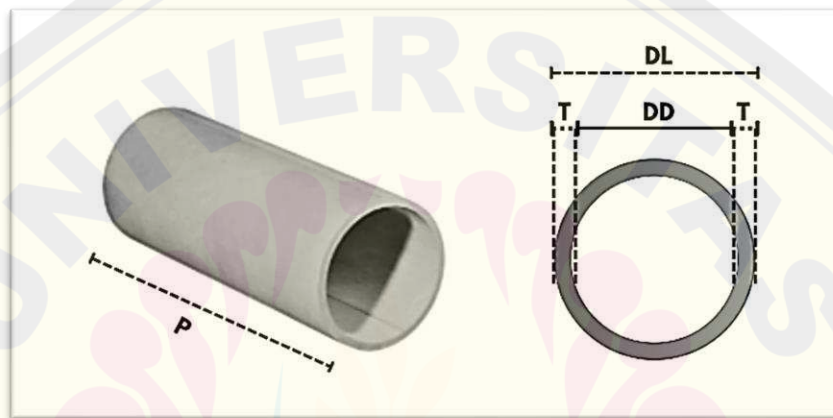
- Dinding Penahan Gravitasi (*Gravity Wall*)
- Dinding Penahan Kantilever (*Cantilever Wall*)
- Dinding Penahan Counterfort (*Counterfort Wall*)
- Dinding Penahan Bertumpu atau Berangkur (*Anchored Wall*)

2.2.1 Dinding Penahan Tanah Buis Beton

Dinding penahan yang terbuat dari buis beton digunakan untuk menyerap gaya lateral tanah, terutama di daerah dengan perbedaan ketinggian. Pipa beton sendiri merupakan tabung beton silindris yang sering digunakan sebagai saluran drainase, tetapi karena kepraktisan dan efisiensinya, buis beton juga dapat digunakan sebagai elemen dinding penahan dalam kondisi tertentu. Buis beton ditempatkan secara vertikal dan berfungsi seperti dinding modular, yang mampu menahan tekanan tanah di balik lereng.

(Mukti & Asmaroni, 2017), menambahkan penggunaan dinding buis beton untuk perkuatan lereng telah terbukti dapat meningkatkan faktor keamanan. Analisis menggunakan metode Fellenius menunjukkan bahwa pemasangan buis beton sebagai dinding penahan dapat memberikan efek stabilisasi pada lereng yang sebelumnya memiliki risiko longsor tinggi akibat peningkatan curah hujan dan struktur tanah yang tidak stabil.

Detail bentuk buis beton sebagai dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Detail Bentuk Beton Buis

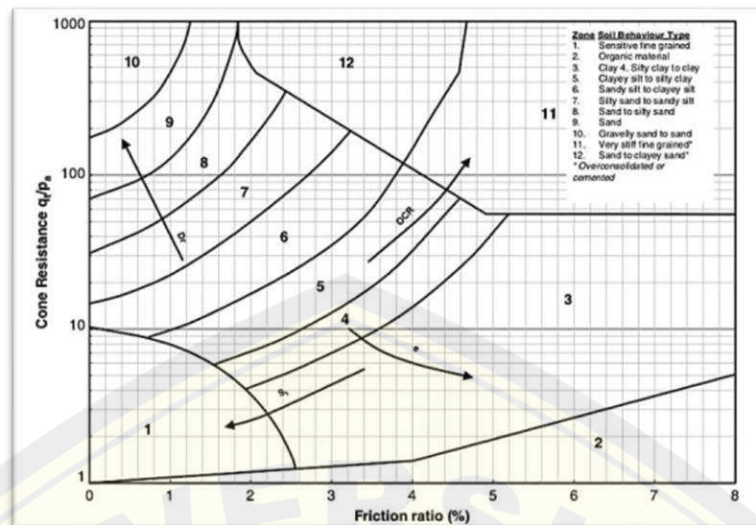
Keterangan:

- P : Panjang (cm)
 DD : Diameter Dalam (cm)
 DL : Diameter Luar (cm)
 T : Tebal (cm)

2.3 Korelasi Parameter Tanah

a. Profil Tanah

Salah satu tujuan utama pelaksanaan pengujian CPT adalah untuk mengidentifikasi profil dan karakteristik lapisan tanah. Robertson et al. (1986) mengembangkan diagram klasifikasi yang menunjukkan hubungan antara nilai tahanan konus (q_c) (kg/cm^2), parameter tekanan pori (B_q), serta rasio gesekan (f_r) untuk menentukan *Soil Behavior Type* (SBT), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Grafik Soil Behavior Type berdasarkan hasil pengujian CPT (Sumber : Robertson et al. 1986)

b. Sudut Geser (ϕ')

Meyerhof (1956) mengemukakan hubungan empiris antara nilai tahanan konus (q_c) yang diperoleh dari pengujian CPT dengan tingkat kepadatan relatif serta sudut geser dalam tanah pasir, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.2. Selanjutnya, Bergdahl et al. (1993) juga mengembangkan korelasi antara nilai q_c dan kepadatan relatif terhadap sudut geser dalam untuk tanah pasir maupun tanah campuran, yang ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 2 Korelasi q_c dan kepadatan relatif dengan sudut geser pada tanah pasir (Meyerhoff, 1956)

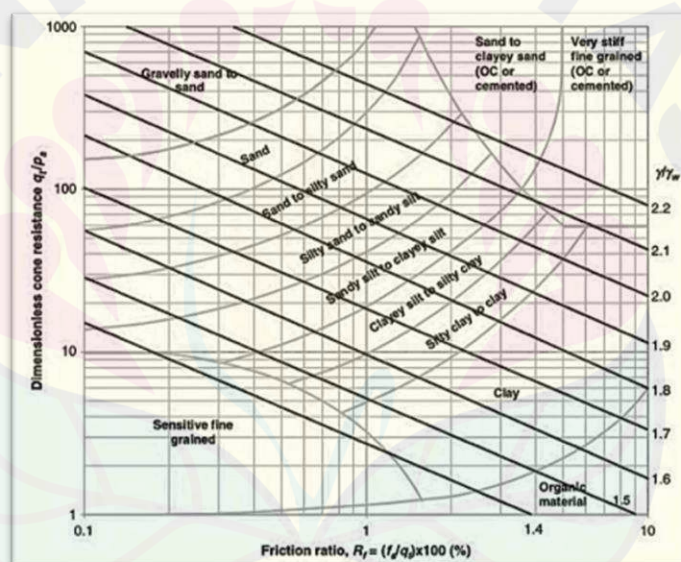
Konsistensi	Kepadatan Relatif	$N-SPT$	q_c (Mpa)	Perkiraan Sudut Geser Triaksial (derajat)
Sangat Lepas	<0.2	<4	<2	<30
Lepas	0.2-0.4	4-10	2-4	30-35
Padat Sedang	0.4-0.6	10-30	4-12	35-40
Padat	0.6-0.8	30-50	12-20	40-45
Sangat Padat	>0.8	>50	>20	>45

Tabel 2. 3 Korelasi q_c dan kepadatan relatif dengan sudut geser pada tanah pasir atau tanah campuran (Bergdahl et al., 1993)

Kepadatan Relatif	q_c (Mpa)	ϕ' (°)
Sangat Lemah	0.0-2.5	29-32
Lemah	2.5-5.0	32-35
Sedang	5.0-10.0	35-37
Besar	10.0-20.0	37-40
Sangat Besar	>20.0	40-42

c. Hubungan Berat Isi dengan Rasio Gesekan

Robertson dan Cabal (2010) mengembangkan diagram yang menunjukkan hubungan antara berat isi tanah dan rasio gesekan berdasarkan hasil pengujian CPT, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Hubungan Berat Isi dengan Rasio Gesekan
(Sumber : Robertson dan Cabal, 2010)

d. Koefisien Permeabilitas Tanah (k)

Robertson (1990) menyusun suatu korelasi empiris yang mengaitkan klasifikasi *Soil Behaviour Type* (SBT) dengan nilai koefisien permeabilitas tanah. Korelasi tersebut digunakan untuk memperkirakan karakteristik aliran air dalam tanah berdasarkan jenis perilaku tanah yang diperoleh dari hasil pengujian, dan disajikan secara sistematis pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Permeabilitas dari hasil uji CPT (Robertson, 1990)

<i>Soil Behaviour Type</i>	Permeabilitas (m/s)
<i>Sensitive fine grained</i>	3×10^{-9} to 3×10^{-8}
<i>Organic soils-peats</i>	1×10^{-8} to 1×10^{-6}
<i>Clays-clay to silty clay</i>	1×10^{-10} to 1×10^{-7}
<i>Silt mixtures clayey silt to silty clay</i>	3×10^{-9} to 1×10^{-7}
<i>Sand mixtures ; silty sand to sandy silt</i>	1×10^{-7} to 1×10^{-5}
<i>Sands; clean sand to silty sands</i>	1×10^{-5} to 1×10^{-3}
<i>Gravelly sand to sand</i>	1×10^{-3} to 1
<i>^aVery stiff sand to clayey sand</i>	1×10^{-8} to 1×10^{-6}
<i>^aVery stiff fine grained</i>	1×10^{-9} to 1×10^{-7}

e. Korelasi dengan *Undrained Shear Strength* (c_u)

Nilai *Undrained Shear Strength* (c_u) dapat diestimasi dari data hasil pengujian CPT dengan menggunakan pendekatan persamaan kapasitas daya dukung tanah yang dikembangkan oleh Terzaghi berikut,

$$c_u = \frac{(q_c - \sigma_{vo})}{N_c} \quad (2.2)$$

Dengan N_c = Factor konus

f. Poisson Ratio (ν)

Poisson Ratio (ν) didefinisikan sebagai perbandingan antara regangan lateral terhadap regangan aksial yang terjadi pada material tanah (Bowles, 1997). Nilai rasio Poisson dapat ditentukan melalui korelasi empiris berdasarkan jenis tanah, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Korelasi Poisson Ratio

Jenis Tanah	Poisson's Ratio (ν)
Lempung jenuh	0,4 - 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 - 0,3
Lempung berpasir	0,2 - 0,3
Lanau	0,3 - 0,35
Pasir padat	0,2 - 0,4
Pasir kasar ($e=0,4-0,7$)	0,15
Pasir halus ($e=0,4-0,7$)	0,25
Batu	0,1 - 0,4
Loses	0,1 - 0,3

Sumber : Mekanika Tanah II, Tim Dosen Teknik Sipil Undip

2.4 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah gaya horizontal dari tanah terhadap dinding penahan, yang dipengaruhi oleh sifat tanah, kondisi drainase, dan pergerakan dinding. Perhitungannya didasarkan pada teori keseimbangan plastis, yaitu saat tanah mencapai batas geser, dan berkaitan erat dengan selubung keruntuhan Mohr. Tekanan ini dibedakan menjadi aktif, pasif, dan diam, dengan tekanan aktif dan pasif sebagai fokus utama dalam desain dinding yang dapat bergerak.

2.4.1 Tekanan Tanah Lateral Aktif

Tekanan tanah lateral aktif terjadi ketika dinding bergerak menjauh dari tanah, sehingga tanah mengembang dan menghasilkan tekanan paling kecil terhadap dinding. Tekanan ini dihitung menggunakan koefisien tekanan tanah aktif. Berikut merupakan rumus tekanan tanah lateral aktif (Rankine).

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad (2.3)$$

$$\sigma_h = K_a \cdot \gamma \cdot h \quad (2.4)$$

Keterangan:

- K_a : Koefisien tekanan tanah aktif
- ϕ : Sudut geser dalam tanah ($^\circ$)
- σ_h : Tekanan lateral pada kedalaman h (kN/m²)
- γ : Berat jenis tanah (kN/m³)
- h : Kedalaman dari permukaan tanah (m)

2.4.2 Tekanan Tanah Lateral Pasif

Tekanan tanah lateral pasif terjadi saat dinding terdorong ke arah tanah, sehingga tanah tertekan dan menghasilkan tekanan paling besar pada dinding. Tekanan ini dihitung dengan koefisien tekanan tanah pasif. Berikut merupakan rumus tekanan tanah lateral pasif (Rankine).

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (2.5)$$

$$\sigma_h = K_p \cdot \gamma \cdot h \quad (2.6)$$

Keterangan:

- K_p : Koefisien tekanan tanah pasif
 ϕ : Sudut geser dalam tanah ($^{\circ}$)
 σ_h : Tekanan lateral pada kedalaman h (kN/m²)
 γ : Berat jenis tanah (kN/m³)
 h : Kedalaman dari permukaan tanah (m)

2.5 Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Analisis stabilitas merupakan tahap penting dalam memastikan bahwa dinding penahan tanah dirancang dengan tingkat keamanan yang memadai terhadap berbagai potensi kegagalan. Keamanan struktur dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (*Factor of Safety*), yaitu perbandingan antara gaya atau kapasitas yang menahan kegagalan terhadap gaya yang menyebabkan kegagalan. Menurut SNI 8460:2017, evaluasi stabilitas dinding penahan tanah harus mencakup pemeriksaan terhadap potensi kegagalan akibat guling, geser, daya dukung tanah, dan stabilitas global dengan memenuhi nilai faktor keamanan minimum yang telah ditetapkan (BSN, 2017). Kriteria faktor keamanan minimum yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Kriteria Faktor Keamanan Minimum

Parameter Analisis	Kriteria Faktor Keamanan
Faktor keamanan guling	$\geq 2,0$
Faktor keamanan geser	$\geq 1,5$
Faktor keamanan daya dukung tanah	$\geq 3,0$
Faktor keamanan stabilitas global	$\geq 1,5$
Faktor keamanan akibat gempa	$\geq 1,1$

Sumber : SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik

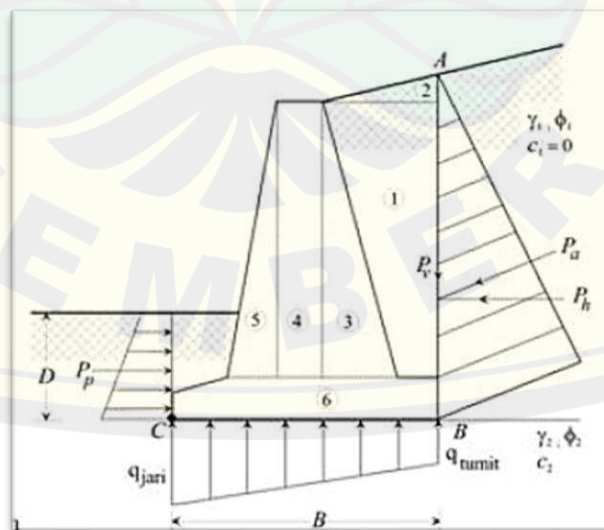
Stabilitas dinding penahan tanah secara umum diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu stabilitas internal dan stabilitas eksternal. Stabilitas internal mengacu pada kemampuan struktur dinding itu sendiri dalam menahan gaya-gaya internal seperti deformasi, keretakan, dan kegagalan material yang dapat terjadi dalam elemen penyusunnya. Sementara itu, stabilitas eksternal berkaitan dengan interaksi

antara dinding dan massa tanah di sekitarnya, serta ditentukan melalui analisis terhadap beberapa potensi kegagalan seperti guling (*overturning*), geser dasar (*sliding*), daya dukung pondasi (*bearing capacity*), dan keruntuhan lereng secara keseluruhan (*global stability*). Evaluasi kedua aspek ini sangat penting untuk memastikan bahwa dinding penahan tidak hanya stabil secara struktural, tetapi juga aman terhadap gaya-gaya eksternal yang bekerja.

2.5.1 Stabilitas Terhadap Guling

Stabilitas terhadap guling merujuk pada kapasitas dinding penahan dalam menahan momen rotasi yang ditimbulkan oleh tekanan lateral tanah, yang berpotensi menyebabkan struktur mengalami perputaran ke depan atau terguling. Tekanan tanah aktif memberikan momen pengguling yang bekerja pada bagian belakang dinding, sedangkan momen penahan dihasilkan oleh berat sendiri dinding serta beban tanah di atasnya.

Stabilitas guling dianalisis untuk mengetahui kemampuan dinding penahan tanah dalam menahan momen pengguling yang diakibatkan oleh tekanan tanah lateral. Faktor keamanan terhadap guling diperoleh dari perbandingan antara momen penahan dan momen pengguling yang bekerja pada struktur. Menurut SNI 8460:2017, dinding penahan tanah dinyatakan aman terhadap guling apabila memiliki faktor keamanan minimum sebesar 2,0. Skema gaya dan momen yang digunakan dalam analisis stabilitas guling ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Analisis stabilitas terhadap guling

Faktor keamanan terhadap guling dihitung menggunakan persamaan 2. berikut.

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \geq 2 \quad (2.7)$$

Keterangan:

F_{gl} = Faktor keamanan terhadap guling

$\sum M_w$ = Jumlah momen penahan terhadap titik guling (kN.m)

$\sum M_{gl}$ = Jumlah momen pengguling terhadap titik guling (kN.m)

2.5.2 Stabilitas Terhadap Geser

Selain mengguling, dinding juga dapat mengalami pergeseran horizontal akibat tekanan tanah aktif. Menurut Das dan Sobhan (2019), pemeriksaan stabilitas geser merupakan salah satu kriteria utama dalam desain dinding penahan tanah karena kegagalan geser dapat menyebabkan perpindahan struktur secara horizontal. Stabilitas terhadap geser mengevaluasi kemampuan alas dinding dalam menahan gaya horizontal dari tekanan tanah, yang dilawan oleh gesekan dan kohesi antara dasar dinding dan tanah pondasi. Bila tidak cukup, dinding dapat bergeser dari pondasinya.

Berdasarkan tabel 2.6, faktor keamanan minimum terhadap geser lateral yang harus dipenuhi adalah sebesar 1,5. Nilai tersebut menunjukkan bahwa gaya penahan harus lebih besar daripada gaya pendorong untuk menjamin kestabilan struktur. Oleh karena itu, dinding penahan tanah dinyatakan aman apabila nilai faktor keamanan terhadap geser memenuhi atau melebihi nilai minimum yang dipersyaratkan. Perhitungan stabilitas ini dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5 \quad (2.8)$$

Keterangan:

F_{gs} = Faktor keamanan terhadap geser

$\sum R_h$ = Jumlah gaya penahan horizontal yang bekerja pada dasar dinding (kN)

$\sum P_h$ = Jumlah gaya pendorong horizontal yang bekerja pada dinding (kN)

2.5.3 Stabilitas Terhadap Daya Dukung

Tekanan vertikal yang ditransfer dari dinding penahan ke tanah dasar perlu dievaluasi untuk memastikan tidak melebihi kapasitas daya dukung tanah. Pemeriksaan ini bertujuan agar pondasi tidak mengalami keruntuhan akibat tekanan berlebih. Secara umum, nilai minimum faktor keamanan terhadap daya dukung ditetapkan sebesar 3,0 guna menjamin kestabilan struktur, terutama pada kondisi beban maksimum atau saat terjadi penurunan kekuatan tanah. Daya dukung ultimit tanah dihitung menggunakan persamaan Terzaghi sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 2.9.

$$q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (2.9)$$

Keterangan:

q_u = daya dukung ultimit tanah (*ultimate bearing capacity*) (kN/m² atau kPa)

c = kohesi tanah (kPa)

γ = berat isi tanah (*unit weight of soil*) (kN/m³)

D_f = kedalaman pondasi dari permukaan tanah (m)

B = lebar pondasi atau lebar dasar dinding penahan tanah (m)

N_c = faktor daya dukung akibat kohesi

N_q = faktor daya dukung akibat beban tanah di atas dasar pondasi (*surchage*)

N_γ = faktor daya dukung akibat berat isi tanah

Nilai faktor daya dukung N_c , N_q , dan N_γ ditentukan berdasarkan nilai sudut geser dalam tanah (ϕ). Daya dukung ultimit yang diperoleh dari persamaan 2.9 belum dapat langsung digunakan sebagai dasar perencanaan karena belum mempertimbangkan faktor keamanan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan daya dukung izin (*allowable bearing capacity*) dengan membagi daya dukung ultimit terhadap faktor keamanan yang disyaratkan. Berdasarkan SNI 8460:2017, faktor keamanan minimum terhadap daya dukung tanah adalah sebesar 3,0. Persamaan untuk menghitung daya dukung izin tanah ditunjukkan pada persamaan 2.10.

$$q_{ijin} = \frac{q_u}{SF} \quad (2.10)$$

Keterangan:

q_{ijin} = daya dukung izin tanah (kPa)

q_u = daya dukung ultimit tanah (kPa)

SF = faktor keamanan daya dukung ($\geq 3,0$ menurut SNI 8460:2017)

Hasil perhitungan daya dukung izin kemudian dibandingkan dengan tegangan tanah yang terjadi di bawah dasar dinding penahan tanah. Struktur dinyatakan aman terhadap keruntuhan daya dukung apabila tegangan tanah yang bekerja lebih kecil daripada daya dukung izin tanah ($q < q_{ijin}$). Sebaliknya, apabila tegangan tanah yang terjadi melebihi daya dukung izin ($q > q_{ijin}$), maka tanah dasar berpotensi mengalami keruntuhan daya dukung sehingga diperlukan perubahan dimensi atau perbaikan desain dinding penahan tanah.

2.6 Program Geostudio

GeoStudio merupakan perangkat lunak analisis geoteknik yang salah satu modulnya, yaitu SLOPE/W, digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng. Modul SLOPE/W memungkinkan pemodelan kondisi lereng berdasarkan parameter tanah yang digunakan serta menghitung nilai faktor keamanan (SF). Analisis dilakukan dengan pendekatan keseimbangan batas (*limit equilibrium method*), sehingga hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi kestabilan lereng secara lebih sistematis dibandingkan dengan metode perhitungan manual.