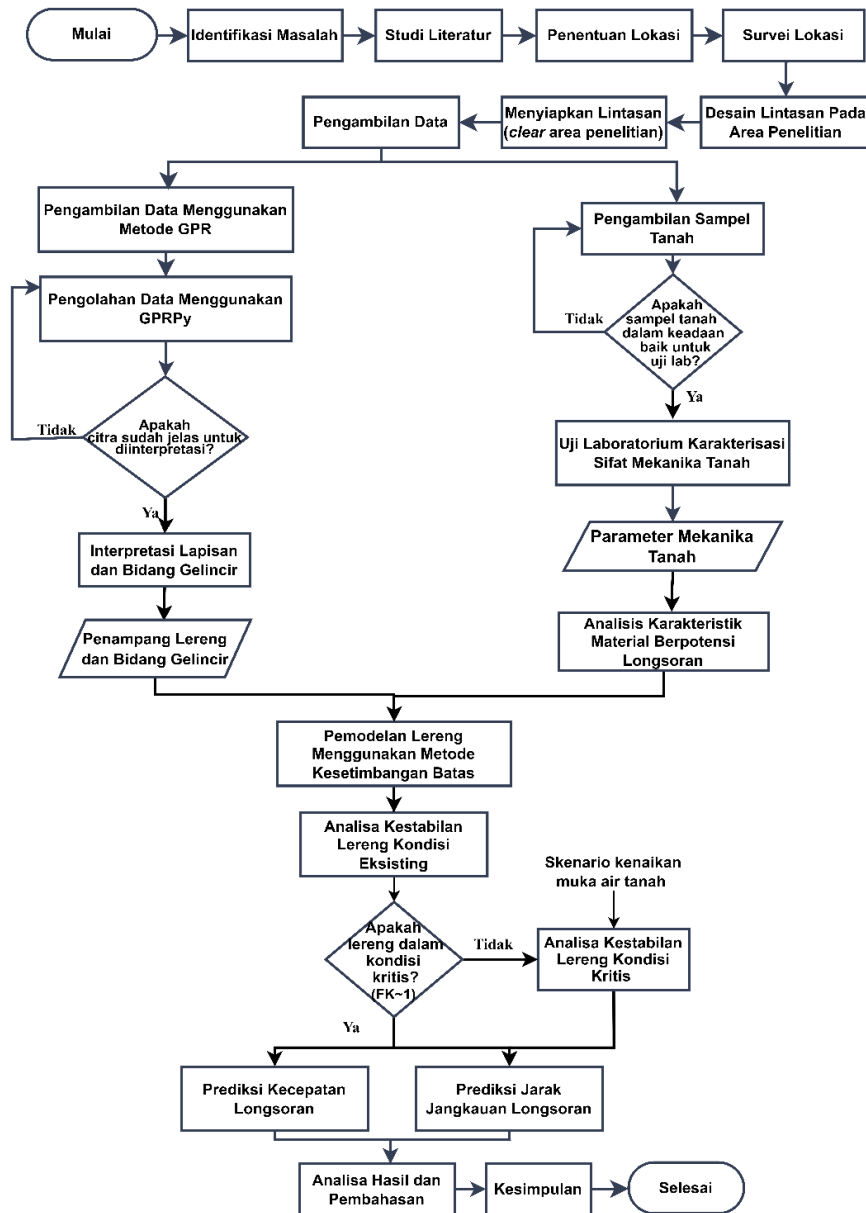


BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Secara garis besar, penelitian ini terdiri dari interpretasi profil lereng dan uji laboratorium sampel tanah untuk menentukan karakteristik material berpotensi longsor untuk pemodelan lereng dalam menentukan kestabilan dan prediksi kecepatan dan jarak jangkauan gerakan tanah. Gambar 3.1 menunjukkan alur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

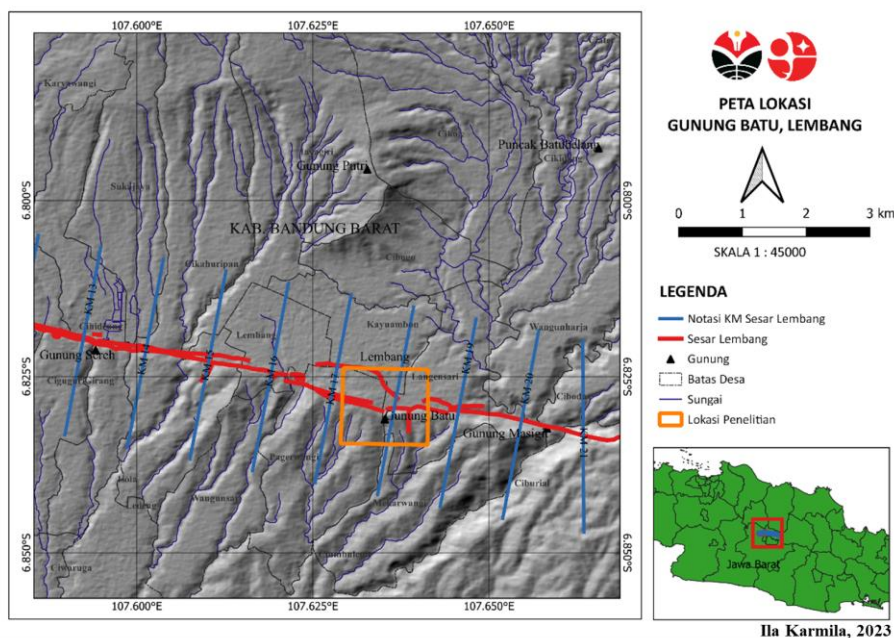
Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBAH SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

3.2 Lokasi dan Lintasan Penelitian

Penelitian dilakukan di Gunung Batu, Desa Langensari, Kecamatan Lembang, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat yang secara geografis terletak pada $107^{\circ} 38' 6,23''\text{E}$, $6^{\circ} 49' 49,16''\text{S}$. Desa Langensari sendiri berada pada ketinggian 800 m sampai dengan 1320 m di atas permukaan laut dengan curah hujannya sekitar 800 mm/tahun pada suhu rata-rata 17°C sampai dengan 23°C , memiliki dua musim yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Mayoritas masyarakat di Desa Langensari ini bermata pencaharian sebagai petani, peternak, pedagang, pegawai, jasa dan buruh lainnya. Di Desa Langensari memiliki Gunung Batu yang terbentuk di jalur sesar lembang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Kotak berwarna jingga menunjukkan letak di mana Gunung Batu berada.



Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian (DEMNAS dari www.tanahair.indonesia.go.id)

Gunung Batu Lembang merupakan suatu bentuk lahan yang terbentuk tepat pada jalur sesar lembang yang membentang sejauh 29 km. Terbentuknya Gunung Batu diakibatkan oleh membekunya magma yang menerobos daratan atau yang disebut dengan intrusi pada 500.000 tahun yang lalu yakni pada kala Plestosen. Secara geologi Gunung Batu ini adalah lokasi yang terlalui oleh sesar lembang, batuan di gunung ini merupakan batuan beku berupa andesit berjenis *dike* yang

Ila Karmila, 2023

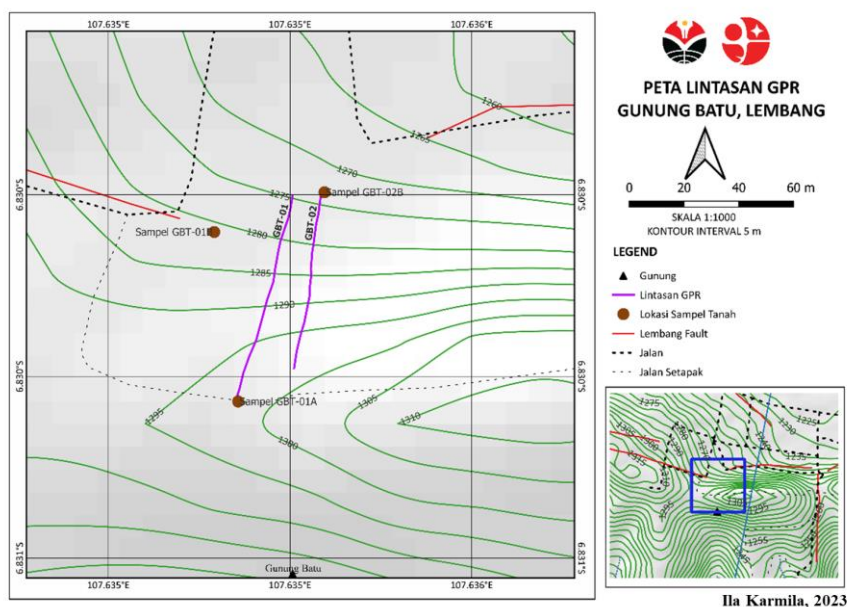
ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

menerobos miring ke arah utara. Pembentukan dan penyebaran batuan sedimen di bagian barat Gunung Batu dipengaruhi oleh perkembangan struktur geologi Gunung Batu itu sendiri, yakni pada saat terbentuknya Sesar Lembang. (Junursyah & Agustya, 2017)

Karena berada pada zona sesar, karakter morfologi Gunung Batu ini memiliki relief yang cukup curam dibandingkan dengan daerah sekitarnya serta termasuk satuan geomorfologi miring dengan kemiringan mencapai 15% (Junursyah & Agustya, 2017). Gunung Batu berasosiasi dengan pergerakan sesar lembang sehingga sangat rentan menimbulkan risiko bagi masyarakat sekitar (Martireni dkk., 2023). Gunung Batu ini juga merupakan daerah dengan kerawanan bencana gempa bumi yang tinggi juga merupakan zona rentan gerakan tanah pada tingkat menengah hingga tinggi.

Pada penelitian ini dilakukan analisis kestabilan lereng berdasarkan metode geofisika dan mekanika tanah. Metode geofisika yang dilakukan untuk mengetahui profil bawah permukaan pada lokasi yang diteliti adalah metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) dengan tipe antenanya adalah tipe *shielded* atau tipe antena yang terlindungi yaitu GSSI SIR 3000. Pada surveinya dilakukan dengan desain lintasan penelitian seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Desain Lintasan Pada Penelitian (DEMNAS dari www.tanahair.indonesia.go.id)

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Pada penelitian ini digunakan metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) dengan menggunakan 2 lintasan seperti pada gambar di atas, kedua lintasannya sejajar dengan lereng yakni dari arah utara ke selatan Gunung Batu. Lintasan GBT-01 memanjang sejauh 80 m dari koordinat 6.8298°S , 107.6352°E , sampai 6.8305°S , 107.6350°E . Lintasan ini berada di sebelah barat singkapan batuan di Gunung Batu, Lembang. Gambar 3.4 merupakan lintasan GBT-01 yang diambil di kaki lereng.



Gambar 3. 4 Lintasan GBT-01 Gunung Batu, dilihat dari arah utara

Sedangkan lintasan GBT-02 memanjang sejauh 70 m dari koordinat 6.8297°S , 107.6353°E sampai 6.8304°S , 107.6352°E . Lintasan GBT-02 ini berada sekitar 10 m di sebelah timur lintasan GBT-01. Lintasan ini berada di bawah singkapan batuan di Gunung Batu, Lembang. Gambar 3.5 merupakan gambar lintasan GBT-02 yang diambil dari kaki lereng.



Gambar 3. 5 Lintasan GBT-02 Gunung Batu, dilihat dari arah utara

Metode mekanika tanah juga digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui karakteristik tanah berdasarkan parameter fisik dan keteknikan tanah di lokasi penelitian, yakni berupa uji laboratorium menggunakan sampel tanah yang terganggu dan sampel tanah tidak terganggu. Pada lokasi penelitian, sampel diambil di tiga titik seperti pada Gambar 3.3. Sampel tanah yang dikarakteristik adalah untuk tanah yang berada di lapisan pertama lereng pada kedalaman 0 - 30 cm. Sebaran lokasi pengambilan sampel tanah ditentukan berdasarkan lokasi yang paling dekat dengan lintasan. Karena pada penelitian ini dilakukan di Gunung Batu, dengan material penyusun lereng terdiri dari banyak batuan yang menghambat pengambilan sampel tanah, maka tidak semua lokasi pengambilan sampel tanah berhimpitan dengan lintasan. Hal tersebut dilakukan sehingga dapat diketahui karakteristik material di sekitar lintasan penelitian.

3.3 Teknik Pengambilan Data

3.3.1 Teknik Pengambilan Data *Ground Penetrating Radar* (GPR)

Pengambilan data menggunakan metode *Ground Penetrating Radar* digunakan frekuensi rendah yakni sekitar 100 MHz, hal tersebut didasarkan pada kedalaman yang hendak diperoleh yakni 15 sampai 25 m di bawah permukaan. Konfigurasi gerakan antena dalam penelitian dipilih tipe konfigurasi *radar reflection profiling* yakni dengan menarik antena yang terdiri dari *transmitter* dan *receiver* agar tetap berada tepat di atas permukaan tanah untuk setiap lintasan.

Dalam melakukan pengambilan data di lapangan, perlu diperhatikan Langkah-langkah berikut:

1. Menyiapkan kondisi lapangan dan lintasan hingga dalam keadaan yang baik untuk dilakukan survei menggunakan GPR agar data yang diperoleh sesuai dengan harapan.
2. Menyiapkan kelengkapan alat GPR yang digunakan diantaranya adalah antena, *keypad*, kabel penghubung *transmitter* dan *receiver*, kabel penghubung antena dan *keypad*, baterai dan cadangannya, serta gendongan alat untuk memastikan alat dalam posisi yang baik pada saat melakukan pengambilan data di lapangan.
3. Sebelum melakukan pengambilan data, perlu untuk melakukan *setup* perangkat GSSI SIR 3000 terlebih dahulu. *Keypad* GSSI SIR 3000 dihubungkan ke

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

antenna yang digunakan kemudian pasang sumber daya (baterai) sehingga sistem dapat dihidupkan. Gambar 3.6 menunjukkan proses penyetelan alat GPR sebelum mulai melakukan pengambilan data.



Gambar 3. 6 Penyetelan alat GPR

4. Setelah SIR 3000 menyala, maka langsung melakukan penyetelan parameter dan filter pengumpulan data sistem ke antena GSSI sesuai dengan yang paling sering digunakan. Penyetelan ini adalah penyetelan untuk persiapan awal, dalam situasi di lapangan mungkin perlu dilakukan perubahan untuk situasi khusus. Untuk antena 100 MHz (Model 3207) dilakukan penyetelan sebagai berikut:
 - a. *Range*: 500 ns. Range ini merupakan jendela waktu dalam *nanosecond* (ns) sehingga SIR 3000 merekam pantulan. Rentang waktu berbanding lurus dengan kedalaman yang dilihat karena rentang yang lebih panjang memungkinkan lebih banyak waktu bagi energi untuk menembus lebih dalam dan memberikan pantulan dari yang lebih dalam. Rentang waktu ini adalah waktu tempuh dua arah, sehingga rentang 500 ns berarti reflektor terdalam adalah sampai 250 ns.
 - b. *Samples per scan*: 512. Sampel yang dimaksud adalah sejumlah titik data individual pada kurva pemindaian. Semakin banyak sampel yang

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

dikumpulkan, semakin halus kurva pemindaian dan semakin baik resolusi vertikalnya. Rekomendasi GSSI untuk pengambilan sampel ini sebanyak 512.

- c. *Resolution: 16 bits*. Data format 16 bit direkomendasikan untuk sebagian besar aplikasi karena memiliki jangkauan dinamis yang lebih besar, artinya ada lebih banyak informasi di dalam data.
 - d. *Number of gain points: 5*. *Gain* ini merupakan penambahan sinyal buatan untuk menangkal efek alami dari pelemahan. Saat pemindaian radar berjalan ke tanah, sebagian pemindaian dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan. Saat pemindaian semakin dalam, maka menjadi lebih lemah. Penerapan penguatan pada pemindaian ini dilakukan untuk membuat variasi halus pada data yang lebih lemah menjadi lebih terlihat.
 - e. *Vertical high pass filter: 25 MHz*. Filter ini berarti bahwa frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi yang dimasukkan yakni 25 MHz boleh lewat dan direkam oleh sistem.
 - f. *Vertical low pass filter: 300 MHz*. Filter ini berarti bahwa frekuensi yang lebih rendah dari yang dimasukkan yakni 300 MHz boleh lewat dan direkam oleh sistem.
 - g. *Scans per unit: 16*. Parameter ini adalah jarak pemindaian pada saat pengumpulan data. Angka tersebut menunjukkan jumlah pemindaian yang dikumpulkan sistem per satuan jarak.
 - h. *Transmit rate: 50 KHz*. *Transmit Rate* adalah kecepatan transmisi antena dalam KHz. Tingkat transmisi yang lebih tinggi sama dengan kemampuan pengumpulan data dengan lebih cepat. Untuk antena 100 MHz kecepatan transmisi antena yang dapat digunakan adalah 50 KHz.
5. Dalam melakukan penyetelan tersebut, perhatikan mode pengambilan data yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan mode waktu yakni pengumpulan data berbasis waktu sehingga sistem merekam sejumlah pemindaian per satuan waktu. Mode ini merupakan metode pengumpulan yang paling akurat dan sangat disarankan GSSI, khususnya untuk lintasan yang miring seperti lereng.

- Setelah dilakukan setting alat, selanjutnya melakukan *scan* data dengan menggeser antenna sepanjang lintasan di daerah yang sudah ditentukan secara kontinu. Gambar 3.7 menunjukkan proses pengambilan data dengan menarik antenna menuruni lereng. Pada proses menarik antenna tersebut, harus dilakukan secara perlahan, konstan dan tetap menempel pada permukaan.



Gambar 3. 7 Proses pengambilan data GPR di Lapangan

- Pada *keypad* GSSI SIR 3000 dilakukan *mark* untuk menandai pengukuran pada jarak tertentu.
- Pada saat melakukan pengambilan data GPR, pengukuran elevasi lereng juga dilakukan menggunakan perangkat GPS Garmin seperti Gambar 3.8 untuk setiap meter-nya. Dengan menempelkan GPS dekat dengan permukaan lereng.



Gambar 3. 8 Pengukuran elevasi permukaan lereng

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

9. Apabila satu lintasan sudah selesai maka dapat disimpan dan *next file* untuk melakukan pemindaian di lintasan yang berbeda.

3.3.2 Teknik Pengambilan Data Mekanika tanah

Sampel tanah diambil di lokasi penelitian tepatnya di tiga titik seperti yang terlihat pada Gambar 3.3 dekat lintasan GBT-01 dan GBT-02 di zona sesar lembang, Gunung Batu, Kecamatan Lembang pada tanah yang tidak terganggu di kedalaman 0 - 30 cm dengan tinggi sampel yang diambil sekitar 5-10 cm menggunakan tabung untuk beberapa sampel pengujian diambil seperti pada Gambar 3.9, yakni sampel tanah untuk uji triaksial dan berat isi.



Gambar 3. 9 Beberapa alat yang digunakan untuk pengambilan sampel tanah

Dalam melakukan pengambilan sampel tanah, diperlukan alat dan bahan sebagai berikut:

1. Ring uji triaksial dan berat isi
2. Kertas aluminium
3. Plastik *wrap*
4. Selotip kertas
5. Plastik zip
6. Spidol
7. Cangkul
8. Palu
9. Batang balok kayu
10. *Petroleum jelly*
11. Kape atau *scraper*

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Pengambilan sampel tanah terganggu dan tidak terganggu memiliki prosedur yang berbeda yang harus diperhatikan. Untuk sampel tanah yang tidak terganggu yakni untuk uji triaksial dan pengukuran berat isi-isi pori-derajat kejenuhan, pengambilan sampel tanah harus dilakukan dengan teliti dan hati-hati sesuai dengan langkah-langkah berikut ini:

1. Menyiapkan lokasi pengambilan sampel tanah yang telah ditentukan dengan membersihkan hal-hal yang menghalangi jalur antena
2. Membuat undakan yang tegak lurus dan rata dengan lereng agar sampel tanah yang diambil adalah tanah dalam keadaan yang sesuai seperti pada Gambar 3.10



Gambar 3. 10 Pembuatan undakan untuk pengambilan sampel tanah

3. Mengoleskan *petroleum jelly* ke permukaan ring bagian dalam
4. Meletakkan dan menancapkan sedikit ring dengan tegak dan bagian yang runcing berada di bawah.
5. Menekan ring dan memukul bagian pinggiran ring dengan bantalan balok kayu secara perlahan dengan memerhatikan agar sampel tidak tertekan, terguncang, rusak dan membuatnya menjadi terganggu.
6. Memastikan ring sudah terisi tanah secara penuh.
7. Setelah itu, membungkus ring berisi tanah ini dengan kertas aluminium, plastik *wrap* dan selotip kertas agar kondisi sampel tanah tetap terjaga seperti kondisi aslinya di lapangan, terutama untuk kadar airnya agar tidak berubah.

8. Memberi label pada sampel tanah yang telah diperoleh, kemudian menyimpan sampel tanah tersebut pada tempat yang baik untuk menjaga sampel agar tetap sesuai kondisi sebenarnya di lapangan

Untuk pengujian karakteristik tanah lainnya seperti batas-batas atterberg, pengukuran *specific gravity* serta analisa saringan dan hidrometer dilakukan menggunakan sampel tanah yang terganggu. Sampel ini diperoleh dari tanah sisa galian sampel sebelumnya. Untuk mengambil sampel ini dilakukan dengan cara seperti berikut:

1. Mengumpulkan tanah minimal sebanyak 100 gram dari sisa galian tanah pada pengambilan sampel tanah tak terganggu
2. Memasukkan sampel tanah tersebut ke dalam plastik zip hingga tertutup rapat
3. Memberi label pada tanah tersebut dan kemudian tanah dapat digunakan untuk uji laboratorium

3.4 Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk data GPR dan sampel tanah yang telah diperoleh pada pengambilan data di lapangan. Data GPR selanjutnya diproses sehingga citra dapat menampilkan seluruh informasi yang diperoleh dengan jelas, sehingga memudahkan dalam melakukan interpretasi. Sedangkan, data mekanika tanah melalui proses pengujian di laboratorium sebelum dilakukan analisis karakteristik materialnya.

3.4.1 Pengolahan Data *Ground Penetrating Radar* GPR

Data yang diperoleh dari metode geofisika yakni metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) berupa citra yang menggambarkan pantulan gelombang elektromagnetik yang diinterpretasikan sebagai pantulan objek di bawah permukaan. Data tersebut kemudian dilakukan pengolahan menggunakan perangkat lunak *open source* GPRPy (<https://github.com/NSGeophysics/GPRPy>) untuk mendapatkan citra bawah permukaan sehingga dilakukan interpretasi lapisan penyusun bawah permukaan dan bidang gelincirnya. GPRPy adalah perangkat lunak yang kompatibel untuk mengolah data dari berbagai sistem GPR yang dikembangkan oleh Alain M Plattner. Pemrosesan data dibuat melalui *Graphical User Interface* (GUI) atau skrip yang dihasilkan secara otomatis dari GUI.

Ila Karmila, 2023

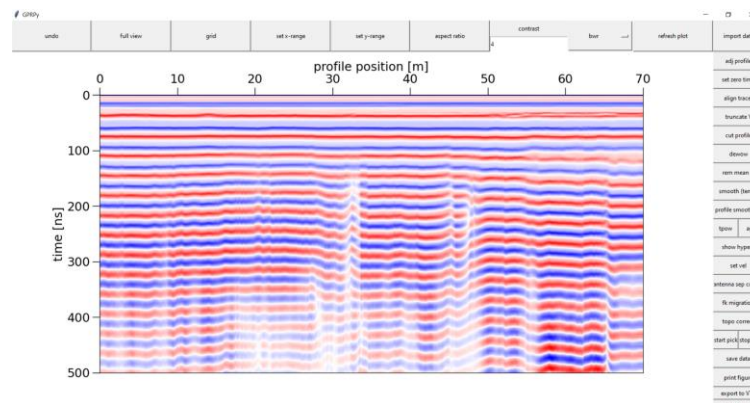
ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Perangkat lunak ini dirancang khusus untuk mempermudah analisis data GPR dan dapat menyediakan alat yang baik untuk memvisualisasikan informasi yang diperoleh dari survei GPR (Plattner, 2020).

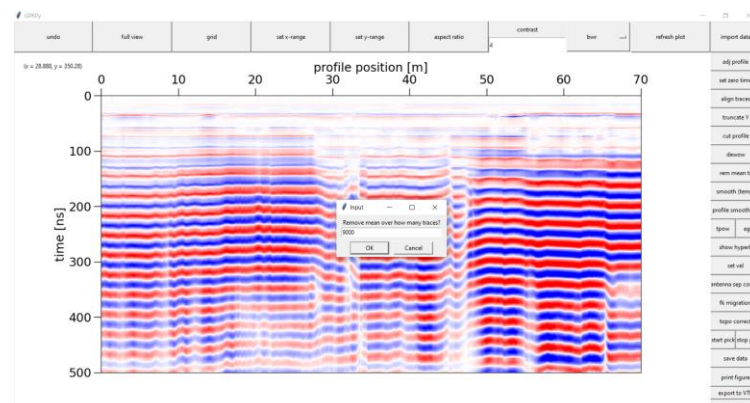
Pada tahap *Processing* Data GPR menggunakan GPRPy memerlukan beberapa langkah yang harus dilakukan, diantaranya:

1. Menginput data *raw* yang diperoleh dari GPR ke, perangkat lunak GPRPy kemudian melakukan normalisasi jarak sesuai dengan panjang lintasan di lapangan. Kemudian, melakukan editing data terlebih dahulu seperti *flip* data sehingga dalam orientasi arah yang diinginkan. Gambar 3.11 adalah hasil input data ke dalam perangkat GPRPy yang sudah dilakukan normalisasi jarak.



Gambar 3. 11 *Raw* data yang telah diinput ke GPRPy

2. Melakukan *filtering* citra agar menghasilkan citra yang sesuai keadaan sebenarnya di lapangan dan mempermudah dalam melakukan interpretasi. Hasil *filter* data lebih mempermudah interpretasi karena refleksi gelombang yang diperoleh menjadi lebih mudah dibedakan karena tidak terganggu seperti pada Gambar 3.12.



Gambar 3. 12 Hasil *filtering* data hingga *background removal*

Ila Karmila, 2023

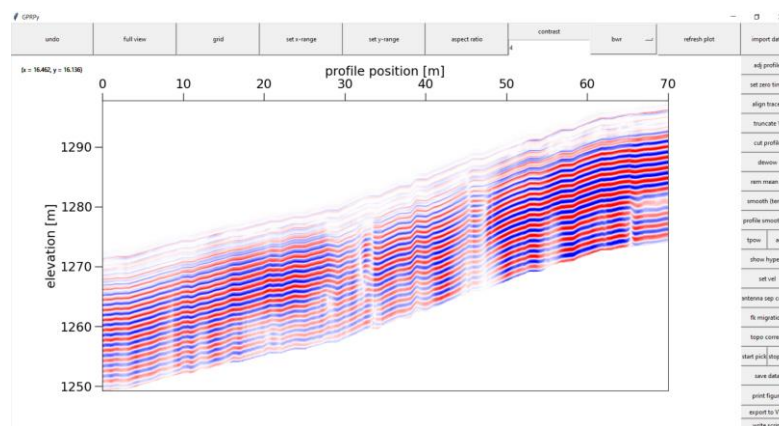
ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Ketika terdapat beberapa komponen yang dapat merusak sinyal maka sinyal tersebut harus dihilangkan untuk meningkatkan mutu pencitraan melalui beberapa sekuen *filtering*. Dengan demikian, *filtering* data GPR ini merupakan bagian yang penting untuk dilakukan, karena sejatinya pada saat pengambilan data di lapangan, frekuensi sinyal yang tertangkap bukan hanya sinyal yang diharapkan sehingga menjadi *noise*. Sinyal GPR ini memiliki karakteristik yang berbeda dengan *noise*, diantaranya bahwa sinyal GPR memiliki kecepatan yang besar dibanding gelombang lain, memiliki amplitudo dan frekuensi yang relatif lebih besar juga. Berikut ini sekuen *filtering* yang digunakan dalam pengolahan data GPR (Khamidah, 2018) :

1. *Static Correction*, filter ini digunakan untuk mengoreksi data terhadap elevasi dan waktu tempuh gelombang akibat pengurangan kecepatan.
2. *Substract – mean (dewow)*, merupakan filter yang berfungsi untuk menghilangkan *noise* frekuensi rendah yang terekam karena instrumen elektronik tersaturasi oleh nilai amplitudo yang besar dari gelombang langsung dan gelombang udara. Filter ini bekerja pada setiap *trace* dengan menghitung nilai frekuensi rata-rata dari *trace*. Frekuensi pada setiap parameter dikurangi nilai tersebut sehingga tidak ada data *noise*.
3. *Gain*, digunakan dalam penguatan sinyal yang terserap oleh material yang memiliki konduktivitas tinggi. Filter ini juga digunakan untuk menghilangkan *spherical divergency*, yaitu gelombang yang menjalar berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat dari sumber yang sejalan dengan jarak dan waktu, dengan cara penguatan kembali amplitudo yang hilang sehingga energi di setiap titiknya seolah-olah sama.
4. *Background Removal*, filter ini diaktifkan sesuai dengan domain waktu dan domain jarak, sehingga apabila terdapat *noise* di suatu domain waktu tertentu maka filter diaktifkan pada domain tersebut. Filter ini digunakan juga untuk mengurangi gangguan pada saat pengambilan data yang mengganggu tampilan citra yang diperoleh, selain itu digunakan juga untuk mengurangi lintasan rata-rata yang memberi jarak jangkauan secara aktual pada satu bagian dan melaksanakan pembersihan latar belakang.

5. *F-K filter*, FK filter merupakan rentang kecepatan yang diperoleh dengan cara menghilangkan kecepatan sinyal di udara yang kemungkinan terekam dalam radargram. Filter ini digunakan untuk membatasi area yang difilter, amplitudo spektrum F-K yang terpilih memperlihatkan profil asli.
3. Berdasarkan referensi dan kondisi di lapangan, selanjutnya menentukan material yang terlewati oleh antenna agar dapat ditentukan konstanta dielektrik dan kecepatan gelombang elektromagnetik pada material tersebut
4. Setelah diketahui kecepatannya, menginput kecepatan yang diperoleh untuk mendapatkan kedalaman tertentu pada citra
5. Selanjutnya adalah menerapkan koreksi topografi agar tercipta profil yang sesuai dengan topografi seperti pada Gambar 3.13, sehingga dapat diinterpretasi lebih lanjut mengenai batas-batas lapisan-lapisan penyusun lereng tersebut.



Gambar 3. 13 Hasil akhir pengolahan data hingga koreksi topografi

3.4.2 Pengolahan Data Mekanika Tanah

Sampel yang telah diperoleh dari lapangan kemudian di uji di Laboratorium Geoteknik BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional) menggunakan metode mekanika tanah untuk mengetahui karakteristik sifat fisik dan keteknikan tanahnya, pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Pengukuran Berat Isi, Isi Pori, Kadar Air dan Derajat Kejenuhan

Pengujian laboratorium untuk menentukan berat isi, isi pori dan derajat kejenuhan tanah ini dilakukan berdasarkan standar pengujian ASTM D 854-00

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

yakni menggunakan sampel tak terganggu dalam tabung berat isi. Pada pengujian ini diperlukan peralatan seperti di bawah ini:

1. Sampel tanah untuk pengujian berat isi
2. Jangka sorong
3. Cawan
4. Oven
5. Timbangan

Prosedur yang harus diperhatikan dalam pengujian berat isi, isi pori dan derajat kejenuhan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan serta formulir untuk mencatat hasil uji ini
2. Membuka dan merapikan sampel tanah agar tanah yang diuji memiliki volume yang sama dengan ring
3. Mencatat identitas sampel tanah pada formulir
4. Menyediakan cawan dan menimbang berat cawan kosong
5. Menyimpan sampel tanah yang masih berada dalam ring di atas cawan, kemudian menimbang cawan berisi sampel tersebut
6. Kemudian mengeringkan sampel selama 24 jam di dalam oven dengan suhu sekitar 80°C - 100°C .
7. Mengeluarkan sampel dan cawan dari dalam oven setelah sampel tanah benar-benar kering, kemudian menunggu hingga sampel dingin
8. Menimbang sampel tanah dalam ring di atas cawan yang sudah kering
9. Membersihkan ring dari sampel tanah kering tersebut, kemudian mengukur diameter dan tinggi ring untuk mengetahui volume ring dan menimbanginya untuk mengetahui berat ring.
10. Nilai-nilai yang diperoleh digunakan untuk menghitung parameter berat isi, isi pori, kadar air dan derajat kejenuhan dengan persamaan-persamaan yang telah dipaparkan dalam Bab II yakni persamaan 2.9 – 2.12, 2.14 dan 2.15.

b. Analisa Saringan dan Hidrometer

Analisa saringan dan hidrometer ini dilakukan untuk mengetahui ukuran butir yang berbeda yang terkandung dalam tanah. Analisa saringan dilakukan untuk

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

distribusi partikel yang lebih kasar dan besar sedangkan hidrometer digunakan untuk menentukan distribusi partikel yang lebih halus sehingga kedua pengujian ini tidak dapat dipisahkan. Distribusi ukuran butir ini diperlukan dalam klasifikasi tanah.

1. Analisa Saringan



Gambar 3. 14 Analisa saringan

Gambar 3.13 menampilkan alat yang digunakan untuk analisa saringan yaitu *sieve shaker* dengan susunan saringan diulali dari diameter lubang paling besar hingga paling kecil di atas alat tersebut. Dalam melakukan analisa saringan ini memerlukan perlengkapan seperti berikut ini:

1. Sampel tanah tak terganggu ± 600 gram
2. Saringan No. 4 sampai No.200
3. *Sieve Shaker*, mesin pengguncang saringan
4. Timbangan
5. Kuas
6. Oven

Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisa saringan ini diantaranya adalah:

1. Mengeringkan sampel tanah tak terganggu seberat ± 600 gram yang dalam keadaan basah menggunakan oven selama 24 jam
2. Menyaring sampel yang sudah kering ini menggunakan saringan No.200 dengan mencuci sampel sampai air yang lewat sudah terlihat bersih

3. Mengeringkan sampel tertahan saringan No.200 ini di dalam oven pada suhu 80 – 100 °C selama 24 jam hingga benar-benar kering
4. Menyiapkan semua saringan yang digunakan, kemudian menyusun saringan berdasarkan nomor saringan terendah ke nomor saringan tertinggi
5. Memasang saringan yang telah tersusun pada mesin pengguncang saringan, dengan bantalan karet di atasnya
6. Memasukkan sampel yang telah kering ke dalam mesin saringan
7. Menyalakan mesin pengguncang saringan dan mengatur guncangan hingga 10 menit
8. Setelah selesai, menunggu saringan hingga tanah dalam saringan sudah benar-benar turun sebelum saringan diangkat
9. Menimbang setiap saringan yang berisi tanah yang tertahan
10. Membersihkan tanah yang tertahan menggunakan kuas kemudian menimbang saringan yang sudah bersih ini dan catat pada formulir
11. Mengolah dan menghitung nilai-nilai yang diperoleh sehingga memperoleh persentase tanah yang lolos untuk masing-masing saringan

2. Pengujian Hidrometer

Pengujian hydrometer ini merupakan pengujian yang tidak dapat dipisahkan dengan analisa saringan. Pada pengujian ini dilakukan menggunakan sampel tanah yang lolos saringan No.200 yang telah dicampurkan dengan larutan dispersi hingga homogen, kemudian proses pengendapan butiran tanah tersebut dihitung menggunakan hydrometer pada rentang waktu tertentu. Gambar 3.14 menunjukkan proses pengujian hidrometer tersebut.



Gambar 3. 15 Pengujian Hidrometer

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Adapun peralatan yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. Sampel lolos saringan No.200
2. Air aquades
3. Cairan *waterglass*
4. Hydrometer
5. Gelas ukur 1000 ml
6. Thermometer
7. *Mechanical stirrer*
8. Batang pengaduk
9. Cawan
10. *Stopwatch*
11. Loyang

Prosedur dalam pengujian hydrometer ini adalah sebagai berikut:

1. Mengendapkan sampel yang lolos pada saringan No.200 selama lebih dari 24 jam untuk memisahkan tanah yang berbutir halus dengan air pada wadah yang cukup besar seperti pada Gambar 3.15 hingga tanah dan air benar-benar terpisah.



Gambar 3. 16 Proses pengendapan sampel tanah yang lolos saringan no.200

2. Setelah tanah mengendap, kemudian memasukkan tanah ke dalam loyang untuk dikeringkan
3. Mengambil tanah kering sebanyak 50 gram, kemudian merendam tanah tersebut selama 24 jam menggunakan larutan dispersi sebanyak 200 ml.

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Larutan dispesi seperti pada Gambar 3.17 dibuat dengan cara :

- a. Mencampurkan water glass dan aquades ke dalam gelas ukur kemudian diaduk sampai menjadi homogen
- b. Memasukkan campuran tersebut ke dalam gelas ukur 1000 ml yang sudah kering
- c. Menambahkan aquades sampai berat jenis larutan pada skala hidrometer A menunjukkan angka 37,5



Gambar 3. 17 Larutan dispersi

4. Memasukkan sampel tanah yang telah direndam ke dalam *dispersion cup*, kemudian menambahkan aquades dan mengaduknya selama 5 menit menggunakan *mechanical stirrer* seperti Gambar 3.18.



Gambar 3. 18 Proses mengaduk sampel tanah menggunakan *mechanical stirrer*

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

5. Menuangkan larutan yang telah diaduk tersebut ke dalam gelas ukur 1000 ml yang kering
6. Menambahkan air aquades ke dalam gelas ukur sampai gelas ukur penuh 1000 ml
7. Menutup gelas ukur kemudian mengocok kembali selama 1 menit sampai larutan homogen
8. Menyiapkan *stopwatch*. Kemudian setelah selesai dikocok, memasukkan hidrometer dan *thermometer* segera ke dalam larutan tersebut
9. Melakukan pembacaan hidrometer dan suhu pada temperatur pada waktu tertentu hingga 24 jam
10. Melakukan pengolahan dan perhitungan nilai yang diperoleh sehingga diperoleh diameter ukuran butir dan persentasenya.
11. Memplot persentase lolos untuk setiap ukuran butir baik hasil analisa saringan dan pengujian hydrometer ke dalam grafik semilog untuk diketahui distribusi ukuran butirnya.

c. Pengukuran berat jenis atau *specific gravity*

Pengukuran berat jenis tanah atau *specific gravity* (Gs) dilakukan menggunakan piknometer berdasarkan standar ASTM D 854-00. Berat jenis yang merupakan perbandingan massa satuan volume tanah pada suhu tertentu dengan massa volume gas bebas yang sama dari air distilasi dalam suhu yang ditentukan. Berat jenis tanah ini digunakan dalam hubungan udara, air dan padatan pada volume tanah tertentu. Pengukuran berat jenis ini menggunakan tanah kering yang berbutir halus untuk dididihkan dan direndam dalam piknometer seperti pada Gambar 3.19



Gambar 3. 19 Pengukuran Berat Jenis

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Alat-alat yang digunakan pada pengujian ini adalah:

1. Sampel tanah kering
2. Air aquades
3. Timbangan
4. Hot plate
5. Corong

Sedangkan untuk pengujiannya dilakukan cara-cara berikut ini :

1. Sampel tanah kering yang telah digunakan untuk analisa saringan, digunakan kembali untuk pengujian ini sebanyak 10 – 15 gram.
2. Menimbang piknometer beserta tutupnya dalam keadaan bersih dan kering dalam keadaan kosong (W2)
3. Memasukkan sampel ke dalam piknometer. Untuk setiap sampel digunakan dua labu piknometer. Kemudian menimbang kembali berat piknometer beserta tanah kering ini (W2)
4. Memanaskan piknometer di atas *hotplate* dengan suhu 500°C hingga air mendidih
5. Mengangkan dan mendinginkan piknometer selama 24 jam di suhu ruang
6. Menambahkan air aquades ke dalam piknometer hingga batas penuh sampai tidak terjadi penurunan air pada garis batas tersebut
7. Menimbang piknometer berisi larutan tanah ini (W3)
8. Membuang sampel dalam piknometer, kemudian membersihkan dengan mengisikan air aquades sampai penuh
9. Menimbang kembali piknometer berisi air aquades ini (W4)
10. Mengolah dan menghitung nilai-nilai yang diperoleh untuk menentukan nilai berat jenis ini dapat dengan menggunakan persamaan (2.13) sehingga diperoleh seperti berikut

$$G_s = \frac{y_s}{y_w} = \frac{\frac{W_s}{V_s}}{\frac{W_w}{V_w}} \quad (3.1)$$

Dengan W_s , berat kering, V_s , volume tanah kering, W_w , berat air, V_w , volume air. Dengan penyederhanaan $V_s = V_w$ maka:

$$G_s = \frac{W_s}{W_w} \quad (3.2)$$

Berat air pada persamaan 3.2 diperoleh dari pengukuran berat jenis ini berdasarkan hubungan pada persamaan 3.3.

$$w_w = (w_1 - w_2) + w_4 - w_3 \quad (3.3)$$

Sehingga persamaan 3.2 menjadi persamaan 3.4.

$$G_s = \frac{(w_1 - w_2)}{(w_1 - w_2) + w_4 - w_3} \quad (3.4)$$

d. Batas-Batas Atterberg

Pengujian batas-batas atterberg ini terdiri dari tiga pengujian yakni pengujian batas cair, pengujian batas plastis dan pengujian batas susut tanah berbutir halus yang didasarkan pada standar ASTM D4318-83. Batas atterberg berdasarkan kepada kandungan kelembaban tanah. Batas plastis adalah kadar air yang menentukan kondisi tanah berubah dari keadaan semi-padat menjadi plastis. Kadar air yang menentukan keadaan tanah berubah dari plastis ke cair yang kental disebut sebagai batas cair. Sedangkan kadar air yang menentukan volume tanah yang tidak berkurang ketika kadar airnya berkurang disebut batas susut. Batas cair, batas plastis dan batas susut ini merupakan serangkaian pengujian yang tidak dapat dipisahkan dalam pengujian batas-batas Atterberg untuk menentukan indeks keplastisan tanah dan tingkat keplastisan tipe tanah yang diperoleh. Hasil sampel yang telah diuji pada pengujian ini adalah seperti Gambar 3.20.



Gambar 3. 20 Sampel tanah yang telah diuji pada pengujian batas-batas atterberg

1) Batas Cair

Pengujian batas cair dilakukan untuk menentukan kadar air dan batas cair tanah, Pada pengujian ini digunakan:

1. Sampel tanah terganggu
2. Air aquades
3. Plat kaca
4. *Scraper*
5. Cawan
6. Alat cassagrande
7. *Grooving tool*
8. Timbangan
9. Oven

Dengan Langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mencampurkan sampel tanah terganggu dalam keadaan basah dan berbutir halus dengan air aquades sedikit demi sedikit sehingga menjadi homogen dan sedikit berair
2. Mengambil beberapa gram sampel tanah yang sedikit berair ini untuk ditempatkan di cawan cassagrande sampai cawan terisi tiga perempat penuh secara rata.
3. Membuat alur menggunakan *grooving tool* melalui garis tengah cawan cassagrande tersebut
4. Menyalakan alat sehingga memberikan ketukan terhadap tanah

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu



Gambar 3. 21 Kondisi jalur pada sampel tertutup

5. Mengamati jalur tanah dan menghitung ketukan sampai alur tertutup minimal selebar 12.7 mm seperti Gambar 3.21.
6. Mencatat jumlah ketukan yang diberikan. Batas cair ini diperoleh untuk kondisi tersebut pada ketukan 25. Namun dalam pengujian ini, menerapkan tiga variasi ketukan agar mencapai kondisi yang diharapkan yakni dengan 10, 25 dan 40 ketukan. Untuk memperoleh jalur yang menyatu pada setiap variasi ketukan tersebut, dilakukan dengan memberikan air dengan jumlah yang berbeda.
7. Mengambil tanah sekitar 16 gram setelah jalur dalam cawan cassagrande tertutup, kemudian mengeringkannya agar dapat diperoleh kadar air.

2) Batas Plastis

Setelah pengujian batas cair, selanjutnya adalah pengujian batas plastis yang bertujuan untuk menentukan batas keplastisan tanah dalam keadaan semi padat.

Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Sampel tanah terganggu
2. Plat kaca
3. Spatula
4. Air aquades
5. Cawan
6. Oven
7. Timbangan

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Dengan langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Mengaduk sampel tanah uji dengan air aquades hingga merata di atas plat kaca, dengan memastikan bahwa tanah tidak terlalu berair
2. Memilin tanah hingga berbentuk panjang dengan diameter mencapai 3 mm hingga tanah mulai retak
3. Mengumpulkan beberapa gram tanah yang sudah dipilin ke dalam cawan
4. Menimbang cawan berisi tanah uji kemudian mengeringkannya k dalam oven selama 24 jam
5. Mengeluarkan cawan berisi tanah tersebut dan menunggu hingga dingin sebelum ditimbang kembali
6. Menghitung hasil yang diperoleh sehingga menunjukkan kadar air pada batas plastis ini

3) Batas Susut

Pengujian yang ketiga dari pengujian batas-batas atterberg ini, adalah pengujian batas susut. Pengujian batas susut bertujuan untuk menentukan kadar air pada batas susut. Adapun perlengkapan yang digunakan dalam pengujian batas susut ini adalah sebagai berikut:

1. Sampel tanah
2. Aquades
3. Spatula
4. Pelat kaca
5. Air raksa
6. Timbangan
7. Oven
8. Cawan porselin
9. *Crystallizing dish*
10. Cawan batas susut
11. *Petroleum Jelly*

Pengujian batas susut dilakukan dengan Langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengaduk sampel tanah dengan air aquades sehingga seluruh pori tanah terisi hingga homogen dengan jumlah air lebih banyak daripada batas air pada pengujian batas cair
2. Mengoleskan cawan batas susut dengan *petroleum jelly*. Hal ini untuk mencegah sampel tanah melekat dalam cawan batas susut
3. Memasukkan sampel yang sudah diaduk sedikit demi sedikit ke dalam cawan batas susut ini
4. Kemudian, mengetuk cawan batas susut sehingga sampel mengisi seluruh rongga dan tidak terbentuk gelembung udara
5. Melakukan langkah 3 dan 4 sampai cawan terisi sempurna
6. Meratakan permukaan sampel tanah dengan spatula
7. Menimbang sampel dalam cawan pada kondisi basah tersebut, kemudian mengeringkannya selama 24 jam di dalam oven
8. Mengeluarkan dan menunggu sampel hingga dingin setelah sampel tanah kering
9. Menimbang kembali sampel dalam keadaan kering tersebut
10. Berikutnya adalah menentukan volume sampel basah dengan meletakkan cawan di atas *crystalizing dish*, kemudian mengisikan air raksa hingga penuh. Untuk mengisi seluruh cawan dengan air raksa dengan volume yang sesuai, maka dapat dengan menekan permukaannya dengan plat kaca. Volume sampel tanah basah merupakan berat air raksa yang mengisi seluruh cawan.
11. Menentukan volume sampel uji kering dengan cara memasukkan sampel tanah kering ke dalam cawan berisi air raksa sehingga sampel tersebut tenggelam dan tertutup oleh air raksa.
12. Menimbang berat air raksa yang meluap akibat sampel tanah yang dimasukkan ke dalam air raksa. Batas susut diperoleh berdasarkan Persamaan (2.17)

Berdasarkan tiga pengujian tersebut, maka diperoleh indeks plastis yang merupakan selisih batas cair dan batas plastis. Indeks plastis dan batas cair ini berguna untuk menentukan tingkat keplastisan tanah berdasarkan grafik *cassagrande*.

e. Uji Triaksial

Untuk menentukan kuat geser tanah dilakukan dengan metode pengujian standar ASTM D – 3080 – 72 triaksial *Consolidated-Undrained*. Pengujian ini dilakukan dengan memberi tegangan atau tekanan pada *cell* dengan tiga tahap yaitu tahap penjenjuran (*Saturation Stage*) yakni sampel dijenuhkan dengan menggunakan tekanan air dari *Back Pressure* yang kemudian disetimbangkan kembali dengan tetap memberi *Cell Pressure*, kemudian tahap konsolidasi (*Consolidated Stage*) dengan menaikkan tekanan *Cell Pressure* sampai pada *Porse Pressure* dan *Back Pressure* memiliki nilai yang sama dan tahap ketiga adalah tahap kompresi (*Shear Stage*) yakni sampel diberi tekanan dalam arah *axial* dengan kecepatan tertentu hingga sampel tanah yang diuji runtuh. Dari hasil pengujian sampel kemudian dibuat suatu grafik linear yang menunjukkan nilai kohesi dan sudut geser. Nilai kohesi dan sudut geser dapat ditentukan berdasarkan hubungan berikut ini

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (3.5)$$

Dengan τ_f adalah kuat geser tanah (kN/m^2), c' merupakan kohesi tanah (kN/m^2), ϕ' merupakan sudut geser dalam tanah efektif dan σ' merupakan tegangan efektif pada bidang runtuh (kN/m^2).



Gambar 3. 22 Proses pengujian triaksial

Proses pengujian triaksial ditampilkan pada Gambar 3.22 dengan prosedur dalam pengujian triaksial adalah sebagai berikut:

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Triaxial set terdiri dari:

1. *Cell triaxial*, yang terdiri dari tabung *fiberglass*, kran-kran, baut pengunci, dan juga *seal* (sekat karet) agar tidak terjadi kebocoran air.
2. Manometer pengontrol tekanan pori (*Pore Pressure*), tekanan cell (*Cell Pressure*), *Back Pressure*, dan 2 buah *volume change* atau buret yang berisi parafin cair.
3. Alat pemberi tegangan otomatis dan pengendali kecepatan.
4. *Dial gauge* (semacam manometer) dan *proving ring*
5. Compressor dan tabung-tabung *Cell Pressure* dan *Back Pressure*.

Pada pengujian ini juga digunakan alat bantu yang terdiri dari :

1. *Extruder*
2. Spatula
3. Timbangan
4. Penggaris
5. Membran dan karet gelang
6. Batu pori dan kertas filter

Berikut ini merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam uji triaksial:

- 1) Melakukan persiapan dan pengontrolan alat yang hendak digunakan sebelum melakukan uji triaksial. Beberapa hal yang harus diperhatikan adalah kompresor berfungsi dengan baik, tidak terjadi kebocoran pada kran dan selang dan menyesuaikan posisi paraffin agar tidak terlalu berada di bawah.
- 2) Langkah selanjutnya adalah melakukan persiapan sampel dan pemasangan alat, dengan cara
 1. Merapikan sampel menggunakan spatula, kemudian mengeluarkan sampel dari tabung *core* dengan menggunakan *extruder*
 2. Menimbang sampel yang telah dikeluarkan tersebut
 3. Meletakkan kertas filter dan batu pori pada kedua ujung sampel sebelum meletakkan sampel ke dalam *cell triaxial*
 4. Menggunakan karet/*membrane* untuk lapisan luar sampel hingga terlapsi dengan baik dengan bantuan tabung khusus yang memiliki selang untuk menyedot udara dalam tabung.

5. Melepaskan *membrane* dengan perlahan dari tabung tersebut. Memasang karet pada besi bagian bawah sampel dan lilitkan selang *fiberglass* BP ke sampel dengan perlahan lalu masukkan *top cap* tersebut tepat di atas sampel (di dalam *membrane*) kemudian memasang karet juga di luar *membrane*-nya. Sehingga karet terpasang di bagian bawah dan atas sampel.
 6. Memasang tabung *cell (chamber)* dan mengencangkan baut-bautnya setelah sampel tertutup rapat oleh *membrane* dan karet. Kemudian menurunkan batang besi yang berada di dalam *chamber* hingga dapat mengenai *top cap* secara perlahan.
 7. Setelah dipastikan tabung *cell (chamber)* sudah tertutup rapat, maka dapat memasukkan air ke dalam tabung dengan cara:
 - a. Membuka kran *cell pressure* CP yang terletak pada tabung *cell*, sedangkan kran BP dan PP tetap tertutup.
 - b. Menaikkan tekanan CP menjadi 0.5 kg/cm^2 , tekanan harus kecil untuk menghindari timbulnya gelombang udara pada *cell*
 - c. Membuka kran CP yang mengalirkan air dari tabung CP hingga *chamber* terisi penuh oleh air dengan memastikan bahwa baut yang berada di atas *chamber* tidak kencang.
 - d. Menutup lubang pada baut di atas *chamber* setelah air hampir penuh, jika sudah keluar sedikit air artinya sudah penuh dan baut dapat dikencangkan
 - e. Menutup kembali semua kran yang terbuka, kemudian membuka kran dibagian bawah kanan dan kiri setiap buret.
 8. Menyiapkan formulir untuk tahap berikutnya.
- 3) Tahap 1 (*Saturation Stage*). Pada tahap ini sampel dijenuhkan dengan menggunakan tekanan air dari *Back Pressure* dan diseimbangkan dengan tetap memberi *Cell Pressure* yang dinaikan tekanannya secara berkesinambungan bersama BP jika tekanan pori sudah konstan atau mendekati tekanan pada BP.

1. Dengan tekanan CP adalah 0.5 kg/cm^2 , mencatat terlebih dahulu nilai CP dan *volume change before* pada buret CP. Kemudian membuka kran *Cell Pressure (CP)* dan *Pore Pressure (PP)*
 2. Mengatur dan menstabilkan air raksa sesuai dengan panah. Jika sudah stabil, kemudian mencatat nilai *Pore Pressure* dan *volume after* pada buret CP
 3. Memberi tekanan pada BP sebesar 0.4 kg/cm^2 , dalam keadaan CP dan PP terbuka sedangkan kran BP tertutup. Kemudian dapat mencatat nilai BP dan *volume before* pada buret BP. Setelah itu, membuka kran BP dan atur air raksa kembali hingga stabil
 4. Apabila air raksa sudah konstan/stabil maka dapat mencatat nilai PP dan *volume after* pada buret BP.
 5. Selanjutnya menaikkan tekanan dan lakukan pembacaan CP dan BP seperti langkah di atas
 6. Jika B value sudah mendekati atau sama dengan 1 artinya sampel uji dalam keadaan jenuh yakni nilai tekanan PP sama dengan BP, maka melanjutkan ke tahap saturasi untuk pembacaan CP pada efektif pressure 0.5 kg/cm^2
- 4) Tahap 2 (*Consolidation Stage*) setelah dilakukan saturasi untuk efektif *pressure* 0.5 kg/cm^2 maka selanjutnya adalah konsolidasi pada posisi CP tersebut.
1. Mencatat nilai CP, BP, PP dan *volume change* pada BP sebagai *volume before* pembacaan
 2. Menyiapkan *stopwatch*, membuka kran BP (sehingga semua kran pada *chamber* terbuka) bersamaan dengan dimulainya *stopwatch*
 3. Mengatur kedudukan air raksa agar tetap setinggi tanda panah agar *pore pressure* selalu terbaca pada manometer
 4. Membaca dan mencatat nilai PP dan *volume change* pada buret BP setiap satuan waktu tertentu. Apabila nilai PP sudah turun dan sama dengan BP dan *volume change* pada buret BP sudah konstan maka konsolidasi dianggap sudah selesai

- 5) Tahap 3 (*Compression Stage*). Setelah tahap II selesai, tutup kran BP tetapi kran CP dan kran *Pore Pressure* tetap terbuka. Prinsipnya adalah memberi tekanan dalam arah *axial* dengan suatu kecepatan tertentu (*strain rate*), sampai tanah runtuh/patah.
1. Menutup Kran BP, sedangkan kran PP dan CP tetap terbuka
 2. Memastikan bagian ujung penekan *proving ring* sudah menyentuh sampel
 3. Mengatur *dial gauge* di *proving ring* dan *strain* pada posisi nol, dengan memutar baut
 4. Mendorong gigi rantai ke depan sehingga saling bertaut dengan gigi rantai depannya kemudian mengatur gigi kecepatan (*strain rate*) pada kecepatan B
 5. Mencatat nilai *proving ring* dan PP pada saat *dial strain* dalam keadaan 0
 6. Menyalakan tombol power motor penggerak dan lakukan pembacaan *dial gauge proving ring* dan tekanan pori setiap 0.2 *dial strain*
 7. Menghentikan pembacaan jika *proving ring* sudah konstan atau turun yang berarti bahwa tanah telah runtuh/patah. Sehingga motor penggerak dapat dimatikan
 8. Mendorong kembali gigi rantai dari depan, kemudian mengembalikan *dial strain* hingga *proving ring* ke angka 0 dan mencatat posisi akhir *dial strain*
 9. Setelah tahap ini selesai, dilanjutkan dengan saturasi untuk pembacaan kedua yakni pada efektif *pressure* sama dengan 1. Kemudian konsolidasi dan kompresi kembali.
 10. Selanjutnya saturasi pembacaan ketiga pada efektif *pressure* sama dengan 2 lalu konsolidasi dan kompresi.
 11. Jika sudah selesai pada tahap kompresi yang ketiga maka tabung *cell* diturunkan dengan memutar tuas ke kiri.
- 6) Apabila semua tahap telah selesai dilakukan, maka selanjutnya adalah pembongkaran sampel dari *chamber*, dengan cara mengembalikan semua tekanan ke posisi nol dan air kembali ke tabung penampungnya sehingga sampel dapat diturunkan. Kemudian dilakukan proses pengeringan untuk mengetahui kadar air setelah pengujian triaksial.

3.5 Teknik Pemodelan Lereng

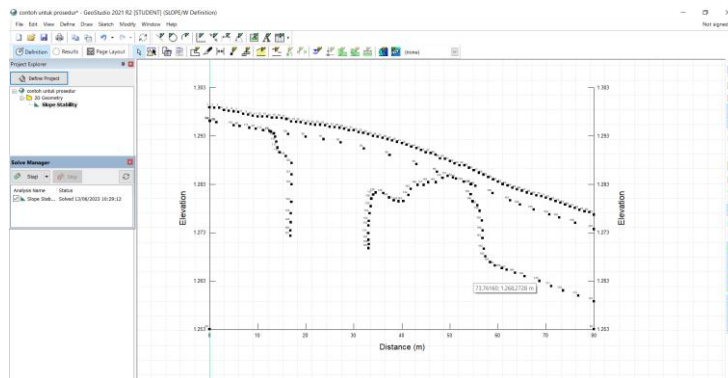
Dari hasil yang telah diperoleh untuk profil bawah permukaan dan hasil pengujian menggunakan metode mekanika tanah dapat dilakukan untuk menentukan bidang gelincir menggunakan Geostudio *Slope/W* dan pyBIMstab. Pada perangkat Geostudio *Slope/W* (<https://www.geoslope.com/>), lereng dimodelkan berdasarkan citra georadar, data topografi yang diperoleh dan data parameter sifat fisik dan mekanika tanah serta kedalaman muka air tanah yang ditentukan. Dari pemodelan ini diperoleh kestabilan lereng berupa faktor keamanan yang merupakan perbandingan antara gaya penahan dan gaya pendorongnya dengan menggunakan metode *Morgenstern – Price* (M – P). Pada penelitian ini, setelah diketahui kondisi kestabilan lereng yang sebenarnya, lereng dimodelkan menjadi lereng dalam keadaan yang kritis yakni keadaan saat lereng tepat akan bergerak dengan faktor keamanan yang diperoleh harus bernilai mendekati 1,00.

Faktor keamanan yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hasil faktor keamanan dari pemodelan yang diperoleh dari pyBIMstab (<https://pybimstab.readthedocs.io/en/latest/>) yakni metode pemodelan *Block in Matrix* (BIM). PyBIMstab ini tersusun atas 10 modul yang menghasilkan pemodelan lereng yang memiliki area bidang gelincir yang berbentuk *non-circular*. Parameter sifat tanah dan topografi dimasukkan ke dalam *script* yang telah tersusun dari modul-modul untuk melakukan pemodelan. Dalam pemodelan ini, perlu diperhatikan parameter radius untuk menentukan kedalaman bidang gelincir yang hendak dimodelkan, selanjutnya adalah parameter dalam menghasilkan blok-blok dalam lereng tersebut, seperti ukuran dan jumlah blok dalam lereng. Setelah diatur sedemikian rupa, kemudian bidang gelincir tergambar dan faktor keamanan secara otomatis muncul.

Adapun prosedur dalam pemodelan menggunakan geostudio adalah sebagai berikut:

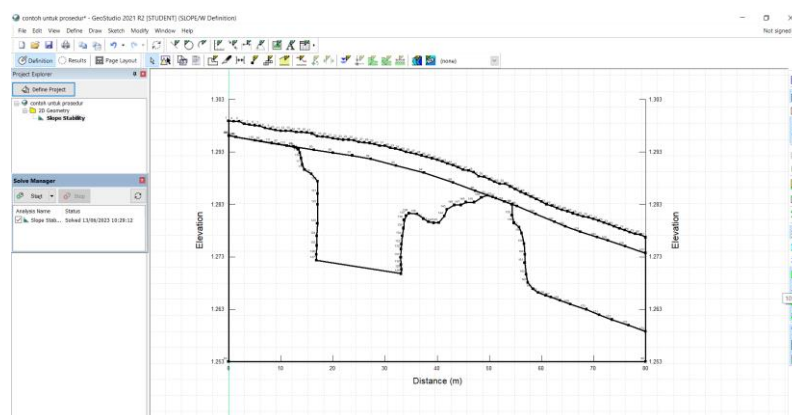
1. Membuka aplikasi Geostudio dengan *student lisenca*. Kemudian membuat *project* baru, dan pilih ukuran kertas untuk *project* baru ini, yakni imperial. Lalu klik *create*.

2. Hal pertama yang perlu dilakukan ketika memulai *project* baru adalah melakukan *define project* dengan cara pada *project* baru ini, klik kanan kemudian *add geometry* > 2D kemudian klik kanan kembali pada 2D *Geometry* dan *add analysis* > *Slope/W analysis* > *Limit equilibrium*. Pada *PWP conditions* gunakan *piezometric line*.
3. Selanjutnya adalah merubah satuan unit yang digunakan melalui *view* > *unit*. Merubah satuan panjang, gaya, dan berat untuk memudahkan pemodelan.
4. Kemudian membuat sumbu x dan y melalui menu *sketch axes* sesuai dengan elevasi dan panjang profil geofisika yang diperoleh
5. Memplot titik-titik koordinat jarak dan elevasi yang diperoleh dari data topografi untuk lapisan di permukaan dan berdasarkan perhitungan untuk lapisan di bawah permukaan sehingga diperoleh hasil seperti Gambar 3.23.



Gambar 3. 23 Hasil plot koordinat jarak terhadap elevasi untuk setiap lapisan di Geostudio

6. Menghubungkan titik-titik tersebut untuk membuat region, seperti Gambar 3.24, menggunakan menu *draw region* sesuai dengan lapisan penyusun lereng.



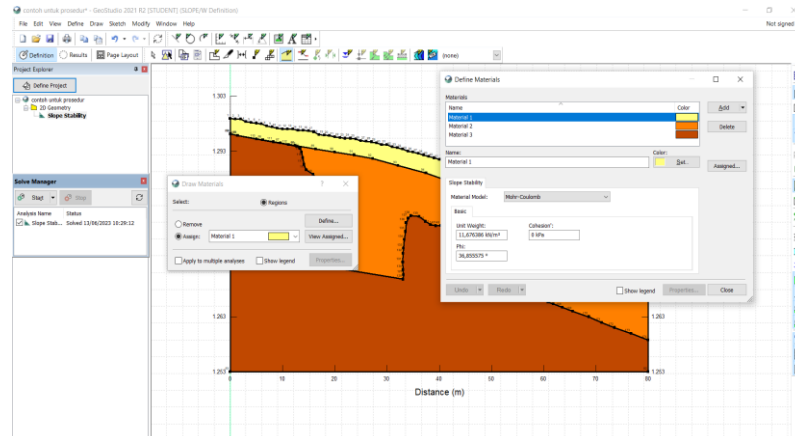
Gambar 3. 24 Hasil region yang telah digambar untuk setiap lapisan

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

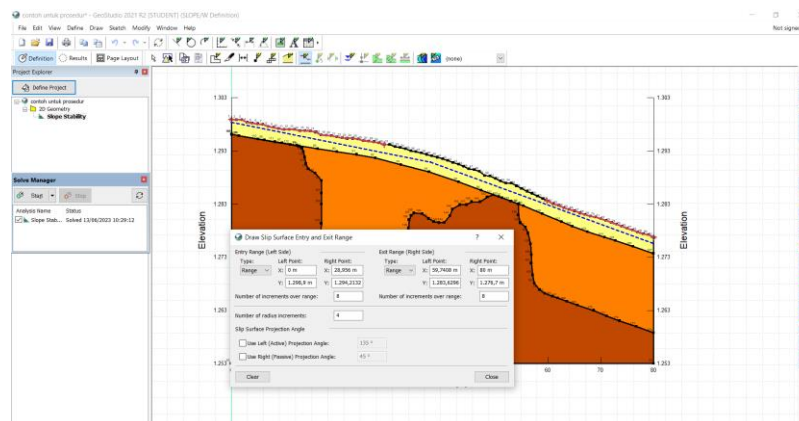
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

7. Memasukkan karakteristik material untuk setiap lapisan dengan warna yang berbeda. Menu untuk input material ini berada pada menu *draw material* > *define* > *add>material* kemudian pilih *Mohr-Coulomb*. Parameter material yang diinput adalah berat isi, kohesi efektif dan sudut geser efektif seperti pada Gambar 3.25.



Gambar 3. 25 Proses memasukkan nilai parameter mekanika tanah ke setiap lapisan yang telah dibuat

8. Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan kedalaman muka air tanah dengan mengklik *draw water-pressure* dari ujung sampai ujung lereng sesuai dengan kondisi yang hendak diterapkan. Setelah itu membuat lokasi *entry* dan *exit* untuk menentukan area bidang gelincir dengan tipenya adalah *range* sehingga dalam pemodelan ini dapat melakukan beberapa kali iterasi sampai memperoleh bidang gelincir yang paling kritis. Hal tersebut dapat dilakukan sebagaimana pada Gambar 3.26.



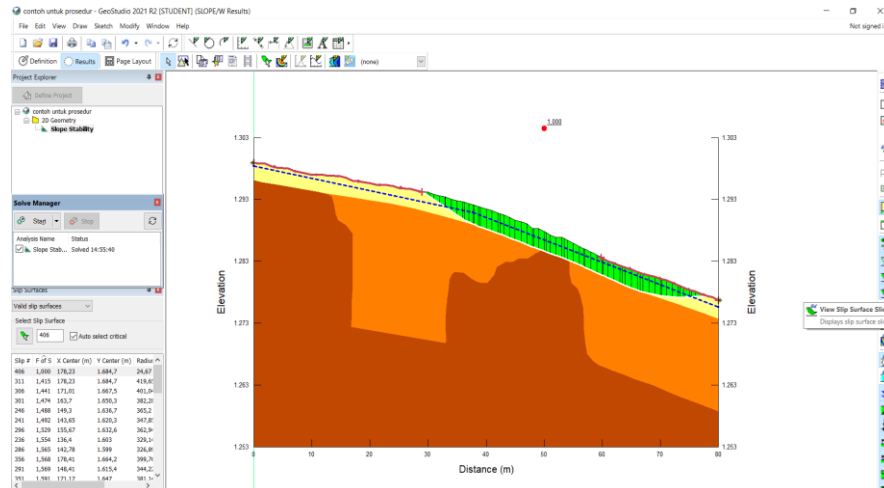
Gambar 3. 26 Proses menentukan muka air tanah serta entry dan exit bidang gelincir

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

9. Untuk memperoleh nilai faktor keamanan maka dapat dilakukan dengan mengklik *start* yang berarti pemodelan dijalankan. Setelah menunggu hingga proses selesai, maka tampil gambar dengan faktor keamanan yang diperoleh pada bidang gelincir yang dipilih, dalam hal ini adalah yang paling kritis sebagaimana pada Gambar 3.27.



Gambar 3. 27 Hasil dari menjalankan pemodelan lereng di Geostudio

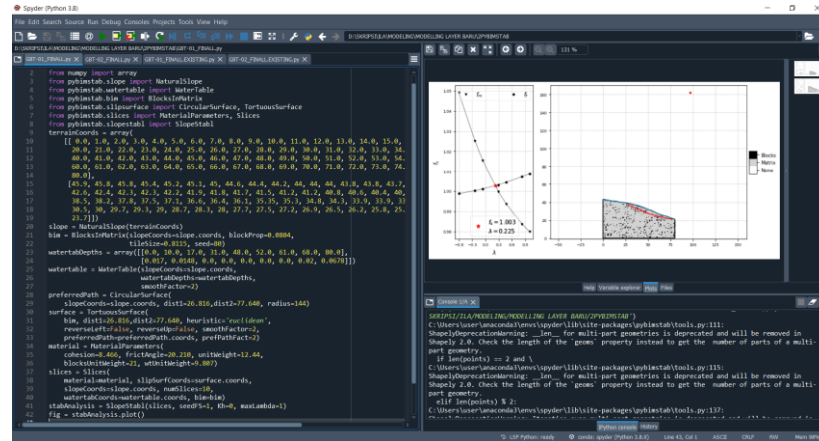
Adapun prosedur pemodelan menggunakan PyBIMstab yang ditunjukkan pada Gambar 3.28 adalah sebagai berikut:

1. Menginstal Anaconda terlebih dahulu, kemudian menginstal modul-modul yang digunakan yakni pyBIMstab *shapely*, *numpy*, *scipy* dan *matplotlib* pada *Anaconda prompt*
2. Menginstal Spyder 4.1.5 pada Anaconda Navigator dan membuka spyder untuk mulai pemrograman
3. Memasukkan *script* seperti pada lampiran untuk memodelkan lereng menggunakan metode BIM ini
4. Menjalankan program dengan klik *run* sehingga muncul gambar geometri lereng beserta bidang gelincir dan faktor kemannya pada bilah *plot*
5. Apabila didapat $FK \sim 1$ maka pemodelan telah selesai
6. Namun, jika belum maka dapat dilakukan variasi pada *radius*, *tilsize* dan *blockprop* untuk memperoleh $FK \sim 1$

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu



Gambar 3. 28 Proses pemodelan lereng menggunakan PyBIMstab

Pada kedua pemodelan ini, faktor keamanan yang diperoleh harus menunjukkan hasil yang sama atau paling tidak mendekati, untuk meyakinkan bahwa analisis kestabilan lereng yang diperoleh adalah hasil analisis dari data yang akurat. Dari hasil faktor keamanan ini, dengan kondisi lereng yang tidak stabil maka dapat dilakukan prediksi karakteristik gerakan tanah yang akan terjadi hingga kecepatan dan jarak jangkauan gerakan tanahnya.

3.6 Teknik Prediksi Kecepatan dan Jarak Jangkauan Gerakan tanah

Setelah dilakukan pemodelan stabilitas lereng maka selanjutnya dapat dilakukan prediksi kecepatan dan jarak jangkauan untuk lereng tidak stabil dan akan mengalami gerakan tanah. Penentuan ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan model gesekan *Coulomb* sederhana sehingga dapat dihitung pergerakan tanah dari energi potensial awal yang dibawa oleh massa tanah. Dalam melakukan perhitungan ini, lereng harus dimodelkan pada saat lereng tepat akan bergerak yakni dengan faktor keamanannya adalah mendekati 1 ($FK \sim 1$). Dilakukan penentuan pusat massa dari material berpotensi longsoran dan pusat massa saat tanah diasumsikan sudah bergerak yang diperoleh menggunakan *Software (Fiji is Just) ImageJ* (<https://fiji.sc/>) sehingga diketahui selisih ketinggian material yang berpotensi longsoran untuk menghitung kecepatan pergerakannya. Berikut ini merupakan langkah yang harus dilakukan untuk memperoleh pusat massa pada suatu material tertentu:

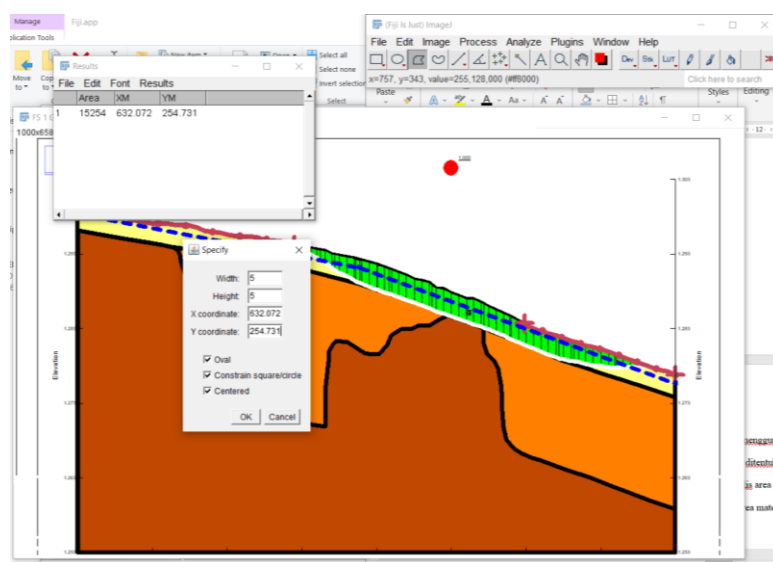
1. Membuka aplikasi (*Fiji is Just*) *ImageJ*, kemudian membuka hasil pemodelan yang ditentukan pusat massanya melalui menu *open*

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBAH SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

2. Pada toolbar, memilih *analyze* kemudian melakukan *set measurement* dan menceklis area dan *center of mass*
3. Setelah itu, menggambar area menggunakan *polygon* mengelilingi area material berpotensi longsor tersebut
4. Kemudian memilih *analyze* dan buka measurement sehingga menampilkan koordinat X dan Y pusat massa dari area yang dibuat
5. Mengklik menu edit kemudian *specify*, selanjutnya memasukkan koordinat pusat massa, mengatur lebar dan ketinggian penanda pusat massa dan menceklis semua yang berada pada menu *specify* ini sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 3.29.



Gambar 3. 29 Penentuan pusat massa material menggunakan (*Fiji is Just ImageJ*)

6. Menandai pusat massa yang diperoleh dengan *tools* pewarna pada aplikasi ini sehingga gambar pemodelan yang berisi pusat massa ini dapat disimpan

Sedangkan untuk jarak jangkauannya diperoleh dari perbandingan ketinggian pusat massa material yang berpotensi longsor dengan koefisien gesek material yang berpotensi longsor tersebut melalui Persamaan 2.37. Koefisien gesek ini didapat dari sudut kemiringan pusat massa terhadap bidang datar di area penelitian. Kecepatan material bergerak dari pusat massa menuju bidang yang datar tersebut dinyatakan dengan Persamaan 2.35 yakni berdasarkan perbedaan

Ila Karmila, 2023

ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN DATA GROUND PENETRATING RADAR DAN MEKANIKA TANAH UNTUK PREDIKSI KARAKTERISTIK GERAKAN TANAH DI ZONA SESAR LEMBANG SEKSI GUNUNG BATU

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

ketinggian pusat massa satu dengan pusat massa kedua yang merupakan proyeksi pusat massa satu berdasarkan sudut kemiringan lereng.

3.5 Teknik Analisis Data

Pada penelitian ini, analisis data dilakukan untuk mengetahui kestabilan lereng dan prediksinya terkait karakteristik gerakan tanah adalah melalui analisis profil lereng dan karakteristik material yang berpotensi longsor. Data GPR yang telah diproses, kemudian diinterpretasi dan dianalisis citranya untuk menentukan lapisan tanah dan geometri serta kedalaman bidang gelincirnya. Sedangkan data mekanika tanah yang telah diperoleh melalui berbagai pengujian, nilai-nilai setiap parameter dianalisis untuk menentukan karakteristik mekanika tanah tersebut.

Integrasi data GPR dan mekanika tanah digunakan untuk pemodelan lereng sehingga dapat dianalisis kestabilan lereng dalam kondisi sebenarnya berdasarkan faktor keamanan. Kemudian untuk memperoleh prediksi potensi gerakan tanahnya, lereng dimodelkan dalam keadaan kritis dengan faktor yang mungkin terjadi sehingga dapat dilakukan perhitungan untuk karakteristik gerakan tanah. Prediksi yang diperoleh kemudian dianalisis untuk memperoleh kesimpulan sehingga tujuan penelitian tercapai.