BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan elemen penting dalam siklus hidrologi, namun secara alami bersifat dinamis. Interaksi antara aliran air dan geometri tebing sering kali menyebabkan ketidakstabilan lereng. Fenomena longsor tebing sungai (*bank erosion/landslide*) bukan hanya masalah geologi alami tetapi juga menjadi ancaman serius bagi infrastruktur di sekitarnya, pemukiman warga, serta kelestarian ekosistem sungai itu sendiri.

Sungai batang lubuh merupakan salah satu sungai yang memiliki peran sangat penting di kota Pasir Pengaraian, Kabupaten Rokan Hulu. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, masyarakat menjadikan kawasan sungai Batang Lubuh sebagai pemukiman penduduk. Namun, secara morfologi, Sungai Batang Lubuh memiliki kelokan (*meander*) yang tajam di beberapa titik, terutama yang melintasi area pemukiman padat dan infrastruktur penting.

Pasir pengaraian secara historis merupakan wilayah yang rawan banjir tahunan akibat luapan sungai batang lubuh. Masalahnya tidak berhenti pada genangan air fluktuasi muka air yang ekstrem saat musim hujan menyebabkan erosi leteral yang masif pada kaki tebing.

Stabilitas suatu tebing sangat bergantung pada kemampuan tanah dalam menahan tegangan geser yang ditimbulkan oleh beban tanah itu sendiri maupun faktor eksternal. Ketika kuat geser tanah lebih kecil dibandingkan dengan beban atau tegangan yang bekerja, maka kegagalan struktur tanah tidak dapat dihindari.

Longsor merupakan salah satu bentuk erosi yang terjadi akibat perpindahan massa tanah dalam jumlah besar secara tiba-tiba. Kerentanan longsor biasanya seperti kondisi kemiringan lereng yang tajam. Sedangkan tebing sungai juga merupakan salah satu risiko *geohazard* yang signifikan di banyak daerah terutama di daerah rawan banjir dan curah hujan yang tinggi. Penelitian ini

bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik tanah yang berkontribusi terhadap kestabilan lereng sungai dan risiko longsor. Sifat mekanik tanah, yang mengcakup kuat geser, kohesi, dan berat isi, merupakan aspek penting dalam menentukan stabilitas tebing.

Tebing sungai meliliki karakteristik unik karena berinteraksi langsung dengan air secara kontinu. Perubahan muka air sungai (terutama fenomena *rapid drawdown* atau penurunan muka air secara cepat setelah banjir) dapat meningkatkan tekanan air pori dalam tebing. Hal ini secara drastis menurunkan tegangan efektif tanah, sehingga memperlemahkan ikatan mekanis pertikel tanah dan memicu kelongsoran.

Tanpa kajian mendalam mengenai sifat mekanik tanah, pembangunan tanggul atau pemukiman di pinggir sungai memiliki risiko kegagalan struktur yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan analisis teknis untuk menentukan faktor keamanan (*safety foctor*) dari tebing sungai guna memetakan zona risiko longsor pada tebing sungai.

Berdasarkan hal ini, penelitian dilakukan untuk menganalisis sifat mekanik tanah terhadap risiko longsor tebing sungai agar mengetahui kuat kondisi tanah supaya mengurangi risiko terjadinya longsor pada tebing Sungai Batang Lubuh.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana nilai sifat mekanik tanah yang meliputi kohesi (c), sudut geser dalam (φ), dan berat isi tanah (γ) pada tebing sungai di lokasi penelitian?
2. Bagaimana tingkat kestabilan tebing sungai berdasarkan Faktor Keamanan (*Safety Factor*) menggunakan metode *Bishop*?
3. Bagaimana pengaruh sifat mekanik tanah terhadap risiko longsor pada tebing sungai di lokasi penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengidentifikasi nilai kuat geser tanah (nilai c dan γ) melalui pengujian labroatoruim untuk mendapatkan sifat mekanik tanah dari lokasi penelitian.
2. Untuk menganalisis stabilitas tebing sungai berdasarkan Faktor Kemanan (*Safety Factor*) dengan menggunakan Metode *Bishop*.
3. Untuk mengetahui pengaruh sifat mekanik tanah terhadap risiko longsor pada tebing sungai di lokasi penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat sebagai :

1. Dapat mengidentifikasi nilai kuat geser tanah (nilai c dan γ) melalui pengujian laboratorium untuk mendapatkan sifat mekanik tanah dari lokasi penelitian.
2. Dapat menganalisis stabilitas tebing di sekitar lokasi penelitian.
3. Dapat mengetahui pengaruh sifat mekanik tanah terhadap risiko longsor pada tebing sungai di lokasi penelitian.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada :

1. Pengujian dilakukan hanya pada sifat mekanik tanah.
2. Pengujian sampel tanah di laboratorium.
3. Pengujian dilakukan di sepanjang sungai batang lubuh kabupaten rokan hulu yang ada pemukimannya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang digunakan sebagai tinjuan pustaka dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Cahyono ddk, (2025) dengan judul “Analisis Daerah Rawan Tanah Longsor di DAS Barek Kabupaten Malang Berbasis Sistem Informasi Geografis”. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif yang diperlukan untuk menganalisis data curah hujan harian yang didapat dari Stasiun Hujan Bantur, Sitiarjo, Pagak dan Kemulan. Data ini akan digunkan untuk perhitungan analisis hidrologi. Berdasarkan hasil analisis dapat diambil kesimpulan kerawanan longsor di DAS Barek diklasifikasikan dalam 3 kategori yaitu kurang rawan seluas 3,21 km² atau 2,17% dari luas total DAS, kategori rawan seluas 144,06 km² atau seluas 97,53% dari luas total DAS, dan karegori sangat rawan seluas 0,44 km²atau 0,30% dari luas total DAS.berdasarkan analisis GIS, daerah rawan mendominasi hampir seluruh wilayah DAS Barek. faktor utama yang memperngaruhi kerwanan longsor di DAS Barek meliputi lemiringan lereng, yaitu wilayah dengan kemiringan 26%-45% dan lebih dari 455 memiliki risiko longsor tinggi.
2. Zhafirah ddk, (2025) dengan judul “Desain Dinding Penahan Tanah pada Lereng Tidak Stabil Berbasis Analisis Numerik”. Penelitian ini menggunakan metode kuantitaif dengan pengujian yang dilakukan di laboratorium, hingga analisis numerik dan kesimpulannya. Berdasarkan hasil dari penelitian ini menunjukan bahwa lereng di lokasi studi berada dalam kondisi tidak stabil berdasarkan hasil analisis Bishop dan GeoStudio (FK < 1,5. Desain dinding penahan tanah tipe kantilever terbukti mampu mengingkatkan faktor keamanan hingga melebihi nilai ambang batas stabilitas. Implementasi pekuatan seperti ini efektif untuk menanggulangi risiko longsor di daerah dengan kemiringan tajam dan tanah jenuh air.

Penelitian ini, memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, fokus penelitian hanya pada penggunaan dinding penahan tanah tipe kantilever, sehingga belum dilakukan perbandingan efektivitas dengan tipe perkuatan lain seperti *soil nailing* atau penggunaan geoteksil. Kedua, simulasi yang dilakukan terbatas pada kondisi statis, belum mempertimbangkan pengaruh beban dinamis seperti seperti gempa yang dapat memperngaruhi perilaku stabilitas lereng. Penelitian ini selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi perbandingan berbagai jenis perkuatan serta mengintergrasikan analisis beban dinamis, sehingga hasil yang diperoleh dapat memberikan rekomendasi yang lebih komprehensif untuk mitigasi longsor di wilayah rawan bencana.

3. Alexsander ddk, (2025) dengan judul "Penanggulangan Longsor Dengan Dinding Penahan Tanah *Retaining Wall* (Ruas Muara Teweh-Benangin STA 50+800)". Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pengujian di lapangan dan sail laboratorium yang kemudian akan dianalisis menggunakan metode elemen hingga memalui prgram PLAXIS. Berdasarkan hasil dari analisis diperoleh bidang gelincir pada tubuh lereng dengan nilai *safety factor* (SF) awal sebesar 2,169 yang menunjukkan kondisi lereng aman, namun pada kenyataannya di lapangan terjadi longsoran. Oleh karena itu dilakukan *back analysis* yang menunjukan bahwa jenis longsoran tersebut adalah longsoran rotasi berbentuk melengkung (*circular slip surface*) pada kedalaman 3,62 m dengan nilai safety factor sebesar 1,057, sehingga kondisi lereng tergolong kritis. Berdasarkan hasil analisis lebih lanjut, lereng yang mengalami longsoran memerlukan perkuatan berupa dinding penahan tanah (*retaining wall*) dengan dimensi tinggi 4 m. serta lebar 0,2 m, panjang *heel* 1,5 m, panjang *toe* 1 m, serta tebal dinding batang bawah 0,4 m. setelah dilakukan perkuatan dengan dinding penahan tanah tersebut, nilai *safety factor* meningkat dari kondisi kritis. 1,057 menjadi 1,690. Hal ini kriteria keamanan dan lereng dinyatakan stabil serta aman dari risiko longsoran lanjutan.

4. Sabilla ddk, (2025) dengan judul “Klasifikasi Tanah Lempung Berdasarkan Sistem USCS (*Unified Soil Classfication System*) Dan AASHTO (*American Association Of State Highway And Transportation Officials*)”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitaif yang dilakukan melalui serangkaian pengujian laboratorium terhadap sampel tanah yang diambil dari *Quarry* Gampong Keutapang, Kecamatan Lhoong, Kabupaten Aceh Besar. Berdasarkan hasil dari pengujian laboratorium terhadap sampel tanah diambil dari *Quarry* Gampong Keutapang, Kecamatan Lhoong, diperoleh bahwa tanah di lokasi penelitian memiliki kadar air rata-rata sebesar 39,98%, berat jenis rata-rata 2,619 gr/cm³, dan fraksi halus lolos saringan No.200 sebesar 51,09%. Nilai (LL) sebesar 64,24%, Batas *Plastis* (PL) sebesar 39,98%, serta *Indeks Plastisitas* (PI) sebesar 24,25%, menunjukan bahwa tanah tergolong lempung berplastisitas tinggi. Berdasarkan sistem USCS, tanah diklasifikasikan sebagai MH (*Silt Og High Plasticity*), sedangkan menurut sistem AASHTO termasuk dalam kelompok A-7-5/A-7-6, yaitu tanah berbutir halus dengan daya dukung rendah. Hasil ini membuktikan bahwa tanah di wilayah *Quarry* Keutapang memiliki karakteristik plastisitas tinggi dan kemampuan drainase rendah. Sehingga tidak direkomendasikan untuk digunakan langsung sebagai material dasar konstruksi tanpa proses perbaikan tanah terlebih dahulu.
5. Alwi ddk, (2025) dengan judul “Evaluasi Sifat Fisik dan Indeks Tanah Untuk Menentukan Klasifikasi Tanah Dasar”. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif melalui uji laboratorium yang sudah diatur secara standar. Pendekatan kuantitatif dipilih karena semua parameter yang dianalisis dapat diukur secara pasti, seperti ukuran partikel, batas Atterberg, kadar air, berat jenis, dan fraksi partikel halus yang menjadi dasar dalam sistem klasifikasi tanah USCS dan AASHTO. Berdasarkan hasil dari pengujian ini sampel tanah titik 1 hasil klasifikasi USCS menunjukan bahwa sampel tanah titik 1 termsuk dalam kategori GW-GM yaitu kerikil dengan campuran lanau yang memiliki gradasi baik dan struktur butiran stabil. Dalam sistem AASHTO,

sampel ini masuk ke dalam kategori A-1-a, yaitu tanah bergradasi baik yang terdiri dari kerikil dan pasir dengan kandungan butiran halus sangat rendah. Sampel tanah titik 2 klasifikasi USCS menempatkan sampel tanah titik 2 dalam kategori SP atau pasir bergradasi buruk, yang biasanya memiliki struktur seragam dan stabilitas yang bergantung pada tingkat kepadatan. Meski demikian, berdasarkan sistem AASHTO, sampel ini termasuk dalam kelompok A-1-b, yaitu material granular yang masih meiliki sifat teknis yang baik untuk digunakan sebagai tanah dasar. Sedangakan sampel tanah titik 3 dalam klasifikasi USCS, sampel tanah titik 3 termasuk dalam kategori SW, yang merupakan pasir bergradasi baik dengan struktur butiran yang lebih stabil dibandingkan sampel 2. distribusi ukuran buir pada sampel ini lebih seragam sehingga bisa saling mengikat, berdasarkan sistem AASHTO, sampel ini juga masuk dalam kategori A-1-b, yaitu tanah granular dengan kualitas yang sangat baik untuk digunakan sebagai tanah dasar.

6. Harsanto ddk, (2024) dengan judul "Asesmen Potensi Risiko Bencana Longsor Tebing Sungai Winongo Hilir". Penelitian ini menggunakan metode kualitatif. Pengumpulan data primer meliputi survei kesiapsiagaan dengan kuesioner. Berdasarkan hasil dari penelitian ini tingkat risiko bencana di wilayah hilir Sungai Winongo dapat dikelola secara efektif melalui peningkatan kapasitas dan pengendalian kerentanan. Bahaya longsor tebing dan banjir terjadi ancaman dominan, yang disebabkan oleh curah hujan tinggi, geometri tebing yang curam, dan aktivitas manusia di sempadan sungai. Namun, keberadaan inftastruktur seperti dinding penahan tebing dan organisasi tanggap bencana telah membuktikan efektivitasnya dalam mengurangi risiko, sebagaimana terlihat di wilayah Sobdodadi.
7. Yogaswara & Komarudin, (2024) dengan judul "Analisa Stabilitas Lereng Dengan Dinding Penahan (Studi Kasus: Desa Ciherang Kecamatan Nagreg)". Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan teknik pengumpulan data secara observasi di lapangan untuk pengukuran, pengamatan dan pengambilan sampel tanah. Berdasarkan hasil dari analisis

perkuatan lereng dengan dinding penahan menunjukan bahwa tanah pada lokasi penelitian memiliki sifat fisik dengan kohesi sebesar 0,63 t/m³, susut gesek dalam 22,97º, dan berat volume tanah basah 1,470 t/m³. perencanaan dinding penahan tanah kantilever dengan dimensi tinggi 8,00 m dan lebar alas 4,80 m menghasilkan nilai faktor keamanan terhadap gaya geser sebesar 1,73 dan terhadap gaya guling sebesar 3,20, yang keduanya melebihi nilai aman yang disyaratkan yaitu 1,20. Untuk perkuatan, digunakan tulangan D16 dengan jarak 250 mm. penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengeskplorasi perhitungan dan penangan kelongsoran lebih lanjut guna meningkatkan faktor keamanan lereng, serta memastikan bahwa dinding penahan tanah yang dirancang dapat memberikan kontribusi maksimal dalam menjaga kestabilan lereng dari pergeseran atau longsor.

8. Yusuf ddk, (2023) dengan judul "Analisis Stabilitas Lereng Sungai Tamiang Kampung Rantau Pakam". Penelitian ini mengunakan metode kuantitatif dengan menganalisis stabilitas lereng terlebih dahulu untuk pengumpulan data berupa data tanah serta letak topografi lokasi yang akan ditinjau. Pada penelitian ini digunakan metode *Bishop* untuk perhitungan secara manual dan metode elemen hinga (*finite element method*) menggunakan bantuan perangkat lunak (s*oftware*) Plaxis 2D. dalam hal ini, analisis stabilitas lereng yang menggunakan metode elemen hingga didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*plastic limit*). Jika nilai faktor kemanan lereng yang didapat tidak memenuhi nilai faktor keamanan lereng minimum sesuai dengan persyaratan perencanaan geoteknik maka dilakukan perkuatan lereng untuk meningkatkan nilai stabilitasnya. Metode perkuatan yang akan digunakan adalah *soil nailing* dan dinding MSE (*Mechanically Stabilized Earth*). berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat diketahui faktor keamanan stabilitas lereng ekssting sungai yang berada di Sungai Tamiang Kampung Rantau Pakam, Kecamatan Bendahara, Kabupaten Aceh Tamiang, Provinsi Aceh berada di bawah yang dipersyaratkan yaitu hanya sebesar 1,26 dan 0,935 yang masing-masing dihitung menggunakan metode *Bishop* dan *Plaxis*

2D. kondisi lereng dinyatakan bahwa lereng tidak stabil dan perlu dilakukan perkuatan pada lereng. Perkuatan lereng menggunakan perkuatan *soil nailing* sebesar 1,335. Nilai faktor keamanan yang didapat tidak memenuhi persyaratan minimum faktor keamanan *soil nailing* ≥ 1,5. Untuk analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan dinding MSE nialai faktor keamanan yang didapat sebesar 1,457. Nilai faktor keamanan yang didapat telah memenuhi persyaratan minimum faktor keamaan dindidng MSE sebesar ≥ 1,3. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perkuatan menggunakan metode MSE lebih sesuai diterapkan di lokasi tersebut.

9. Fadli ddk, (2022) dengan judul "Perlindungan Tebing Sungai Ciliwung Dengan Dinding Kantilever Ruas Kampung Legok Nyenang, Kabupaten Bogor". Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pengujian di lapangan menggunakan alat handboring dan berat isi yang dilakukan untuk mendapatkan data parameter tanah asli. Berdasarkan hasil dari pengujian ini dapat diketahui dimensi pada kontruksi dinding penahan tanah kantilever didapatkan tinggi sebesar 11 meter, lebar pelat kaki sebesar 0,80 meter, dan tebal puncak dinding penahan sebesar 0,40 meter. Beban yang bekerja pada dinding penahan tanah adalah sebesar 12 kN/m², beban tersebut merupakan beban lalu lintas dengan kelas jalan III beban tekanan tanah aktif akibat gempa berdasarkan metode Mononobe-Okabe, sebesar 544,32 kN. Stabilitas terhadap penggeseran didapatkan sebesar (F_{gs}) = 0,36 < SF = 1,5 dan untuk stabilitas terhadap guling (F_{gl}) =0,21 < SF – 1,5 maka stabilitas terhadap geser dan stabilitas terhadap guling tidak aman. Stabilitas daya dukung tanah didaptkan kapasitas ultimit aman (q_s) = 223,93 kN/m², sehingga keruntuhan kapasitas daya dukung tanah dinyatakan aman. Fondasi *bored pile* dirancang dengan kedalaman 1,50 meter dan diameter 1 meter, sehingga stabilitas daya dukung fondasi *bored pile* ditinjau pada tiang kelompok didapatkan kapasitas ijin sebesar 569,89 Kn.
10. Ma'ruf ddk, (2021) dengan judul "Analisis Kawasan Risiko Bencana Banjir Dan Tanah Longsor Di Kampung Code Utara, Kota Yogyakarta". Penelitian

ini menggunakan metode penelitian kualitatif untuk mendapatkan data yang akan digunakan dalam penelitian ini. Peta ortofoto lokasi kegiatan, data geologi berdasarkan hasil survei lapangan, data hidrologi berdasarkan hasil survei lapangan, data sosial ekonomi masyarakat pada lokasi penelitian berdasarkan data dari kelurahan dan BPS, dan sejarah terjadinya bencana pada lokasi penelitian berdasarkan hasil wawancara dengan masyarakat. Berdasarkan hasil dari penelitian ini peta rawan bencana banjir yang dihasilkan memiliki 3 kelas kerawanan yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Peta kelas kerawanan tinggi terdapat 3 titik rawan banjir. Peta rawan tanah longsor diperoleh memiliki 3 kelas kerawanan yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Pada kelas kerawanan tinggi terdapat 13 titik rawan longsor.

11. Prasetio dkk, (2019) dengan judul "Analisa Sifat Fisis Tanah Timbunan Sebagai Bahan Material Konstuksi Jalan Desa Koto Tinggi". Penelitian ini menggunakan metode kuantitaif dengan pengujian untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari tanah timbunan yang digunakan. Berdasarkan hasil pengujian tanah timbunan di desa Koto Tinggi berdasarkan klasifikasi menurut AASHTO tanah tersebut masuk dalam kategori tanah lanau.

2.2 Keaslian Penelitian

Keaslian penelitian ini terletak pada :

1. Memfokuskan pada sifat mekanik tanah terhadap risiko longor tebing sungai.
2. Lokasi penelitian yang terletak dipinggir aliran sungai batang lubuh yang mengalami longsor.
3. Sejauh penelusuran penulis, penelitian ini dengan kombinasi variabel tersebut masih terbatas.

BAB III

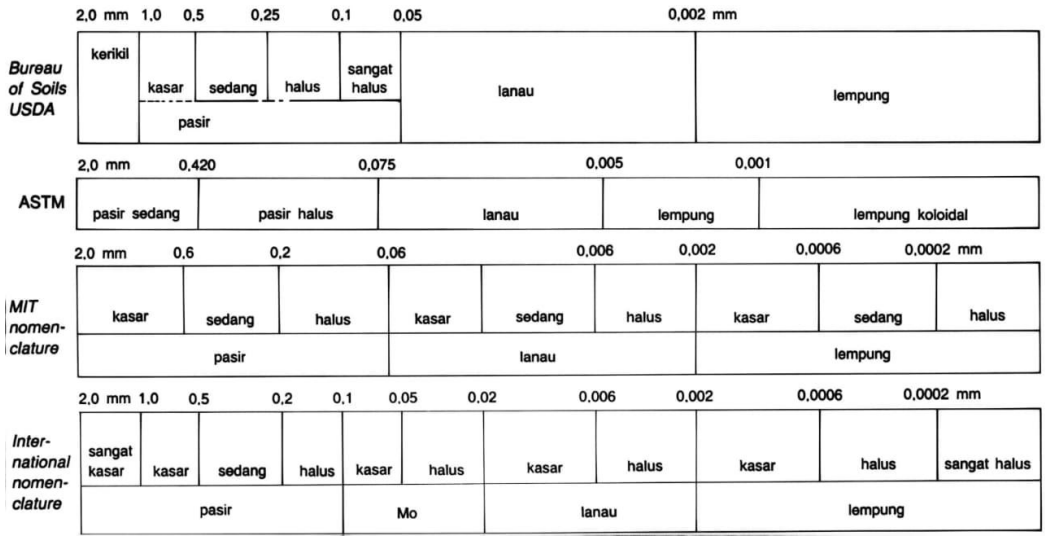
LANDASAN TEORI

3.1 Klasifikasi Tanah

Menurut bapak Hardiyatmo (2010), tanah dalam pandangan teknik sipil didefinisikan sebagai himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas baru dasar (*bedrock*). Sedangkan pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun subkelompok yang menunjukan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu, pemilihan ini disebut klasifikasi. Klasifikasi tanah sangat membantu peneliti dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil yang telah lalu. Tetapi, peneliti harus berhati-hati dalam penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe. 1979).

Klasifikasi tanah kebanyakan menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Pada umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan, uji sedimentasi dan plastisitas.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan yaitu *Unified Soil Classification System* (USCS) dan *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Sitem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari *System Unified* mula pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), Kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*). Dalam bentuk yang sekarang. Sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisai konsultan geoteknik.



Gambar 3.1 Klasifikasi butiran tanah menurut sistem *Unified Soil Classfication System*, ASTM, MIT dan *International Nomenclature*.
Sumber : *Mekanika Tanah I – Hary Christady Hardiyatmo 2010*

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

Sistem klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASTHO) dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Roads Classfication System.* Sistem ini berguna untuk menentukan kualitas tanah untuk perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. u8

Sistem klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASTHO) membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dangan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis dilihat di dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1 Klasifikasi tanah *American Association of State High and Transportation Officials* (AASHTO).

Klasifikasi Umum	Material Granuler (<35% lolos saringan no. 200)				Tanah-tanah lanau-lempung (<35% lolos saringan no. 200)			
Klasfikasi Kelompok	A-1	A-3	A-2		A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a A-1-b		A-2-4 A-2-5	A-2-6 A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis Saringan (% lolos)								
2,00 mm (no. 10)	50 maks							
0,425 mm (no.40)	30 maks 50 maks	51 min						
0,075 mm (no.200)	15 maks 25 maks	10 maks	35 maks 35 maks	35 maks 35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
sifat fraksi lolos saringan no.4								
Batas cair (LL)			40 maks 41 maks	40 maks 41 maks	40 maks	41 maks	40 maks	41 maks 11
Indeks plastis (PI)	6 maks	Np	10 maks 10 maks	11 maks 11 maks	10 maks	10 maks	11 maks	maks
Indeks Kelompok (G)	0	0	0	4 maks	8 mask	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	pecahan batu, kerikil dan pasir	pasir halus	kerikil berlanau atau berlempung atau berpasir		tanah berlanau		tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	sangat baik sampai baik				sedang sampai buruk			

Sumber : *Mekanika Tanah I – Hary Chirstady Hardiyatmo 2010*

Indeks kelompok (group index) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan :

$GI = (F\text{-}35)[0{,}2 + 0{,}005\ (LL - 40)] + 0{,}01\ (F\text{-}15)(PI\text{-}10)$……...……(3.1)

Dengan :

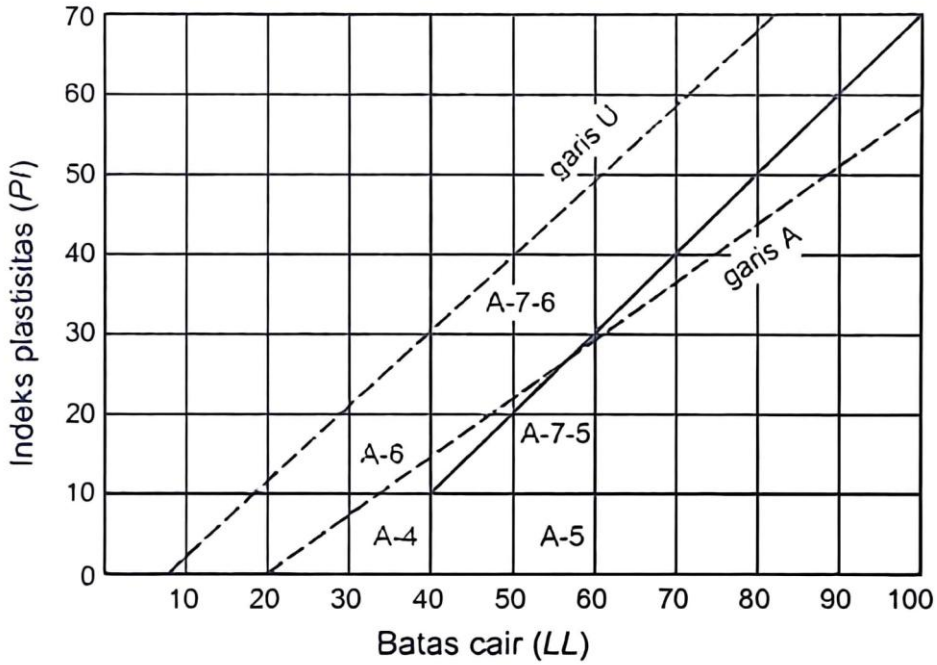
GI = Indeks Kelompok (*Group Index*)

F = Persen Butiran Lolos Saringan No.200 (0,075 mm)

LL = Batas Cair

PI = Indeks Plastisitas

- Dasar Klasifikasi : Ukuran butiran, batas cair (*Liquid Limit*), indeks plastisitas.
- Pembagian kelompok : Tanah dibagi menjadi 7 kelompok utama, yaitu A-1 sampai A-7.
    a. A-1, A-2, A-3 : Material berbutiran kasar (≤ 35% lolos saringan No.200)
    b. A-4, A-5, A-6, A-7 : Material berbutiran halus (> 35% lolos saringan No.200)
    c. Indeks Grup (*Group Index*) : angka yang ditulis dalam kurung setelah simbol kelompok (misal : A-7-6 (12)) untuk mengevaluasi mutu tanah sebagai tanah dasar secara lebih detail.



Gambar 3.2 Batas-batas Atterberg untuk subkelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7.
Sumber : *Mekanika Tanah I − Hary Christady Hardiyatmo 2010*

3.1.2 Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS)

pada sistem *Unified Soil Classification System* (USCS), tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan No.200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan No.200. selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam gmabar 3.4. simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah :

G = Kerikil (*Gravel*)

S = Pasir (*Sand*)

C = Lempung (*Clay*)

M = Lanau (*Silt*)

O = Lanau atau Lempung Organik (*Organic Silt or Clay*)

Pt = Tanah gambut dan Tanah organik tinggi (*Peat and Highly Organic Soil*)

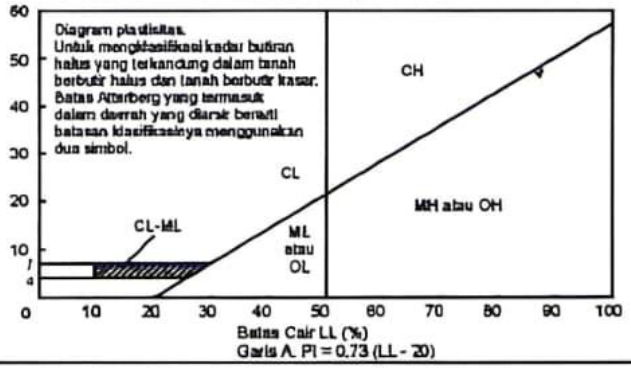
W = Gradasi Baik (*Well-Graded*)

P = Gradasi Buruk (*Poorly-Graded*)

H = Plastisitas Tinggi (*High-Plasticity*)

L = Plasititas Rendah (*Low-Plasticity*)

Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah *Unified Soil Classfication System* (USCS)

Divisi Utama			Simbol Kelompok	Nama Jenis		Nama Jenis	
Tanah berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4.75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200: GW, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no. 200: GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan no 200. Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
			GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4	Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung		Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI > 7	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4.75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus).	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4	Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI > 7	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang		ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung			
			CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('lean clays')			
			OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah.			
	Lanau dan lempung batas cair > 50%		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.			
			CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')			
			OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
Tanah dengan kadar organik tinggi			P_t	Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandunagn organik tinggi.		Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	

Sumber : *Mekanika Tanah I – Hary Crhistady Hardiyatmo 2010*

3.1.3 Jenis – Jenis Tanah

Dalam mekanika tanah dan teknik sipil, klasifikasi tanah sangt penting untuk menentukan bagaimana tanah akan berperilaku saat menerima beban struktur seperti pondasi, jalan, bendungan, dan lainnya. Secara umum, jenis-jenis tanah dikelompokkan berdasarkan ukuran partikel (butiran) dan sifat plastisitasnya.

Berdasarkan ukuran partikelnya, tanah dibagi menjadi dua kelompok :

A. Tanah Berbutir Kasar (*Coarse-Grained Soils*)

Tanah jenis ini memiliki partikel yang cukup besar sehingga perilaku mekanisnya lebih di pengaruhi oleh gesekan antarbutir dan gravitasi, bukan oleh air.

1. Kerikil (*Gravel*) : Batuan kecil dengan ukuran butiran lebih besar dari 4,75 mm hingga 75 mm. Kerikil memiliki porositas tinggi dan kekuatan geser yang sangat baik jika padat.
2. Pasir (*Sand*) : butiran tanah yang berukuran antara 0,075 mm hingga 4,75 mm. pasir bersifat tidak kohesif (tidak melekat satu sama lain saat kering) dan memiliki permeabilitas yang tinggi.

Warna umum Kerikil (*Gravel*) dan Pasir (*Sand*): abu-abu terang, kekuningan, coklat muda, hingga putih kemerahan.

a. Secara teknis :

- Warna abu-abu atau terang pada pasir atau kerikil biasanya menandakan dominasi mineral kuarsa atau pelapukan batuan induk yang bersih dari material organik.
- Warna kekuningan atau kemerahan menunjukan adanya selimut tipis besi oksida (fe-oksida) yang menempel pada butiran pasir.

B. Tanah Berbutir Halus (*Fine-Grained Soils*)

Tanah jenis ini memiliki partikel yang sangat kecil (lewat dari saringan No.200 atau < 0,075 mm). perilakunya sangat dipengaruhi oleh kadar air dan gaya elektro-kimia antar-partikel.

1. Lanau (*Silt*) : Tanah berbutir halus yang bersifat non-plastis atau sedikit plastis. Ukurannya berkisar antara 0,002 mm hingga 0,075 mm. jika kering, lanau mudah menjadi debu, dan kekuatan struktur runtuh saat basah.
2. Lempung (*Clay*) : Tanah bebutir sangat halus (kurang dari 0,002 mm) yang menunjukkan sifat plastitas tinggi ketika bercampur dengan air. Lempung memiliki kohesi (daya ikat antar-partikel) yang kuat, namun cenderung menyusut saat kering dan mengembang saat basah (sifat kembang-susut).

Warna umum Lanau (*Silt*) dan Lempung (*Clay*) :

a. Lanau (*Silt*) : Abu-abu abu, coklat muda, atau abu-abu kecoklatan.
b. Secara teknis : Lanau sering kali berwarna pudar atau kusam. Jika lanau berada di area dengan drainase buruk atau tergenang air, warnanya cenderung berubah menjadi abu-abu kebiruan atau kehijauan (kondisi reduksi).
b. Lempung (*Clay*) : Lempung memiliki variasi warna yang paling kontras karena permukaannya yang aktif secara kimiawi mudah mengikat mineral dan air.
    - Merah hingga Coklat Kemerahan : Menunjukan tanah berada dalam kondisi drainase yang baik (Well-drained) sehingga besi di dalam tanah mengalami oksidasi sempurna membentuk hematit atau geothit. Tanah lempung merah biasanya memiliki kekuatan geser yang relatif stabil dalam kondisi alami, namun tetap harus

diwaspadai jika berada di lereng atau tebing yang curam.

- Abu-abu, Kebiruan, Atau Kehijauan (*Greying*) : menunjukan kondisi tanah yang terus-menerus tergenang air atau berada di bawah muka air tanah (kondisi reduksi atau kurang oksigen. Secara mekanika tanah, lempung abu-abu sering kali memiliki daya dukung yang lebih rendah dan tingkat kejenuhan air yang tinggi.
- Kuning Tua hingga Jingga : menunjukan kondisi hidrologi yang fluktuatif kadang basah, kadang kering, sehingga besi mengalami hidrasi membentuk limonit.

3.2 Sifat Mekanik Tanah

Sifat mekanik tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan beban atau gaya yang bekerja, baik dari luar maupun berat sendiri. Dalam konteks stabilitas tebing sungai.

3.2.1 Kuat Geser Tanah (Mohr Coulomb)

Menurut Hardiyatmo (2010) Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah tersadap desakan atau tarikan. Parameter kuat geser diperlukan untuk analisis-analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan oleh persamaan :

$$\tau = f(\sigma) \qquad (3.2)$$

Dengan τ adalah tegangan geser pada saat terjadi keruntuhan atau kegagalan (*failure*), dan σ adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut. Dengan dasar ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

1) Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2) Geserkan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Coulomb (1776) mendefinisikan $f(\sigma)$ sebagai :

$$\tau = c + \sigma \text{ tg} \quad \text{.....(3.3)}$$

dengan :

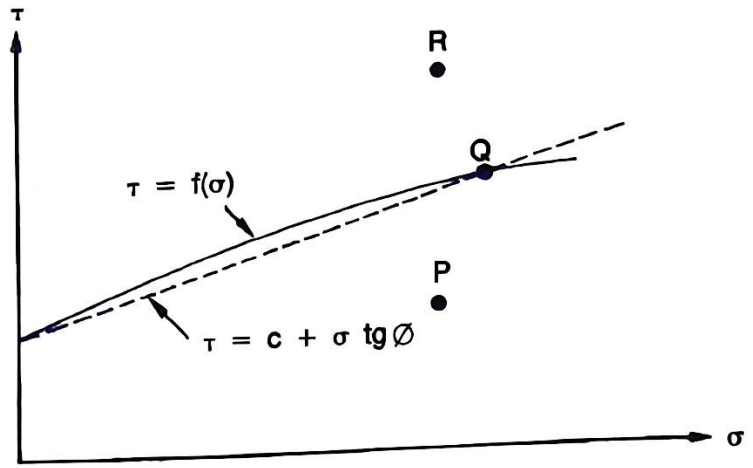
τ = kuat geser tanah (kN/m²)

c = kohesi tanah (kN/m²)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

φ = sudut gesek dalam tanah atau sudut geser intern (°)

persamaan ini disebut kriteria keruntuhan atau kegagalan Mohr-Coulomb, di sana garis selubung kegagalan dari kesamaan tersebut dilukiskan dalam gambar 3.3.



Gambar 3.3 Kriteria kegagalan Mohr dan Coulomb.
Sumber : *Mekanika Tanah I – Hary Christady Hardiyatmo 2010*

- **Kohesi (c) dan Sudut Geser Dalam (ϕ)**

  1. Kohesi (c) : Kohesi adalah gaya tarik-menarik antara partikel tanah yang menyebabkan butiran tanah saling melekat.. Tanah lempung (kohesif) memiliki nilai kohesi yang tinggi karena partikelnya yang sangat halus dan adanya gaya elektrostatik sehingga mampu menahan longsor dibandingkan tanah berpasir, sedangkan tanah pasir murni (non-kohesif) memiliki nilai kohesi mendekati nol.
  2. Sudut geser dalam (ϕ) : Sudut geser dalam merupakan kemampuan komponen tanah dalam menahan geseran akibat gesekan antar butir- butiran tanah (*interlocking*). Nilai sudut geser dalam ϕ dipengaruhi oleh bentuk butiran kepadatan tanah, dan kadar air. Tanah berpasir umunya memiliki nilai sudut geser dalam yang jauh lebih besar daripada tanah lempung.

3.2.2 Uji Kuat Geser Tanah

Uji kuat geser tanah diperoleh baik dengan kondisi terganggu atau tidak asli (*disturbed-sample*) maupun di dalam lubang (*undisturbed-sample*). Pada pengambilan tanah benda uji dengan tabung, biasanya kerusakan contoh tanah relatif lebih kecil.

Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya kuat geser tanah yang diuji di laboratorium, adalah :

1) Kandungan mineral dari butiran tanah.
2) Bentuk partikel.
3) Angka pori dan kadar air.
4) Tegangan yang dialami.
5) Tegangan yang ada di lokasi (di dalam tanah).
6) Perubahan tegangan selama pengambilan contoh dari dalam tanah.

7) Tegangan yang dibebankan sebelumnya pengujian.
8) Cara pengujian.
9) Kecepatan pembebanan.
10) Kondisi sungai yang dipilih.
11) Tekanan air pori yang ditimbulkan.
12) Kriteria yang diambil untuk penentuan kuat geser.

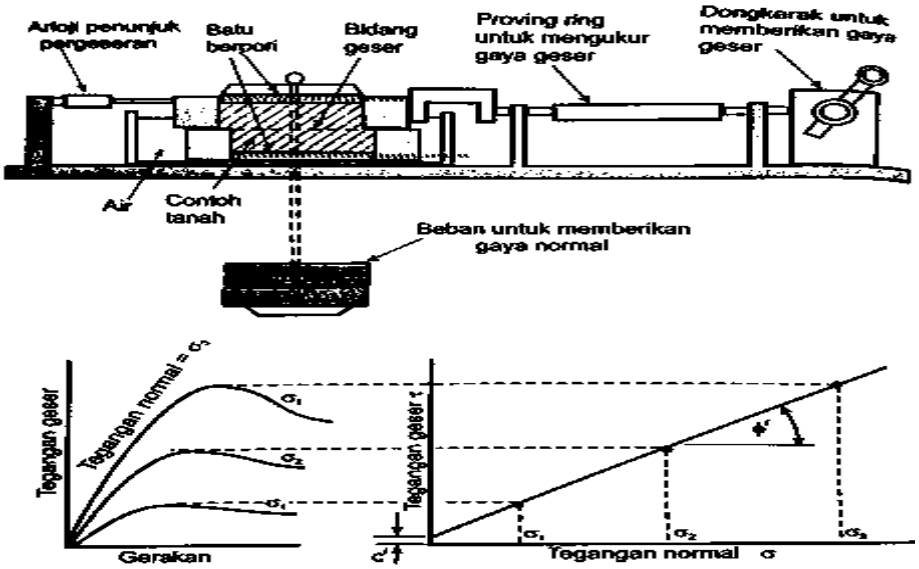
Butir kandungan mineral dari butiran tanah sampai tegangan yang ada hubungannya dengan kondisi aslinya yang tak dapat dikontrol, tetapi dapat dinilai dari hasil pengamatan lapangan, pengukuran dan kondisi geologi. Butir perubahan tegangan selama pengambilan contoh dari dalam tanah tergantung dari kualitas benda uji dan penanganan benda uji dalam persiapan pengujian. Sedangkan butiran tegangan yang dibebankan sebelum pengujian sampai kriteria yang diambil untuk penentuan kuat geser. Tergantung dari cara pengujian yang dipilih.

Ada beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah, antara lain :

1) Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*).
2) Uji Triaksial (*Triaxial Test*).
3) Uji Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*).
4) Uji Geser Kipas (*Vane Shear Test*).

3.2.3 Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Uji geser langsung digunakan untuk mengetahui tegangan geser yang diberikan dengan memakai kecepatan bergerak (*deformation rate*), yang tetap, secara perlahan-lahan, sehingga tekanan air pori selalu tetap nol. Hanya pengujian terdrainasi yang dapat dilaksanakan dengan memakai geser langsung ini. Untuk mendapat nilai c’dan ϕ’ perlu dilakukan beberapa pengujian dengan memakai nilai tegangan normal yang berbeda.



Gambar 3.4 Uji Geser Langsung (Uji Kontak Geser)

Sumber *: Mekanika Tanah – L.D Wesley 2017*

Grafik pertama adalah kurva tegangan geser terhadap gerakan horizontal, dan yang kedua adalah tegangan geser maksimum (nilai keruntuhan) terhadap tegangan normal. Garis yang melalui titik-titik ini adalah garis keruntuhan Mohr-Coulomb yang menentukan nilai c'dan ϕ' dari tanah tersebut.

Uji geser langsung pada zaman sekarang kurang disukai oleh para ahli dalam bidang mekanika tanah, karena hal-hal berikut:

1. Contoh tanah asli sulit disiapkan karena penampang persegi,
2. Drainasi tidak dapat dikendalikan, sehingga uji tak terdrainasi tidak dapat dilaksanakan,
3. Tegangan-tegangan utama tidak diketahui,
4. Luas contoh tanah berubah selama pengujian berlangsung dan koreksi tidak tepat, dan
5. Gerafik tegangan terhadap regangan tidak diperoleh, hanya kurva tegangan terhadap deformasi.

Walaupun ada kekurangannya, uji geser memiliki kelebihan, yaitu:

1. Alat sederhana sehingga ongkosnya tidak mahal seperti alat triaksial.
2. Alat ini cocok untuk pasir atau kerikil karena tidak diperlukan contoh asli, dan air pori cepat mengalir sehingga pelaksanaan uji terdrainasi relatif mudah, dan
3. Uji geser langsung juga dapat dilakukan pada lempung asal kecepatannya cukup perlahan-lahan sehingga tidak timbul tekanan air pori di dalam contoh.

3.2.4 Pemadatan (*Compaction*)

Pemadatan secara mekanik bertujuan untuk mempertinggi kuat geser tanah, mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas), mengurangi permeabilitas, dan mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan lain-lainnya.

Maksud tersebut dapat tercapai dengan pemilihan tanah bahan timbunan, cara pemadatan, pemilihan mesin pemadat dan jumlah lintasan yang sesuai. Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (γd).

Tanah granuler dipandang paling mudah penanganannya untuk pekerjaan lapangan. Material ini mampu memberikan kuat geser yang tinggi dengan sedikit perubahan volume sesudah dipadatkan. Permeabilitas tanah granuler yang tinggi dapat menguntungkan mapun merugikan.

Tanah lanau yang dipadatkan umumnay akan stabil dan mampu memberikan kuat geser yang cukup dan sedikit kecendrungan perubahan volume. Tapi, tanah lanau sangat sulit dipadatkan bila keadaan basah karena permeabilitasnya rendah.

Tanah lempung yang dipadatkan dengan cara yang benar akan dapat memberikan kuat geser tinggi. Stabilitas terhadap sifat kembang-susut tergantung dari jenis kandungan mineralnya. Sebagai contoh, lempung

montmorillonite akan mempunyai kecendrungan yang lebih besar terhadap perubahan volume dibanding dengan lempung *kaolinite*. Lempung pada mempunyai permeabilitas yang rendah dan tanah ini tidak dapat dipadatkan dengan baik pada waktu sangat basah (jenuh). Bekerja dengan tanah yang sangat basah akan mengalami banyak kesulitan.

- Berat Volume Kering Maksimum ($\gamma d,max$) : Kondisi tanah paling padat yang bisa dicapai.
- Kadar Air Optimum ($\mathrm{W}opt$) : Kadar air yang tepat agar tanah mencapai kepadatan maksimal dengan usaha tertentu.

3.2.5 Tekanan Efektif

Jika tanah berada di dalam air, tanah dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas sebagai akibat tekanan air hidrostatis. Berat tanah yang terendam ini disebut berat tanah efektif, sedangkan tegangan yang terjadi akibat berat tanah efektif di tanah, disebut tegangan efektif. Tegangan efektif ini merupakan tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah.

Ruang pori yang berisi udara dan air ini terjadi karena bentuk partikel tanah yang merupakan butiran-butiran. Bila tanah jenuh sempurna, ruang pori ini terisi penuh oleh air. Besar bidang kontak antara butiran yang satu dengan yang satu dengan yang lainnya tergantung bentuk dan susunan butiran. Tegangan yang terjadi pada bidang kontak antar butiran akan dipengaruhi oleh tekanan air pori. Untuk hitungan tegangan yang terjadi dalam tanah, dalam prakteknya butiran tanah dan air dianggap tidak mudah mampat, sebaliknya udara mudah sekali mampat atau kompresibel. Sifat mudah mampat tanah anakan bergantung pada susunan dari butiran padat. Dalam tanah yang jenuh, karena air dianggap tak mudah mampat, pengurangan volume hanya terjadi kalau sejumlah air meninggalkan pengurangan volume hanya terjadi kalau sejumlah air meninggalkan ruang pori. Untuk tanah yang kering atau jenuh sebagian, pengurangan volume

biasanya akibat dari berkurangnya udara yang terdesak keluar dari ruang pori dapat memberikan perubahan susunan butiran. Volume tanah secara keseluruhan dapat berubah akibat adanya perubahan susunan yang lama, ke dalam susunan yang baru. Perubahan yang terjadi, dapat dengan cara menggeser atau menggelinding. Dengan demikian, terjadi pula perubahan gaya-gaya yang bekerja di antara butiran.

Tegangan geser hanya dapat ditahan oleh butiran-butiran tanah, yaitu oleh gaya-gaya yang berkembang pada bidang singgung antar butiran. Tegangan normal yang bekerja, ditahan oleh tanah melalui penambahan gaya antar butirnya. Jika tanah dalam keadaan jenuh sempurna, air yang mengisi ruang pori dapat juga menahan tegangan normal, dengan akibatnya akan terjadi kenaikan tekanan air pori. Pada tanah granuler, seperti tanah pasir dan kerikil, secara fisik tegangan efektif kadang-kadang disebut tegangan *intergranuler*.

Terzaghi (1923), memberikan prinsip tegangan efektif yang bekerja pada segumpal tanah. Prinsip tegangan efektif hanya berlaku pada tanah yang jenuh sempurna, yaitu :

1) Tegangan normal total (σ) pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan akibat berat tanah total termasuk air dalam ruang pori, per satuan luas, yang arahnya tegak lurus.
2) Tekanan pori (u), disebut juga dengan tekanan netral yang bekerja ke segala arah sama besar, yaitu tekanan air yang menisi rongga di antara butiran padat.
3) Tegangan normal efektif (σ'), pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan yang dihasilkan dari beban berat butiran tanah per satuan luas bidangnya.

Hubungan dari ketiganya adalah :

$$\sigma = \sigma' + u \qquad (3.4)$$

3.2.6 Permeabilitas (Rembesan)

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya. Sehingga air dapat mengalir dari titik dengan tinggi energi tinggi ke titik dengan tinggi energi yang lebih rendah. Pereabilitas juga dapat didefinisikan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah.

Di dalam tanah, sifat aliran mungkin laminer atau turbulen. Tahanan terhadap aliran bergantung pada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, serta bentuk geometri rongga tanah. Temperatur juga sangat mempengaruhi tahanan aliran (kekentalan dan tegangan permukaan). Walaupun secara teoritis, semua jenis tanah lebih atau kurang mempunyai rongga pori, dalam praktek, istilah mudah meloloskan air (*permeable*) dimaksudkan untuk tanah yang memang benar-benar mempunyai sifat meloloskan air. Sebaliknya, tanah disebut kedap air (*impermeable*), bila tanah tersebut mempunyai kemampuan meloloskan air yang sangat kecil.

sering dikelompokan dalam sifat fisik, dalam konteks mekanik, koefisien permeabilitas (k) sangat penting untuk menghitung stabilitas bendungan dan kecepatan konsolidasi. Air yang mengalir daalam tanah menimbulkan gaya seret (*seepage force*) yang bisa mengurangi kekuatan mekanik tanah. Sifat mekanik ini merupakan gabungan dari buat geser, berat volume, dan kedalam untuk memastikan tanah tidak mengalami keruntuhan umum (*general shear failure*).

3.3 Teori Stabilitas Lereng atau Tebing

Teori stabilitas lereng adalah cabang ilmu geoteknik yang mempelajari kondisi dan faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng tanah. Stabilitas lereng penting untuk memastikan keamanan bangunan dan infrastruktur yang dibangun di atas atau sekitar lereng, seperti jalan raya, jembatan, dan dam (Laia

et al., 2025). erdapat beberapa pendekatan untuk menganalisis stabilitas lereng, di antaranya adalah metode keseimbangan batas, metode faktor keamanan, dan analisis numerik. Metode keseimbangan batas sering digunakan untuk menentukan seberapa aman lereng tersebut, dengan cara membandingkan gaya yang bekerja pada lereng dengan gaya yang menahan lereng dari kegagalan.

Dalam analisis stabilitas lereng, konsep kuat geser tanah berdasarkan kriteria Mohr–Coulomb sangat berperan penting. Parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ) menentukan besarnya tahanan geser tanah terhadap bidang longsor. Metode analisis yang sering digunakan antara lain metode irisan (method of slices), seperti metode Fellenius (ordinary method), Bishop, dan Janbu. Metode ini membagi massa tanah menjadi beberapa irisan vertikal untuk mempermudah perhitungan gaya-gaya yang bekerja (Rajagukguk & Monintja, 2014). Metode Bishop, misalnya, merupakan pengembangan yang lebih teliti karena mempertimbangkan keseimbangan momen dan sebagian gaya antar irisan, sehingga hasilnya lebih akurat dibandingkan metode Fellenius.

Selain faktor sifat tanah, stabilitas lereng juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lain seperti kemiringan lereng, tinggi lereng, kondisi air tanah, curah hujan, serta beban tambahan di atas lereng (Rajagukguk & Monintja, 2014). Air memiliki pengaruh signifikan karena dapat meningkatkan tekanan pori dan menurunkan kuat geser efektif tanah, sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya longsor. Oleh karena itu, analisis stabilitas lereng sering dilakukan dalam dua kondisi, yaitu kondisi jangka pendek (undrained) dan jangka panjang (drained).

Secara umum, teori stabilitas lereng digunakan dalam perencanaan konstruksi seperti jalan, bendungan, dan tambang terbuka, guna memastikan keamanan struktur dan lingkungan sekitarnya. Pendekatan analisis ini membantu insinyur dalam menentukan desain lereng yang aman serta langkah-langkah perkuatan yang diperlukan, seperti pemasangan drainase, dinding penahan, atau perkuatan tanah.

3.3.1 Tebing

Tebing adalah formasi bebatuan yang menjulang secara vertikal. Tebing terbentuk akibat dari erosi. Tebing umumnya ditemukan di daerah pantai, pergunungan dan sepanjang sungai. Tebing juga umumnya dibentuk oleh bebatuan yang tahan terhadap proses erosi dan cuaca. Proses erosi terjadi akibat pukulan air hujan lebih besar dari daya tahan tanah yang selanjutnya menghancurkan agregat tanah. Butiran agregat tanah akan menyumbat proi-pori tanah, sehingga menurunkan kapasitas menyerap air oleh tanah. Kondisi ini menyebab limpasan permukaan yang kemudian dapat mengikis dan mengangkut partikel tanah yang telah hancur.

3.3.2 Tebing Sungai

Tebing sungai merupakan bagian terluar dari tepi sungai yang secara terus menerus terkena erosi. Tebing sungai dapat ditemukan pada sungai tua atau sungai yang telah mengalami proses meandering. Tebing sungai terletak di sebelah luar dari lengkungan sungai (*meander*), terletak bersebrangan dengan *slip off slope* yang terletak pada bagian dalam sungai. Keduanya terbentuk seperti tebing kecil dan terbentuk karena proses erosi oleh aliran air sungai yang bertabrakan dengan tepi sungai.

3.3.3 Risiko Longsor Tebing Sungai

Longsor tebing sungai (*bank flailure*) memiliki risiko sebagai berikut :

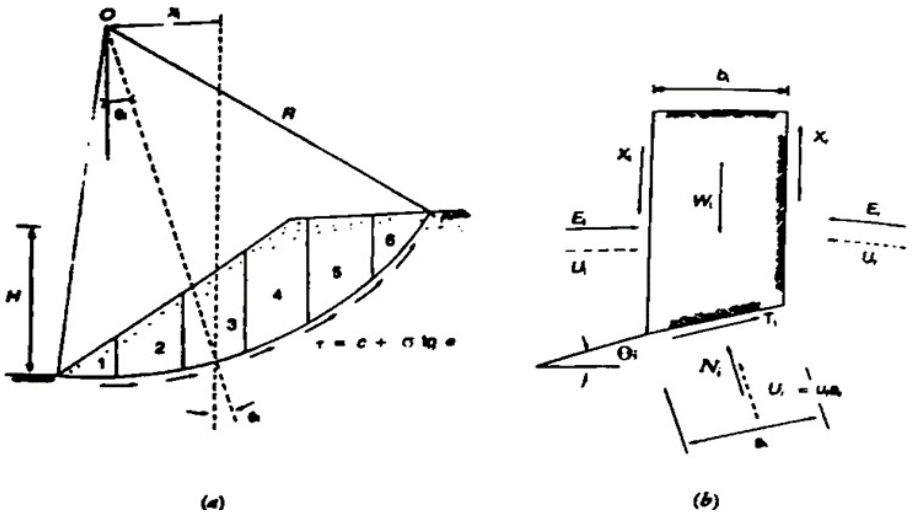
1. Pengdangkalan (Agredasi) : Material longsoran masuk ke badan sungai, mempersempit penampang sungai, dan memicu banjir di hulu.
2. Migrasi Sungai : Longsor yang terus menerus menyebabkan posisi sungai berpindah, yang bisa merusak batas wilayah.
3. Kehilangan Infrastruktur : Jembatan sering kali runtuh bukan karena bebannya, tetapi karena pondasi di tebing sungai kehilangan tanah penumpu.

3.4 Faktor Keamanan (*Safety Factor*) Lereng atau Tebing

Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng meliputi sudut kemiringan lereng, jenis dan sifat material tanah, kondisi drainase, serta beban tambahan yang mungkin diberikan seperti bangunan atau kendaraan. Dalam kajian ini, akan dilakukan analisis stabilitas lereng terhadap beberapa variabel tersebut. Penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pemahaman yang lebih baik mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan lereng serta memberikan rekomendasi untuk desain yang lebih aman.

3.5 Metode Irisan (*Method Of Slice*)

Cara – cara analisis stabilitas yang telah dibahas sebelumnya hanya dapat digunakan bila tanah homogen. Bila tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi didalam tanah tidak menentu, cara yang lebih cocok adalah metode irisan (*method of slice*). Gaya normal yang bekerja pada suatu titik dilingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah di atas titik tersebut. Dalam metode irisan, massa tanah yang longsor dipecah – pecah menjadi beberapa irisan vertikal.



Gambar 3.5 Gaya – gaya yang bekerja pada irisan.
Sumber : *Mekanika Tanah I – Hary Christady Hardiyatmo 2010*

1. **Metode Fellenius**

Analisis stabilitas tebing menggunakan cara fellenius (1927) menganggap gaya – gaya yang bekerja pada sisi kanan – kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan angggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya- gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori adalah:

$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i$

$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i$

$= W_i \cos \theta_i - u_i\, a_i$

Faktor aman didefinisikan sebagai,

$$F = \frac{Jumlah\ momen\ dari\ tahanan\ geser\ sepanjang\ bidang\ longsor}{Jumlah\ momen\ dari\ berat\ massa\ tanah\ yang\ longsor}$$

$$= \frac{\sum M\, r}{\sum M\, d} \quad \text{.....(3.8)}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah R sin θ, maka :

$$\Sigma M_d = R \sum_{i=1}^{1=n} Wi \sin \theta_i \quad \text{.....(3.9)}$$

dengan:

R = Jari- jari bidang gelincir longsor melingkar (m).

n = Jumlah irisan tanah.

W = Berat massa tanah irisan ke -i.

θ = Sudut didefinisikan pada gambar 3.10.

2. **Metode Bishop Disederhanakan (*simplified bishop method*)**

Metode Bishop disederhanakan (Bishop, 1955) menganggap bahwa gaya – gaya bekerja pada sisi – sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan tanah, hingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor aman, adalah:

$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - u)\frac{tg\ \varphi`}{F} \quad \text{.....(3.10)}$$

Dengan :

τ = Kuat geser yang dikerahkan tanah pada bidang longsor.

c' = Kohesi efektif tanah (kPa atau kN/m^2).

F = Faktor Keamanan (*Factor of Safety*).

σ = Tegangan normal total pada bidang longsor.

u = Tekanan air pori.

φ^1 = Sudut geser dalam efektif tanah.

Dengan σ adalah tegangan normal total pada bidang longsor dan u adalah tekanan air pori.

Untuk irisan ke-I, nilai $T_i = \tau\ a_i$, yaitu gaya geser yang dikerahkan tanah pada bidang longsor untuk kesimbangan batas. Karena itu :

$$T = \frac{c' a_i}{F} + (N_i - u_i a_i)\frac{\text{tg}\ \varphi'}{F} \quad \text{.....(3.11)}$$

Dengan :

T = Gaya geser yang dapat ditahan pada bidang longsor (kN).

c' = Kohesi efektif tanah (kPa atau kN/m^2).

a_i = Panjang dasar irisan ke-*i* (m).

N_i = Gaya normal pada dasar irisan (kN)..

u_i = Tekanan air pori pada dasar irisan ke-*i* (kPa atau kN/m^2).

φ' = Sudut geser dalam efektif (^{o}).

F = Faktor keamanan (*Factor of Safety*).

Kondisi keseimbangan momen dengan pusat rotasi *O* antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya geser total yang dikerahkan tanah pada dasar bidang longsor, dinyatakan oleh perasamaan pada gambar (3.10).

$$\Sigma\, W_i\, x_i = \Sigma\, T_i\, R \quad \text{.....(3.12)}$$

Dengan :

$\sum$ = Penjumlahan seluruh irisan.

W_i = Berat irisan ke-*i* (kN).

x_i = Lengan momen berat irisan terhadap pusat lingkaran longsor.

T_i = Gaya geser penahan pada irisan ke-*i* (kN).

R = Jari-jari bidang gelincir longsor melingkar (m).

Dengan x_i adalah jarak W_i ke pusat rotasi O. Dari persamaan (3.10) dan (3.12), dapat diperoleh :

$$F = \frac{R \sum_{im1}^{imn} [c' \, a_i + (N_i - u_i \, a_i) \text{tg} \, \varphi']}{\sum_{i=1}^{imn} W_i \, x_i} \quad \text{.....(3.13)}$$

Dengan :

F = Faktor keamanan tebing (*Factor of Safety*).

R = Jari-jari bidang gelincir longsor melingkar (m).

c' = Kohesi efektif tanah (kPa atau kN/m^2).

a_i = Panjang bidang gelincir irisan ke-*i* (m).

N_i = Gaya normal pada bidang gelincir (kN).

u_i = Tekanan air pori pada dasar irisan ke-*i* (kPa atau kN/m^2).

ϕ' = Sudut geser dalam efektif (º).

W_i = Berat irisan ke-*i* (kN).

x_i = Lengan momen berat irisan ke-*i* terhadap pusat rotasi (m).

n = Jumlah irisan tanah.

Pada kondisi keseimbangan vertikal, jika X_1 X_i dan $X_r = X_{i+1}$:

$$N_i \cos \theta_i + T_i \sin \theta_i = W_i + X_i - X_{i+1}$$

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_i^{+1} - T_i \sin \theta_i}{\cos \theta_i} \quad \text{.....(3.14)}$$

Dengan :

$N_i \cos \theta_i$ = Komponen vertikal gaya normal.

$T_i \sin \theta_i$ = Komponen vertikal gaya geser.

N_i = Gaya normal pada dasar irisan ke-i (kN).

T_i = Gaya geser pada dasar irisan ke-i (kN).

W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN).

X_i = Gaya normal antar irisan pada sisi kiri irisan ke-i (kN).

X_{i+1} = Gaya normal antar irisan pada sisi kanan irisan ke-i (kN).

θ_i = Sudut dasar irisan terhadap horizontal (º).

Dengan $N_i = N_i - u_i\ a_i$, subtitusi persamaan (3.11) ke persamaan (3.14), dapat diperoleh persamaan :

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_i^{+1} - u_i a_i \cos\theta_i - c' a_i \sin\theta_i\, IF}{\cos\theta_i + \sin\theta_i \operatorname{tg}\varphi'\, IF} \quad \text{.....(3.15)}$$

Dengan :

N_i = Gaya normal pada dasar irisan (kN).

W_i = Berat irisan tanah (kN).

$X_i X_{i+1}$ = Gaya antar irisan (kN).

u_i = Tekanan air pori pada dasar irisan ke-i (kPa atau kN/m^2).

a_i = Panjang bidang gelincir irisan ke-i (m).

c' = Kohesi efektif tanah (kPa atau kN/m^2).

ϕ' = Sudut geser dalam efektif (º).

θ_i = Sudut dasar irisan terhadap horizontal (º).

F = Faktor keamanan tebing(*Factor of Safety*).

Subtitusi persamaan (3.15) ke persamaan (3.13), diperoleh :

$$F = \frac{R \sum_{im1}^{imn} \left(c'\ a_i + \operatorname{tg}\varphi' \frac{W_i + X_i - X_i^{+1} - u_i a_i \cos\theta_i - c' a_i \sin\theta_i\, IF}{\cos\theta_i + \sin\theta_i \operatorname{tg}\varphi'\, IF} \right)}{\sum_{i=1}^{imn} W_i\, x_i} \quad \text{.....(3.16)}$$

Dengan :

F = Faktor keamanan tebing (*Factor of Safety*).

R = Jari-jari bidang gelincir longsor melingkar (m).

i = Nomor irisan tanah.

n = Jumlah irisan tanah.

$\sum$ = Penjumlahan dari seluruh irisan ke-1 sampai ke-*n*.

c' = Kohesi efektif tanah (kPa atau kN/m^2).

a_i = Panjang bidang gelincir irisan ke-*i* (m).

ϕ' = Sudut geser dalam efektif (º).

W_i = Berat irisan tanah ke-*i* (kN).

X_i = Gaya normal antar irisan pada sisi kiri irisan ke-*i* (kN).

X_{i+1} = Gaya normal antar irisan pada sisi kanan irisan ke-*i* (kN).

u_i = Tekanan air pori pada dasar irisan ke-*i* (kPa atau kN/m^2).

tan ϕ'= Tangen sudut geser dalam efektif.

cos θ_i = Kosinus sudut dasar irisan.

sin θ_i = Sinus sudut dasar irisan.

Untuk penyederhanaan dianggap X_i - X_{i+1} = 0 dan dengan mengambil :

$x_i = R \sin \theta_i$……....…….(3.17)

Dengan :

x_i = Lengan momen berat irisan ke-*i* terhadap pusat rotasi (m).

R = Jari-jari bidang gelincir longsor melingkar (m).

sin θ_i = perbandingan sisi depan terhadap sisi miring.

$b_i = a_i \cos \theta_i$…….(3.18)

Dengan :

b_i = Lebar irisan ke-*i* (m).

a_i = Panjang bidang gelincir irisan ke-*i* (m).

cos θ_i= Perbandingan sisi samping terhadap sisi miring.

subtitusi persamaan (3.17) dan (3.18) ke persamaan (3.16), diperoleh persamaan faktor aman :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}[c'b_i+(W_i-u_ib_i)\text{tg}\ \varphi'']\left(\frac{1}{\cos\theta_i\,(1+\text{tg}\ \theta_i\ \text{tg}\ \varphi' IF}\right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin\theta_i} \quad \text{…….……(3.19)}$$

Dengan :

F = Faktor Keamanan (*Factor of Safety*).

c' = Kohesi tanah efektif (kPa atau kN/m^2).

φ' = Sudut gesek dalam tanah efektif (º).

b_i = Lebar irisan ke-*i* (m).

W_i = Berat irisan tanah ke-*i* (kN).

θ_i = Sudut dasar irisan terhadap horizontal (º).

u_i = tekanan air pori pada irisan ke-*i* (kN/m^2)

Rasio tekanan pori (*pure pressure ratio*) didefinisikan sebagai :

$$r_u = \frac{ub}{W} = \frac{u}{\gamma h} \quad \text{.....(3.20)}$$

Dengan :

r_u = Rasio tekanan pori.

u = Tekanan air pori (kN/m^2).

b =Lebar irisan (m).

γ = Berat volume tanah (kN/m^3).

h = tinggi irisan rata-rata (m).

Dengan substitusi persamaan (3.20) ke persamaan (3.19) bentuk lain dari persamaan faktor aman untuk analisis stabilitas tebing cara Bishop :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}[c'\, b_i + W_i\,(1 - r_u)\, tg\, \varphi'] \left(\frac{1}{\cos\theta_i (1 + tg\, \theta_i\, tg\, \varphi' F)}\right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin\theta_i} \quad \text{.....(3.21)}$$

Dengan :

F = Faktor Keamanan (*Factor of Safety*).

c' = Kohesi tanah efektif (kPa atau kN/m^2).

n = Jumlah irisan tanah.

b_i = Lebar irisan ke-*i* (m).

W_i = Berat irisan tanah ke-*i* (kN).

φ' = Sudut gesek dalam tanah efektif (º).

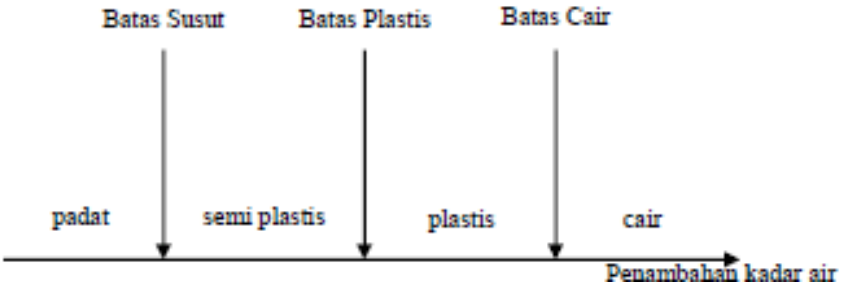
θ_i = Sudut dasar irisan terhadap horizontal (º).

$\sum$ = Penjumlahan dari seluruh irisan ke-1 sampai ke-*n*.

3.6 Definisi Batas *Atterberg*

Atterberg Limit diciptakan oleh Albert Atterberg (1911), seorang kimiawan Swedia, yang kemudian diperbaharui oleh Arthur Casagrande. Limit ini adalah perhitungan dasar dari tanah butir halus. Apabila tanah butir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas-remas (*remolded*) tanpa menimbulakan retakan. Sifat kohesif ini disebabkan karena adanya air yang terserap di sekeliling permukaannya.

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konsultan tanpa retak – retak atau remuk. Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastisitas, semi padat, atau padat. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsitensi. Konsistensi bergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Bila tanah dalam kedudukan plastis, besarnya jaringan gaya antar partikel akan sedemikian hingga partikel bebas menggelincir antara satu dengan yang lain.



Gambar 3.6 Batas – batas Atterberg.
Sumber : *Mekanika tanah I – Hary Christady Hardiyatmo 2010*

Menurut Atterberg (1911), memberikan cara untuk menggambarkan batas – batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas – batas tersebut adalah batas cair (*liquid limid*), batas plastisitas (*plastic limit*), dan batas susut (*shringkige limit*). Kedudukan batas–batas konsistensi untuk tanah kohesif ditunjukkan dalam gambar 3.1.