



BAB III
METODELOGI PENELITIAN

A. Kondisi Geologi Regional

Penelitian ini dilakukan di dua lokasi yang berbeda yaitu Cihanjuang Rahayu-Parongpong dan Lembang, Kabupaten Bandung Barat. Berikut merupakan peta kerentanan gerakan tanah, elevasi, dan koordinat lokasi penelitian yang disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Peta Kerentanan Gerakan Tanah
(Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi)

Lokasi	Peta Kerentanan Gerakan Tanah	Koordinat	Elevasi (mdpl)
Cihanjuang Rahayu-Parongpong (Daerah-1)		-6.824264° LS, 107.573893° BT	1215
Lembang (Daerah-2)		-6.805326° LS, 107.6486648° BT	1175

Keterangan : warna merah muda, kuning, hijau, biru secara berurutan mengindikasikan zona kerentanan pergerakan tanah tinggi, menengah, rendah, dan sangat rendah.

Cihanjuang Rahayu-Parongpong (Daerah-1) dan Lembang (Daerah-2), kedua daerah tersebut termasuk pada wilayah Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. Karakteristik geologi lokasi penelitian terdiri dari pedataran aluvial dan gunung berapi (vulkanik). Menurut Bemmlen (1949) secara fisiografi, lokasi termasuk kawasan Zona Bandung terisi oleh endapan aluvial dan vulkanik muda (kwarter) tetapi di beberapa tempat merupakan campuran endapan tertier dan kwarter.

Menurut Pemerintah Daerah Kabupaten Bandung Barat penggunaan lahan di wilayah Kabupaten Bandung Barat untuk budidaya pertanian merupakan penggunaan lahan terbesar yaitu 66.500,294 HA, sedangkan yang termasuk kawasan lindung seluas 50.150,928 HA, budidaya non pertanian seluas 12.159,151 HA dan lainnya seluas 1.768,654 HA. Luas wilayah lindung di daerah Kabupaten Bandung Barat terkait kondisi fisik geografis posisi wilayah Kabupaten Bandung Barat yang dinilai kurang menguntungkan dikarenakan terdiri dari banyak cekungan yang berbukit-bukit dan di daerah-daerah tertentu sangat rawan dengan bencana alam.



Cihanjuang Rahayu-Parongpong



Lembang

Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

Secara umum, topografi lokasi berada pada kawasan pegunungan. Daerah-1 memiliki kemiringan agak terjal yaitu 68° sedangkan Daerah-2 kemiringan terjal yaitu 79° . Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi mengkategorikan lokasi ini sebagai lokasi rentan pergerakan tanah yang menengah-tinggi berdasarkan empat faktor penyebab yaitu (1) Curah hujan tinggi yang turun sebelumnya semakin memicu terjadinya gerakan tanah (2) Sistem drainase lereng yang tidak memadai (3) Adanya bidang lemah antara kontak batuan dasar dengan tanah pelapukan yang menyusun batuan di daerah tersebut. Material yang lunak dan lepas-lepas sehingga mudah longsor (4) Kurangnya tanaman (vegetasi) yang berakar kuat dan dalam yang berfungsi sebagai pengikat tanah.

B. Alur Penelitian

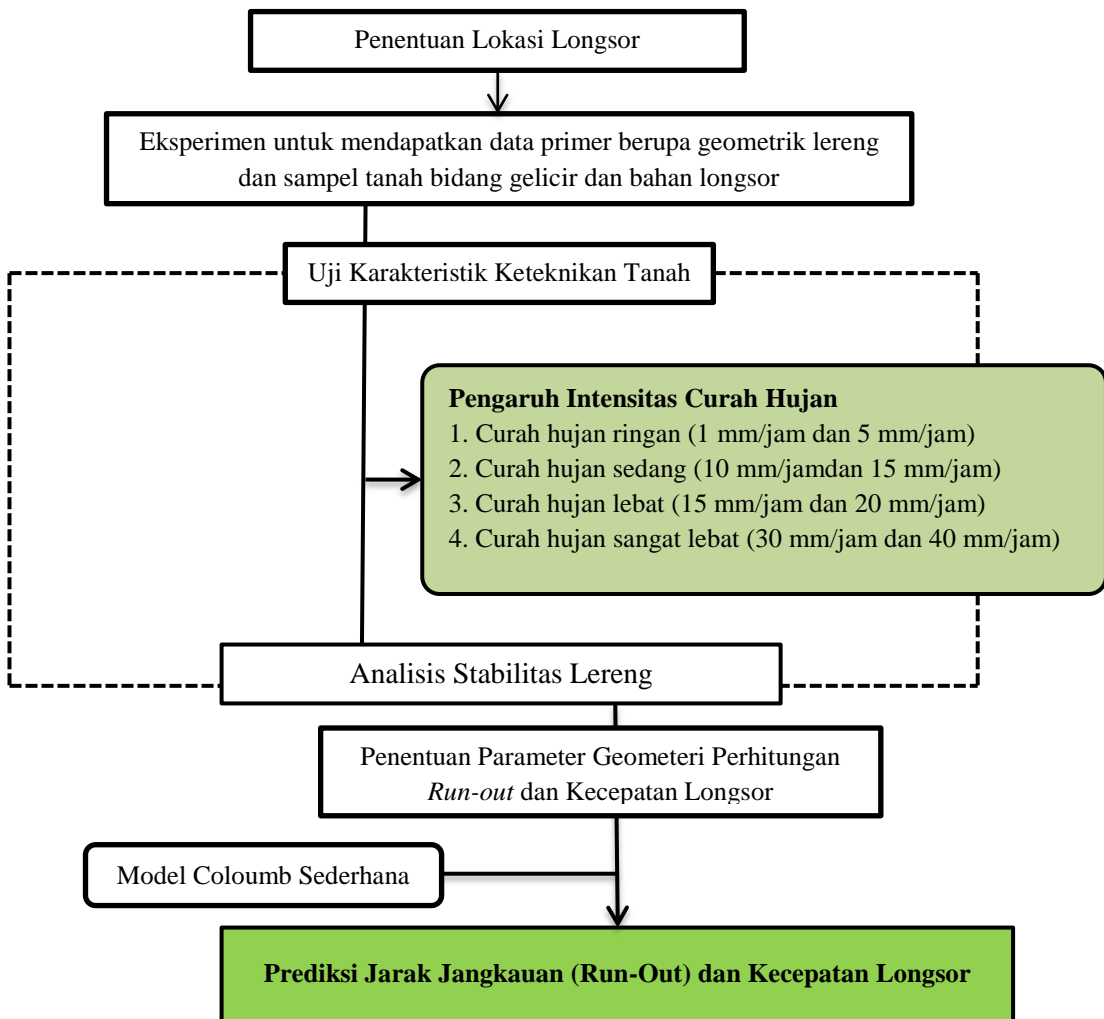
Penelitian ini memerlukan data primer yang berasal dari lokasi kejadian longsor. Kegiatan pengambilan data yang dilakukan di lokasi longsor berupa pengukuran geometri serta pengambilan sampel tanah tak terganggu (*undisturb*) dan sampel tanah terganggu (*disturb*) untuk kemudian dilakukan karakterisasi melalui uji keteknikan tanah di Laboratorium. Informasi tersebut akan digunakan untuk memodelkan volume tanah yang tidak stabil dan kedalaman bidang gelincir serta digunakan untuk simulasi numeris intensitas curah hujan menggunakan *Geo-Seep/W* dan dapat dianalisis stabilitas lereng tersebut menggunakan *Geo-Slope/W* untuk mengetahui prediksi jarak jangkauan (*run-out*) longsor. Adapun alur penelitian terdapat pada Gambar 3.2.

C. Pengambilan Sampel Tanah

Kegiatan pengambilan sampel tanah dilakukan untuk mendapatkan data yang digunakan dalam uji karakteristik keteknikan tanah pada satu titik pengamatan, misalnya pada lokasi terjal. Analisis karakteristik keteknikan tanah ini memerlukan sampel tanah yang berbeda, tergantung tujuannya.

Pada penelitian ini kita mengambil dan melakukan pengujian dengan sampel tanah tak terganggu (*undisturbed soil sample*), dan sampel terganggu (*disturbed*

soil sample). Suganda dalam Kurnia dkk (2014), kegiatan ini merupakan tahapan penting untuk uji karakteristik keteknikan tanah di laboratorium karena pada prinsipnya hasil analisis karakteristik keteknikan tanah di laboratorium harus dapat menggambarkan keadaan sebenarnya karakteristik keteknikan tanah di lapangan.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

Tabel 3.2 Peralatan untuk Pengambilan Sampel

Jenis Sampel tanah	Alat yang digunakan
Sampel tanah tak terganggu (<i>undisturbed soil sample</i>)	Tabung logam (<i>ring sample</i>), sekop, pisau tajam tipis, balok kayu, <i>cling warp</i> ,

	palu
Sampel tanah terganggu (<i>disturbed soil sample</i>)	Sekop, plastik

Proses pengambilan sampel tanah tak terganggu yaitu dengan meratakan dan membersihkan permukaan tanah dari rumput atau serasah, menggali tanah sampai kedalaman 5-10 cm di sekitar tempat peletakan tabung, kemudian meletakkan tabung di atas permukaan tanah secara tegak lurus dengan permukaan tanah. Tabung yang di atasnya telah diletakan balok kecil kemudian ditekan menggunakan palu hingga semua bagian masuk kedalam tanah. Ketika menggali tanah untuk mengambil tabung yang tertancap maka galian tanah harus lebih dalam dari ujung tabung agar tanah di bawah tabung ikut terangkat. Kemudian tutup tabung menggunakan *cling wrap* yang telah tersedia. Setelah itu kita dapat memberi label di bagian atas sampel tanah yang berisi informasi seperti tanggal, dan lokasi pengambilan sampel tanah. Sampel tanah tersebut diambil untuk diuji karakteristik keteknikan tanah.



Gambar 3.3 Pengambilan Sampel Tanah

D. Penentuan Karakteristik Tanah Lereng Potensi Longsor

Setelah mengambil sampel tanah dari Lapangan maka tanah lereng potensi longsor tersebut dikarakterisasi melalui berbagai pengujian keteknikan tanah sebagai berikut :

1. Uji standar ASTM D 2216 untuk menentukan kadar air (*moisture content*)

Kadar air atau *water content* (w) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki. Metode yang di gunakan dalam penentuan kadar air tanah yaitu metode gravimetri. Metode gravimetri dimulai dengan mengambil sampel tanah di lapang. Kemudian dilakukan pengujian di Laboratorium dengan menyiapkan cawan kosong lalu menimbang berat cawan yang digunakan dan mencatat beratnya, W_1 . Memasukan sampel tanah uji ke dalam cawan, kemudian menimbang dan mencatat beratnya, W_2 . Mengeringkan sampel tanah uji dalam oven dengan suhu 110°C dalam keadaan terbuka selama 24 jam atau sampai berat contoh tanah konstan. Mengeluarkan sampel tanah uji dari oven dan dinginkan. Hingga menimbang berat sampel uji yang telah kering tersebut, W_3 .

Berat air (W_w) = $W_2 - W_3$

Berat *solid* (W_s) = $W_3 - W_1$

Maka, Kadar air (w) = $\frac{W_w}{W_s} \times 100\%$ (3.1)



Gambar 3.4 Pengujian Kadar Air Tanah

2. Uji standar ASTM D 7263 untuk Menentukan Berat Isi, Porositas, dan Derajat Saturasi

Menurut Lembaga Penelitian Tanah (1979), definisi berat isi tanah adalah berat tanah utuh (*undisturbed*) dibagi dengan volume tanah, dinyatakan dalam g/cm^3 . Berat isi terbagi menjadi dua yaitu berat isi tanah kering dan berat isi tanah basah. Berat isi tanah basah merupakan hasil perbandingan antara berat

tanah basah, W_{ws} dengan volume tanah, V . Sedangkan berat isi tanah kering merupakan perbandingan antara berat isi tanah basah, γ_{ws} dengan kadar air, w .

$$\gamma_{ws} = \frac{W_{ws}}{V} \quad \text{dimana } \gamma_{ws} \text{ merupakan berat isi tanah basah} \quad (3.2)$$

$$\gamma_{ds} = \frac{\gamma_{ws}}{1+w} \quad \text{dimana } \gamma_{ds} \text{ merupakan berat isi tanah kering} \quad (3.3)$$

Teknik untuk mendapatkan nilai berat isi yaitu menimbang sampel tanah alami, kemudian sampel tanah dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 24 jam. Setelah sampel tanah dikeluarkan dari oven dan menjadi dingin maka timbang kembali sampel tanah tersebut. Untuk mengetahui volume tanah tersebut maka kita harus mengukur diameter dan tinggi ring tanah tersebut dengan menggunakan jangka sorong.

Nilai berat isi ini penting untuk diketahui karena dapat mempengaruhi parameter fisis lainnya seperti derajat kejenuhan dan porositas. Berikut parameter yang berkaitan dengan berat isi :

- (a) Derajat kejenuhan atau *degree of saturation* (S) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori ,atau

$$S = \frac{V_w}{V_p} \quad (3.4)$$

- (b) Porositas atau *porosity* (\emptyset) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume tanah total yang dinyatakan dalam bentuk persentase antara 0 sampai 100%.

$$(\emptyset) = \frac{V_p}{V} \times 100\% = \frac{\text{Volume pori}}{\text{Volume total}} \times 100\% \quad (3.5)$$



Gambar 3.5 Pengujian Berat Isi Tanah

3. Uji standar ASTM D 5084 untuk Menentukan Konduktivitas Hidrolik (*Hydraulic Conductivity, k*)

Aliran air terjadi jika terdapat perbedaan tinggi antara dua tempat. Kecepatan aliran ditentukan oleh gradien hidrolik antara kedua tempat $i = \frac{h}{L}$.

Aliran air dalam tanah pada umumnya berupa aliran laminar, maka berlaku Hukum *Darcy* bahwa kecepatan aliran atau kecepatan Darcy berbanding langsung dengan gradien hidrolik, $v = k i$ (3.6)

Besarnya debit yang mengalir persatuan waktu adalah $q = kiA$, dimana q = kecepatan aliran (cm^3/s), A = luas penampang tanah yang dialiri air (cm^2), k adalah koefisien rembesan yang memiliki satuan cm/s disebut juga sebagai ukuran ketahanan tanah dalam mengalirkan air. Ketika sifat air yang mempengaruhi aliran, kita dapat mengekspresikan k dengan relasi berikut :

$$k(\text{cm/s}) = \frac{K\rho g}{\mu} \quad (3.7)$$

Dimana

K = permeabilitas atau rembesan intrinstrik (cm^2),

ρ = massa jenis dari fluida (g/cm^3),

g = percepatan gravitasi ($\frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$),

μ = viskositas mutlak fluida ($\frac{\text{g}}{\text{cm}} \cdot \text{s}$)

Koefisien rembesan tanah biasanya dinyatakan pada suhu 20°C . Pada setiap T suhu lainnya, koefisien rembesan dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$\frac{k_{20}}{k_T} = \frac{(\rho_{20})(\mu_T)}{(\rho_T)(\mu_{20})} \quad (3.8)$$

Dimana k_{20}, k_T = koefisien permeabilitas pada 20°C dan $T^\circ\text{C}$, ρ_{20}, ρ_T = massa jenis fluida pada 20°C dan $T^\circ\text{C}$, μ_{20}, μ_T = koefisien viskositas pada 20°C dan $T^\circ\text{C}$.



Gambar 3.6 Pengujian Konduktivitas Hidroulik

Semakin kecil ukuran partikel maka semakin kecil pula ukuran pori, dan semakin rendah koefisien rembesannya. Berarti suatu lapisan tanah berbutir kasar yang mengandung butiran-butiran halus memiliki harga k yang lebih rendah. Pada uji laboratorium ini digunakan yaitu metode *Falling Head*.

$$Q = K i A = K \frac{h}{L} A = -a \frac{dh}{dt}$$

$$\int_0^t dt = \int_{h_1}^{h_2} \frac{aL}{AK} \left(-\frac{dh}{h} \right)$$

$$K = 2,303 \frac{aL}{At} \left(\log \frac{h_2}{h_1} \right) \quad (3.9)$$

Dimana K = konstanta rembesan (cm/s), h_2, h_1 = ketinggian air dalam waktu tertentu (cm), t = waktu (s), A = luas penampang sampel tanah (cm²), a = luas penampang buret (cm²), L = tinggi sampel tanah (cm).

4. Uji standar ASTM D 422 untuk Menganalisis Ukuran Butir (*Grain Size Analysis*)

Untuk menentukan rentang ukuran partikel tanah yang biasanya dinyatakan dalam presentasi dari berat kering total dilakukan analisis secara mekanis. Ada dua metode yang umum digunakan untuk memberikan informasi ukuran partikel tanah, yaitu :

4.1 Analisis saringan (*sieving analysis*)

Ukuran partikel tanah dapat diketahui melalui analisis saringan, analisis ini dapat menentukan gradasi butir (distribusi ukuran butir), yaitu dengan menggetarkan sampel tanah kering melalui satu set ayakan dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kebawah makin kecil secara berurutan. Batas terbawah dalam saringan adalah ukuran terkecil untuk partikel pasir.



Gambar 3.7 Pengujian Analisis Saring

4.2 Analisis Pengendapan (Hidrometer)

Proses penyaringan tidak dapat digunakan untuk tanah berbutir halus seperti lanau dan lempung karena ukuran partikelnya sangat kecil berupa koloid (*colloid*). Metode analisis di laboratorium yang biasa digunakan untuk menentukan distribusi ukuran tanah berbutir halus adalah pengujian hidrometer. Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip-prinsip pengendapan butiran tanah di dalam air. Bila sampel tanah terdispersi di dalam air, partikel-partikel mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda bergantung pada ukuran, berat, dan bentuk serta kekentalan (*viscosity*) air. Partikel-partikel yang lebih besar akan mengendap lebih cepat diikuti dengan partikel-partikel yang lebih kecil. Untuk memudahkan dalam analisis pengendapan ini partikel-partikel dianggap berbentuk bulat dan kecepatan partikel tanah dapat dinyatakan dengan hukum Stokes (*Stokes' law*), yaitu :

$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18\eta} D^2 \quad (3.10)$$

Dimana v = kecepatan , ρ_s = *rapat massa partikel tanah*, ρ_w = *rapat massa air* , D = diameter tanah, η = *kekentalan air*.



Gambar 3.8 Pengujian Hidrometer

Hidrometer yang dimasukkan dalam larutan tanah-air akan tenggelam hingga gaya angkat (*buoyancy force*) cukup untuk menyeimbangkan berat hidrometer. Panjang hidrometer yang berada di atas larutan merupakan fungsi dari rapat massa (*density*), temperatur dan berat jenis dari larutan. Dari persamaan (3.10).

$$D = \sqrt{\frac{18\eta v}{\rho_s - \rho_w}} = \sqrt{\frac{18\eta}{\rho_s - \rho_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (3.11)$$

$$v = \frac{L}{t} = \frac{\text{kedalaman}}{\text{waktu}} \quad (3.12)$$

Diketahui, $\rho_s = G_s \cdot \rho_w$

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{(G_s - 1) \cdot \rho_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (3.13)$$

Jika satuan dari η adalah g.s/cm², ρ_w diambil sama dengan 1 g/cm³, L dalam cm, dan t dalam satuan detik (s), maka D dapat dinyatakan dalam satuan mm sehingga persamaan dapat ditulis menjadi :

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (3.14)$$

Dimana K merupakan konstan fungsi dari G_s dan η yang dipengaruhi oleh temperature. Nilai kedalaman efektif L terdapat pada Lampiran 1. Dan nilai konstanta K terdapat pada Lampiran 2.

Perhitungan persentase seluruh sampel tanah yang terdapat dalam campuran aquades + gliserin + tanah dapat menggunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{R_c \times a}{w_s} \times 100\% \quad (3.15)$$

Dimana R_c merupakan pembacaan hidrometer terkoreksi, a merupakan faktor koreksi berat jenis (Lampiran 3), w_s merupakan berat sampel tanah. Pembacaan hidrometer terkoreksi adalah sebagai berikut:

$$R_c = R_{terbaca} + C_T \quad (3.16)$$

Dimana $R_{terbaca}$ merupakan nilai yang terbaca langsung dari hidrometer dan C_T merupakan koreksi suhu (Lampiran 4). Maka, persentase diameter butiran yang mengendap terhadap sampel keseluruhan dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$P_A = \frac{P \times F_{200}}{100} \quad (3.17)$$

Dimana F_{200} merupakan persentase yang lolos saringan nomor 200.

5. Uji standar ASTM D 854-00 untuk Menentukan Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah atau *Specific gravity* (Gs) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat satuan butir padat dengan berat satuan volume.

$$G_s = \frac{W_s}{W_v} \text{ atau } G_s = \frac{W_s \times K}{W_s + W_{bw} - W_{bws}} \quad (3.18)$$

Dimana W_s = berat tanah kering, W_{bw} = berat *picnometer* dan air dalam kondisi T tertentu, W_{bws} = berat *picnometer*, air, dan tanah dalam kondisi T tertentu, W_v = berat satuan volume, K = koreksi temperatur.

Berat jenis partikel dihitung berdasarkan pengukuran massa dan volume partikel tanah. Massa padatan tanah ditentukan dengan menimbang sampel tanah kering yang di oven (105°C, selama 24 jam). Volume partikel dihitung dari massa dan berat jenis zat cair yang dipisahkan oleh partikel tanah (metode *picnometer*).



Gambar 3.9 Pengujian Berat Jenis Tanah

6. Uji standar ASTM D4318-84 untuk Menentukan Batas Atterberg (Batas Plastis (PL), Batas Susut dan Batas Cair (LL))

Batas Atterberg merupakan suatu metode yang menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi ditemukan oleh seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterberg. Kegunaan batas Atterberg adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan.

Batas plastisitas yaitu kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk atau volume tanpa terjadinya retak-retak yang disebabkan oleh penyerapan air di sekeliling permukaan partikel lempung. Cara pengujiannya dengan menggulung adonan campuran tanah dan air hingga membentuk seperti cacing berdiameter 3 mm diatas plat kaca. Kemudian tanah tersebut dimasukkan kedalam cawan dan diukur berat. Lalu, dioven selama satu hari dan diukur kembali beratnya. Setelah itu dilakukan perhitungan untuk menentukan kadar air seperti yang dilakukan pada perhitungan sebelumnya.



Gambar 3.10 Pengujian Batas Plastisitas

Tanah berubah dari kondisi agak padat menjadi padat dinamakan dengan batas susut (*shrinkage limit*), SL. Batas Susut (SL) menyatakan bahwa suatu tanah akan menyusut jika air yang dikandungnya perlahan-lahan hilang dalam

tanah. Dengan hilangnya air dalam tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan dimana penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume. Pengujian diawali memasukan adonan secara merata kedalam cawan kecil. Kemudian adonan tersebut dimasukkan kedalam oven selama satu hari. Setelah di oven, adonan tersebut didinginkan untuk ditimbang dan dihitung kadar airnya. Persamaan batas susut adalah sebagai berikut:

$$SL = w - \left[\left(\frac{V - V_0}{W_0} \right) \times 100\% \right] \quad (3.19)$$

Dimana SL adalah batas susut, w adalah kadar air, W_0 adalah berat tanah kering, V adalah volume tanah basah, dan V_0 adalah volume tanah kering. Kadar air dan berat tanah kering telah didapat pada proses menghitung kadar air.



Gambar 3.11 Pengujian Batas Susut

Volume tanah kering didapatkan dengan mengetahui besar perubahan volume yang menyusut. Langkah pertama adalah dengan membersihkan cawan dari tanah kering. Kemudian cawan tersebut diisi dengan raksa hingga penuh. Ratakan permukaan raksa pada cawan dengan menggunakan plat yang rata. Letakkan cawan berisi raksa diatas dish yang telah diukur beratnya. Timbang berat ketiga benda tersebut. Setelah itu letakkan tanah kering yang telah mengeras diatas cawan yang berisi raksa. Tekan tanah tersebut dengan plat yang terdapat tiga ujung dibawahnya. Kemudian timbang berat raksa yang tumpah dan berada di dalam dish. Dengan menggunakan hubungan

massa jenis, volume tanah basah dapat dihitung seperti pada persamaan dibawah ini.

$$V = \frac{W_r}{\rho_r} \quad (3.20)$$

$$V_0 = \frac{W_{rtk}}{\rho_r} \quad (3.21)$$

Dimana W_r adalah berat raksa, W_{rtk} adalah berat raksa yang tumpah kedalam dish, dan ρ_r adalah massa jenis raksa yaitu 13,6 gram/cm³.

Batas cair (*liquid limit*) yang disimbolkan dengan LL. Batas cair adalah kadar air batas dimana suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis. Proses pengujiannya adalah meletakkan adonan dalam alat uji yang bernama Casagrande. Kemudian membuat galur ditengah mangkuk. Mangkuk dapat bergerak naik turun sehingga menimbulkan ketukan. Ketika proses pengujian, peneliti harus melihat galur sudah pada ketukan berapa galur tersebut tertutup. Jumlah ketukan ini yang akan menjadi standar hitungan. Kadar air yang diperoleh dan jumlah ketukan diplot ke grafik. Nilai kadar air pada ketukan 25 adalah batas cair (LL) tanah yang diuji.



Gambar 3.12 Pengujian Batas Cair

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis, dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis, $PI = LL - PL$ (3.22) atau dikenal sebagai jangkauan kadar air dimana tanah bersifat plastis. Maka ini akan menunjukkan tingkat keplastisan tanah. Parameter lainnya yaitu

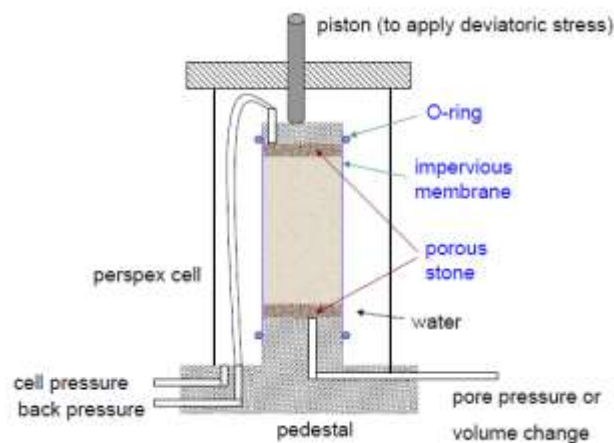
indeks cair (*liquidity index*, LI), untuk menentukan kadar air suatu tanah pada batas keadaan cair.

$$LI = \frac{w-PL}{PI} \quad (3.23)$$

Dimana w = kadar air tanah asli, PL = batas plastis tanah, PI = indeks plastisitas tanah.

7. Uji ASTM D-2850-95 Triaxial UU-BP (*Unconsolidated Undrained- Back Pressure*) untuk Menentukan Sudut Geser (ϕ) dan Kohesi Tanah (c)

Pengujian ini dilakukan terhadap sampel dengan menstimulusasi seperti keadaan tanah aslinya. Adalah dengan adanya pemberian tegangan atau tekanan *cell* yang menentukan pada seluruh permukaan sampel. Uji triaxial UU-BP merupakan uji kompresi triaxial dengan tidak diperkenankan melakukan perubahan kadar air dalam sampel tanah. Sampel tanah tidak dikonsolidasi dan air pori tidak teralir saat pemberian tegangan geser (σ). Sampel pada percobaan ini memiliki derajat kejenuhan tidak 100%. Derajat kejenuhan yang berbeda akan menghasilkan c dan ϕ yang berbeda. Maka dengan sistem *Back Pressure* yang dilakukan pada sampel diharapkan sampel dapat jenuh paling tidak adalah mendekati $S_r \sim 100\%$.

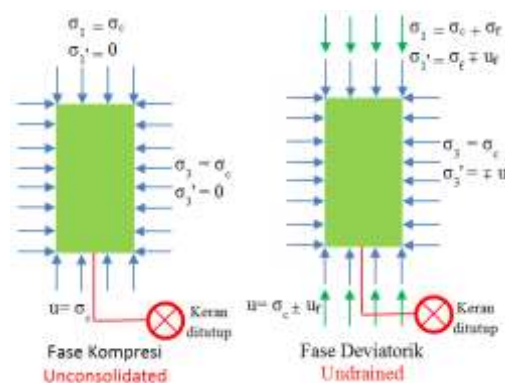


Gambar 3.13 Skema Pengujian Triaxial (Oetomo, James. 2013)

Setelah sampel dan peralatan siap. Tahap pertama yang dilakukan adalah menjenuhkan sampel dengan prinsip memberi tekanan pada sampel σ_3 pada

cell. Lalu diberikan tekanan kembali (*Back Pressure*) dengan selisih 0,1 kg/cm² lebih kecil dari σ_3 hingga dapat terjadi aliran air. Setiap tahap dibaca tekanan pori, hingga dapat diketahui Δu (selisih tekanan pori). Tanah diindikasikan jenuh apabila $Bvalue = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3} \approx 1$ (3.24)

Setelah sampel di *Back Pressure* dan tanah memiliki $S_r \sim 100\%$ ($Bvalue=1$) maka dilakukan pemberian gaya *axial* dengan prinsip tanah diberi tekanan dalam arah *axial* dengan suatu kecepatan tertentu (*strain rate* = 0,15 mm/menit). Lalu dicatat setiap *strain* tertentu dengan hubungan terhadap gaya σ_1 (tekanan pada *proving ring* terbaca pada *dial gauge*). Hingga tanah runtuh ditunjukkan dengan tetapnya bacaan *dial gauge* di *proving ring* sebanyak 3 kali atau turunnya bacaan meskipun penekanan tetap dilakukan.



Gambar 3.13 Skematis Uji UU-BP (Oetomo, James. 2013)

Perhitungan dilakukan setelah mendapatkan parameter σ_1 , σ_3 , γ_n , γ_1 , w_o , w_1 , dan B . Grafik hubungan antara $\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ dan $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ dapat memberi informasi $\alpha(^{\circ})$ dan a (kg/cm²). Maka c dan ϕ diketahui sebagai berikut :

$$\phi = \arcsin(\tan \alpha) \quad (3.25)$$

$$c = \frac{a}{\cos \phi} \quad (3.26)$$



Gambar 3.14 Uji Triaxial UU-BP

Pengujian ini mengukur parameter berat isi tanah kering dan basah, berat jenis, derajat kejenuhan, porositas, indeks plastis, batas cair, koefisien rembesan, kohesi, sudut geser, dan distribusi ukuran butir. Parameter-parameter tersebutlah yang menggambarkan karakteristik tanah bidang gelincir dan bahan longsor Daerah-1 dan Daerah -2.

E. Penentuan Pengaruh Intensitas Curah Hujan terhadap Faktor Keamanan

Pengaruh intensitas curah hujan terhadap faktor keamanan dilakukan menggunakan *Software Geo-Seep/W* dan *Software Geo-Slope/W*. *Software Geo-Seep/W* merupakan software yang berkaitan dengan air tanah sedangkan *Software Geo-Slope/W* merupakan software yang berkaitan dengan stabilitas lereng berupa faktor keamanan.

Pemodelan dilakukan sesuai diagram alir penelitian Gambar 3.2 dengan standar intensitas curah hujan Tabel 3.4. Kondisi batas (*Boundary Condition*) pada keadaan tersebut terjadi infiltrasi air hujan pada lereng, disertai keberadaan muka air tanah yang konstan yaitu berada dibawah lereng pada kedalaman ± 10 meter. Dengan menggunakan parameter porositas, batas cair (LL), koefisien rembesan, diameter lengkap 10% dan 60% maka diperoleh distribusi tekanan air pori berupa *Soil Water Characteristic Curve (SWCC)* yang mempengaruhi faktor keamanan.

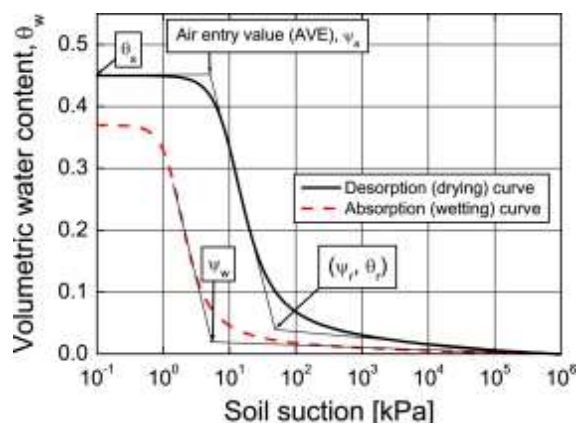
Tabel 3.3 Kondisi Batas pada Pemodelan *Geo-Seep/W*

Kondisi Batas	Keterangan
Pressure Head (m) - Muka Air Tanah	Constan, 0
Unit Flux (m/s) – Intensitas Curah Hujan	Sesuai kebutuhan
Total Flux (m ³ /s) – Batas Rembesan	Constant, 0

Software Geo-Seep/W memprediksi kadar air volumetrik (*volumetric water content*) menggunakan metode Fredlund dan Xing (1994). Persamaan Fredlund dan Xing (1994) meliputi *Soil Water Characteristic Curve (SWCC)* sebagai garis lurus di bidang semi log dari sisa kondisi suctions 1.000.000 kPa pada kadar air volumetrik residual nol. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$\theta_w = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left\{ \ln \left[e + \left(\frac{\psi}{a} \right)^n \right] \right\}^m} \quad \text{atau} \quad \theta_w = \frac{\theta_s}{\left\{ \ln \left[e + \left(\frac{\psi}{a} \right)^n \right] \right\}^m} \quad (3.27)$$

Jika fungsi diperkirakan untuk $\theta_w = 0$ pada 10^6 kPa dimana $\theta_w =$ kadar air volumetrik, $\theta_r =$ kadar air volumetrik residual, $\theta_s =$ kadar air volumetrik jenuh, $e =$ bilangan asli (2,71828), $\psi =$ tekanan air pori negatif (*matric suction* atau *soil suction*).



Gambar 3.15 Diagram *Soil Water Characteristic Curve* (Gallage, dkk. 2013)

Parameter a yang memiliki satuan kPa adalah titik belok atau nilai masuknya udara (*Air Entry Value, AEV*) pada tanah yang ditunjukkan pada *Soil Water Characteristic Curve (SWCC)*. Parameter n berhubungan untuk mengontrol gradien fungsi kadar air volumetrik pada saat nilai masuknya udara telah melampaui dan parameter m mengontrol kadar air residual. Ketiga parameter a , n , dan m ditentukan sebagai berikut :

$$a = \psi_i \quad (3.28)$$

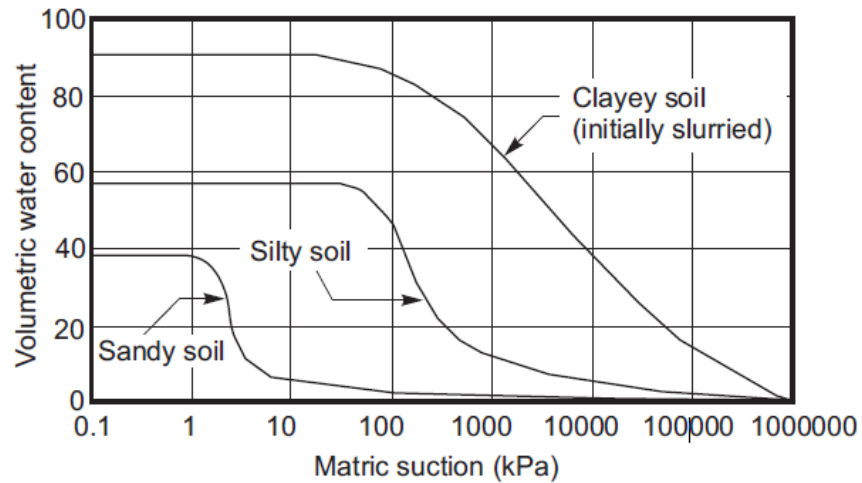
$$m = 3,67 \ln \left(\frac{\theta_s}{\theta_i} \right) \quad (3.29)$$

$$n = \frac{1,31^{m+1}}{m\theta_s} 3,72s\psi_i \quad (3.30)$$

$$s = \frac{\theta_i}{\psi_p - \psi_i} \quad (3.31)$$

dimana ψ_i = tekanan air pori negatif (*matric suction*) yang berhubungan dengan kadar air volumetrik dari titik belok (ψ_i, θ_i) atau *AEV*, s merupakan kemiringan dari garis singgung pada fungsi kadar air volumetrik yang dilewati oleh *AEV*, dan ψ_p adalah perpotongan dari garis singgung dan sumbu *matric suction*, (Calagry, dkk. 2001).

Setiap jenis tanah memiliki *Soil Water Characteristic Curve* yang berbeda, seperti pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Diagram Soil Water Characteristic Curve untuk Sand (Pasir), Silty (Lanau), dan Clayey (Lempung), (Fredlund, dkk. 1994)

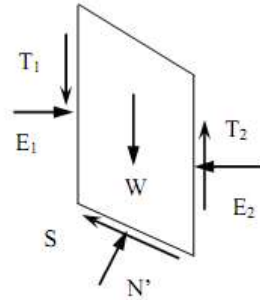
Infiltrasi hujan akan mengurangi tekanan air pori negatif (*matric suction*) tanah mengakibatkan berkurangnya kuat geser tanah. Penurunan kekuatan geser tanah selanjutnya dapat menimbulkan ketidakstabilan lereng, (Syahbana, dkk. 2013). Selanjutnya dengan menjadikan hasil *Software Geo-Seep/W* sebagai *parent* dalam penggunaan *Software Geo-Slope/W* beserta parameter berat isi tanah basah, kohesi, dan sudut geser untuk mengetahui stabilitas lereng.

Tabel 3.4 Intensitas Curah Hujan (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2016)

Intensitas Curah Hujan	
Hujan Ringan	0,1 - 5,0 mm/jam
Hujan Sedang	5-10 mm/jam
Hujan Lebat	10-20 mm/jam
Hujan Sangat Lebat	>20 mm/jam

Faktor Keamanan adalah perbandingan antara gaya penahan dan gaya pendorong. Metode yang digunakan ialah *Metode Morgenstern-Price*. Perhitungan faktor keamanan dilakukan dengan menggunakan kesetimbangan

gaya dalam arah horisontal dan kesetimbangan momen pada pusat gelinciran untuk semua irisan, dan menggunakan kondisi kesetimbangan gaya dan momen dari setiap irisan, (Sianipar, 2014).



Gambar 3.17 Diagram Gaya Antar Irisan dalam Metode Morgenstern-Price

Dimana w merupakan berat dari sebuah irisan, S merupakan gaya gesekan pada bagian dasar irisan, T merupakan gaya geser antar irisan dalam arah vertikal, E merupakan gaya normal antar irisan dalam arah horisontal, N merupakan total gaya normal yang bekerja pada bagian dasar irisan.

Faktor Keamanan lereng (*factor of safety*, FK) berdasarkan pendekatan gaya (F_f) dan pendekatan momen (F_m) terdapat pada persamaan dibawah ini:

$$F_f = \frac{\sum [c'l + (N - ul) \tan \phi] \sec \alpha}{\sum \{W - (T_2 - T_1)\} \tan \alpha + \sum (E_2 - E_1)} \quad (3.32)$$

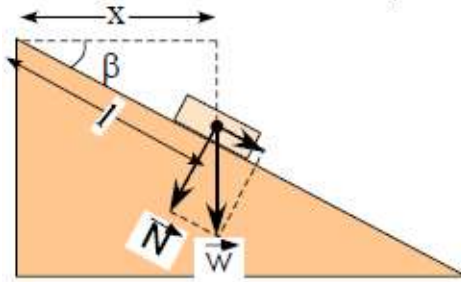
$$F_m = \frac{\sum (c'l + (N - ul) \tan \phi)}{\sum W \sin \alpha} \quad (3.33)$$

Dimana c' adalah kohesi, ϕ adalah sudut geser, α adalah inklinasi dari permukaan bidang geser, dan l adalah lebar irisan secara berurutan. Suatu lereng dikatakan stabil apabila nilai faktor keamanan $FK > 1$, kondisi kritis apabila nilai $FK \sim 1$ dan tidak stabil ketika $FK < 1$.

F. Penentuan Pengaruh Intensitas Curah Hujan terhadap *Run-Out* dan Kecepatan Longsor

Intensitas curah hujan akan mempengaruhi stabilitas lereng seperti yang telah diuraikan pada bahasan sebelumnya. Hasil dari pemodelan stabilitas lereng ini digunakan untuk mengetahui informasi volume tanah yang tidak stabil dan

geometri area tersebut. Selanjutnya, prediksi *run-out* dilakukan dengan menggunakan model gesekan *Coloumb* sederhana didapatkan dengan menghitung energi potensial awal yang dimiliki oleh massa tanah yang tidak stabil. Massa tanah yang bergerak hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya gesek bidang gelincir statis, (Jaboyedoff, dkk 2011).



Gambar 3.18 Model gesekan *Coloumb* Sederhana (Jaboyedoff, dkk 2008)

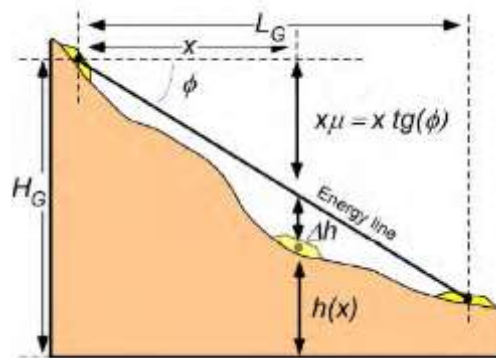
Koefisien gesek didapatkan dari hubungan keseimbangan gaya ketika benda tepat akan bergerak, sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_{benda} &= F_{gesek} \\
 mg \sin(\beta) &= \mu N \\
 mg \sin(\beta) &= \mu m g \cos(\beta) \\
 \mu &= \tan(\beta)
 \end{aligned}
 \tag{3.34}$$

Dimana $\vec{W} = mg$ dengan m = massa tanah dan g = percepatan gravitasi, N = gaya normal, β = sudut gesek semu, μ = koefisien gesek

Berdasarkan hukum kekekalan energi, pada posisi awal massa tanah membawa energi potensial sebesar $E_p = mgH_G$, kemudian diubah menjadi energi kinetik. Pada saat massa tanah bergerak terdapat energi yang hilang akibat gesekan, seperti persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 E_{gesek} &= F_{gesek} \cdot l \\
 E_{gesek} &= \mu |N| l \\
 E_{gesek} &= \mu m g \cos(\beta) l \rightarrow l = \frac{x}{\cos(\beta)} \\
 E_{gesek} &= \mu m g x
 \end{aligned}$$



Gambar 3.19 Pergerakan Pusat Massa Tanah (Jaboyedoff, dkk 2008)

Dimana H_G = tinggi awal pusat massa, x = jarak pusat massa setelah berpindah, $h(x)$ = tinggi pusat massa pada jarak x , L_G = jangkauan maksimum.

Berdasarkan Gambar 3.19 maka diperoleh $E_{gesek} = mgx \tan(\phi)$ (3.35)

Pusat massa yang bergerak pada posisi x akan mengubah kecepatan untuk setiap posisi yang dapat diturunkan berdasarkan hukum kekekalan energi, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv(x)^2 + mgx \tan(\phi) &= mg(H_G - h(x)) \\ v(x)^2 &= 2g(H_G - h(x) - x \tan(\phi)) \rightarrow \Delta h = (H_G - h(x) - x \tan(\phi)) \\ v(x) &= \sqrt{2g\Delta h} \end{aligned} \quad (3.36)$$

Jarak jangkauan maksimum dapat diperoleh dengan substitusi $v(x_{maks}) = 0$ pada persamaan (3.36),

$$L_G = x_{maks} = \frac{(H_G - h(x_{maks}))}{\tan(\phi)} \quad (3.37)$$

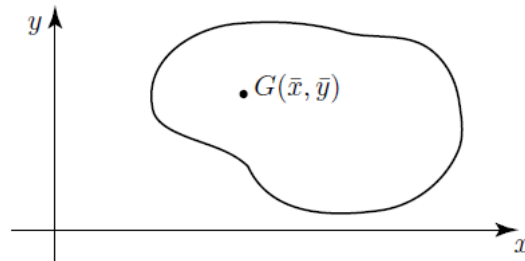
Kondisi dimana tanah telah berada dipermukaan, substitusi $h(x_{maks}) = 0$ pada persamaan (3.37) menjadi

$$L = \frac{H}{\tan(\phi)} \quad (3.38)$$

Persamaan (3.38) merupakan persamaan umum untuk memprediksi jarak jangkauan longsor berdasarkan model diskrit dengan pendekatan pusat massa.

Pada penelitian ini untuk mengetahui *run-out* dan kecepatan longsor secara berurutan menggunakan parameter geometri pada persamaan (3.36) dan persamaan (3.38) dimana H merupakan tinggi pusat massa yang dapat diidentifikasi berdasarkan hasil perhitungan menggunakan *software ImageJ (Fiji Is Just)*.

Perhitungan pusat massa diasumsikan bahwa massa didistribusikan merata diatas lamina dan intergrasi sebagai batas dari jumlah yang digunakan untuk menemukan pusat massa. Gambar 3.20 menunjukkan lamina dimana pusat massa telah ditandai pada titik G dengan koordinat (\bar{x}, \bar{y}) . Jika massa total lamina adalah M maka momen sumbu y dan x adalah masing-masing $M\bar{x}$ dan $M\bar{y}$.



Gambar 3.20 Pusat Massa Lamina dititik $G (\bar{x}, \bar{y})$ (Webb, S., dkk. 1999)

Konsep yang harus diketahui adalah massa per satuan luas. Misalkan kita memiliki lamina seragam dan pilih bagian dari lamina yang mempunyai wilayah yang sama dengan satu unit. Kemudian ρ ada untuk massa bagian seperti itu. Kemudian ρ disebut massa per satuan luas. Massa setiap bagian lain dapat dinyatakan dalam bentuk ρ . Sebagai contoh, seluas 2 unit harus memiliki massa 2ρ seluas 3 unit harus memiliki 3ρ massa, dan sebagainya. Setiap bagian dari lamina yang memiliki luas A memiliki ρA massa. Maka jika lamina memiliki massa per satuan luas, ρ , maka massa bagian dari lamina yang memiliki luas A adalah $A\rho$, (Webb, S., dkk. 1999).