

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Stabilitas lereng merupakan salah satu aspek penting dalam rekayasa geoteknik, terutama pada wilayah yang memiliki topografi berbukit, tebing sungai, jalan raya, maupun area pertambangan. Kegagalan lereng (*slope failure*) dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur, gangguan aktivitas ekonomi, serta mengancam keselamatan jiwa.

Salah satu parameter penting yang memengaruhi stabilitas lereng adalah sifat plastisitas tanah yang dinyatakan melalui Batas Atterberg (*Liquid Limit, Plastic Limit, dan Plasticity Index*). Nilai batas Atterberg menggambarkan perubahan perilaku tanah lempung dari kondisi padat hingga cair. Tanah dengan nilai plastisitas tinggi cenderung memiliki daya dukung lebih rendah serta lebih sensitif terhadap perubahan kadar air. Kondisi ini dapat memengaruhi nilai kuat geser tanah melalui parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan Metode Bishop, yang menghitung nilai Faktor Keamanan (FK) dengan cara irisan. Dengan mengaitkan parameter batas Atterberg terhadap hasil analisis, maka dapat diketahui sejauh mana pengaruh plastisitas tanah terhadap kestabilan lereng.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh batas Atterberg terhadap nilai faktor keamanan lereng menggunakan metode Metode Bishop secara kuantitatif.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik batas Atterberg tanah di sungai batang lubuh ?
2. Bagaimana nilai faktor keamanan lereng berdasarkan perhitungan Metode Bishop?
3. Bagaimana pengaruh batas Atterberg terhadap nilai faktor keamanan lereng?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai batas atterberg tanah di sungai batang lubuh
2. Mengetahui nilai faktor keamanan lereng menggunakan metode Bishop
3. Mengetahui pengaruh batas atterberg terhadap nilai faktor keamanan lereng

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian:

1. Dapat mengetahui nilai batas atterberg tanah di sungai batang lubuh
2. Dapat mengetahui nilai faktor keamanan lereng menggunakan metode Bishop
3. Dapat mengetahui pengaruh batas atterberg terhadap nilai faktor keamanan lereng

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada:

1. Penelitian dilakukan di pinggir aliran sungai batang lubuh yang mengalami longsor
2. Pengujian sampel ada 3 yaitu batas atterberg, kuat geser tanah dan Berat isi
3. Sampel yang digunakan 3 titik dalam 1 lokasi dengan kedalaman 2 M
4. Analisis stabilitas lereng menggunakan metode bishop

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

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

1. Qolby dkk (2025) dengan judul “Analisis kestabilan lereng pada tanah berlempung menggunakan metode bishop studi kasus di desa x”. Penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan kuantitatif yang sistematis, bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan lereng pada tanah berlempung di Desa X menggunakan metode Bishop. Pada penelitian ini diketahui bahwa kondisi stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dan mekanik tanah, serta keberadaan air tanah. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa tanah di lokasi penelitian memiliki berat jenis $18,5 \text{ kN/m}^3$, kohesi 25 kPa, dan sudut geser dalam dalam 22° , nilai faktor keamanan dengan metode bishop menghasilkan nilai 1,68 pada kondisi kering dan menurun menjadi 1,24 pada kondisi jenuh.
2. Amalia dkk (2025) dengan judul “Karakteristik parameter kuat geser tanah pada lereng akibat perubahan kadar air tanah”. Pada penelitian ini nilai kohesi tertinggi didapatkan pada variasi benda uji dengan kadar air optimum (OWC) yaitu sebesar 2,96 kPa, sedangkan untuk nilai sudut geser dalam didapatkan pada variasi benda uji dengan kadar air optimum dikurang 10% (OWC-10%OWC) yaitu sebesar $32,148^\circ$.
3. Laksono dkk (2025) dengan judul “Studi pengaruh perkuatan tanah menggunakan geogrid terhadap stabilitas lereng”. Pada penelitian ini analisa kestabilan lereng menggunakan geogrid, didapatkan hasil Safety Factor dari analisa stabilitas lereng menggunakan geogrid adalah 1.3265, dan 1.25 tanpa menggunakan geogrid. Terjadi kenaikan 6.12% dari safety factor awal dan setelah diberikan geogrid.
4. Waruwu dkk (2024) dengan judul “Pengaruh aliran air pada kestabilan lereng”. Penelitian ini dilakukan dengan menguji batas atterberg, kuat geser tanah dan

faktor keamanan lereng. Berdasarkan hasil analisis saringan, batas cair (LL), dan indeks plastisitas (PI), maka tanah dapat diklasifikasikan menggunakan metode klasifikasi USCS. Jumlah lolos saringan No. 200 $< 50\%$ dan lolos saringan No. 5 $> 50\%$, maka tanah termasuk sebagai pasir (S). Indeks plastisitas tanah sebesar $1,68\% < 4\%$ maka tanah dapat termasuk sebagai pasir berlanau (SM), namun oleh karena lolos saringan No. 200 berada di antara 5 – 12% maka jenis tanah dapat berupa SW – SM atau SP – SM.

5. Usman dkk (2024) dengan judul “Kajian potensi longsor terhadap karakteristik tebal lapisan tanah lereng dan geometri lereng di gunung langar lampung selatan”. Hasil analisis stabilitas lereng yang telah dilakukan menggunakan metode bishop dengan variasi kondisi lereng, ketebalan permukaan lereng, serta sudut lereng didapatkan kesimpulan bahwasannya lereng dalam kondisi labil dengan $sf < 1,25$ pada beban statis dan $sf < 1,0$ pada beban dinamis sehingga dapat menimbulkan potensi bencana longsor.
6. Rachman (2024) dengan judul “ Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan metode keseimbangan batas dan metode alemen tak hingga”. Penelitian ini menggunakan software yang bernama PLAXIS, software PLAXIS ini menggunakan metode elemen hingga untuk melakukan analisis kestabilan lereng. Didapatkan SF metode fellenius lereng tanpa perkuatan tanah sebesar 1,017, didapatkan SF PLAXIS lereng tanpa perkuatan tanah sebesar 1,045 akibat beban sendiri (beban timbunan), didapatkan SF PLAXIS lereng dengan perkuatan geotekstil sebesar 1,353 akibat beban sendiri (beban timbunan), diperoleh total *displacement* pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri (beban timbunan) sebesar 0,0540 m, diperoleh total *displacement* pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban sendiri (beban timbunan) sebesar 0,0438 m.
7. Sundari (2024) dengan judul “Analisis kestabilan lereng di kelurahan OEUFU kota kupang nusa tenggara timur”. Pada penelitian ini Pengujian sifat fisik tanah di lokasi penelitian meliputi kadar air, berat isi tanah, berat jenis, dan batas-batas atterberg. Hasil pengujian kadar air sampel atas yaitu 18,01 %, sampel tengah 18,41 %, dan sampel bawah 19,25 %. Hasil pengujian

berat isi tanah sampel atas 1,73 gr/cm³, sampel tengah 1,56 gr/cm³, dan sampel bawah 1,50 gr/cm³. Hasil pengujian berat jenis sampel atas 2,74 gr/cm³, sampel tengah 2,50 gr/cm³, dan sampel bawah 2,60 gr/cm³. Hasil pengujian batas-batas atterberg yaitu batas cair sampel atas 50,43 %, sampel tengah 49,22 %, dan sampel bawah 51,00 %. Hasil pengujian batas plastis sampel atas 29,05 %, sampel tengah 26,58 %, dan sampel bawah 30,71 %. Hasil pengujian indeks plastis sampel atas 21,38 %, sampel tengah 22,64 %, dan sampel bawah 20,29 %. Pengujian mekanik hasil pengujian kohesi sampel atas 2,98 Kpa, sampel tengah 1,30 Kpa, dan sampel bawah 2,20 Kpa. Hasil pengujian sudut geser dalam untuk sampel atas 23,73 °, sampel tengah 47,70°, dan sampel bawah 28,8 °. Dan Nilai faktor kestabilan lereng berdasarkan metode bishop dan spencer sebagai berikut Metode bishop dari perhitungan software FK = 0,80 Metode spencer dari perhitungan software FK = 0,82

8. Ansyari (2023) dengan judul “Pengaruh retakan terhadap nilai kohesi dan sudut geser internal pada peristiwa kelongsoran lereng”. Pemeriksaan sifat fisik yaitu uji kadar air, uji berat jenis, uji batas cair, uji batas plastis dan pemeriksaan kuat geser langsung (*Direct shear*). Dari hasil uji sifat fisik tanah lok buntar diperoleh hasil kadar air tanah sebesar 66,91%, berat jenis tanah 1,58 gr/cm³. Pengujian atterberg yang menunjukkan nilai batas cair yang lebih besar dari 50% yaitu 62,39% dan indeks plastisitas sebesar 42,17% maka kategori tanah sesuai grafik atterberg pada gambar 5 termasuk kelompok CH atau lempung dengan plastisitas tinggi. Pengujian kekuatan geser tanah diperoleh kohesi senilai 0,1192 kg/cm² dan sudut geser internal 19,43° menurun seiring bertambah besarnya retakan yang di berikan. Akibat menurunnya nilai kohesi dan sudut geser internal tanah Lok Buntar akibat retakan mempengaruhi faktor keamanan lereng, nilai awal sebesar 1,174 dan dalam kondisi aman mengalami penurunan menjadi kondisi tidak aman akibat pemberian retakan tersebut.
9. Kuswiantoro dkk (2023) dengan judul “Meningkatkan stabilitas lereng berdasarkan pengujian karakteristik tanah”. Penelitian diawali dengan survey lokasi longsor dan pengambilan sampel tanah serta dilakukan pengujian *Sieve shaker*, *Atterberg limit*, dan *Direct Shear Test*. Setelah dilakukan pengujian selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk dihitung Faktor

keamanan lerengnya. Diketahui bahwa tanah didominasi oleh fraksi pasir yaitu 83,89%, silt 3,20%, kerikil 11,19%, dan clay 1,72%. serta diperoleh nilai C_u dan C_c sebesar 7,119 dan 0,355. Berdasarkan klasifikasi tanah USCS maka tanah termasuk well graded sand (SW). Hasil penelitian mengungkapkan bahwa karakteristik tanah di Desa Jugo mempengaruhi longsor yang terjadi. Baik dari jenis tanah, batas konsistensi, dan kuat geser tanah menunjukkan bahwa lereng tidak stabil, hal tersebut ditunjukkan dengan perolehan nilai perhitungan $F_s < 1$. Upaya yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah kemiringan lereng menjadi 35° sehingga lereng menjadi stabil

10. Wandik dkk (2023) dengan judul “Analisis stabilitas lereng menggunakan metode *limit equilibrium* berbasis aplikasi GEO5 (studi kasus jalan pegunungan salju DOK5 atas jayapura”. Pada tabel keamanan Bowles (1984) hasil analisis /output perhitungan menggunakan metode *limit equilibrium* dengan bantuan aplikasi GEO5 didapatkan nilai faktor keamanan untuk lereng ini sebesar 0,69 (Metode Bishop) dan 0,66 (Metode Fellenius) berdasarkan kedua nilai faktor keamanan ,didapat selisih sebesar 0,03 untuk nilai faktor keamanan pada daerah longsor yang sama yang artinya selisih dari kedua metode tersebut tidak berbeda jauh .
11. Prasetyo dkk (2019) dengan judul “Analisa sifat fisis tanah timbunan sebagai bahan material konstruksi jalan desa koto tinggi”. Penelitian ini terdiri dari satu tahap yaitu penelitian analisis terhadap data hasil penelitian. Pelaksanaan pengujian sampel tanah dilakukan melalui prosedur – prosedur laboratorium yang sesuai standar ASTM (*American association of state highway and transporting official*). Hasil pengujian tanah timbunan didesa kota tinggi berdasar kan klasifikasi tanah menurut AASHTO tanah tersebut masuk dalam kategori tanah lanau berdasar kan nilai dari analisa saringan yang lolos saringan 200 berkisar antara lebih dari 35% sampai 50%, dengan nilai berat jenis tanah 2,605, berdasarkan nilai batas cair dan indeks plastisitas masuk kategori A-4 yaitu masuk kategori sebagai tanah lanau.

2.2 Keaslian Penelitian

Keaslian penelitian ini terletak pada:

1. Fokus pada hubungan batas atterberg terhadap nilai faktor keamanan lereng
2. Analisis menggunakan metode Bishop secara kuantitatif untuk mendapatkan nilai faktor keamanan
3. Lokasi penelitian di pinggir aliran sungai batang lubuh yang mengalami longsor
4. Pengambilan sampel tanah dilakukan di 3 lokasi dengan 1 lokasi 3 titik pengambilan tanah dengan menggunakan handbor dengan kedalaman 2 M

BAB III

LANDASAN TEORI

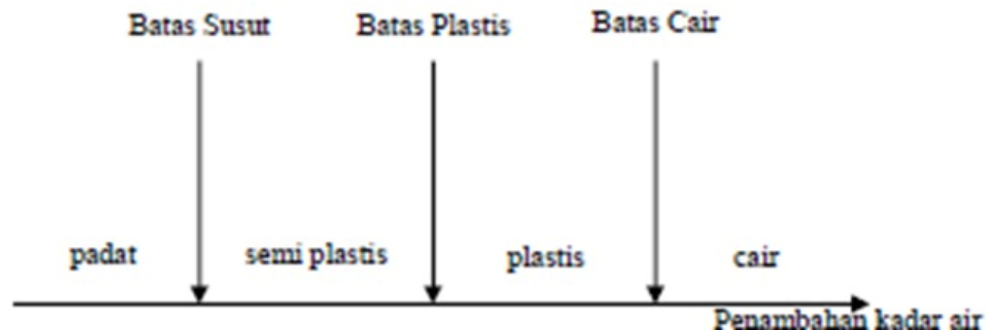
3.1 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah sangat membantu perancang dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi, perancang 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). Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan uji sedimentasi) dan plastisitas.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *unified soil classification system* dan AASHTO (*American association of state highway and transportation officials*). Sistem – sistem ini menggunakan sifat – sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari sistem 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 organisasi konsultan geoteknik.

3.2 Defenisi Batas Atterberg

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 konstan 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 konsistensi. 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 3.1 Batas – batas Atterberg

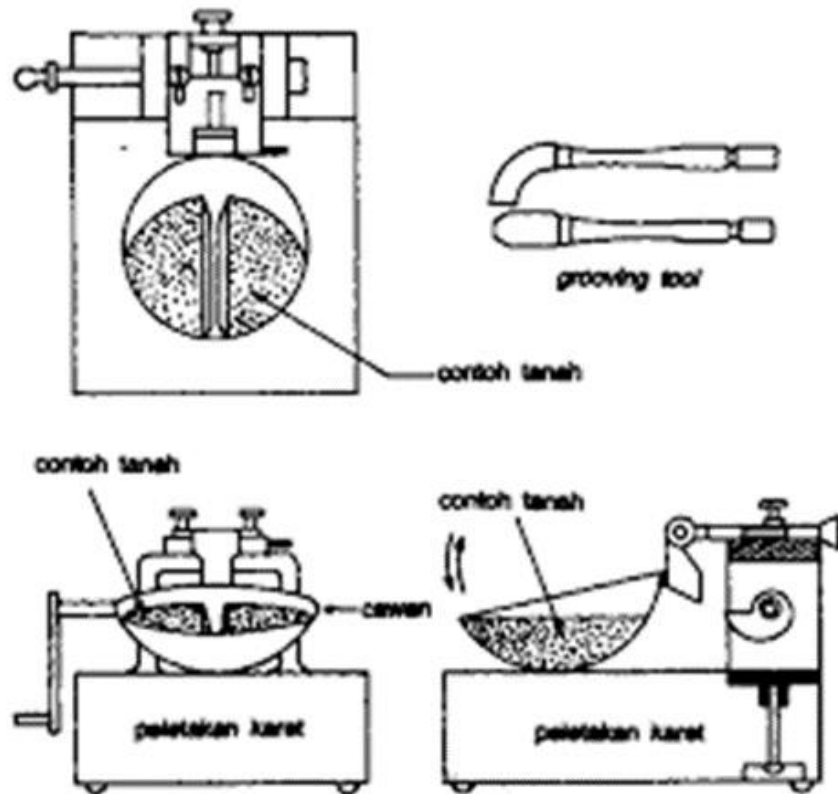
Sumber : *Mekanika tanah 1*, Ir. Hary Christady Hardiyatmo 2010

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 limit*), batas plastisitas (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*). Kedudukan batas – batas konsistensi untuk tanah kohesif ditunjukkan dalam gambar 3.1.

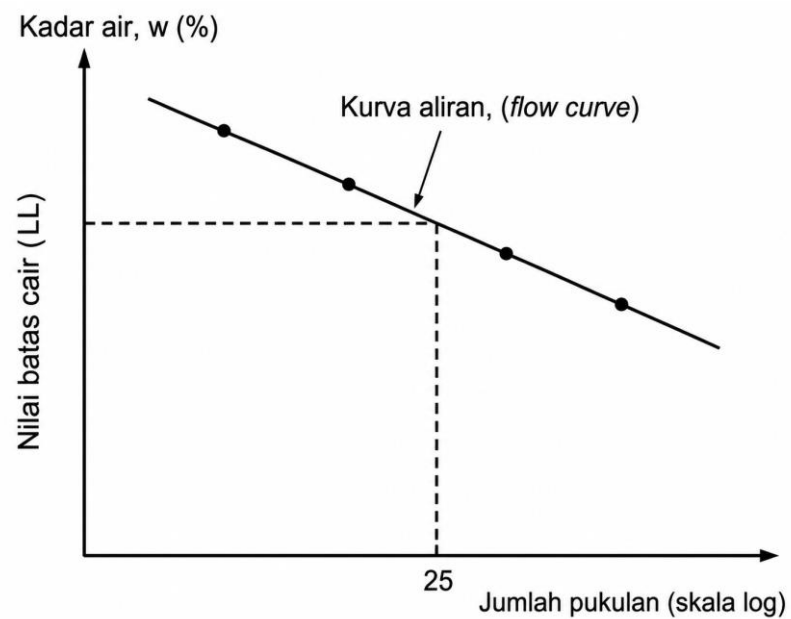
1. Batas cair (*liquid limit*)

Batas cair (LL), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji casagrande (1948), Gamba skematis dari alat pengukur batas cair dapat dilihat pada gambar 3.2. Contoh tanah dimasukkan dalam cawan. Tinggi contoh dalam cawan kira – kira 8 mm. alat pembuat alur (*grooving tool*) dikerukkan di tengah – tengah cawan hingga menyentuh dasar nya. Kemudian, dengan alat penggetar, cawan diketuk – ketukkan pada landasan dengan tinggi jatuh 1 cm. Persentase kadar air yang dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm pada dasr cawan, sesudah 25 kali pukulan, didefinisikan sebagai batas cair tanah tersebut.

Karena sulitnya mengatur kadar air pada waktu celah menutup pada 25 kali pukulan, maka biasanya percobaan dilakukan beberapa kali, yaitu dengan kadar air yang berbeda dengan jumlah pukulan yang berkisar 15 sampai 35. Kemudian, hubungan kadar air dan jumlah pukulan digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan pada gambar 3.3.



Gambar 3.2 Skema alat uji batas cair
 Sumber : Mekanika tanah 1, Ir. Hary Christady Hardiyatmo 2010



Gambar 3.3 Kurva pada penentuan batas cair tanah lempung
 Sumber : Mekanika tanah 1, Ir. Hary Christady Hardiyatmo 2010

Kemiringan dari garis dalam kurva didefinisikan sebagai indeks aliran (*flow index*) dan dinyatakan dalam persamaan:

$$I_f = \frac{w_1 - w_2}{\log(N_2/N_1)} \dots\dots\dots(3.1)$$

diketahui:

I_f = Indeks aliran

w_1 = Kadar air (%) pada N_1 pukulan

w_2 = Kadar air (%) pada N_2 pukulan

Perhatikan bahwa nilai w_1 dan w_2 dapat ditukarkan untuk memperoleh nilai positifnya, walaupun kemiringan kurva sebenarnya negatif.

Dari banyak uji batas – cair, *Water Experiment Station* di Vicksburg, Mississippi (1949), mengusulkan persamaan batas cair:

$$LL = W_N \left\{ \frac{N}{25} \right\}^{tg \beta} \dots\dots\dots(3.2)$$

diketahui:

N = Jumlah pukulan, untuk menutup celah 0,5 in (12,7 mm)

W_N = Kadar air

$tg \beta = 0,121$ (tapi $tg \beta$ tidak sama dengan 0,121 untuk semua jenis tanah)

2. Batas Plastis (*plastic limit*)

Batas plastis (PL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak – retak ketika di gulung. Batas plastis ialah batas terendah kondisi kadar air ketika tanah pada kondisi plastis.

3. Batas Susut (*shrinkage limit*)

Batas susut (SL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan pada, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Percobaan batas susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Bagian dalam cawan dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna. Kemudian dikeringkan dalam oven. Volume ditentukan dengan mencelupkannya dengan air raksa. Batas susut dinyatakan dalam persamaan:

$$SL = \left\{ \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2) \gamma_w}{m_2} \right\} \times 100\% \dots\dots\dots(3.3)$$

Diketahui:

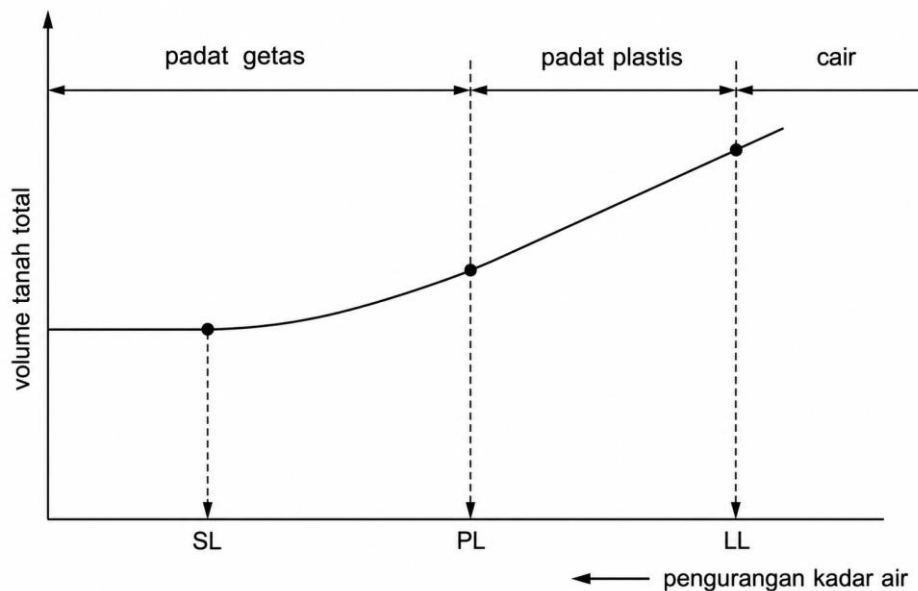
m_1 = berat tanah basah dalam cawan percobaan (g)

m_2 = berat tanah kering oven (g)

v_1 = volume tanah basa dalam cawan (cm³)

v_2 = volume tanah kering oven (cm³)

γ_w = berat volume air (g/cm³)



Gambar 3.4 Variasi volume dan kadar air pada kedudukan batas cair, batas plastis, dan batas susut

Sumber : Mekanika tanah 1, Ir. Hary Christady Hardiyatmo 2010

Gambar 3.4 menunjukkan hubungan variasi kadar air dan volume total tanah pada kedudukan batas cair, batas plastis dan batas susut. Batas – batas Atterberg sangat berguna untuk diidentifikasi dan klasifikasi tanah. Batas – batas ini sering digunakan secara langsung dalam spesifikasi, guna mengontrol tanah yang akan digunnakan untuk membangun struktur urugan tanah.

4. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis : $PI = LL - PL$
Indeks plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastisitas. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika

PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah ,menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh atterberg dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesi
<7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesi sebagian
7 – 17	Plastisitas Rendah	Lempung Berlanau	Kohesi
>17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesi

Sumber : Mekanika tanah 1, Ir. Hary Christady Hardiyatmo 2010

3.3 Kuat Geser Tanah (Mohr -Coulomb)

Menurut Hardiyanto (2010) parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dorong pada penahan tanah. Menurut teori Mohr (1910) dalam Hardiyatmo (2010) kondisi keruntuhan bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan oleh persamaan : $\tau = c + \sigma$ (3.4)

Kaut geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir – butir tanah terhadap desakan dan tarikan. Dengan dasar pengertian tersebut, coloumb (1776) mendefenisikan τ sebagai persamaan : $\tau = c + \sigma \text{ tg } (\varphi)$(3.5) dengan :

τ = Kuat geser tanah (kN/m²)

c = Kohesi tanah (kN/m²)

σ = Sudut gesek dalam tanah (°)

φ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

Menurut teori Mohr – coloumb, tahanan geser (τ) yang dapat dikerahkan oleh tanah. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapat dari pengukuran engineering properties tanah berupa *triaxial test* dan *direct sheer test*.

3.4 Teori Stabilitas Lereng

Dalam praktek, analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*). Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng beberapa anggapan dibuat, yaitu:

1. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai masif
3. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata – rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata – rata sepanjang permukaan longsor. Jadi, kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik – titik tertentu pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar 1.

Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, atau: $F = \frac{\tau}{\tau_d}$ (3.6)

Dengan τ adalah tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah, τ_d adalah tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor, dan F adalah faktor aman. Menurut teori Mohr – coloumb, tahanan geser (τ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, sepanjang bidang longsornya, dinyatakan oleh:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg}(\varphi) \dots\dots\dots (3.7)$$

dengan :

τ = Kuat geser tanah (kN/m^2)

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

σ = Sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)

φ = Parameter kuat geser tanah di sepanjang bidang longsor (kN/m^2)

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban – beban lain pada bidang longsornya:

$$\tau_d = c_d + \sigma \operatorname{tg}(\varphi_d) \dots \dots \dots (3.8)$$

dengan c_d dan φ_d adalah kohesi dan sudut gesek dalam yang terjadi atau yang dibutuhkan untuk keseimbangan pada bidang longsornya.

Substitusikan persamaan persamaan (3.7) dan (3.8) ke persamaan (3.6) diperoleh persamaan faktor aman,

$$F = \frac{c + \sigma \operatorname{tg} \varphi}{c_d + \sigma \operatorname{tg} \varphi_d} \dots \dots \dots (3.9)$$

Persamaan (3.4) dapat pula dituliskan dalam bentuk:

$$c_d + \sigma \operatorname{tg} \varphi_d = \frac{c}{f} + \sigma \frac{\operatorname{tg} \varphi}{f} \dots \dots \dots (3.10)$$

Untuk maksud memberikan faktor aman terhadap masing – masing komponen kuat geser, faktor aman dapat dinyatakan:

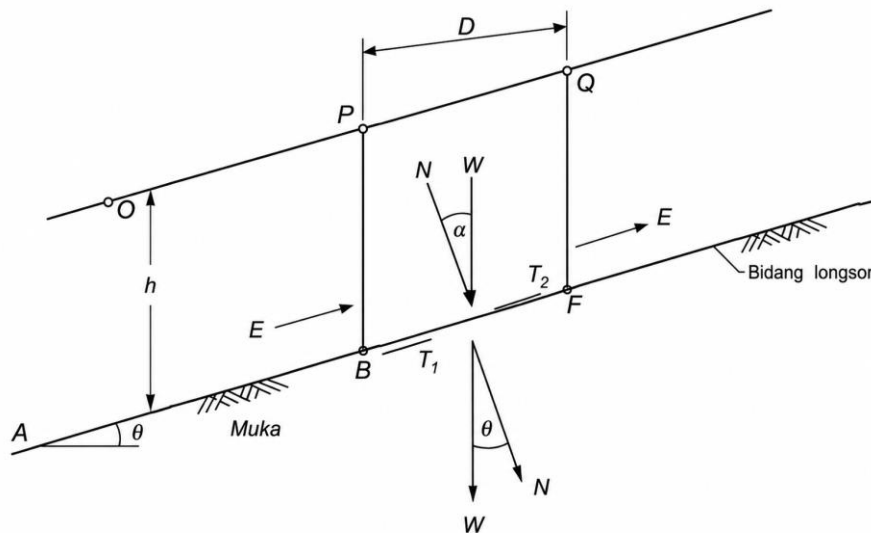
$$F_c = \frac{c}{c_d} \dots \dots \dots (3.11)$$

$$F_\varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi_d} \dots \dots \dots (3.12)$$

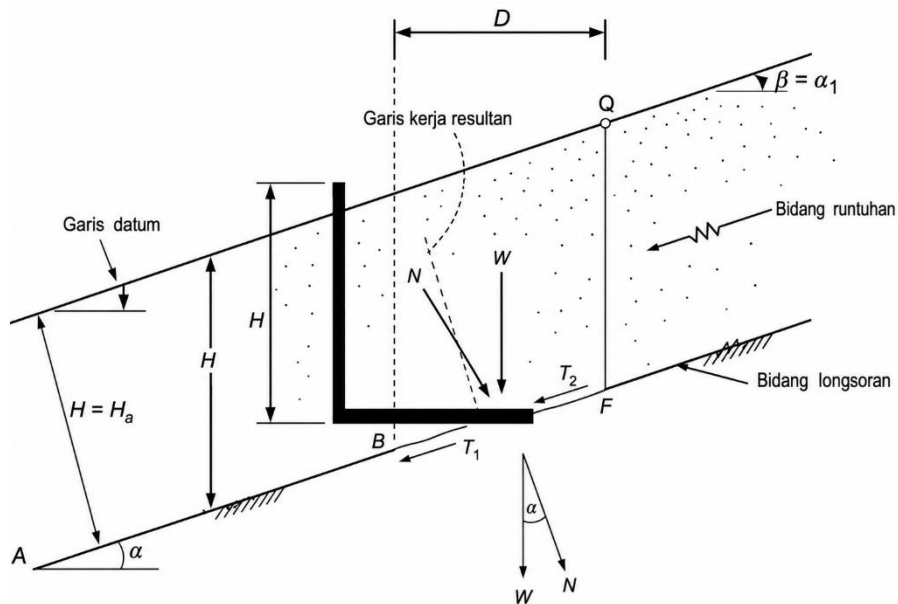
Dengan F_c = faktor aman pada komponen kohesi dan F_φ = faktor aman pada komponen gesekan. Umumnya faktor aman stabilitas lereng atau faktor aman terhadap kuat geser tanah diambil lebih besar atau sama dengan 1,2.

3.5 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Bidang Longsor Datar

1. Lereng Tak Terhingga (*infinite Slope*)



Gambar 3.5 Lereng tak terhingga tanpa aliran air rembesan
Sumber : Mekanika tanah 1, Ir. Hary Christady Hardiyatmo 2010

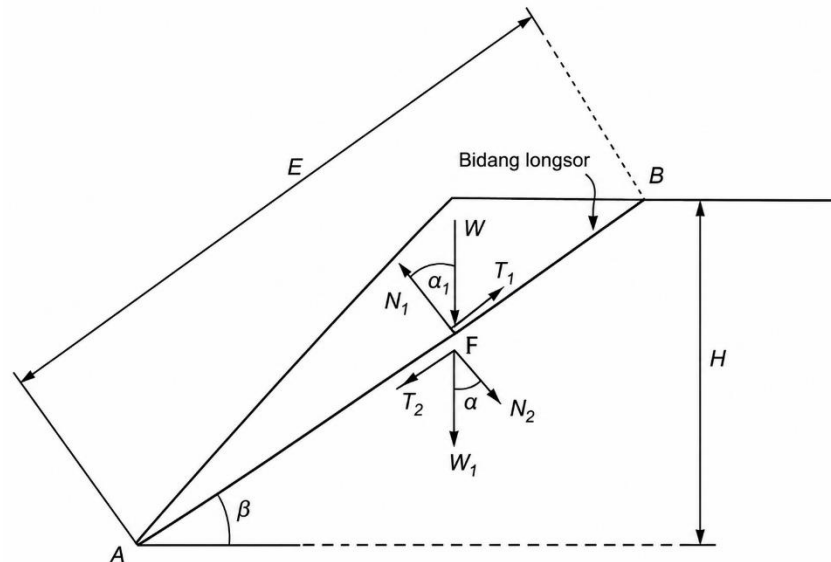


Gambar 3.6 Lereng tak terhingga dipengaruhi aliran rembesan
Sumber : Mekanika tanah 1, Ir. Hary Christady Hardiyatmo 2010

Gambar 3.5 dan 3.6 memperlihatkan suatu kondisi dimana tanah dengan tebal H yang mempunyai permukaan miring, terletak di atas lapisan batu dengan kemiringan permukaan yang sama. Lereng semacam ini disebut lereng tak terhingga karena mempunyai panjang yang sangat lebih besar

dibanding dengan kedalamannya (H). Jika diambil elemen tanah selebar b , gaya – gaya yang bekerja pada dua bidang vertikalnya mendekati sama, karena pada lereng tak terhingga gaya – gaya yang bekerja di setiap sisi bidangnya dapat dianggap sama.

2. Lereng Terbatas

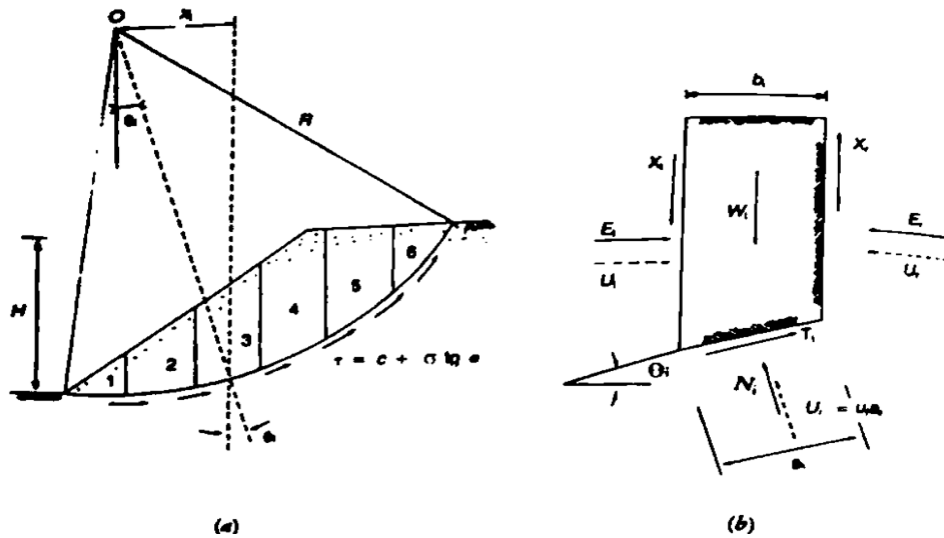


Gambar 3.7 Analisis stabilitas timbunan di atas tanah miring
Sumber : Mekanika tanah 1, Ir. Hary Christady Hardiyatmo 2010

Gambar 3.7 memperlihatkan timbunan yang terletak di atas tanah asli yang miring. Akibat permukaan tanah asli miring, timbunan akan longsor disepanjang bidang AB. Contoh seperti ini terjadi jika tanah timbunan diletakkan pada tanah asli yang miring, dimana pada lapisan tanah asli masih terdapat lapisan lemah yang berada didasar timbunan.

3.6 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 3.8 Gaya – gaya yang bekerja pada irisan
 Sumber : Mekanika tanah 1, Ir. Hary Christady Hardiyatmo 2010

1. Metode Fellenius

Analisis stabilitas lereng 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 anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya- gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori adalah:

$$\begin{aligned}
 N_i + U_i &= W_i \cos \theta_i \\
 N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\
 &= W_i \cos \theta_i - u_i a \dots\dots\dots(3.13)
 \end{aligned}$$

Faktor aman didefinisikan sebagai,

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \dots\dots\dots(3.14) \\
 &= \frac{\sum M r}{\sum M d}
 \end{aligned}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, maka :

$$\sum M_d = R \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i \dots\dots\dots(3.15)$$

dengan:

R = Jari- jari lingkaran bidang longsor

n = Jumlah irisan

W = Berat massa tanah irisan ke -i

θ = Sudut didefinisikan pada gambar 3.8

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:

$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - u) \frac{\tan \phi'}{F} \dots\dots\dots (3.16)$$

dengan σ adalah tegangan normal total pada bidang longsor dan u adalah tekanan air pori. Untuk irisan ke -I, nilai $T_i = \tau \alpha_i$, yaitu gaya geser yang dikerahkan tanah pada bidang longsor untuk keseimbangan batas. Karena itu:

$$T = \frac{c' \alpha_i}{F} + (N_i - u_i \alpha_i) \frac{\tan \phi'}{F} \dots\dots\dots (3.17)$$

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 persamaan (**Gambar 3.8 Gaya – gaya yang bekerja pada irisan**):

$$\sum W_i x_i = \sum T_i R \dots\dots\dots (3.18)$$

dengan x_i adalah jarak W_i ke pusat rotasi O. **Persamaan (3.16) dan (3.18)**, dapat diperoleh:

$$F = \frac{R \sum_{i=1}^n [c' \alpha_i + (N_i - u_i \alpha_i) \tan \phi']}{\sum_{i=1}^n W_i x_i} \dots\dots\dots (3.19)$$

Diketahui:

- F = faktor keamanan
- R = jari-jari bidang longsor
- c' = kohesi efektif
- α_i = panjang bidang irisan
- N_i = gaya normal
- u_i = tekanan air pori
- ϕ' = sudut geser dalam efektif

- W_i = berat irisan
- x_i = lengan momen tiap irisan

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

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

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - T_i \sin \theta_i}{\cos \theta_i} \dots \dots \dots (3.20)$$

Dengan $N_i' = N_i - u_i a_i$, substitusi **Persamaan (3.17)** ke **persamaan (3. 20)**, dapat diperoleh persamaan:

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - u_i a_i \cos \theta_i - c' a_i \sin \theta_i / F}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \tan \phi' / F} \dots \dots \dots (3.21)$$

Substitusi **persamaan (3.21)** ke **persamaan (3.19)**, diperoleh :

$$F = \frac{R \sum_{i=1}^n \left[c' a_i + \tan \phi' \left(\frac{W_i + X_i - X_{i+1} - u_i a_i \cos \theta_i - c' a_i \sin \theta_i / F}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \tan \phi' / F} \right) \right]}{\sum_{i=1}^n W_i x_i} \dots \dots \dots (3.22)$$

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

$$x_i = R \sin \theta_i \dots \dots \dots (3.23)$$

$$b_1 = a_1 \cos \theta_1 \dots \dots \dots (3.24)$$

Substitusi **persamaan (3.23)** dan **(3.24)** ke **persamaan (3.22)**, diperoleh persamaan faktor keamanan:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n [c' b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \phi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \dots \dots \dots (3.25)$$

Diketahui :

F = faktor keamanan

c' = kohesi tanah efektif (kN/m²)

b_i = panjang bidang irisan

u_i = tekanan air pori pada irisan ke- i (kN)

ϕ' = sudut geser dalam tanah efektif (derajat)

W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)

θ = Sudut yang didefinisikan dalam **gambar 3.8** pada hal. 17 (derajat)

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

$$r_u = \frac{ub}{W} = \frac{u}{\gamma h} \dots \dots \dots (3.26)$$

Diketahui:

r_u = rasio tekanan pori

u = tekanan air pori (kN/m²)

b = lebar irisan (m)

h = tinggi irisan rata- rata (m)

γ = berat volume tanah (kN/m²)

Dari substitusi **persamaan (3.26)** ke **persamaan (3.25)** bentuk lain dari persamaan faktor aman untuk analisis stabilitas lereng cara bishop:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n [c' b_i + W_i (1 - r_u) \tan \phi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i \left(1 + \frac{\tan \theta_i \tan \phi'}{F} \right)} \right)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots (3.27)$$

Diketahui:

F = faktor keamanan lereng

c' = kohesi efektif tanah

b_i = lebar irisan ke- i

W_i = berat irisan tanah ke- i

r_u = koefisien tekanan air pori

ϕ' = sudut geser dalam efektif tanah

θ_i = sudut dasar irisan terhadap horizontal

n = jumlah irisan lereng

Persamaan faktor aman bishop ini lebih sulit pemakaian nya dibandingkan dengan metode fellenius, lagi pula membutuhkan cara coba- coba (*trial and error*), karena nilai faktor aman (F) nampak di kedua sisi persamaannya. Akan tetapi, cara ini lebih terbukti menghasilkan nilai faktor aman yang mendekati hasil hitungan dengan cara lain yang lebih teliti. Untuk mempermudah hitungan secara manual, **Gambar 3.9** dapat digunakan untuk menentukan nilai fungsi M_i , dengan:

$$M_i = \cos \theta_i \left(1 + \frac{\tan \theta_i \tan \phi'}{F} \right) \dots\dots\dots (3.28)$$

Diketahui:

M_i = faktor koreksi untuk irisan ke- i

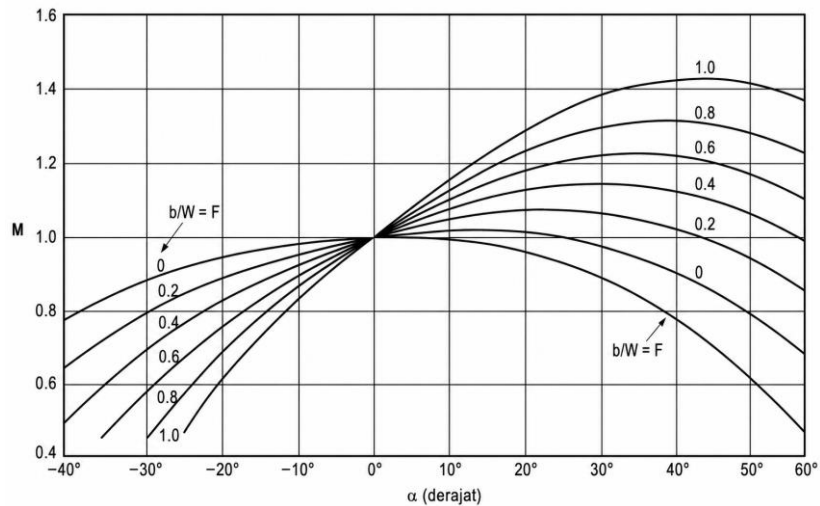
θ_i = sudut dasar irisan terhadap bidang horizontal

$\tan \theta_i$ = kemiringan dasar irisan

ϕ' = sudut geser dalam efektif tanah

$\tan \phi'$ = nilai kekuatan geser akibat gesekan tanah

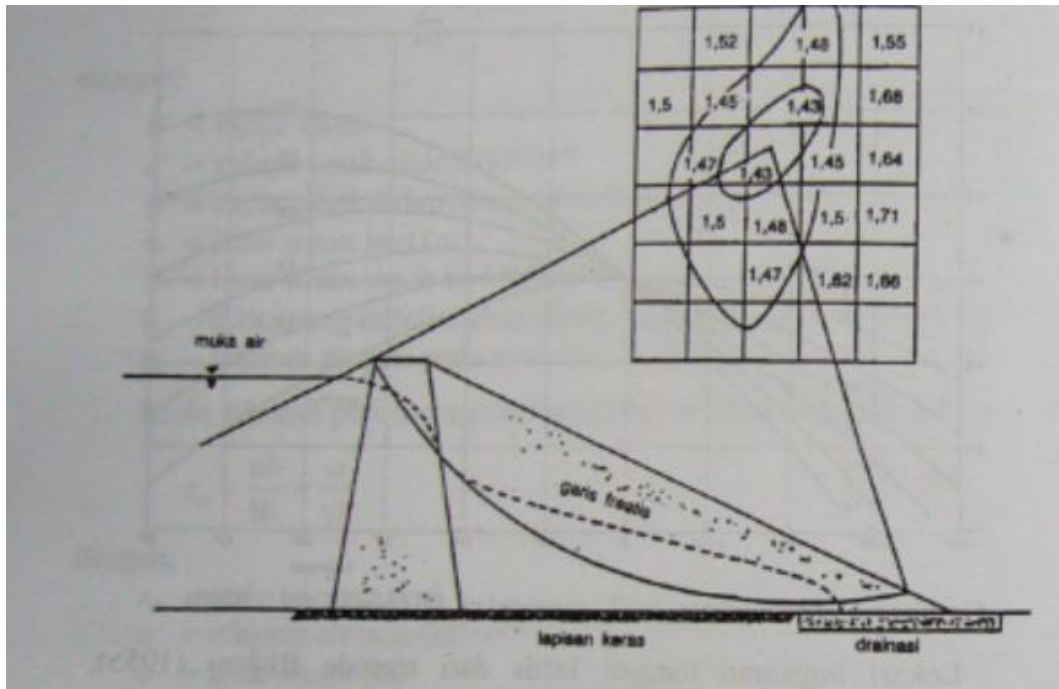
F = faktor keamanan lereng



Gambar 3.9 diagram untuk menentukan M , (Janbu dkk, 1956)
 Sumber : Mekanika tanah 1, Ir. Hary Christady Hardiyatmo 2010

Lokasi lingkaran longsor kritis dari metode bishop (1956), biasanya mendekati dengan hasil pengamatan di lapangan. Karena itu, walaupun metode fellenius lebih mudah, metode bishop (1955) lebih disukai.

Dalam praktek, diperlukan cara coba- coba dalam menemukan bidang longsor dengan nilai faktor aman yang terkecil. Jika bidang longsor dianggap lingkaran, maka lebih baik kalau dibuat kotak- kotak di mana tiap titik potong garis- garis nya merupakan tempat kedudukan pusat lingkaran longsor. Pada titik- titik potong garis yang merupakan pusat lingkaran longsor, dituliskan nilai faktor aman terkecil pada titik tersebut (**Gambar 3.10**). Perlu diketahui bahwa tiap titik pusat lingkaran harus dilakukan pula hitungan faktor aman untuk menentukan nilai faktor aman yang terkecil dari bidang longsor dengan pusat lingkaran pada titik tersebut, yaitu dengan cara mengubah jari- jari lingkarannya. Kemudian, setelah faktor aman terkecil pada tiap- tiap titik pada kotaknya diperoleh, digambarkan garis kontur yang menunjukkan tempat kedudukan dari titik- titik pusat lingkaran yang mempunyai faktor aman yang sama. **Gambar 3.10** menunjukkan contoh kontur- kontur faktor aman yang sama. Dari kontur faktor aman tersebut dapat ditentukan letak kira- kira dari pusat lingkaran yang menghasilkan faktor aman terkecil.



Gambar 3.10 Contoh kontur faktor aman
 Sumber : Mekanika tanah 1, Ir. Hary Christady Hardiyatmo 2010