

BAB II

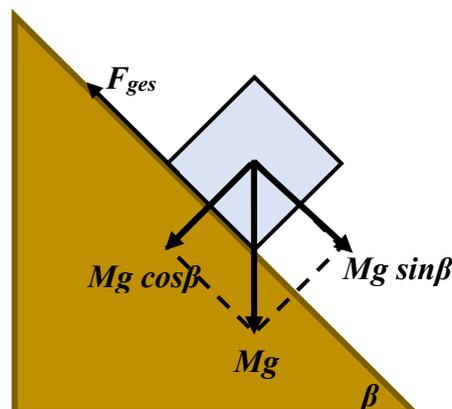
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Longsor (Gerakan Tanah)

2.1.1 Pengertian Longsor dan Mekanisme Longsor Secara Umum

Longsor atau gerakan tanah adalah suatu pergerakan batuan, bahan rombakan, tanah atau material campuran pada lereng akibat aktivitas gaya gravitasi, yang mana gaya pendorong pada lereng lebih besar dari gaya gesek penahannya[2], [3], [22]–[25]. Longsor terjadi ketika air masuk ke dalam tanah pada lereng. Jika air yang masuk sampai menembus ke lapisan tanah kedap air akan menyebabkan tanah pelapukan di atasnya bergerak mengikuti lereng dan keluar dari lereng[26].

Secara fisis, dinamika longsor umumnya dikaitkan dengan kesetimbangan. Longsor terjadi ketika terdapat perubahan kesetimbangan dari komponen gaya yang bekerja pada lereng. Pada proses terjadinya longsor terdapat dua buah gaya yang berkerja, yaitu gaya pendorong dan gaya penahan. Jika gaya penahan material kuat dan gaya pendorong lemah, maka tidak ada potensi terjadi longsor, dengan kata lain lereng dalam keadaan stabil. Longsor hanya akan terjadi jika ada pemicu yang mengubah kesetimbangan seperti gaya pendorong. Gaya pendorong yang paling besar pengaruhnya adalah gaya gravitasi yang searah dengan bidang lereng. Gaya penahan adalah gaya pada material yang menghambat terjadinya longsor. Gaya penahan ini terkait dengan karakteristik fisik dari batuan dan tanah yaitu kohesi dan keofisien gesek[26].



Gambar 2.1 Gaya yang bekerja pada lereng[3].

Berdasarkan gambar di atas, M adalah massa objek, g adalah percepatan gravitasi, β adalah sudut kemiringan lereng dan F_{ges} adalah gaya gesek.

2.1.2 Jenis-jenis Longsor

Pada dasarnya longor bergantung pada bentuk lereng, kemiringan lereng, maupun jenis material penyusunnya. Berikut ini adalah jenis-jenis gerakan tanah:

1. *Fall* (Runtuhan)

Fall adalah gerakan material pada lereng yang terjal atau jurang. Secara umum material pada fall biasanya berupa batuan. Seluruh material fall bergerak jatuh bebas searah dengan gravitasi.

2. *Topple* (Robohan)

Topple adalah jatuhnya blok-blok batuan secara rotasi vertikal akibat gaya gravitasi bumi. *Topple* biasa terjadi pada daerah yang halus dan tidak terkonsolidasi.

3. *Translational slide* (longsor translasi)

Longsor translasi didefinisikan sebagai pergerakan material sepanjang permukaan geser pada lereng. Longsor translasi memiliki bidang gelincir berbentuk permukaan planar (bidang datar).

4. *Rotational slide* (longsor rotasi)

Pada longsor rotasi, permukaan yang runtuh berbentuk melingkar. Berbeda dengan longsor translasi, bentuk melingkar dari longsor rotasi ditimbulkan oleh kerusakan yang berasal dari distribusi geometri tegangan geser pada lereng.

5. *Flow* (Aliran)

Aliran adalah longsor material yang menuruni lereng dengan ukuran yang bervariasi mulai dari fragmen tanah halus sampai bongkah yang bercampur dengan air. Longsor jenis aliran biasanya terjadi ketika hujan deras yang terus menerus sehingga material penyusun lereng menjadi jenuh air dan mengalir bersama fluida yang membawanya.

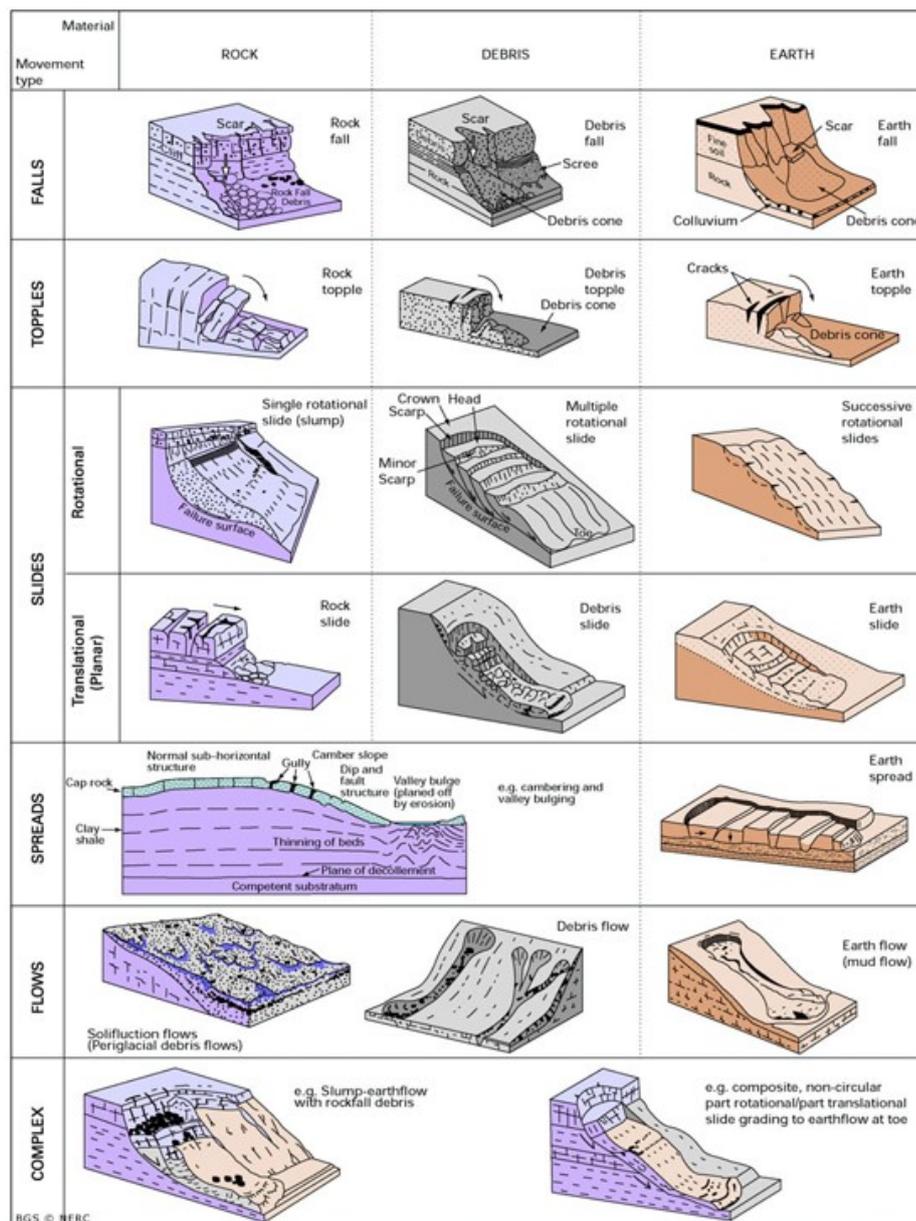
6. *Lateral Spreading* (Menyebar)

Lateral spreading yaitu pergerakan lateral batuan atau tanah, sering terjadi secara luas pada lereng yang landai hampir seperti datar. Longsor jenis ini biasanya terjadi

akibat likuifaksi sehingga material tanah menjadi cair. Longsor jenis ini juga dapat terjadi karena dipicu oleh pergerakan tanah yang cepat seperti gempa bumi.

7. Kompleks

Pada longsor jenis kompleks terjadi perubahan sifat selama pergerakan. Perubahan sifat ini berupa longsor batuan yang berubah menjadi aliran granular. Longsor aliran ini terjadi karena material kehilangan kohesi selama terjadi longsor, sehingga massa sepenuhnya tercampur dengan fluida [3], [22], [24], [25].



Gambar 2.2 Jenis-jenis gerakan tanah[27].

2.1.3 Stabilitas Lereng dan *Factor of Safety (FoS)*

Suatu lereng akan mengalami perubahan kondisi ketika kehilangan keseimbangan atau pengaruh eksternal. Ketika lereng dalam kondisi tidak stabil maka akan terjadi longsor.

Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng yaitu[25]:

1. Faktor geologi meliputi, lapisan batuan yang lemah, pelapukan batuan, pergeseran batuan, retakan atau pertemuan lapisan batuan, dan perbedaan lapisan tanah.
2. Faktor morfologi meliputi, pengangkatan tektonik atau vulkanik, lapisan es, erosi, perubahan letak beban pada lereng, dan kerusakan tanaman pelindung pada lereng.
3. Faktor fisik meliputi, curah hujan yang sangat tinggi, pencairan es, hujan yang sangat lama, perubahan muka air tanah, gempa bumi, letusan vulkanik, kembang-susut karena pelapukan.
4. Faktor manusia meliputi, penggalian lereng, penggundulan hutan, penambangan, getaran buatan seperti percobaan nuklir.

Secara teori untuk menilai stabilitas lereng secara kuantitatif dibutuhkan suatu parameter yaitu *FoS*. *FoS* sendiri adalah rasio antara gaya penahan dengan daya pendorong, yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$FoS = \frac{\text{gaya penahan}}{\text{gaya pendorong}} \quad (1)$$

dengan kondisi lereng stabil jika nilai $FoS > 1$ [3].

Namun secara praktis, untuk menghitung nilai *FoS* perlu dilakukan analisis berdasarkan parameter kuat geser tanah, sehingga *FoS* dapat dinyatakan sebagai berikut

$$FoS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2)$$

dimana, τ_f adalah kuat geser tanah (N/m^2), τ_d adalah tegangan geser tanah pada permukaan yang berpotensi terjadi keruntuhan lereng (N/m^2). Keruntuhan lereng yaitu lereng mengalami keruntuhan akibat kegagalan secara struktural sehingga menjadi tidak stabil atau biasa disebut dengan kondisi keruntuhan.

Kuat geser tanah dan tegangan geser tanah dapat dituliskan sebagai

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (3)$$

dimana, c adalah kohesi (N/m^2), ϕ sudut geser ($^\circ$), σ tegangan normal (N/m^2).

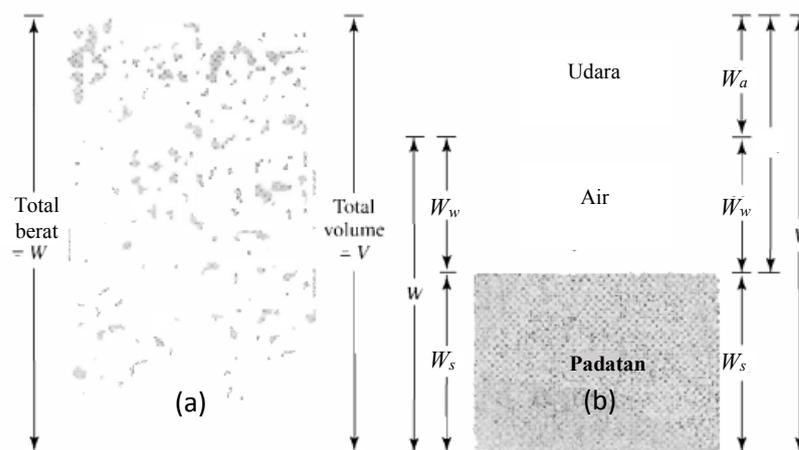
$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \phi_d \quad (4)$$

dimana, c_d adalah kohesi pada permukaan potensi keruntuhan (N/m^2), ϕ_d sudut geser pada permukaan potensi keruntuhan ($^\circ$)[20].

2.2 Index Properties (Sifat-sifat indeks) Tanah

Index properties adalah sifat-sifat fisik tanah yang menunjukkan jenis dan kondisi tanah yang berhubungan dengan sifat mekanis tanah.

2.2.1 Hubungan Berat-Volume



Gambar 2.3 (a) elemen tanah pada keadaan alami; (b) tiga fase elemen tanah (telah diolah kembali)[20].

Pada Gambar 2.3. (a) menunjukkan elemen tanah yang terdiri dari total berat (W) dan total volume (V). Untuk melihat hubungan berat-volume maka tanah dipisahkan

dalam tiga fase yaitu padatan, air, dan tanah seperti yang ditunjukkan Gambar 2.3.
 (b). Total volume dari sampel tanah dapat dinyatakan sebagai

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \quad (5)$$

dimana, V_s adalah volume padatan tanah, V_v adalah volume rongga, V_w volume air dalam rongga, dan V_a adalah volume udara pada rongga.

Dengan mengasumsikan bahwa berat udara dapat diabaikan, maka total berat dari sampel dinyatakan sebagai

$$W = W_s + W_w \quad (6)$$

dimana, W_s adalah berat padatan tanah, W_w adalah berat air.

Istilah umum yang biasa digunakan untuk hubungan berat yaitu kadar air dan berat volume. Kadar air (w) didefinisikan sebagai rasio antara berat air dan berat padatan dalam tanah,

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad (7)$$

Berat volume adalah berat tanah per satuan volume

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (8)$$

Untuk menyelesaikan masalah pada tanah, harus mengetahui berat volume tanah tanpa air atau berat volume kering

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

atau dapat dituliskan sebagai

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} \quad (9)$$

[20]

2.3 Parameter Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah tahanan internal per luasan yang diberikan oleh tanah untuk menahan keruntuhan disepanjang bidangnya. Kuat geser tanah dibutuhkan untuk menganalisis masalah stabilitas tanah seperti stabilitas lereng dan tekanan lateral pada struktur penahan tanah. Mohr (1900) dalam Braja M. Das (2001) merepresentasikan sebuah teori bahwa keruntuhan material disebabkan oleh kombinasi antara tegangan normal dan tegangan geser.

Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada selubung keruntuhan (lingkaran keruntuhan) dapat dinyatakan sebagai

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (10)$$

Selubung keruntuhan didefinisikan oleh Pers.(10) sebagai kurva garis. Tegangan geser pada bidang gelincir didefinisikan sebagai fungsi linear dari tegangan normal (Coulomb). Fungsi linear dapat dituliskan seperti Pers.(3) yang disebut sebagai kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb.

Total tegangan normal pada tanah jenuh adalah penjumlahan dari tegangan efektif (σ') dan tekanan air pori (u) atau $\sigma = \sigma' + u$

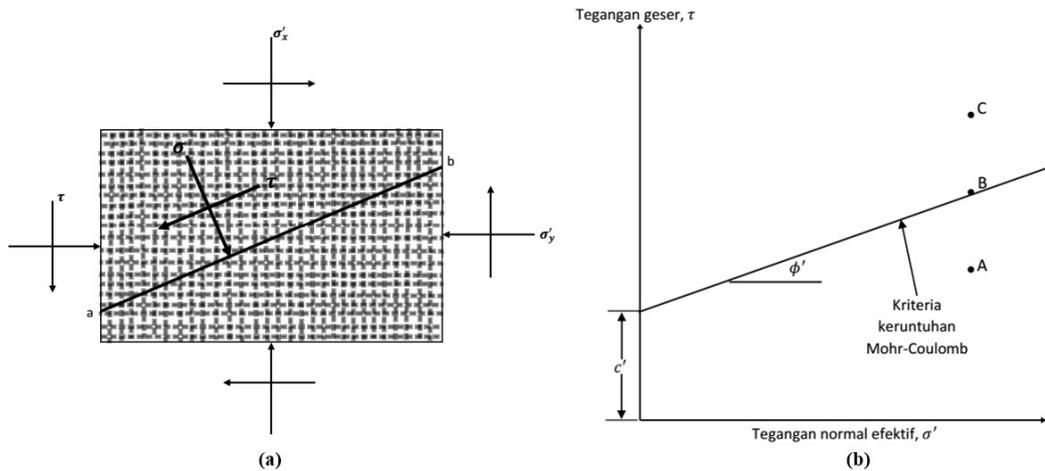
Kriteria keruntuhan mohr-Coulomb dinyatakan dalam istilah tegangan efektif menjadi

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (11)$$

dimana, c' adalah kohesi dan ϕ' berdasarkan pada tegangan efektif.

Pers.(10) dan Pers.(11) adalah ungkapan kuat geser berdasarkan total tegangan normal dan total tegangan efektif.

Makna dari Pers.(11) dapat dijelaskan oleh Gambar 2.4, yang mana menunjukkan massa elemen tanah.



Gambar 2.4 Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (telah diolah kembali)[20].

Misalkan tegangan normal efektif dan tegangan geser pada bidang ab berturut-turut adalah σ' dan τ . Gambar 2.4.(a) menunjukkan plot dari bidang gelincir yang didefinisikan Pers.(11). Jika besar σ' dan τ pada bidang ab sedemikian rupa sehingga melewati titik A pada Gambar 2.4(b), keruntuhan geser tidak akan terjadi di sepanjang bidang. Jika tegangan normal efektif dan tegangan geser pada bidang ab melewati titik B , keruntuhan geser akan terjadi di sepanjang bidang. Keadaan tegangan pada bidang yang diwakili oleh titik C tidak ada karena berada di atas selubung keruntuhan dan keruntuhan geser tanah sudah terjadi[20].

Untuk mengetahui nilai kuat geser pada suatu lapisan tanah dapat dilakukan beberapa uji salah satunya uji triaksial[20], [21], [28].

2.3.1 Uji Triaksial CD (Consolidated-Drained)

Dalam uji CD, sampel yang jenuh air pertama kali diberi tegangan sel (σ_3). Pemberian tegangan tersebut akan membuat tekanan air pori (u_c) menjadi meningkat (jika tidak ada aliran air). Peningkatan tekanan air pori dapat dinyatakan sebagai parameter non-dimensi dalam bentuk

$$B = \frac{u_c}{\sigma_3} \quad (12)$$

dimana B = parameter tekanan pori *Skempton*

Untuk tanah lunak yang jenuh air akan memiliki nilai B berkisar 1, sedangkan untuk tanah kaku yang jenuh air nilai B akan kurang dari 1.

Penyambungan pada pengaliran terbuka akan mengakibatkan hilangnya kelebihan tegangan air pori dan terjadi konsolidasi. Seiring waktu u_c akan menjadi 0 (nol). Tanah jenuh air akan mengalami perubahan volume sampel (ΔV_c) selama konsolidasi yang diperoleh dari volume air pori terdrainasi. Kemudian, tekanan deviator ($\Delta\sigma_d$) pada sampel dinaikan dengan sangat lambat. Sambungan pengaliran dijaga tetap terbuka dan tegangan deviator diberi kecepatan yang lambat sehingga memungkinkan hilangnya tekanan air pori ($\Delta u_d = 0$).

Karena tekanan air pori hilang selama pengujian, maka didapatkan

$$\text{tegangan pembatas total dan efektif} = \sigma_3 = \sigma_3' \quad (13)$$

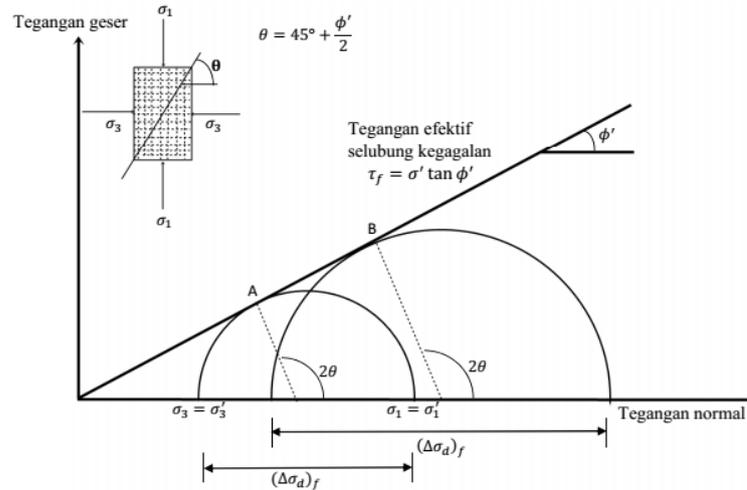
dan

$$\text{tegangan aksial total dan efektif pada kegagalan} = \sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f = \sigma_1 = \sigma_1' \quad (14)$$

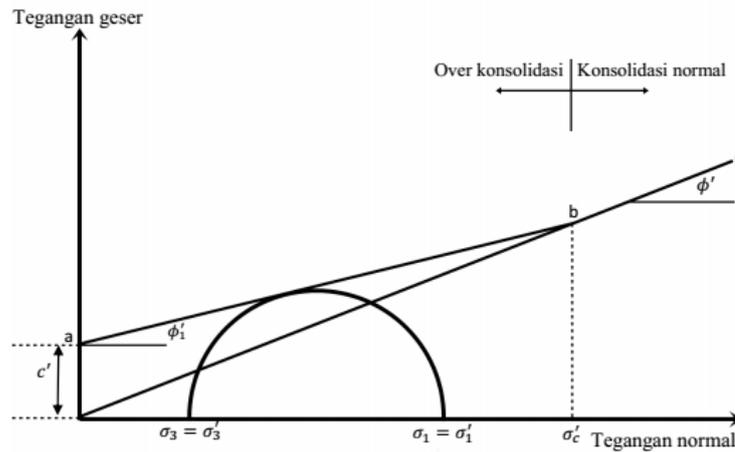
Pada uji triaksial, σ_1' adalah tegangan efektif utama besar dan σ_3' adalah tegangan efektif utama kecil pada keruntuhan.

Beberapa uji pada sampel yang sama dapat dilakukan dengan memvariasikan tegangan pembatas, sehingga dapat diperoleh selubung keruntuhan

Gambar 2.5. menunjukkan jenis selubung keruntuhan tegangan efektif yang dihasilkan untuk uji pada pasir dan lempung terkonsolidasi. Titik koordinat tangensial selubung keruntuhan dengan lingkaran Mohr (titik A) diberi tegangan normal dan tegangan geser pada selubung keruntuhan dari uji sampel.



Gambar 2.5 Tegangan efektif selubung keruntuhan dari uji terdrainasi pada pasir dan lempung terkonsolidasi dengan normal (telah diolah kembali)[20].



Gambar 2.6 Lingkaran Mohr dan selubung keruntuhan pada lempung terkonsolidasi normal (telah diolah kembali)[20].

Bagian *ab* pada gambar di atas memiliki kemiringan lebih datar dengan kohesi yang berpotongan dengan tegangan geser, dan persamaan kuat geser dapat dituliskan seperti Pers.(11).

Bagian *bc* pada selubung keruntuhan menunjukkan tingkat konsolidasi tanah dengan normal dan mengikuti persamaan $\tau_f = \sigma' \tan \phi'$.

2.3.2 Uji Triaksial CU (Consolidated-Undrained)

Uji triaksial CU adalah uji yang paling umum dilakukan. Pada uji ini, sampel tanah jenuh pertama kali dikonsolidasikan dengan memberi tekanan fluida (σ_3) yang dihasilkan dari pengaliran (drainase). Setelah tekanan air pori dihasilkan dengan menghilangkan tegangan pembatas, tegangan deviator ($\Delta\sigma_d$) pada sampel dinaikan sampai terjadi keruntuhan geser. Selama fase pengujian ini pengaliran dari sampel dijaga tetap tertutup karena tidak boleh ada pengaliran, sehingga tegangan air pori (Δu_d) akan meningkat. Kenaikan tekanan air pori dapat dinyatakan dalam bentuk non-dimensional sebagai

$$\bar{A} = \frac{(\Delta u_d)}{(\Delta\sigma_d)} \quad (15)$$

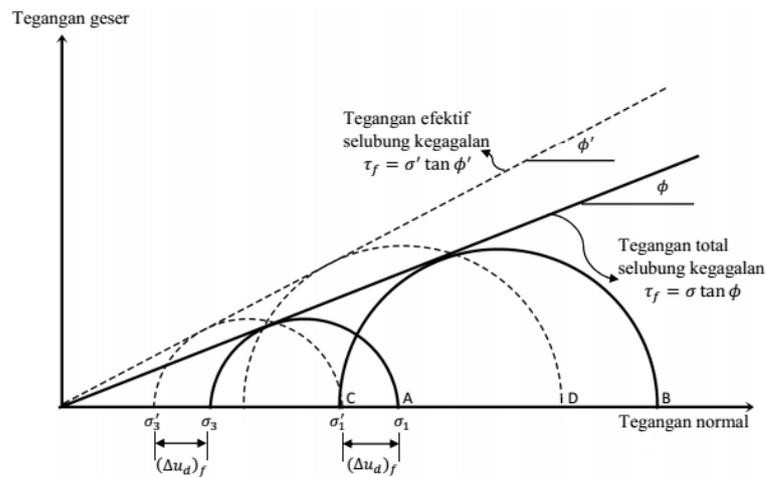
dimana \bar{A} adalah parameter tekanan pori Skempton.

Pada uji triaksial CU, tekanan total dan tegangan utama efektif tidak sama karena tegangan air pori pada keruntuhan diukur pada saat uji ini berlangsung, tegangan utama dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Tegangan utama besar (total) pada keruntuhan
$$\sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f = \sigma_1$$
2. Tegangan utama besar (efektif) pada keruntuhan
$$\sigma_1 - (\Delta u_d)_f = \sigma_1'$$
3. Tegangan utama kecil (total) pada keruntuhan
$$\sigma_3$$
4. Tegangan utama kecil (efektif) pada keruntuhan
$$\sigma_3 + (\Delta u_d)_f = \sigma_3'$$

Dalam persamaan ini, $(\Delta u_d)_f =$ tegangan air pori pada keruntuhan. Turunan sebelumnya menunjukkan bahwa $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_1' - \sigma_3'$

Uji pada beberapa sampel yang sama dengan memvariasikan tegangan pembatas dapat diberikan untuk menentukan parameter kuat geser.



Gambar 2.7 Tegangan total dan tegangan efektif selubung keruntuhan untuk uji triaksial CU (telah diolah kembali)[20].

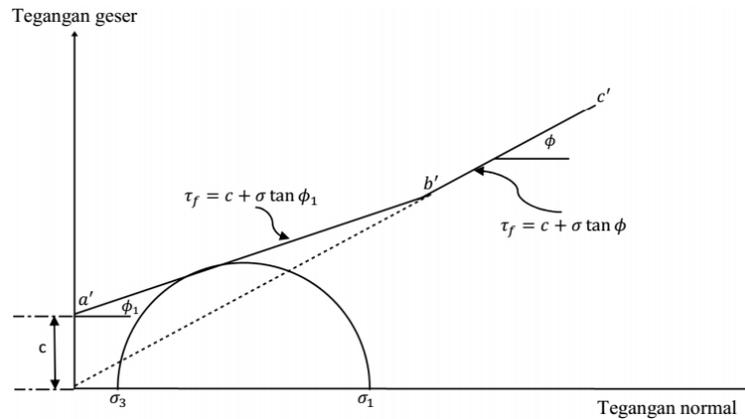
Gambar di atas menunjukkan tegangan total dan tegangan efektif lingkaran Mohr pada keruntuhan diperoleh dari uji triaksial CU pada pasir dan lempung terkonsolidasi normal. A dan B adalah tegangan total lingkaran Mohr yang diperoleh dari dua uji. C dan D adalah tegangan efektif lingkaran Mohr yang sesuai dengan tegangan total lingkaran A dan B. Diameter lingkaran A dan C sama, dan diameter B dan D juga sama. Tegangan total selubung keruntuhan dapat diperoleh dengan menggambarkan garis yang menyentuh seluruh tegangan total lingkaran Mohr. Untuk pasir dan lempung terkonsolidasi normal akan diperkirakan sebuah garis yang melewati kondisi awal dan dapat dinyatakan melalui persamaan

$$\tau_f = \sigma \tan \phi \quad (16)$$

dimana, σ adalah tekanan total, ϕ adalah sudut yang dibentuk oleh selubung tegangan total dengan sumbu tegangan normal atau disebut juga sudut geser. Namun persamaan tersebut jarang sekali digunakan.

Misalkan selubung keruntuhan adalah tangensial pada seluruh tegangan efektif lingkaran Mohr dapat diwakili oleh persamaan $\tau_f = \sigma' \tan \phi'$, yang mana diperoleh dari uji CU.

Dalam overkonsolidasi pada lempung, selubung keruntuhan tekanan total akan menjadi seperti gambar berikut



Gambar 2.8 Tegangan total selubung keruntuhan diperoleh dari uji triaksial CU pada lempung over konsolidasi (telah diolah kembali)[20].

Garis lurus $a'b'$ ditunjukkan oleh persamaan

$$\tau_f = \sigma \tan \phi_1 \quad (17)$$

dan garis lurus $b'c'$ mengikuti hubungan Pers.(7). Selubung keruntuhan tegangan efektif digambarkan dari tegangan efektif lingkaran Mohr sehingga menjadi sama seperti ditunjukkan gambar di atas.

Uji CU dapat dilakukan pada tanah serupa dengan pengukuran tegangan pori untuk memperoleh parameter kuat geser terdrainasi. Karena pengaliran tidak diperbolehkan selama memberikan tegangan deviator maka akan terbentuk lebih cepat dibandingkan uji CD.

Parameter tegangan air pori Skempton \bar{A} pada uji CU dapat dituliskan sebagai

$$\bar{A} = \bar{A}_f = \frac{(\Delta u_d)_f}{(\Delta \sigma_d)_f} \quad (18)$$

Rentang nilai umum \bar{A}_f pada tanah sangat lempung yaitu:

- a. Lempung terkonsolidasi dengan normal: 0,5 sampai 1
- b. Lempung overkonsolidasi: -0,5 sampai 0

2.3.3 Uji Triaksial UU (Unconsolidated-Undrained)

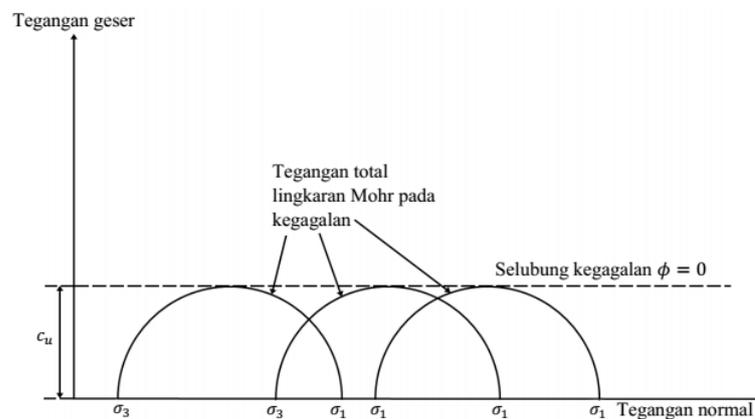
Pada uji UU, tidak ada pengaliran sampel tanah selama pemberian tekanan sel (σ_3). Uji sampel digeser sampai terjadi keruntuhan dengan memberi tegangan deviator ($\Delta\sigma_d$) dan tidak ada pengaliran, sehingga uji dapat berlangsung dengan cepat. Karena pemberian tegangan pembatas ruang, maka tegangan air pori pada sampel tanah akan meningkat (u_c). Hal ini menyebabkan terjadinya kenaikan lebih lanjut pada tegangan air pori total ($\Delta\sigma_d$) akibat pemberian tegangan deviator. Sehingga tegangan air pori total (u) dalam sampel pada tiap pemberian tegangan deviator dapat dituliskan sebagai

$$u = u_c + \Delta u_d \quad (19)$$

dimana $u_c = B\sigma_3$ dan $\Delta u_d = \bar{A}\Delta\sigma_d$, jadi

$$u = B\sigma_3 + \bar{A}\Delta\sigma_d = B\sigma_3 + \bar{A}(\sigma_1 - \sigma_3) \quad (20)$$

Uji ini biasanya dilakukan pada sampel lempung dan bergantung pada konsep kekuatan untuk tanah kohesif jika tanah seluruhnya jenuh. Uji ini dapat dilakukan dengan menambah tegangan aksial pada keruntuhan ($\Delta\sigma_d$)_f tanpa memperhatikan tegangan pembatas ruang. Sifat ini ditunjukkan pada gambar berikut

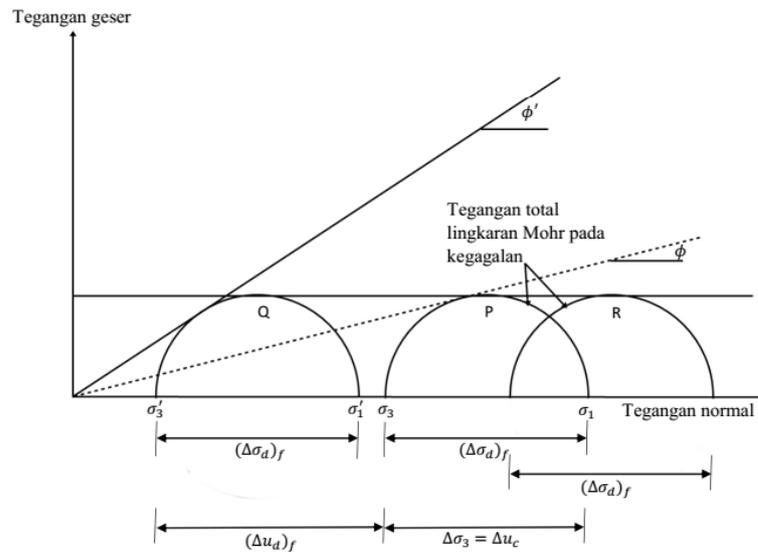


Gambar 2.9 Tegangan total lingkaran Mohr dan selubung keruntuhan ($\phi=0$) diperoleh dari uji triaksial UU pada tanah kohesif jenuh menyeluruh (telah diolah kembali) [20].

Selubung keruntuhan untuk tegangan total lingkaran Mohr menjadi garis horizontal sehingga kondisi $\phi = 0$, dan didapatkan

$$\tau_f = c = c_u \quad (21)$$

dimana c_u adalah kuat geser tak terdrainasi yang sama untuk jari-jari lingkaran Mohr. Konsep $\phi = 0$ dapat digunakan hanya untuk lempung jenuh dan lanau jenuh.



Gambar 2.10 Konsep $\phi=0$ (telah diolah kembali)[20].

Alasan untuk memperoleh penambahan tegangan aksial yang sama $(\Delta\sigma_d)_f$ tanpa memperhitungkan tegangan pembatas dapat dijelaskan pada kondisi sebagai berikut:

- I. Jika sampel lempung terkonsolidasi pada tekanan sel kemudian digeser sampai mengalami keruntuhan tanpa pengaliran atau drainasi, kondisi tegangan total pada keruntuhan ditunjukkan oleh lingkaran Mohr P pada gambar diatas ini. Tegangan pori mengembang dalam sampel $(\Delta u_d)_f$. Jadi, tegangan efektif utama besar efektif dan tegangan kecil efektif pada keruntuhan berturut-turut yaitu

$$\sigma_1' = \left[\sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f \right] - (\Delta u_d)_f = \sigma_1 - (\Delta u_d)_f$$

dan

$$\sigma_3' = \sigma_3 - (\Delta u_d)_f$$

Q adalah tegangan efektif lingkaran Mohr yang ditarik oleh tegangan utama sebelumnya, dengan diameter lingkaran P dan Q yang sama.

- II. Anggap sampel lempung lain yang serupa terkonsolidasi di bawah tekanan sel (σ_3) dengan tegangan air pori awal mendekati nol. Jika tekanan sel ($\Delta\sigma_3$) ditingkatkan tanpa pengaliran atau drainasi, tegangan air pori akan meningkat (Δu_c). Untuk tanah jenuh air di tertahan tegangan isotropik, peningkatan tegangan air pori sama dengan peningkatan tegangan total, jadi $\Delta u_c = \Delta\sigma_3$ dengan nilai $B=1$. Pada kondisi ini tegangan efektif pembatas menjadi

$$\sigma_3 + \Delta\sigma_3 - \Delta u_c = \sigma_3 + \Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_3 = \sigma_3$$

Ini berarti sama seperti tegangan efektif pembatas pada kondisi I sebelum pemberian tegangan deviator. Jika sampel kondisi II digeser sampai pada kondisi keruntuhan dengan menambah tegangan aksial, maka sampel akan runtuh pada tegangan deviator yang sama $(\Delta u_d)_f$ seperti pada sampel kondisi I. Tegangan total lingkaran Mohr pada keruntuhan menjadi R seperti pada Gambar 2.10.

Pada keruntuhan, tegangan efektif utama kecil yaitu

$$(\sigma_3 + \Delta\sigma_3) - [\Delta u_c + (\Delta u_d)_f] = \sigma_3 - \sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f = \sigma_3'$$

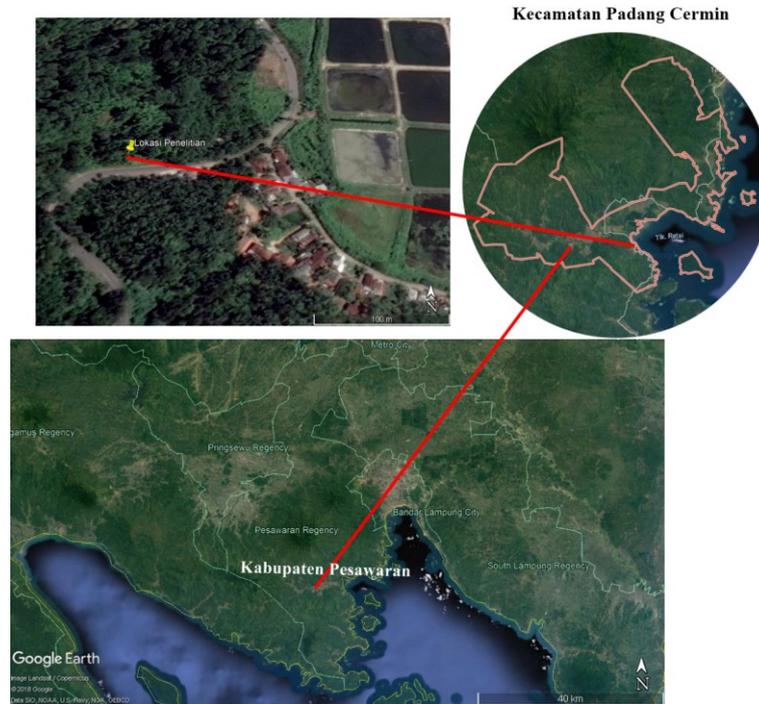
dan tegangan efektif utama besar yaitu

$$\begin{aligned} [\sigma_3 + \Delta\sigma_3 + (\Delta u_d)_f] - [\Delta u_c + (\Delta u_d)_f] &= [\sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f] - (\Delta\sigma_d)_f \\ &= \sigma_1 - (\Delta u_d)_f \end{aligned}$$

Dengan demikian, tegangan efektif lingkaran Mohr akan tetap sama dengan Q, dimana diameter lingkaran P, Q, dan R sama. Setiap nilai $\Delta\sigma_3$ dapat dipilih untuk uji sampel kondisi II. Dalam tiap kasus, tegangan deviator selalu menyebabkan keruntuhan [20].

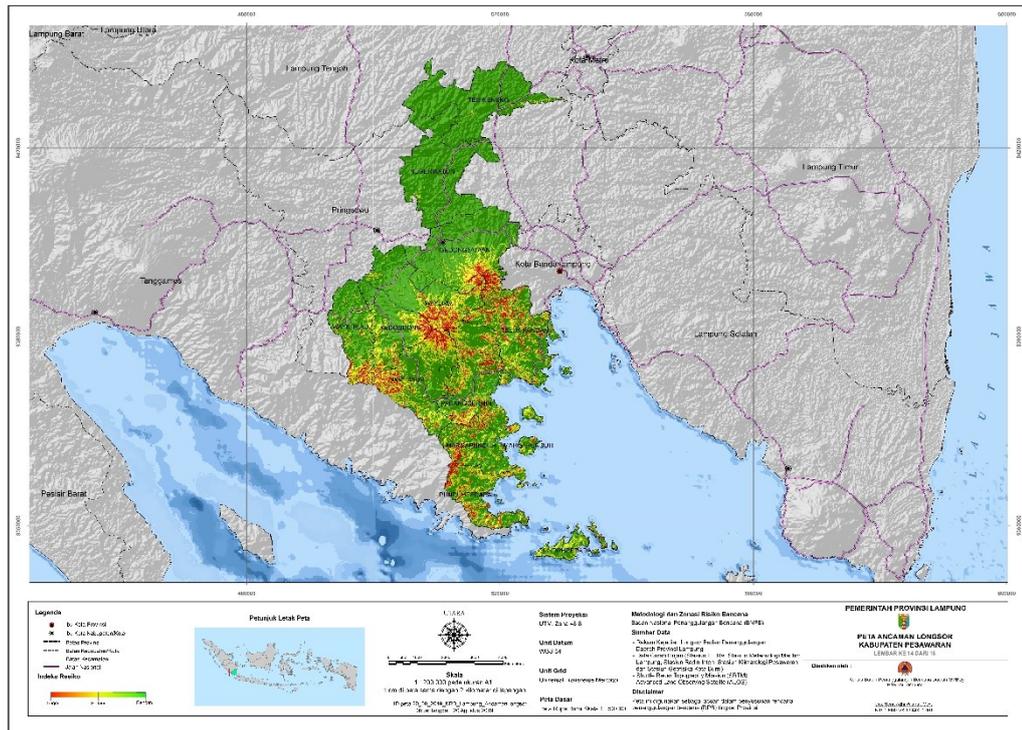
2.4 Daerah Penelitian

Penelitian ini dilakukan di salah satu lereng di barisan perbukitan tepi Jalan Raya Way Ratay, Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran, Lampung. Daerah ini secara astronomis terletak pada $05^{\circ}34'4.9''$ LS dan $105^{\circ}13'55.2''$ BT.



Gambar 2.11 Peta daerah penelitian (diedit dari *Google Earth*, 2019).

Berdasarkan informasi dari Situs Resmi Kabupaten Pesawaran, kondisi topografi terdiri dari dataran rendah dan dataran tinggi. Pada daerah dataran tinggi berupa perbukitan sampai dengan pegunungan. Perbukitan di Kabupaten Pesawara 90,93% terdapat di Kecamatan Teluk Pandan dengan kemiringan lereng cukup besar yaitu sekitar 40% berdasarkan perhitungan interpolasi. Kecamatan Teluk Pandan juga menjadi salah satu kecamatan yang memiliki potensi tanah longsor dengan luas daerah sekitar 18.726,33 ha[29].

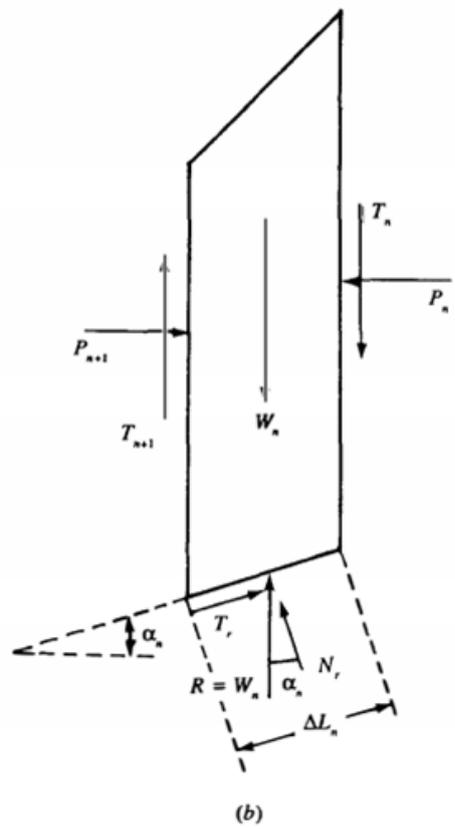
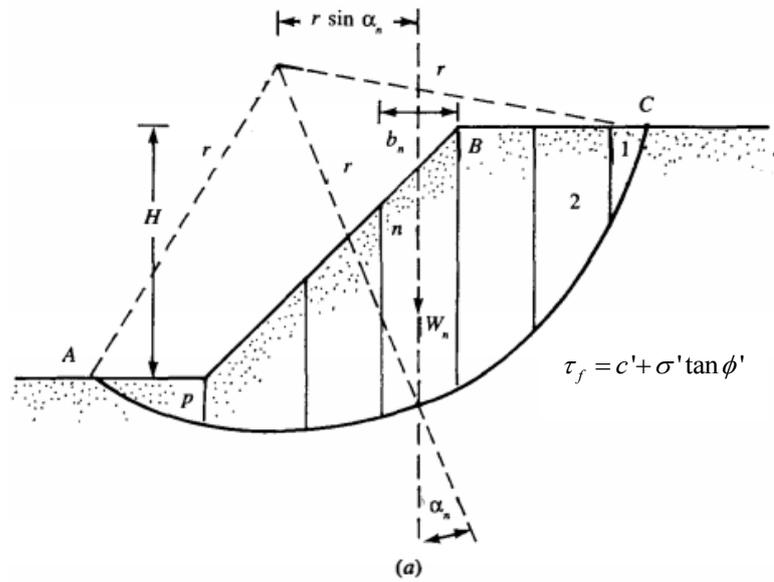


Gambar 2.12 Peta Indeks Ancaman Bencana Tanah Longsor Kabupaten Pesawaran[30].

Berdasarkan Gambar 2.12. beberapa daerah pesawaran memiliki tingkat ancaman tinggi, salah satunya Kecamatan Teluk Pandan. Hal ini disebabkan daerah-daerah tersebut merupakan daerah yang memiliki lereng dengan kemiringan yang tinggi. Selain itu beberapa faktor berupa terjadinya pelapukan pada batuan, adanya rekahan, serta intensitas hujan yang tinggi dapat dijadikan indikasi penentuan indeks ancaman bencana tanah longsor[31].

2.5 Metode Fellenius (Ordinary Method of Slices)

Metode Fellenius merupakan salah satu metode yang membagi bidang gelincirnya menjadi irisan-irisan vertikal (metode irisan). Metode irisan mengansumsikan bidang gelincir longsor berbentuk busur lingkaran dengan pusat O dan jari-jari r seperti pada Gambar 2.13. AC merupakan lengkungan lingkaran sebagai permukaan bidang gelincir. Tanah yang berada di atas bidang gelincir dibagi menjadi beberapa irisan vertikal dengan lebar tiap irisan tidak harus sama.



Gambar 2.13 Analisis stabilitas dengan metode irisan: (a) bidang gelincir; (b) gaya-gaya yang bekerja pada irisan[20].

Pada Gambar 2.13. (b), gaya-gaya yang bekerja pada irisan (iris ke- n). W_n adalah berat irisan dan N_r adalah gaya normal. α_n adalah sudut yang terbentuk antara W_n dengan normalnya (N_r) dan T_r adalah gaya pada komponen tangensial dari reaksi R . P_n dan P_{n+1} adalah gaya normal yang bekerja pada sisi irisan, T_n dan T_{n+1} adalah

gaya geser yang bekerja pada sisi irisan. Untuk memudahkan analisis, tegangan air pori dianggap nol dan resultan gaya normal pada sisi irisan serta resultan gaya geser pada sisi irisan dianggap sama besar. Untuk pengamatan keseimbangan dapat diberikan persamaan

$$N_r = W_n \cos \alpha_n \quad (22)$$

Gaya geser penahan dinyatakan sebagai berikut

$$T_r = \tau_d (\Delta L_n) = \frac{\tau_f (\Delta L_n)}{FoS} = \frac{1}{FoS} [c' + \sigma' \tan \phi'] \Delta L_n \quad (23)$$

Tegangan normal σ dalam persamaan di atas sama dengan

$$\frac{N_r}{\Delta L_n} = \frac{W_n \cos \alpha_n}{\Delta L_n} \quad (24)$$

Untuk keseimbangan bidang ABC, momen gaya pendorong terhadap titik O sama dengan momen gaya penahan terhadap titik O, yaitu

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n r \sin \alpha_n = \sum_{n=1}^{n=p} \frac{1}{FoS} \left(c' + \frac{W_n \cos \alpha_n}{\Delta L_n} \tan \phi' \right) \Delta L_n r \quad (25)$$

Sehingga nilai FoS dapat diketahui dengan persamaan berikut

$$FoS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [(c' \Delta L_n) + (W_n \cos \alpha_n \tan \phi')]}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (26)$$

[20], [21], [32]

Pada *software* yang digunakan yaitu *GeoStudio SLOPE/W*, persamaan dalam mencari FoS yaitu

$$FoS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c' \beta + N_r \tan \phi']}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (27)$$

dengan β adalah panjang dasar irisan [19].