

BAB II

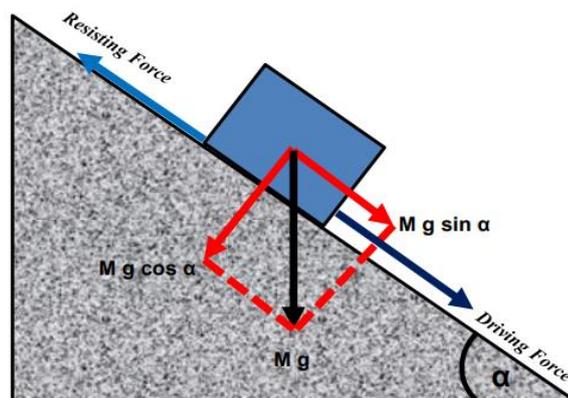
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Longsor

2.1.1 Pengertian dan Mekanisme Tanah Longsor

Tanah longsor adalah suatu proses perpindahan atau pergerakan massa batuan, debris (campuran tanah dan butiran batu), dan tanah ke arah lereng bawah. Perpindahan ini dapat disebabkan oleh kondisi geologi yang kurang menguntungkan, fenomena geomorfologi gaya-gaya fisik alamiah atau akibat ulah manusia (*man-made*), dan umumnya terjadi pada daerah yang cukup luas, berukuran skala besar [14]. Tanah longsor banyak terjadi di perbukitan dengan ciri-ciri: kecuraman lereng lebih dari 30 derajat, curah hujan tinggi, terdapat lapisan tebal (lebih dari 2 meter) menumpang di atas tanah/batuan yang lebih keras, tanah lereng terbuka yang dimanfaatkan sebagai permukiman, ladang, atau sawah [15].

Secara fisis longsor dapat dianalogikan seperti benda yang berada pada bidang miring. Komponen-komponen gaya yang bekerja pada bidang miring disajikan pada Gambar 2.1.

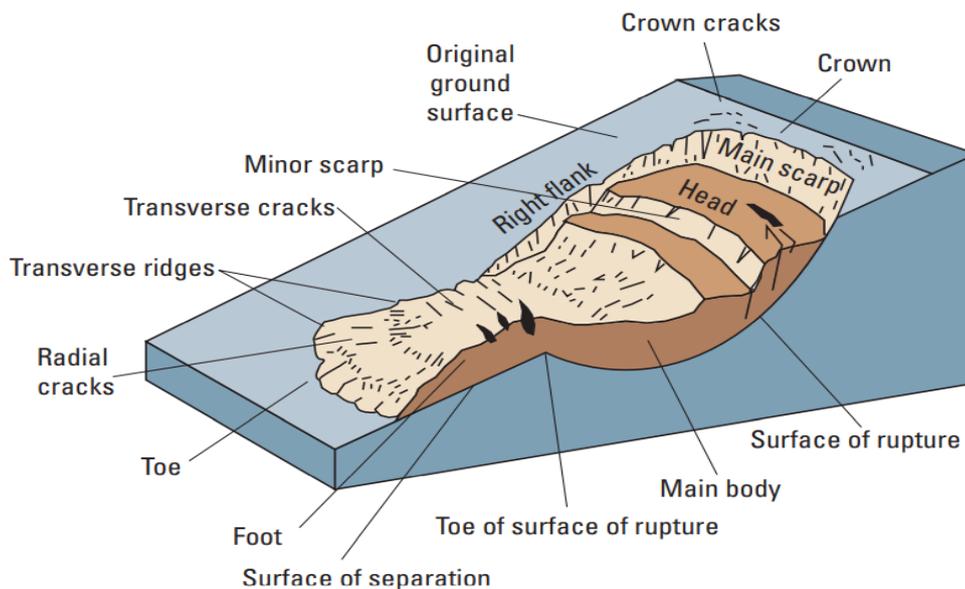


Gambar 2.1 Komponen gaya yang bekerja pada lereng (De Blasio, 2011)

Pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong (*driving force*) pada lereng lebih besar dari gaya penahan (*resisting force*). Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Sedangkan gaya pendorong

dipengaruhi oleh besarnya sudut kemiringan lereng, air, beban serta berat jenis tanah/batuan. Sehingga proses terjadinya tanah longsor adalah saat air yang meresap ke dalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng [16].

Secara umum bagian-bagian longsor terdiri dari: Mahkota (*Crown*) adalah daerah yang tidak bergerak dan berdekatan dengan puncak atau bagian tertinggi dari tebing utama longsor (*Main scarp*). Tebing utama longsor (*Main scarp*) adalah permukaan terjal pada tanah yang tidak terganggu. Tebing minor (*Minor scarp*) adalah permukaan curam pada perpindahan material longsor yang dihasilkan oleh gerakan diferensial dalam material yang bergerak. Bidang gelincir (*Surface of rupture*) adalah batas bawah yang dibentuk dari material yang bergerak atau berpindah dengan tanah yang tidak bergerak. Kaki longsor (*foot*) adalah bagian tanah longsor yang bergerak melewati bagian bawah bidang gelincir. Jari kaki longsor (*Toe*) adalah bagian paling bawah longsor yang biasanya berbentuk melengkung yang berasal dari material yang bergerak dan memiliki jarak terjauh dari tebing utama longsor [6].



Gambar 2. 2 Ilustrasi tanah longsor (Varnes, 1978)

2.1.1 Penyebab Terjadinya Tanah Longsor

Secara Umum ada dua faktor yang menyebabkan terjadinya tanah longsor yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal yang menjadi penyebab terjadinya longsor adalah gaya ikat (kohesi) tanah/batuan yang lemah. Sedangkan faktor eksternal yang menjadi pemicu longsor dapat terdiri dari berbagai faktor yang kompleks seperti gempa bumi, kemiringan lereng, perubahan kelembapan tanah/batuan, tutupan lahan serta pola pengolahan lahan, pengikisan oleh air yang mengalir (air permukaan), ulah manusia seperti penggalian dan lain sebagainya [17].

Faktor penyebab terjadinya tanah longsor secara alamiah yakni morfologi permukaan bumi, penggunaan lahan, litologi, struktur geologi, curah hujan, dan kegempaan. Selain faktor alamiah, juga disebabkan oleh faktor aktivitas manusia yang mempengaruhi suatu bentang alam, seperti kegiatan pertanian, pembebanan lereng, pemotongan lereng, dan penambangan. Faktor pemicu utama kelongsoran tanah adalah air hujan [18].

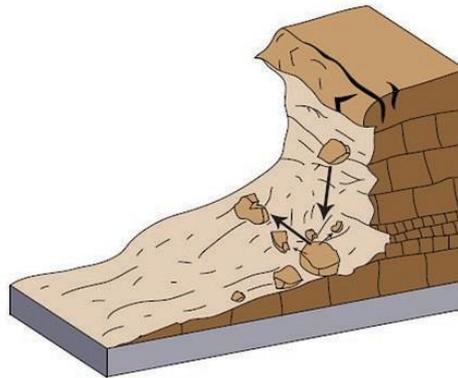
Menurut Pusat Vulkanologi Mitigasi dan Bencana Geologi gejala umum tanah longsor ditandai dengan munculnya retakan-retakan di lereng yang sejajar dengan arah tebing, biasanya terjadi setelah hujan, munculnya mata air baru secara tiba-tiba dan tebing rapuh serta kerikil mulai berjatuhan [16].

2.1.2 Jenis-Jenis Tanah Longsor

Tanah longsor dapat diklasifikasikan ke dalam tipe yang berbeda berdasarkan tipe pergerakan dan tipe material yang terlibat. Jenis gerakan menggambarkan mekanisme tentang bagaimana massa tanah longsor dipindahkan: jatuh, roboh, meluncur, menyebar, atau mengalir. Tanah longsor juga dapat membentuk kegagalan kompleks yang mencakup lebih dari satu jenis gerakan (yaitu, longsor batu – aliran serpihan). Klasifikasi Varnes didasarkan pada mekanisme gerakan dan material yang berpindah [19]. Jenis gerakan massa yang umum terjadi di alam dilihat dari tipe dan jenis materialnya antara lain yaitu:

Runtuhan (*falls*)

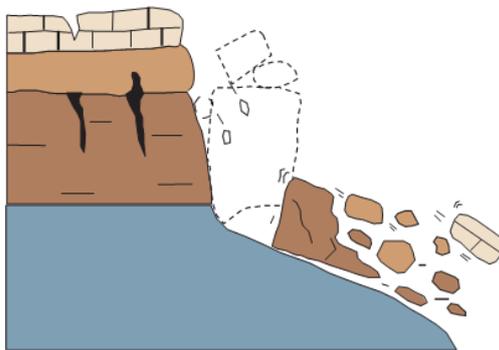
Runtuhan adalah gerakan secara tiba-tiba dimulai dari perlepasan tanah atau bongkahan batu yang jatuh dari lereng yang curam atau tebing. Pemisahan terjadi di sepanjang kekar dan pelapisan batuan. Gerakan ini dicirikan dengan terjun bebas, mental dan menggelinding. Sangat dipengaruhi oleh gravitasi, pelapukan mekanik, dan keberadaan air pada batuan.



Gambar 2. 3 *Rockfall* (Highland and Bobrowsky, 2008)

Robohan (*topples*)

Topples dicirikan dengan gerakan robohnya unit batuan dengan cara berputar kedepan pada satu titik sumbu (bagian dari unit batuan yang lebih rendah) yang disebabkan oleh gravitasi dan kandungan air pada rekahan batuan.



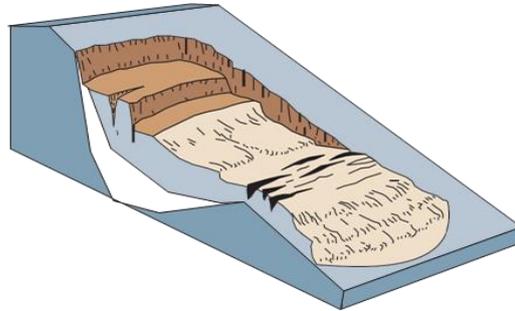
Gambar 2. 4 *Topples* (Highland and Bobrowsky, 2008)

Gelincir (*slides*)

Slides adalah gerakan material pembentuk lereng yang diakibatkan oleh terjadinya kegagalan geser, di sepanjang satu atau lebih bidang longsor. Massa tanah yang bergerak bisa menyatu atau terpecah-pecah.

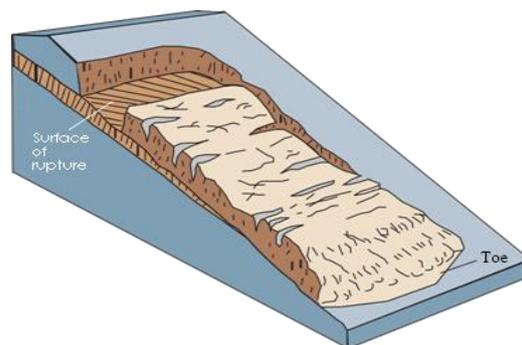
Berdasarkan geometri bidang gelincirnya, longsor dibedakan dalam dua jenis yaitu:

- a. *Rotational Slide* adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung ke atas, dan pergerakan longsornya secara umum berputar pada sumbu yang sejajar dengan permukaan tanah.



Gambar 2. 5 *Rotational Slides* (Highland and Bobrowsky, 2008)

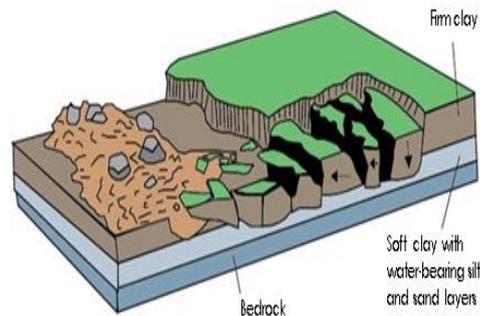
- b. *Translational Slide* adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata dengan sedikit rotasi atau miring kebelakang.



Gambar 2. 6 *Translational Slides* (Highland and Bobrowsky, 2008)

Menyebar Lateral (*lateral spreads*)

Penyebaran dapat terjadi karena pencairan atau aliran dari bahan dasar yang lebih lunak. Umumnya terjadi pada lereng yang landau atau medan datar. Gerakan utamanya adalah ekstensi lateral yang disertai dengan kekar geser atau kekar tarik. Penyebabnya adalah likuifaksi, atau suatu proses dimana tanah menjadi jenuh terhadap air, loose, kohesi sedimen (biasanya pasir dan lanau) perubahan dari padat ke keadaan cair.

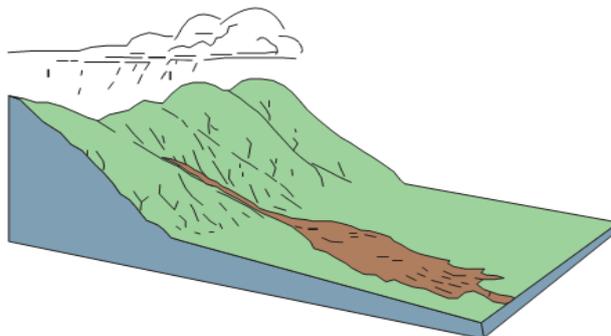


Gambar 2. 7 *Lateral Spreads* (Highland and Bobrowsky, 2008)

Aliran (*flows*)

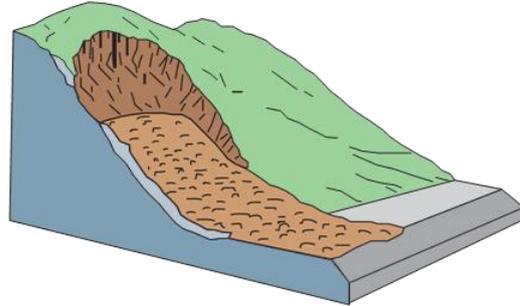
Aliran adalah perpindahan material berupa tanah atau lumpur yang biasanya disertai dengan kadar air yang tinggi sehingga mengalir dan bergerak ke bawah menuruni lereng. Adapun jenis-jenis aliran yaitu:

- a. *Debris Flow* adalah bentuk gerakan massa yang cepat di mana campuran tanah yang gembur, batu, bahan organik, udara, dan air bergerak seperti bubuk yang mengalir pada suatu lereng. *Debris flow* biasanya disebabkan oleh aliran permukaan air yang intens, karena hujan lebat atau pencairan salju yang cepat, yang mengikis dan memobilisasi tanah gembur atau batuan pada lereng yang curam.



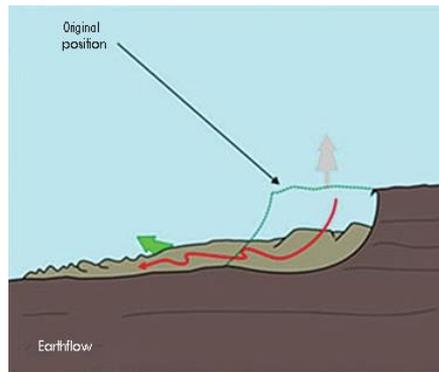
Gambar 2. 8 *Debris Flow* (Highland and Bobrowsky, 2008)

- b. *Debris Avalanche* adalah longsor aliran massa tanah dan batuan pada lereng yang terjal. Jenis ini adalah merupakan jenis aliran debris yang pergerakannya terjadi sangat cepat.



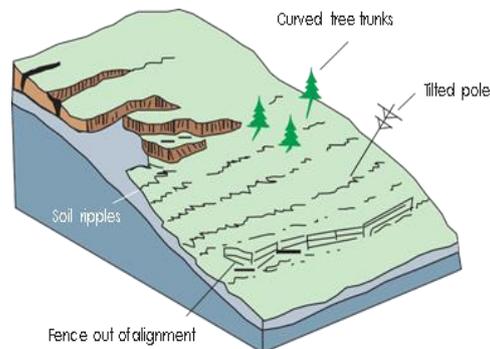
Gambar 2. 9 *Debris Avalanche* (Highland and Bobrowsky, 2008)

- c. *Earth Flow* bergerak secara memanjang dari material halus atau batuan yang mengandung mineral lempung di lereng moderat dan dalam kondisi jenuh air, membentuk mangkuk atau suatu depresi di bagian atasnya.



Gambar 2. 10 *Earth Flow* (Geological Survey of Canada, Highland and Bobrowsky, 2008)

- d. *Creep* adalah perpindahan tanah atau batuan pada suatu lereng secara lambat dan stabil.



Gambar 2. 11 *Creep* (Highland and Bobrowsky, 2008)

2.2 Pengukuran Standar dalam Analisa Longsor

Pengukuran standar dalam analisa longsor merupakan pengukuran fisis meliputi pengukuran topografi, faktor keamanan (*factor of safety*), uji kuat geser tanah (uji triaksial), dan indeks properties tanah.

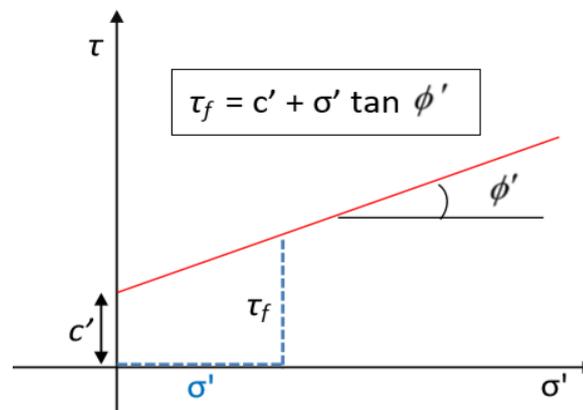
2.2.1 Pengukuran Topografi

Pengukuran topografi merupakan suatu pengukuran di atas permukaan bumi dan bentuk permukaan tanah diukur pada skala tertentu dan hasilnya adalah peta topografi [20]. Alat yang paling canggih dan paling sering digunakan dalam pengukuran topografi adalah *Total Station*. Alasan mengapa banyak *surveyor* memilih menggunakan alat ini adalah karena kemudahannya dalam pengoperasiannya. *Total station* sudah dirancang digital, dan beberapa versi baru dilengkapi oleh *Global Positioning System* (GPS) sehingga saat alat selesai di setting sempurna akan otomatis menunjukkan koordinat dimana alat tersebut berdiri. *Total station* juga merupakan versi digital dari *theodolite* sehingga pembacaan sudut maupun jarak sudah otomatis tertera pada layar *total station*.

Pada pengukuran di lapangan menggunakan *total station*, perlu dilengkapi juga dengan prisma. Pada awal pengesetan alat, pastikan alat sudah berdiri tegak dengan posisi arah datar dan posisi tinggi sudah diukur. Ukur titik awal pengamatan sebagai *benchmark* (BM), lalu tentukan titik sebagai *backsight* (BS) dan *foresight* (FS) untuk pengukuran kedua. Kemudian lanjutkan dengan melakukan pengukuran titik-titik survey yang telah ditentukan. Cukup dengan menembakan *total station* ke arah prisma kemudian tekan tombol *measurement* untuk mengetahui beda tinggi dan jarak titik tersebut. Dalam survey pemetaan pengukuran seperti ini biasa dilakukan untuk memperoleh beda tinggi dan kontur detail. Hasil pengukuran akan tersimpan pada alat *total station* dalam bentuk file yang dapat dikonversi menjadi berbagai format seperti *excel*, *autocad*, hingga *esri file*. Oleh karenanya hasil pengukuran dapat diolah dengan berbagai aplikasi perangkat lunak nantinya seperti *Global Mapper*.

2.2.2 Faktor Keamanan (*Factor of Safety*)

Dalam hal ini analisa longsor yang dimaksud adalah analisa terkait faktor keamanan ($FS = \text{Factor of Safety}$). FS adalah perbandingan antara gaya yang mendorong (*driving force*) terhadap gaya yang menahan (*resisting force*). Dimana *resisting force* dan *driving force* ini terkait dengan kuat geser tanah dan tekanan geser tanah [6]. Mohr (1980) menjelaskan bahwa keruntuhan sebagai akibat dari kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum dan tegangan geser maksimum saja.



Gambar 2. 12 Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb

Persamaan FS (*Factor of Safety*) dinyatakan sebagai berikut:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.1)$$

Dimana ;

FS : faktor keamanan

τ_f : kekuatan geser rata-rata pada tanah

τ_d : kekuatan geser rata-rata yang muncul akibat retak

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (2.2)$$

Dimana ;

c' : kohesi

σ' : *Effective normal stress*

ϕ' : *friction angle in effective stress*

$$\tau_d = c'_d + \sigma' \tan \phi'_d \quad (2.3)$$

Dimana ;

c'_d : kohesi

ϕ'_d : sudut gesek yang muncul di sepanjang permukaan longsor/retak

Ketika nilai $FS \leq 1$, maka lereng dalam keadaan hampir longsor atau akan rawan longsor atau akan segera longsor jika ada faktor eksternal yang mempengaruhi. Suatu lereng dapat dinyatakan aman jika $FS \geq 1.5$. Guna menghitung besarnya faktor keamanan maka kita perlu memperoleh data parameter geser tanah. Pengukuran laboratorium yang umum dan sering digunakan untuk memperoleh parameter geser tanah (seperti, c, ϕ, ϕ' dan c') salah satunya adalah Uji Triaksial [6].

2.2.3 Kekuatan Geser (*Shear Strength*)

Ungkapan umum untuk kekuatan geser tanah, yang digunakan hampir secara universal di dunia saat ini, adalah

$$\tau = c' + (\sigma - u) \tan \phi'$$

$$\text{atau } \tau = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (2.4)$$

Dimana :

τ = kekuatan geser atau tahanan geser

σ = total tegangan normal pada bidang geser

u = tekanan pori pada bidang geser

σ' = tegangan normal efektif pada bidang geser

c' = kohesi

ϕ' = sudut kekuatan geser

Parameter c' dan ϕ' umumnya disebut parameter kekuatan geser dalam hal tegangan efektif. Persamaan 2.4 dikenal sebagai kriteria kegagalan Mohr-Coulomb. Jika tegangan geser pada bidang apa pun dalam massa tanah melebihi nilai yang diberikan oleh Persamaan 2.4, maka gerakan (atau hasil) akan terjadi pada bidang itu. Parameter c' dan ϕ' hampir tidak bergantung pada metode yang digunakan untuk mengukurnya dan dapat dianggap sebagai konstanta untuk tanah tertentu dalam kondisi tertentu (mis., Kondisi tidak terganggu). Kekuatan geser terdiri dari dua komponen:

- a. Komponen kohesi (c'), dihasilkan dari beberapa bentuk ikatan antar partikel, atau padatnya pengemasan partikel. Ini memiliki nilai konstan.
- b. Komponen “gesekan” (σ' dan ϕ'), tergantung pada tegangan normal efektif pada bidang geser. Komposisi sebenarnya dari komponen ini terbuka untuk diperdebatkan, karena tidak semua hanya gesekan. Namun, karena komponen ini sebanding dengan tegangan normal, masuk akal untuk menganggapnya sebagai komponen gesekan [21].

2.2.3.1 Uji Triaksial

Uji triaksial merupakan salah satu uji lab yang dilakukan untuk memperoleh properties kuat geser tanah. Uji ini sudah terkenal dan paling sering digunakan untuk mengukur kuat geser tanah dan lebih disukai baik karena alasan teoritis maupun karena dapat dipakai untuk bermacam-macam pengujian. Semua jenis uji kekuatan geser dapat dilakukan dengan alat triaksial. Alat ini dapat pula dipakai untuk mengukur sifat permeabilitas atau konsolidasi [21]. Ada tiga jenis uji triaksial yang biasa digunakan, yaitu uji tak terdrainase (UU), uji terkonsolidasi tak terdrainase (CU), dan uji terdrainase (CD). Keadaan selama tahap konsolidasi dan tahap pembebanan pada masing-masing jenis pengujian adalah sebagai berikut:

- a. *Triaxial Unconsolidated-Undrained* (UU)

Uji tak terkonsolidasi tak terdrainase adalah tidak ada drainase yang diizinkan selama kedua tahap dan tekanan air pori umumnya tidak diukur.

b. *Triaxial Consolidated-Undrained (CU)*

Uji konsolidasi tak terdrainase adalah drainase diizinkan selama tahap konsolidasi, sampai sampel tanah terkonsolidasi sepenuhnya, yaitu sampai semua tekanan air pori hilang menjadi nol. selama tahap pembebanan, tidak ada drainase yang diizinkan dan umumnya tekanan air pori diukur.

c. *Triaxial Consolidated-Drained (CD)*

Uji terdrainase adalah seluruh drainase diizinkan selama kedua tahap. Maka tekanan air pori menjadi nol. Perubahan volume umumnya diukur selama tahap pembebanan.

Uji Triaksial bertujuan untuk mencari parameter fisis tanah yang terdiri dari nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam tanah (ϕ).

Parameter-parameter yang diukur selama pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Defleksi vertikal—untuk menentukan regangan dan untuk mengoreksi luas dari sampel tanah
- b. Beban vertikal (gaya P)
- c. Tekanan air pori—selama tahap pembebanan pada uji konsolidasi tak terdrainase
- d. Perubahan volume—selama tahap konsolidasi baik pada uji konsolidasi tak terdrainase maupun pada uji terdrainase dan selama tahap pembebanan pada uji terdrainase

Uji tak terdrainase dilakukan untuk menentukan kuat geser tak terdrainase (S_u) dari tanah. Uji terkonsolidasi tak terdrainase dan uji terdrainase dilakukan untuk menentukan parameter kekuatan geser menurut tegangan efektif, yaitu c' dan ϕ' . Pilihan antara uji terkonsolidasi tak terdrainase dan uji terdrainase, tergantung terutama pada permeabilitas tanah Uji terdrainase merupakan uji yang paling mudah dilakukan dan biasanya dipakai pada pasir karena permeabilitas pasir sangat tinggi. Pada lempung, permeabilitas yang rendah dapat menimbulkan kesulitan pada uji terdrainase. Walaupun drainase diizinkan pada kedua ujung (atas dan

bawah) sampel ini tidak menjamin bahwa tegangan air pori bernilai nol. Tegangan air pori pada bagian tengah sampel mungkin lebih tinggi daripada nilai pada ujungnya. Jika demikian anggapan bahwa tegangan air pori bernilai nol tidak berlaku. Untuk menjamin bahwa tegangan air pori bernilai nol, uji terdrainase pada lempung dengan permeabilitas rendah harus dilakukan dengan sangat lambat, kadang-kadang membutuhkan waktu beberapa hari.

Oleh karena itu, uji konsolidasi tak terdrainase umumnya dipakai pada lempung. Dalam pengujian ini, air tidak dapat keluar dari sampel tanah dan pengujian dapat lebih cepat daripada uji terdrainase. Namun, masih penting untuk menggunakan kecepatan regangan yang lambat untuk menjamin tekanan air pori seragam pada seluruh sampel tanah, dan nilai yang diukur pada bagian atas dan bawah sampel tanah mewakili seluruh sampel tersebut.

2.2.4 Indeks Properties Tanah

Sifat-sifat indeks (*index properties*) menunjukkan sifat-sifat tanah yang mengindikasikan jenis dan kondisi tanah, serta memberikan hubungan terhadap sifat-sifat mekanis seperti kekuatan dan pemampatan atau kecenderungan untuk mengembang dan permeabilitas.

Untuk tanah berbutir kasar (*coarse-grained*) sifat-sifat partikelnya dan derajat kepadatan relatif adalah sifat-sifat yang paling penting. Sedangkan, untuk tanah berbutir halus (*fine-grained*) konsistensi (keras atau lunak) merupakan sifat-sifat yang paling berpengaruh [22]. Dalam penelitian ini diperlukan pengujian indeks properties tanah berupa uji analisis saringan, uji kadar air, uji berat volume, dan uji hidrometer.

2.2.4.1 Uji Analisis Saringan

Metode ini mencakup penentuan dari distribusi ukuran butir tanah yang lebih besar dari 75 μm (tertahan oleh saringan nomor 200). Tanah butir kasar: tanah dengan ukuran butir $\geq 75\mu\text{m}$ (tertahan oleh saringan nomor 200) - Tanah butir halus (*fine grained soils*): tanah dengan ukuran butir $< 75 \mu\text{m}$ (lolos saringan nomor 200).

Maksud percobaan ini adalah untuk mengetahui distribusi ukuran butir tanah. Tujuannya adalah untuk mengklasifikasikan tanah butir kasar dengan mendapatkan koefisien keseragaman (C_u) dari kurva distribusi ukuran butir (gradasi) tanah. Dengan klasifikasi tanah, jenis tanah dapat ditentukan sehingga sifat teknis tanah secara umum dapat diperkirakan. Uji ini memiliki keterbatasan bahwa bentuk butir (bulat atau runcing) tidak dapat ditentukan, padahal sifat mekanis tanah bergantung kepada bentuk butir tersebut. Analisis saringan dilakukan dengan cara pengayakan sampel tanah melalui satu set saringan ayakan dari yang terbesar sampai dengan yang terkecil.

2.2.4.2 Uji Kadar Air Tanah

Uji kadar air tanah dilakukan untuk mengetahui kadar air dari suatu sampel tanah. Kadar air (W) adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah. Tujuan dari uji ini adalah sebagai bagian dari klasifikasi tanah dan untuk mengukur sifat-sifat fisis tanah. Untuk mengetahui kadar air tanah yang diinginkan, dilakukan dengan cara mengambil sampel tanah dan ditempatkan dalam kontainer lalu ditimbang (W_1). Kemudian sampel tanah tersebut di oven selama 24 jam dengan temperature $100 - 150^\circ\text{C}$. Setelah di oven dapat diketahui berat keringnya (W_2). Kemudian menimbang kontainer (W_c). Kadar air dapat diketahui dengan rumus :

$$W = \frac{(W_1 - W_2)}{(W_2 - W_c)} \quad (2.5)$$

2.2.4.3 Uji Berat Volume Tanah

Berat volume tanah merupakan salah satu sifat fisik tanah yang paling sering ditentukan, karena keterkaitannya yang erat dengan drainase. Uji berat volume tanah dilakukan untuk mengetahui berat volume dari sampel tanah tidak terganggu (UDS). Menentukan berat volume suatu tanah dengan cara menimbang berat sejumlah tanah yang isinya diketahui. Untuk tanah yang tidak terganggu (*undisturbed*) biasanya dipakai sebuah cincin yang sebelumnya berat dan volume cincin dihitung terlebih dahulu kemudian cincin dimasukkan ke dalam tanah sampai

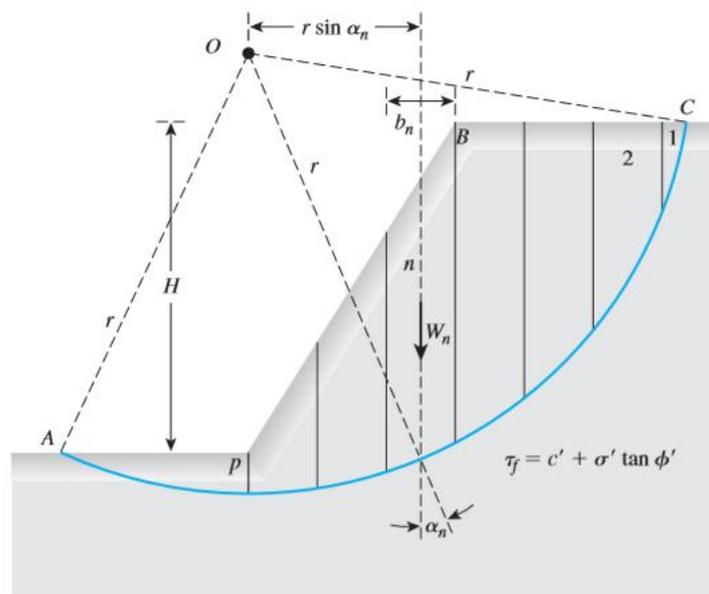
terisi penuh, kemudian atas bawahnya diratakan selanjutnya cincin serta tanahnya ditimbang. Maka berat volume dapat diketahui.

2.2.4.4 Uji Hidrometer

Metode ini mencakup penentuan dari distribusi ukuran butir tanah yang lolos saringan No. 200. Analisis hidrometer adalah suatu cara dari analisis distribusi ukuran butir tanah berdasarkan sedimentasi tanah dalam air. Analisis hidrometer ini bertujuan untuk mengetahui pembagian ukuran butir tanah yang berbutir halus. Lanau (*silt*) adalah tanah dengan ukuran butir antara 0.002 mm - 0.075 mm, Lempung (*clay*) adalah tanah dengan ukuran butir lebih kecil dari 0.002 mm.

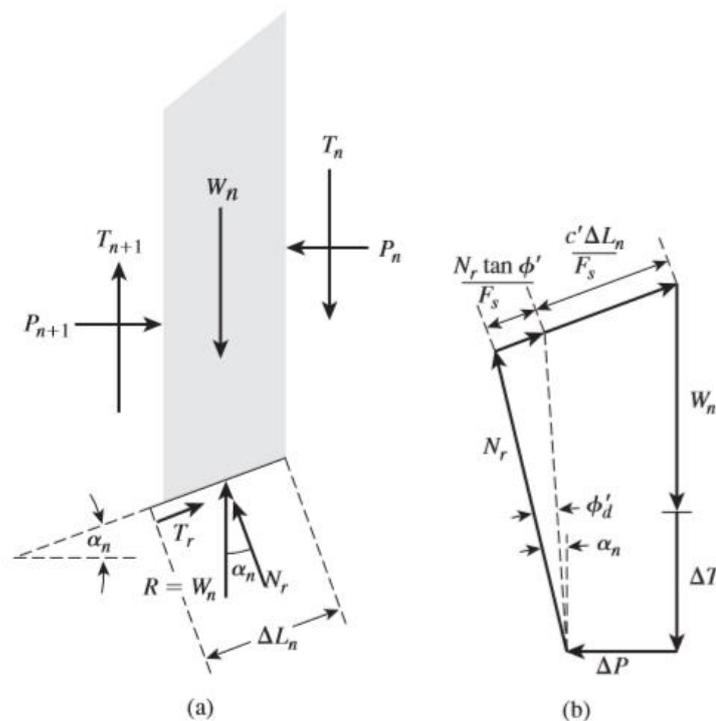
2.3 Metode Bishop (*Bishop Method*)

Pada tahun 1955 Bishop memperkenalkan suatu penyelesaian yang lebih teliti dari pada metode irisan yang sederhana (*Fellenius Method*) [23]. Dalam Metode ini mengabaikan gaya gesek antar irisan dan kemudian mengasumsikan bahwa gaya normal cukup untuk mendefinisikan gaya-gaya antar irisan. Gaya normal dan tiap irisan ditentukan dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal.



Gambar 2. 13 Trial failure surface (Braja M. Das, 2011)

Analisis kestabilan dengan menggunakan metode irisan dapat dijelaskan dengan penggunaan Gambar 2.13, di mana AC adalah busur lingkaran yang mewakili *trial failure surface*. Tanah di atas *trial failure surface* dibagi menjadi beberapa irisan vertikal. Lebar setiap irisan tidak harus sama. Mempertimbangkan panjang unit yang tegak lurus terhadap penampang yang diperlihatkan, gaya yang bekerja pada irisan n ditunjukkan dalam Gambar 2.14 (a). W_n adalah berat irisan. Gaya N_r dan T_r , masing-masing, adalah komponen normal dan tangensial dari reaksi R . P_n dan P_{n+1} adalah gaya normal yang bekerja pada sisi irisan. Demikian pula, gaya geser yang bekerja pada sisi irisan adalah T_n dan T_{n+1} . Untuk kesederhanaan, tekanan air pori diasumsikan nol. Gaya P_n , P_{n+1} , T_n , dan T_{n+1} sulit ditentukan. Namun, kita dapat membuat asumsi perkiraan bahwa resultan P_n dan T_n sama besarnya dengan resultan P_{n+1} dan T_{n+1} dan bahwa garis aksi mereka bertepatan.



Gambar 2. 14 (a) gaya yang bekerja pada irisan ke-n; (b) poligon gaya untuk keseimbangan (Braja M. Das, 2011)

Sekarang, memisalkan $P_n - P_{n+1} = \Delta P$ dan $T_n - T_{n+1} = \Delta T$. Kemudian, dapat ditulis bahwa

$$T_r = N_r (\tan \phi'_d) + c'_d \Delta L_n = N_r \left(\frac{\tan \phi'}{F_s} \right) + \frac{c' \Delta L_n}{F_s} \quad (2.6)$$

Gambar 2.14 (b) menunjukkan polygon gaya untuk keseimbangan dari irisan ke-n. Jumlahkan gaya dalam arah vertikal.

$$W_n + \Delta T = N_r \cos \alpha_n + \left[\frac{N_r \tan \phi}{F_s} + \frac{c \cdot \Delta L_n}{F_s} \right] \sin \alpha_n$$

atau:

$$N_r = \frac{W_n + \Delta T - \frac{c \cdot \Delta L_n}{F_s} \sin \alpha_n}{\cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \cdot \sin \alpha_n}{F_s}} \quad (2.7)$$

Untuk keseimbangan blok ABC (Gambar 12) ambil bagian terhadap titik O

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n r \sin \alpha_n = \sum_{n=1}^{n=p} T_r r \quad (2.8)$$

dengan

$$T_r = \frac{1}{F_s} (c' + \sigma' \tan \phi') \Delta L_n \quad (2.9)$$

$$T_r = \frac{1}{F_s} (c' \Delta L_n + N_r \tan \phi')$$

Substitusi persamaan (2.10) dan (2.12) ke dalam persamaan (2.11), dan didapatkan

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c' b_n + W_n \tan \phi' + \Delta T \tan \phi') \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (2.10)$$

dengan

$$m_{\alpha(n)} = \cos \alpha_n + \frac{\tan \phi' \sin \alpha_n}{F_s} \quad (2.11)$$

Untuk penyederhanaan, jika memisalkan $\Delta T = 0$, maka akan didapatkan persamaan angka keamanan menurut Bishop yang disesuaikan sebagai berikut:

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c' b_n + W_n \tan \phi') \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (2.12)$$

Dimana :

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

F_s = Angka keamanan Metode Bishop

c' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)

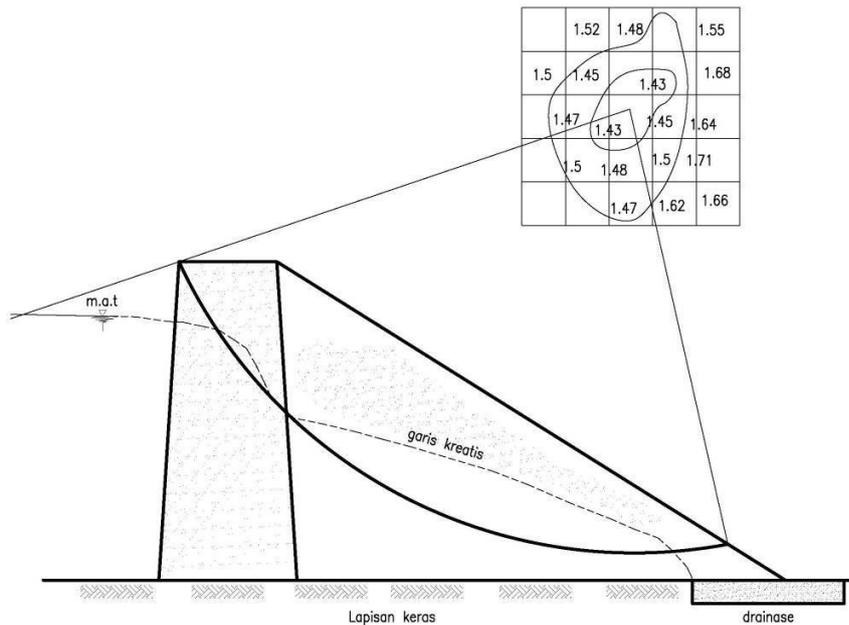
b_n = Lebar irisan ke-n (m)

W_n = Berat irisan ke-n (kN)

ϕ' = Sudut geser tanah (°)

Metode Bishop ini menggunakan cara *trial and error*, tetapi hasil perhitungannya lebih teliti. Lokasi lingkaran longsor kritis Metode Bishop (1955), biasanya mendekati hasil lapangan, karena itu metode ini lebih disukai.

Cara *trial and error* diperlukan untuk menentukan bidang longsor dengan F terkecil, buat kotak-kotak dimana tiap titik potong garisnya merupakan tempat kedudukan pusat lingkaran longsor. Pada pusat lingkaran longsor ditulis F yang terkecil pada titik tersebut, yaitu dengan mengubah jari-jari lingkarannya. Setelah F terkecil pada tiap titik pada kotaknya diperoleh, gambar garis kontur yang menunjukkan kedudukan pusat lingkaran dengan F yang sama (Gambar 2.15). Dari sini bisa ditentukan letak pusat lingkaran dengan F yang kecil [24].



Gambar 2. 15 Contoh Kontur Faktor Keamanan (Janbu dkk, 1956)

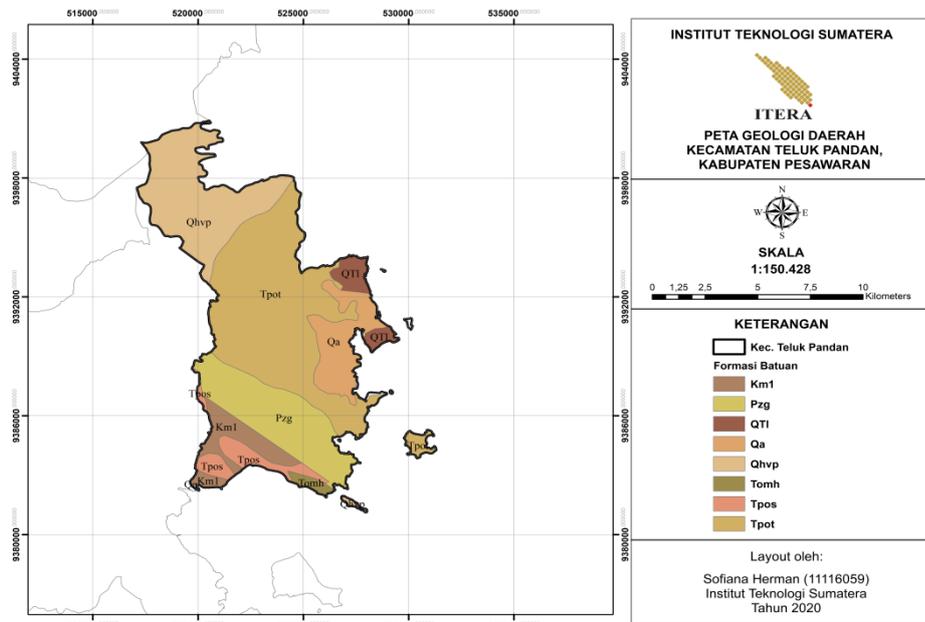
2.4 Software STABLE 9.03

Software STABLE 9.03 adalah *software* yang digunakan untuk mengetahui nilai faktor keamanan suatu lereng dengan melakukan pengolahan data berupa penampang kemiringan lereng dan parameter kuat geser tanah. Dimana, dalam pengolahannya ada 3 analisis yang digunakan yaitu: Analisis Bishop, Analisis Morgenstren dan Analisis SARMA. Data yang telah didapatkan dapat langsung dimasukkan ke data tabel yang tersedia. *Software STABLE 9.03* dapat menampilkan geometri penampang di *Section Window*. File data dapat langsung tersimpan dalam file manager yang telah disediakan yang harus dilakukan hanya memberikan judul yang sesuai. Hasil analisis ditampilkan dalam 3 jendela terpisah, *Summary Window* yang menunjukkan Faktor Keamanan yang kritis untuk setiap permukaan atau lingkaran, *Window Showing* yang menunjukkan lebih banyak informasi untuk setiap permukaan, dan *Section Window* yang menampilkan geometri dan permukaan kritis.

2.5 Geologi Regional Daerah Penelitian

Daerah penelitian pada skripsi ini yaitu pada daerah Kabupaten Pesawaran tepatnya di lereng bukit yang berada di Jalan Raya Way Ratay, Kecamatan Teluk Pandan pada Koordinat $5^{\circ}34'06.9''\text{S}$ dan $105^{\circ}13'56.3''\text{E}$.

Berdasarkan Peta Geologi Daerah Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran dengan geologi batuan dasar di daerah Kecamatan Teluk Pandan disusun oleh batupualam trimulyo (Pgzm), aluvium (Qa), endapan gunungapi muda (Qhv), formasi hulusimpang (Tomh), formasi sabu (Tpos), formasi tarahan (Tpot), formasi menanga (Km1), dan sekis way galih (Pzgs). Peta Geologi Daerah Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran dapat dilihat pada Gambar 2.16.



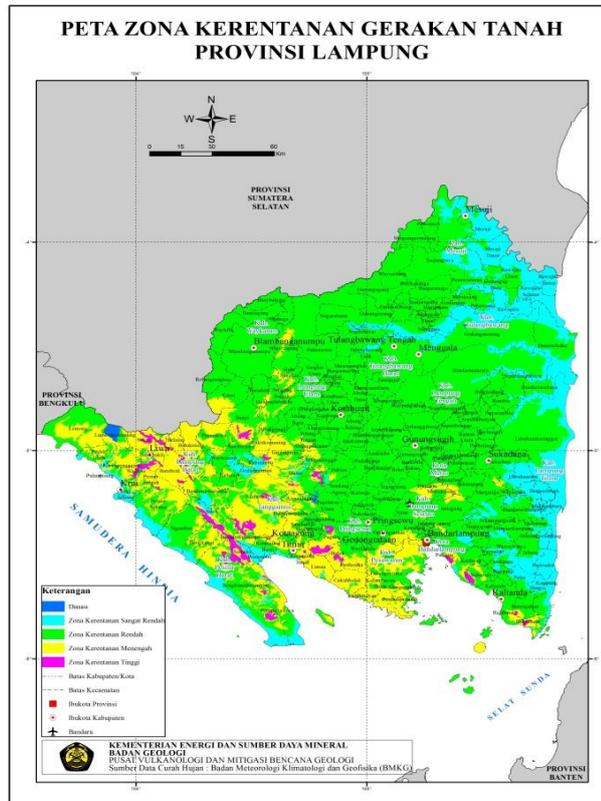
Gambar 2. 16 Peta Geologi Daerah Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran

Secara geologi, di wilayah Kabupaten Pesawaran terdapat beberapa formasi yang berasal dari masa Tersier dan Kuartar. Formasi Qhv (Batuan Gunung Api kuartir muda) merupakan formasi terluas dan mendominasi di wilayah Kecamatan Gedong Tataan dan Kecamatan Way Lima. Di Kecamatan Teluk Pandan, formasi ini terutama terdapat di bagian tengah, utara, dan sebagian timur. Formasi TovkQvt (batuan gunung api kuartir tua) mendominasi wilayah Kecamatan Punduh Pidada. Formasi ini juga terdapat di wilayah Kecamatan Kedondong dan sebagian wilayah

Kecamatan Teluk Pandan di bagian barat dan selatan. Formasi adalah suatu susunan batuan yang mempunyai keseragaman ciri-ciri geologis yang nyata, baik terdiri dari satu macam jenis batuan, maupun perulangan dari dua jenis batuan atau lebih yang terletak di permukaan bumi atau di bawah permukaan. Formasi geologi ini menunjukkan kelompok-kelompok batuan yang berguna sebagai indikator terdapatnya suatu bahan tambang [26].

2.6 Zona Kerentanan Gerakan Tanah

Menurut Pusat Vulkanologi Mitigasi dan Bencana Geologi (PVMBG) kerentanan gerakan tanah di Kabupaten Pesawaran termasuk ke dalam zona kerentanan menengah. Pada zona ini dapat terjadi gerakan tanah terutama pada daerah yang berbatasan dengan lembah, gawir, tebing jalan atau jika lereng mengalami gangguan. Gerakan tanah lama dapat aktif kembali akibat curah hujan yang tinggi dan erosi kuat. Berikut merupakan Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Provinsi Lampung :



Gambar 2. 17 Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Provinsi Lampung (PVMBG, 2019)

Topografi wilayah Kabupaten Pesawaran bervariasi antara dataran rendah dan dataran tinggi, yang sebagian merupakan daerah berbukit sampai bergunung dengan ketinggian dari permukaan laut antara 50 sampai dengan 1.437 meter. Kabupaten Pesawaran merupakan daerah beriklim tropis, dengan curah hujan rata-rata berkisar 43 – 383,9 mm dan rata-rata jumlah hari hujan 12,5 hari/bulan, suhu udara rata-rata berkisar 26,4°C – 27,2°C, dan rata-rata kelembaban udara berkisar 77% – 86% [25]. Bentuk topografi wilayah Kabupaten Pesawaran berdasarkan kemiringan lerengnya dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu 0 - 8 % dan > 40 %. Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metoda interpolasi dapat diketahui sebagian besar wilayah merupakan wilayah berbukit terjal yang hampir tersebar di seluruh bagian wilayah. Sedangkan wilayah yang memiliki kondisi lahan yang cukup datar berada di wilayah bagian utara.

Luas wilayah dengan topografi 0 – 8% terbesar adalah sebesar 6.155,76 yang tersebar di wilayah Kecamatan Negeri Katon. Sedangkan topografi > 40 % terbesar adalah sebesar 35.394,05 yang tersebar di Kecamatan Teluk Pandan. Adapun pengelompokan luas wilayah berdasarkan kemiringan lereng di Kabupaten Pesawaran adalah sebagai berikut :

- Kemiringan lereng 0 – 8% : 11. 337,85 Ha (9,66 %)
- Kemiringan lereng > 40 % : 106.079,78 Ha (90,38 %)

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya mineral Tahun 2008, potensi pergerakan tanah di wilayah Kabupaten Pesawaran dapat dibagi menjadi dua kelas, yaitu potensi rendah dan menengah. Dengan kondisi tersebut, kemampuan pergerakan struktur tanah di wilayah ini cukup stabil dalam mengantisipasi pergeseran tanah akibat longsor maupun banjir

Sebagian besar wilayah Kabupaten Pesawaran termasuk dalam klasifikasi jenis pergerakan potensi tanah rendah sebesar 16.696,11 Ha yang tersebar di Kecamatan Teluk Pandan dan jenis potensi menengah sebesar 18.726,33 Ha yang tersebar di Kecamatan Teluk Pandan. Selain itu daerah rawan bencana di Kabupaten Pesawaran berada di Kecamatan Teluk Pandan berupa wilayah potensi bencana tanah longsor, potensi banjir, bencana tsunami dan angin ribut.