

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Pustaka

Sebagai bahan referensi dari penelitian yang berjudul “Analisis Bidang Gelincir dan Ketebalan Lapisan Sedimen pada Zona Longsor dengan Metode Mikrotremor di Desa Kalongan, Ungaran Timur, Semarang” digunakan penelitian-penelitian terdahulu sebagai bahan acuan yang relevan. Adapun tinjauan pustaka berasal dari jurnal yang digunakan sebagai referensi dan perbandingan dalam penelitian ini:

1. Penelitian yang dilakukan oleh Hendri Sulistiawan, Supriyadi, dan Ian Yulianti pada tahun 2016 dengan judul penelitian “Studi Ketebalan Lapisan Sedimen Daerah Kampus Unnes dengan Menggunakan Metode Mikrotremor”. Penelitian ini menunjukkan bahwa di Kampus Unnes memiliki ketebalan sedimen bervariasi yakni antara 20 s.d 40 meter.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Sabda Lestari, Arief Laila Nugraha, dan Hana Sugiastu Firdaus pada tahun 2019 dengan judul penelitian “Pemetaan Risiko Tanah Longsor Kabupaten Semarang Berbasis Sistem Informasi Geografis”. Penelitian ini menunjukkan bahwa Kecamatan Ungaran Timur memiliki tingkat kerentanan longsor yang tinggi, tingkat curah hujan tahunan yang tinggi, kemiringan lereng berkisar antara 15% s.d 24 %.
3. Penelitian yang dilakukan oleh Supriyadi, Khumaedi, Sugiyanto, dan R.H. Hidayatullah pada tahun 2018 dengan judul penelitian “Identifikasi

Ketebalan Lapisan Sedimen dan Struktur Bawah Permukaan di Zona Amblesan Kota Lama Semarang Berdasarkan Data Mikroseismik”. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa daerah penelitian tersebut terdiri dari batuan aluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dengan kedalaman 30 meter atau lebih dimana ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal.

4. Penelitian yang dilakukan oleh Abdelouahab Issaadi, Fethi Semmane, Abdelkrim Yelles-Chaouche, Juan Jose Galiana-Merino, and Khalissa Layadi pada tahun 2020 dengan judul penelitian “*A Shear-Wave Velocity Model in the City of Oued-Fodda (Nothern Algeria) from Rayleigh Wave Ellipticity Inversion*”. Penelitian ini menunjukan pada bagian pusat kota Oued-Fodda di Algeria Utara memiliki frekuensi yang tinggi yaitu 12.5 s.d. 15 Hz dengan kedalaman dangkal kurang dari 20 m. Hasil dari penelitian ini dibagi menjadi empat zona yang tersusun oleh batuan alluvium Holosen, batuan alluvium Pleistosen, batu kapur atau gamping Miosen, dan batuan dasar periode Neogene.

Terdapat beberapa perbedaan antara penelitian “Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen dan Bidang Gelincir pada Zona Longsor dengan Metode Mikrotremor di Desa Kalongan, Ungaran Timur, Semarang” dengan keempat penelitian di atas. Dibandingkan penelitian yang dilakukan oleh Hendri Sulistiawan, dkk pada 2016, Supriyadi, dkk pada 2018, dan Abdelouahab Issaadi, dkk pada 2020 terdapat perbedaan lokasi penelitian namun memiliki kesamaan pada metode yang digunakan dan objek penelitian yaitu mikrotremor dan ketebalan lapisan sedimen.

Penelitian yang dilakukan oleh Sabda Lestari, dkk pada 2019 terdapat perbedaan metode yang digunakan namun lokasi penelitian cukup identik yaitu di Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Tanah Longsor

Tanah longsor adalah pergerakan batuan, sisa-sisa batuan, atau tanah yang disebabkan oleh adanya gravitasi (Blasio, 2011). Longsor termasuk suatu perpindahan tanah atau batuan dengan kemiringan tertentu yang dipengaruhi gravitasi. Peristiwa alam ini biasa disebut sebagai erosi yang mengangkut dan memindahkan tanah dalam volume yang besar. Longsor dapat terjadi karena suatu volume tanah meluncur di atas suatu lapisan agak kedap air yang jenuh air dimana lapisan tersebut terdiri dari liat atau mengandung kadar liat tinggi yang setelah jenuh air berfungsi sebagai rel (Uca dan Maru, 2019).

Menurut Uca dan Maru (2019) longsor akan terjadi jika terdapat syarat-syarat yang harus terpenuhi yaitu kemiringan lereng yang curam sehingga material tanah dengan volume besar dapat bergerak menuruni lereng, terdapat lapisan batuan atau tanah di bawah permukaan tanah yang tidak dapat meloloskan air dan lunak sehingga dapat memicu pergerakan yang berfungsi sebagai bidang gelincir, dan longsor dapat terjadi bila terjadi infiltrasi air ke dalam tanah sehingga pori-pori tanah menjadi jenuh. Aizid (2021) mengklasifikasi beberapa faktor penyebab terjadinya tanah longsor yaitu sebagai berikut:

1. Gempa Bumi

Tanah longsor dapat terjadi dikarenakan adanya gempa bumi di area rawan longsor. Gempa bumi merupakan sebuah getaran yang terdapat di dalam bumi sehingga dapat memicu pergerakan permukaan bumi yang menimbulkan tanah longsor. Gempa bumi sendiri dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu gempa tektonik, gempa vulkanik, dan gempa runtuh. Dari tiga jenis gempa bumi tersebut, umumnya gempa tektonik yang dapat memicu terjadinya tanah longsor. Sebab, gempa tektonik mampu mematahkan lapisan kulit bumi sehingga menyebabkan lereng-lereng curam runtuh atau tanah longsor.

2. Getaran

Getaran menjadi salah satu penyebab utama terjadinya tanah longsor. Getaran yang mengakibatkan tanah longsor tidak hanya dipicu oleh gempa bumi saja, namun getaran tersebut juga bisa berasal dari mesin, kendaraan yang berlalulalang di area rawan longsor, getaran akibat bahan peledak, dan getaran akibat sambaran petir.

3. Curah Hujan Tinggi

Hujan dengan curah tinggi menjadi salah satu penyebab utama tanah longsor dikarenakan pergerakan massa tanah dan batuan dibawa oleh air. Ketika curah hujan tinggi maka potensi longsor menjadi besar. Secara umum peristiwa tanah longsor paling banyak disebabkan oleh curah hujan yang tinggi. Hujan dapat menyebabkan *splash erosion* di daerah dengan lereng yang curam, seperti lereng perbukitan dimana akhirnya berujung

pada tanah longsor. Ketika air hujan secara terus-menerus mengantam permukaan tanah maka tanah tidak akan kuat menahan aliran air hujan.

4. Hancurnya Bebatuan

Jenis batuan yang sering longsor adalah jenis batuan sedimen kecil dan batuan endapan yang berasal dari gunung berapi. Sedimen terbentuk dari fragmentasi (pemecahan) batuan. Batuan yang terdapat di lereng memiliki sifat lapuk dan mudah hancur.

5. Tumpukan Sampah

Faktor ulah manusia ini menjadi salah satu penyebab terjadinya longsor. Kondisi akan menjadi semakin rawan ketika hujan turun dengan intensitas tinggi. Tumpukan sampah yang membebani tanah di bawahnya ditambah dengan guyuran air hujan membuat tanah rawan terjadi longsor. Tanah-tanah di bawah tumpukan sampah akan menjadi lapuk sehingga tanah tidak mampu menahan beban yang begitu berat dalam waktu lama.

6. Hutan Gundul

Penggundulan hutan merupakan salah satu ulah manusia yang menjadi penyebab terjadinya tanah longsor. Keberadaan pohon sangat penting terutama di daerah rawan longsor. Hal tersebut dikarenakan pentingnya fungsi pohon yakni memperkuat struktur tanah dan akarnya dapat menyerap air dari tanah. Ketika banyak pepohonan ditebang secara liar maka perbuatan tersebut akan berimbas pada melemahnya struktur tanah. Sehingga saat hujan turun dengan curah yang tinggi akan menyebabkan tanah longsor karena struktur tanah yang lemah.

7. Lereng dan Tebing Terjal

Lereng dan tebing yang terjal sangat rawan terjadi longsor karena proses pembentukan keduanya melalui angin dan air yang berada di sekitar lereng. Hal tersebut menimbulkan pengikisan lereng secara kontinu. Pengikisan itu akan menjadi penyebab tanah mudah longsor.

8. Lahan Pertanian di Lereng

Adanya lahan pertanian di lereng yang terjal dapat memicu terjadinya tanah longsor dikarenakan alih fungsi dari lahan hutan menjadi lahan pertanian. Tanaman-tanaman dari hasil pertanian maupun perkebunan memiliki akar yang kecil dibandingkan dengan akar pepohonan hutan yang ditebang. Akibatnya tanaman tersebut tidak cukup kuat menjaga struktur tanah agar tetap kuat.

9. Tanah Tidak Padat

Tanah longsor dapat terjadi dikarenakan struktur tanahnya yang tidak padat atau solid sehingga tidak kuat menahan beban di atasnya. Jenis tanah tersebut adalah tanah liat dimana tanah tersebut melunak atau lembek ketika diterpa air hujan sehingga dapat menjadi penyebab tanah rawan longsor.

Terjadinya tanah longsor ditandai dengan bergesernya material longsor diatas lapisan yang disebut dengan bidang gelincir. Bidang gelincir adalah lapisan yang menjadi bidang gerak material longsor, baik tanah maupun batuan (Fatmawati dan Afdal, 2022). Bidang gelincir sendiri bersifat *impermeable* dimana air tidak dapat menembus lapisan tersebut. Sehingga air akan menumpuk bersama dengan material

diatas bidang gelincir yang dapat meluncur menuruni lereng dengan volume yang besar menjadi tanah longsor.

2.2.2 Ketebalan Sedimen

Lapisan sedimen merupakan lapisan yang tersusun dari material berukuran halus (lanau-lempung) yang belum terkonsolidasi dengan baik, dimana lapisan sedimen memiliki kerapatan yang lemah sehingga lapisan sedimen dapat menyerap dan meloloskan air ke dalam tanah (Fah dkk, 2001). Material yang sangat rentan terhadap getaran ini dapat mengalami longsor ketika volume air yang terserap semakin bertambah tinggi sehingga menimbulkan gerakan material secara massal. Daerah dengan lapisan sedimen yang tebal memiliki tingkat bahaya yang lebih tinggi terhadap bencana tanah longsor karena volume lapisan sedimen yang terdiri dari material halus dapat dengan mudah mengalami perpindahan massa atau deformasi.

Ketebalan sedimen dapat ditentukan dengan menggunakan kurva H/V . Pada kurva H/V tersebut dapat diketahui ketebalan sedimen melalui *ground profile* v_s . Dengan menggunakan *ground profile* v_s maka dapat diketahui bahwa lapisan sedimen memiliki nilai $v_s \leq 350$ m/s (Badan Standarisasi Nasional, 2012).

2.2.3 Bidang Gelincir

Bidang gelincir merupakan lapisan yang berperan sebagai bidang gerak material longsor (Fatmawati dan Afdal 2022). Bidang gelincir memiliki sifat *impermeable* atau tidak dapat ditembus oleh air, sehingga air akan menumpuk pada lapisan batuan diatas bidang gelincir. Seiring berjalannya waktu, material yang

menumpuk bersama dengan air akan bergerak menuruni lereng sehingga menjadi tanah longsor.

Secara sederhana lapisan bidang gelincir yang bersifat *impermeable* atau tidak dapat ditembus air akan memiliki nilai kecepatan gelombang geser (v_s) yang berbeda dibandingkan dengan lapisan atasnya yang bersifat *permeable* atau dapat dilewati air. Hal tersebut yang kemudian menjadi dasar analisis lapisan bidang gelincir. Terdapatnya bidang gelincir menjadi faktor penyebab tanah longsor dikarenakan jika air meresap hingga ke dalam lapisan kedap air atau bidang gelincir, maka bidang tersebut menjadi licin sehingga dapat menggelincirkan tanah jatuh ke bawah atau bergerak mengikuti arah kemiringan lereng (Tivana dkk, 2019).

2.2.4 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang menjalar melalui lapisan-lapisan bumi dimana gelombang tersebut berasal dari gerakan tanah, gempa bumi, letusan gunungapi, pergerakan magma, dan kegiatan manusia (Magma Indonesia, 2021). Secara umum, gelombang seismik disebabkan oleh deformasi struktur bawah tanah yang terjadi karena adanya tegangan atau tekanan akibat sifat elastis kerak bumi. Gelombang tersebut membawa energi yang kemudian menjalarkan ke segala arah di seluruh bagian bumi. Gelombang seismik dibagi menjadi dua jenis yakni gelombang badan dan gelombang permukaan (Reynolds, 2011).

A. Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar di dalam inti atau bawah permukaan yang merambat dalam medium elastis dan arah rambatnya ke seluruh bagian bumi. *Body waves* sendiri merambat dalam badan medium yang juga

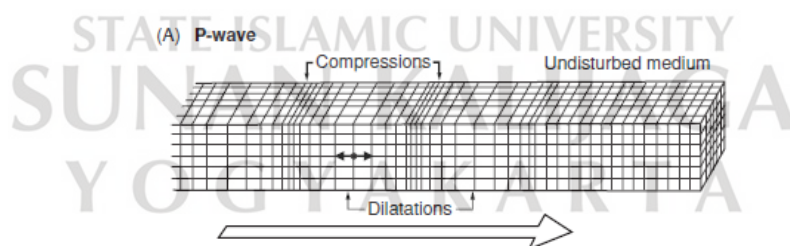
dapat merambat di permukaan bumi dan dapat merambat ke sela-sela bebatuan di bawah permukaan bumi. Gelombang badan sendiri terdiri dari gelombang P (primer) dan gelombang S (sekunder).

a. Gelombang Primer (P Wave)

Gelombang ini adalah gelombang longitudinal partikel yang merambat bolak-balik dengan arah rambatnya. Gelombang primer ini dapat terjadi karena adanya tekanan. Gelombang P dapat menjalar pada semua medium baik padat, cair, maupun gas. Gelombang ini menjalar dengan kecepatan yang sangat tinggi sehingga gelombang ini memiliki waktu tiba terlebih dulu dibandingkan dengan gelombang S. Kecepatan atau cepat rambat dari gelombang P sendiri dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

dengan v_p adalah kecepatan atau cepat rambat gelombang primer (m/s), k adalah modulus *Bulk* (Pa), μ adalah modulus geser (N/m²), dan ρ adalah densitas (Kg/m³).



Gambar 2. 1 Gelombang Primer (Reynolds, 2011)

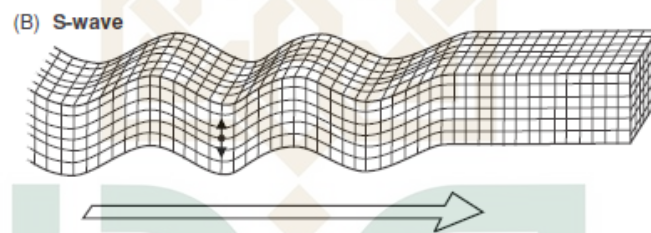
b. Gelombang Sekunder (S Wave)

Gelombang S atau gelombang transversal (*shear wave*) merupakan salah satu gelombang badan (*body wave*) yang memiliki gerak partikel tegak lurus terhadap arah rambatnya serta waktu tibanya setelah gelombang P. Gelombang ini tidak

dapat merambat pada fluida sehingga pada inti bumi bagian luar tidak dapat terdeteksi sedangkan pada inti bumi bagian dalam mampu untuk dilewati. Sehingga gelombang ini hanya dapat merambat pada medium padat dan tidak dapat merambat pada medium cair dan gas. Dalam menentukan cepat rambat atau kecepatan gelombang S sendiri dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

dengan v_s adalah kecepatan gelombang S (m/s), μ adalah modulus geser (N/m^2), dan ρ adalah densitas (kg/m^3).



Gambar 2. 2 Gelombang Sekunder (Reynolds, 2011)

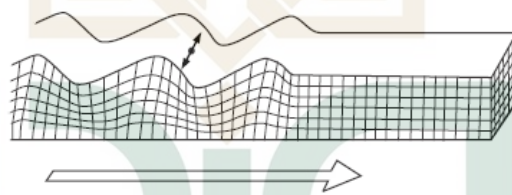
B. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan (*surface waves*) merupakan gelombang seismik yang berjalan pada permukaan bumi dari episentrum. Berdasarkan sifat gerak partikel dalam media elastis, gelombang permukaan merupakan gelombang kompleks yang merambat dengan frekuensi rendah dan amplitudo besar dikarenakan efek permukaan bebas dengan sifat elastis yang berbeda. Gelombang ini termasuk gelombang yang paling lambat. Namun gelombang ini lebih merusak daripada gelombang badan (*body waves*) karena *surface waves* menghasilkan pergerakan

tanah dengan skala yang lebih banyak dan berjalan dengan waktu yang lambat. Pada gelombang permukaan ini terdapat dua jenis gelombang, yakni:

a. Gelombang *Love*

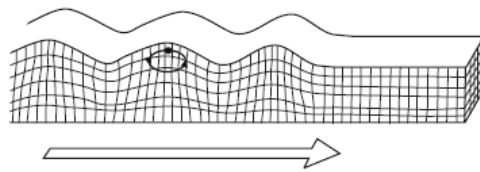
Gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal dan termasuk gelombang S horizontal yang penjalarannya paralel dengan permukaannya. Gelombang Love terbentuk karena interferensi konstruktif dan pantulan-pantulan gelombang seismik pada permukaan bebas. Gelombang ini termasuk gelombang geser yang terpolarisasi secara horizontal dan tidak menghasilkan perpindahan secara vertikal, sehingga gelombang *Love* menyebabkan tanah bergerak ke arah horizontal.



Gambar 2. 3 Gelombang Love (Reynolds, 2011)

b. Gelombang *Rayleigh*

Gelombang *Rayleigh* merupakan gelombang permukaan yang orbit gerakannya elips tegak lurus dengan permukaan dan arah penjalarannya. Gelombang ini terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif. Gelombang ini juga termasuk gelombang dispersif dengan periode yang lebih lama sehingga mencapai materi yang lebih dalam dan lebih cepat daripada gelombang dengan periode yang lebih pendek. Hal tersebut membuat gelombang *Rayleigh* menjadi alat yang tepat dalam mengetahui struktur bawah permukaan.



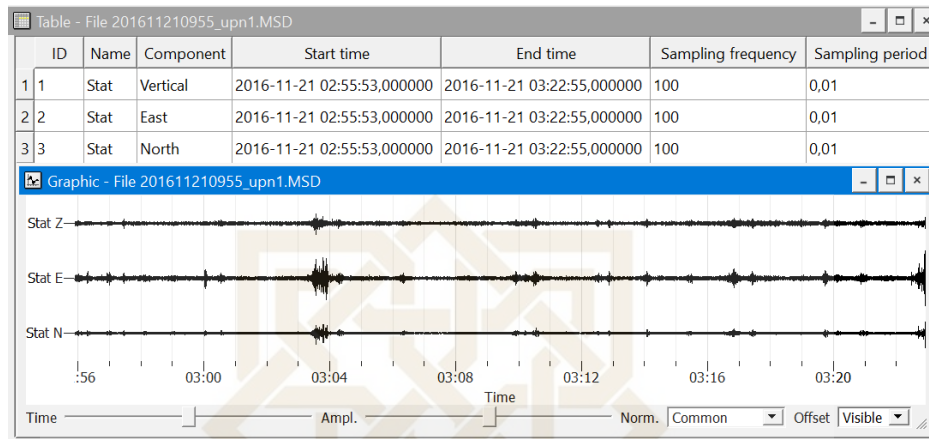
Gambar 2. 4 Gelombang Rayleigh (Reynolds, 2011)

2.2.5 Mikrotremor

Menurut Kanai (1983), mikrotremor adalah getaran tanah yang sangat kecil dan terus-menerus yang berasal dari berbagai macam sumber getaran seperti lalu lintas, angin, aktivitas manusia, dan lain-lain. Mikrotremor dapat juga diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara kontinu di lapisan sedimen permukaan dan terpantulkan oleh bidang batas lapisan dengan frekuensi tetap yang disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah (Arifin dkk, 2014). Mikrotremor diperkenalkan pertama kali oleh Aki dan Kanai (1957) dengan tujuan untuk mempelajari dan mengetahui karakteristik batuan sedimen struktur tanah bawah permukaan pada suatu titik pengukuran. Mikrotremor biasa disebut sebagai *ambient noise*. *Ambient noise* merupakan suatu getaran yang berasal dari tanah dengan amplitudo tertentu yang dapat memberikan gambaran mengenai kondisi geologi pada suatu daerah (Haerudin dkk, 2019). Untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah maka berdasar pada parameter periode dominan dan amplifikasi. Sedangkan parameter yang terukur yaitu frekuensi dominan dan ketebalan sedimen.

Secara umum, perekaman mikrotremor membutuhkan seismometer dengan tiga komponen yaitu merekam komponen *NS* (*north-south*), *EW* (*east-west*), dan vertikal (*up-down*). Perekaman mikrotremor sendiri dilakukan secara langsung

karena objek yang direkam adalah gelombang yang berasal dari alam sehingga sumber buatan tidak diperlukan (Nandi Haerudin dkk, 2019).



Gambar 2. 5 Tampilan tiga komponen sinyal mikrotremor pada Geopsy

Pada gambar 2.5 menunjukkan bahwa sinyal mikrotremor terdiri dari dua komponen horizontal dimana terdapat spektrum stat E (barat-timur) dan spektrum stat N (utara-selatan). Selain terdiri dari dua komponen, juga terdapat komponen vertikal yang diwakili oleh spektrum stat Z. Gelombang yang mendominasi dalam sinyal mikrotremor adalah gelombang permukaan dimana hal tersebut dapat dimanfaatkan dalam mengidentifikasi bidang gelincir dan ketebalan sedimen pada zona longsor. Oleh karena itu, metode mikrotremor dapat diterapkan untuk mengetahui karakteristik suatu lapisan tanah yang berpotensi mengalami longsor.

2.2.6 Metode *Horizontal to Vertical Shear Ratio (HVSr)*

Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) adalah metode yang berdasarkan pada asumsi bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan. Dalam hal penelitian ini maka *HVSr* digunakan sebagai metode untuk mengetahui karakteristik bawah permukaan tanah termasuk dalam mengidentifikasi bidang gelincir dan ketebalan sedimen bawah

permukaan di area longsor. Dengan mendapatkan kurva H/V maka bidang gelincir dan ketebalan sedimen dapat teridentifikasi. Pada puncak kurva H/V didapatkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi gelombang yang terekam di dalam tanah (Nakamura, 1989).

Konsep dasar metode $HVSR$ yakni terdapat kesamaan antara rasio spektra horizontal ke vertikal dengan transfer gelombang dari batuan dasar ke permukaan. Menurut Nakamura (1989), periode dominan dan nilai puncak dari spektra rasio (H/V) memiliki kesamaan dengan periode natural dan faktor amplifikasi dari lapisan tanah, nilai H/V didapatkan dari perbandingan antara spektrum amplitudo fourier komponen gelombang horizontal terhadap gelombang vertikal.

Secara umum, teknik $HVSR$ telah digunakan dalam mikrozonasi maupun studi efek lokal. $HVSR$ yang terekam pada tanah digunakan untuk karakterisasi geologi di daerah setempat, frekuensi dominan, dan amplifikasi yang berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan (Haerudin dkk, 2019). Metode $HVSR$ sering digunakan karena disebut efektif, terjangkau, dan ramah lingkungan, serta bisa digunakan di wilayah pemukiman. Metode $HVSR$ digunakan untuk menganalisis mikrotremor yang nantinya dapat digunakan dan diolah untuk mendapatkan frekuensi natural dari sedimen dan ketebalan sedimen (Nakamura, 1989). Menurut Haerudin dkk (2019), metode $HVSR$ digunakan dengan beberapa asumsi yaitu sebagai berikut:

1. Sebagian besar mikrotremor terdiri dari gelombang geser.
2. Pada lapisan tanah lunak yang diamplifikasi hanya komponen horizontal, tidak untuk komponen vertikal gelombang.

3. Gelombang tersebar ke segala arah pada batuan dasar.
4. Sebagai metode yang digunakan untuk mengeliminasi efek gelombang *Rayleigh* yang diasumsikan sebagai noise mikrotremor.

Metode *HVSR* memiliki hubungan kurva eliptik pada gelombang *Rayleigh*. Metode *HVSR* memanfaatkan rekaman getaran seismometer tiga komponen dimana terdiri dari satu komponen vertikal (atas dan bawah) dan dua komponen horizontal (utara, selatan dan timur, barat) sehingga dapat didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (2.3)$$

dengan S_{HS} adalah spektrum komponen horizontal, S_{VS} adalah spektrum komponen vertikal, dan T_{SITE} adalah struktur geologi lokal (*site effect*).

Gerakan seismik di permukaan tanah yang disebabkan oleh amplifikasi gerakan komponen horizontal dan vertikal di permukaan tanah sedimen yang mana bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan dilambangkan dengan T_H dan T_V (Nakamura, 2000). Pada situasi ini terdapat empat komponen pergerakan, yakni komponen pergerakan horizontal dan vertikal pada batuan dasar dan komponen pergerakan horizontal dan vertikal di permukaan (Slob, 2007). *Site effect* (T_{SITE}) diperhitungkan pada permukaan lapisan batuan sedimen yang ditentukan dengan cara membandingkan antara faktor amplifikasi tanah dari gerakan horizontal dan vertikal di permukaan lapisan batuan sedimen (Daryono, 2009), sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (2.4)$$

dengan T_H adalah nilai faktor amplifikasi tanah dari gerakan horizontal, yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2.5)$$

dengan S_{HS} adalah spektrum sinyal mikrotremor yang berasal dari komponen horizontal pada permukaan tanah, sedangkan S_{HB} adalah spektrum sinyal mikrotremor yang berasal dari komponen horizontal pada lapisan dasar tanah. Pada persamaan (2.4), T_V adalah nilai dari faktor amplifikasi tanah dari gerakan vertikal, yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2.6)$$

dengan S_{VS} adalah spektrum sinyal mikrotremor yang berasal dari komponen vertikal pada permukaan tanah, sedangkan S_{VB} adalah spektrum sinyal mikrotremor yang berasal dari komponen vertikal pada lapisan dasar tanah. Dengan menggunakan persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6) maka diperoleh persamaan (2.3). Perumusan ini menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikal, dimana persamaan (2.3) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$HVS_R = \frac{\sqrt{(S_{utara-selatan})^2 + (S_{barat-timur})^2}}{S_{Vertikal}} \quad (2.7)$$

HVS_R merupakan metode yang dapat digunakan untuk menginterpretasikan karakteristik tanah seperti jenis tanah dan ketebalan lapisan sedimen pada suatu wilayah yang diperoleh dari interpretasi kurva H/V sebagai fungsi frekuensi dominan dan amplifikasi (Nakamura, 1998).

A. Frekuensi Dominan (f_0)

Frekuensi dominan merupakan nilai frekuensi yang kerap muncul dari lapisan batuan di suatu wilayah sehingga nilai frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut (Arifin dkk, 2014). Frekuensi dominan adalah salah satu hasil yang didapatkan dari kurva *HVSR* selain nilai amplifikasi. Frekuensi dominan mempresentasikan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Besarnya kecepatan rata-rata dan ketebalan sedimen bawah permukaan tentu mempengaruhi nilai frekuensi dominan (Nomensen dkk, 2017). Frekuensi dominan sendiri berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen (*bedrock*) dan berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Sehingga pada suatu daerah yang memiliki lapisan sedimen yang tebal maka nilai frekuensi dominannya cenderung semakin kecil.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor oleh Kanai (Buletin Meteorologi dan Geofisika, 1998)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis I	6,67-20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> , dan lainnya.	Ketebalan sedimen permukaan sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.
Tipe III	Jenis II	4,0-6,67	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> , dan lainnya.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori menengah 5-10 m
Tipe II	Jenis III	2,5-4	Batuan alluvial, dengan ketebalan lebih dari 5 m. Terdiri dari <i>sandy gravel, sandy hard clay, loom</i> , dan lainnya.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30 m.
Tipe I	Jenis IV	<2,5	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi det, <i>top soil</i> , lumpur, dan lainnya. Kedalaman 230 m.	Ketebalan sedimen permukaan sangatlah tebal.

B. Faktor Amplifikasi (A_0)

Faktor amplifikasi adalah perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan signifikan antar lapisan yang artinya gelombang seismik akan mengalami perbesaran apabila merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium yang sebelumnya telah dilalui. Ketika gelombang seismik melalui batuan yang memiliki nilai densitas rendah, maka nilai dari faktor amplifikasi semakin tinggi (Nakamura, 2020). Nilai amplifikasi dan frekuensi dominan merupakan parameter yang didapatkan dari kurva HVSR. Secara umum, kedua parameter tersebut berbanding terbalik sehingga jika suatu daerah memiliki nilai amplifikasi tinggi maka nilai frekuensi dominannya rendah (Haerudin dkk, 2019). Faktor amplifikasi sendiri dipengaruhi oleh kondisi geologi suatu daerah, ketebalan, sifat fisik batuan, dan adanya deformasi pada lapisan tanah.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (Setiawan, 2009)

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$
4	Sangat Tinggi	$A \geq 9$

2.2.7 Metode *Ellipticity Curve*

Metode *ellipticity curve* adalah suatu metode yang digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan (*ground profiles*) berdasarkan pada kurva *H/V* sebagai input model awal. Metode *ellipticity curve* atau model inversi digunakan untuk pencocokan data guna menentukan parameter model yang sesuai dengan data yang diamati (Wibowo, 2018). Parameter yang dijadikan sebagai

inisialisasi awal pada analisis metode ini adalah kecepatan gelombang S (v_s), kecepatan gelombang P (v_p), *poisson ratio* (σ), dan densitas batuan (ρ) (massa jenis batuan) dimana parameter-parameter tersebut memiliki nilai yang berbeda-beda sesuai dengan struktur geologi daerah penelitian. Metode *ellipticity curve* merupakan metode yang digunakan untuk menentukan parameter fisis bawah tanah yang tidak dapat secara langsung diperoleh menggunakan metode *HVSR*.

Penelitian ini berawal dari Nakamura (1989) yang kemudian dikembangkan oleh Herak (2008). Untuk membuat simulasi pemodelan struktur bawah tanah maka dilakukan dengan menginversi gelombang Rayleigh. Berdasarkan penelitian Herak (2008), penyelesaian proses inversi tergantung pada kemampuan iterasi menentukan nilai parameter yang mendekati nilai data eksperimen. Penggunaan metode ini dinilai tepat berdasarkan dari nilai *error (misfit)* dimana semakin kecil nilai *error* ketika proses iterasi maka profil kecepatan gelombang geser yang dihasilkan menjadi lebih baik. Sebelum menggunakan metode *ellipticity curve* guna menentukan model struktur bawah tanah maka perlu ditentukan terlebih dulu beberapa parameter fisis yakni kecepatan gelombang S, Kecepatan gelombang P, rasio poisson, dan densitas batuan.

Tabel 2. 3 Klasifikasi Site berdasarkan Nilai v_s (Badan Standarisasi Nasional, 2012)

Klasifikasi Site	Kecepatan Gelombang Geser v_s (m/s)
Batuan keras	$v_s \geq 1500$
Batuan	$750 < v_s \leq 1500$
Tanah keras dan batuan lunak	$350 < v_s \leq 750$
Tanah sedang	$175 < v_s \leq 350$
Tanah lunak	$v_s \leq 175$

Tabel 2. 4 Klasifikasi Nilai v_p Pada Beberapa Medium (Burger, 1992)

Batuan	Nilai v_p (m/s)
Tanah	250 s.d 600
Pasir	200 s.d 1000
Pasir Tersaturasi	800 s.d 2200
Pasir dan Kerikil	4921 s.d 6561
Lempung	1000 s.d 2500
Endapan Lempung	3281 s.d 8202

A. Poisson Ratio (σ)

Poisson ratio merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui kondisi material atau tanah di suatu wilayah. *Poisson ratio* disebut juga konstanta elastisitas yang dimiliki oleh setiap material dimana sebuah material yang diberikan gaya satu arah, ditarik maupun ditekan, akan mengalami perubahan bentuk. Selain perubahan bentuk ke arah gaya yang diberikan, *poisson ratio* juga dapat disebut sebagai sifat elastisitas batuan yang menunjukkan tingkat rekahan pada suatu batuan dimana nilai *poisson ratio* akan lebih tinggi dari kondisi normal pada batuan yang terisi cairan (Manzella, 1990). *Poisson Ratio* dapat diartikan sebagai rasio negatif antara *strain* longitudinal atau horizontal dan *strain* axial atau vertikal seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\sigma = -\frac{E_h}{E_{(v)}} \quad (2.4)$$

dengan σ adalah *poisson ratio*, E_h adalah *strain* longitudinal, dan E_v adalah *strain* axial.

Menurut Telford (1992), hubungan *poisson ratio* dengan modulus elastik dan modulus geser dapat dirumuskan melalui persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{3k-2\mu}{6k+2\mu} \quad (2.5)$$

Seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.6) dan (2.7) maka kecepatan gelombang P (v_p) dan kecepatan gelombang S (v_s) dapat ditulis sebagai fungsi dari dua sifat modulus diatas dengan menuliskan kembali sifat modulus dari v_p dan v_s

$$k = v_s^2 \rho \quad (2.6)$$

$$\mu = \rho v_p^2 - \frac{4}{3} v_s^2 \rho \quad (2.7)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (2.6) dan (2.7) ke dalam persamaan (2.5) maka dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{\left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2 - 1\right]} \quad (2.8)$$

Nilai σ dan v_p yang ditentukan dengan tepat, maka jenis batuan dan kandungannya dapat diprediksi dari permukaan (Ostrander, 1984). Rasio poisson termasuk parameter yang penting guna mengklasifikasikan kandungan fluida dalam batuan, nilai rasio poisson yang berbeda dapat berperan menjadi manifestasi dari beberapa bahan seperti air, minyak atau gas.

Tabel 2. 5 Nilai Rasio Poisson dari Batuan Sedimen (Ostrander, 1984)

Jenis Batuan	Poisson Ratio
Lempung Green River	0,22 s.d 0,30
Sedimen Laut Dangkal	0,45 s.d 0,50
Sedimen Consolidated:	
- Tersaturasi Brine	0,20 s.d 0,30
- Tersaturasi Gas	0,01 s.d 0,14
Batuan Pasir Sintetik	
- Tersaturasi Brine	0,41
- Tersaturasi Gas	0,10
Batuan Pasir Ottawa	
- Tersaturasi Brine	0,41
- Tersaturasi Gas	0,10

B. Densitas

Kerapatan (densitas) batuan umumnya meningkat dengan bertambahnya kedalaman, karena dengan bertambahnya kedalaman maka tekanan hidrostatik juga semakin meningkat. Semakin besar tekanan yang menyebabkan batuan terkompresi, maka semakin besar densitas atau kerapatan lapisan batuan tersebut. Kerapatan batuan juga bergantung pada tingkat porositas sebuah batuan sehingga semakin besar porositas suatu batuan maka semakin besar juga massa batuan yang hilang atau semakin besar rongga batuan tersebut. Hal tersebut akan menyebabkan penurunan densitas batuan (Telford, 1990).

Menurut Gardner (Telford, 1990), hubungan antara densitas batuan dengan kecepatan penjalaran suatu gelombang pada batuan dituliskan melalui persamaan sebagai berikut:

$$\rho = a v_p^{1/4} \quad (2.9)$$

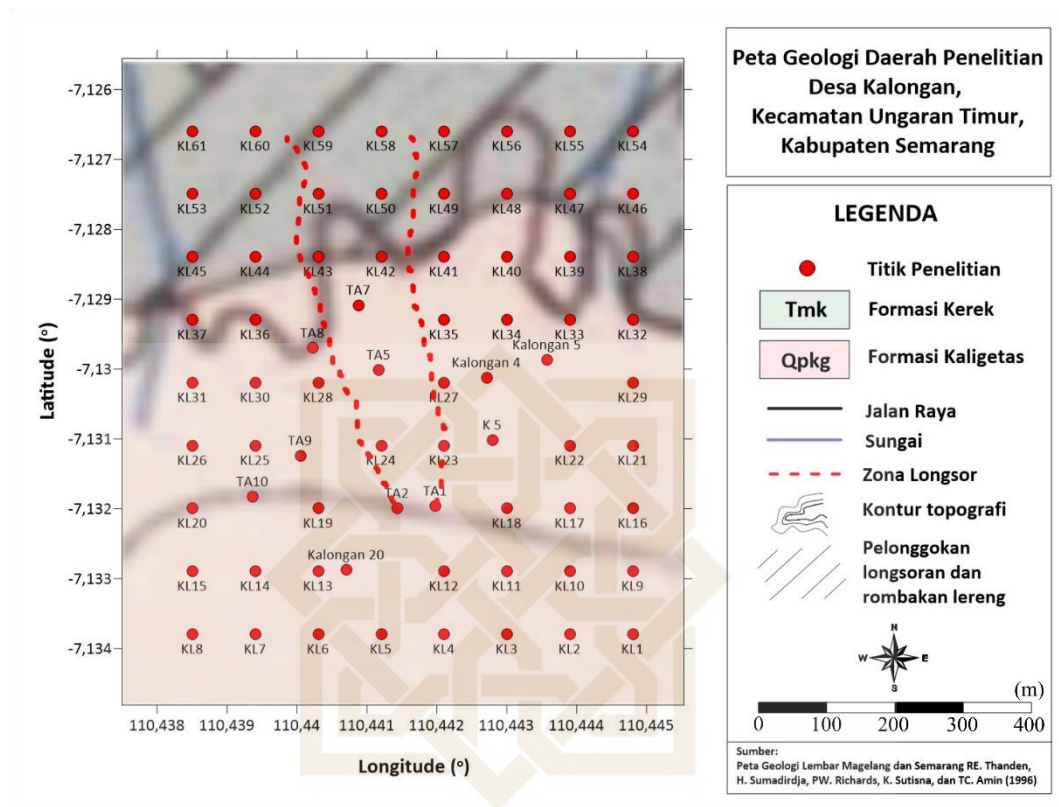
dengan ρ adalah densitas batuan (gr/cm^3), a adalah konstanta sebesar 0,31 dan v_p adalah kecepatan gelombang P (m/s). Maka persamaan 2.9 dapat disimpulkan bahwa nilai cepat rambat gelombang P pada batuan berbanding lurus dengan nilai pangkat empat dari besar densitas batuan sehingga dapat diartikan semakin besar nilai cepat rambat gelombang P pada batuan maka semakin besar pula nilai densitas batuan tersebut.

Tabel 2. 6 Variasi Nilai Densitas Batuan (Telford, 1990)

Batuan Sedimen		Batuan Metamorf		Batuan Beku	
Jenis Batuan	Densitas (gr/cm ³)	Jenis Batuan	Densitas (gr/cm ³)	Jenis Batuan	Densitas (gr/cm ³)
<i>Aluvium</i>	1,96 s.d 2,00	<i>Schist</i>	2,39 s.d 2,90	<i>Riolit</i>	2,35 s.d 2,70
<i>Clay</i>	1,63 s.d 2,60	<i>Gneiss</i>	2,59 s.d 3,00	<i>Granit</i>	2,50 s.d 2,81
<i>Gravel</i>	1,70 s.d 2,40	<i>Phyllite</i>	2,68 s.d 2,80	<i>Andesit</i>	2,40 s.d 2,80
<i>Silt</i>	1,40 s.d 1,93	<i>Slate</i>	2,70 s.d 2,90	<i>Synite</i>	2,60 s.d 2,95
<i>Soil</i>	1,80 s.d 2,20	<i>Granulite</i>	2,52 s.d 2,70	<i>Basalt</i>	2,70 s.d 3,30
<i>Sand</i>	1,20 s.d 2,40	<i>Amphibolite</i>	2,90 s.d 3,04	<i>Gabro</i>	2,70 s.d 3,30
<i>Sandstone</i>	1,61 s.d 2,76	<i>Eclogite</i>	3,20 s.d 3,54		
<i>Shale</i>	1,77 s.d 3,20				
<i>Limestone</i>	1,93 s.d 2,90				

2.2.8 Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Penelitian dilaksanakan di kawasan zona longsor, tepatnya di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang dengan batas koordinat 110°26'14.694" BT s.d. 110°26'45.704" BT dan 7°06'45.983" LS s.d. 7°08'4.866" LS. Zona longsor merupakan area yang pernah terjadi longsor atau rawan terjadi bencana longsor. Zona longsor ini terdapat di antara dua formasi batuan yakni Formasi Kerek dan Formasi Kaligetas dimana tertera pada gambar (1.2) yang memuat peta lembar geologi Magelang dan Semarang (RE Thanden et al, 1996). Berikut ini adalah deskripsi mengenai formasi yang berada di area penelitian.



Gambar 2. 6 Peta Geologi Daerah Penelitian (RE.Thanden *et al*, 1996)

A. Formasi Kerek (Tmk)

Formasi Kerek merupakan formasi batuan yang berada di sebelah utara Formasi Kaligetas dimana berupa perselingan batulempung, napal, konglomerat, batupasir tufan, breksi vulkanik dan batugamping. Sebagian dari batulempung, kelabu muda-tua, gampingan bersisipan dengan batulanau atau batupasir dimana di tempat tersebut mengandung fosil foram, moluska, dan koral-koral koloni. Sementara lapisan tipis konglomerat terdapat di dalam batulempung di Kali Kripik dan di batupasir. Kemudian batugamping sendiri umumnya berlapis, kristalin dan pasiran memiliki ketebalan total lebih dari 400 meter. Umur satuan ini berumur Miosen Tengah (RE Thanden *et al*, 1996).

B. Formasi Kaligetas (Qpkg)

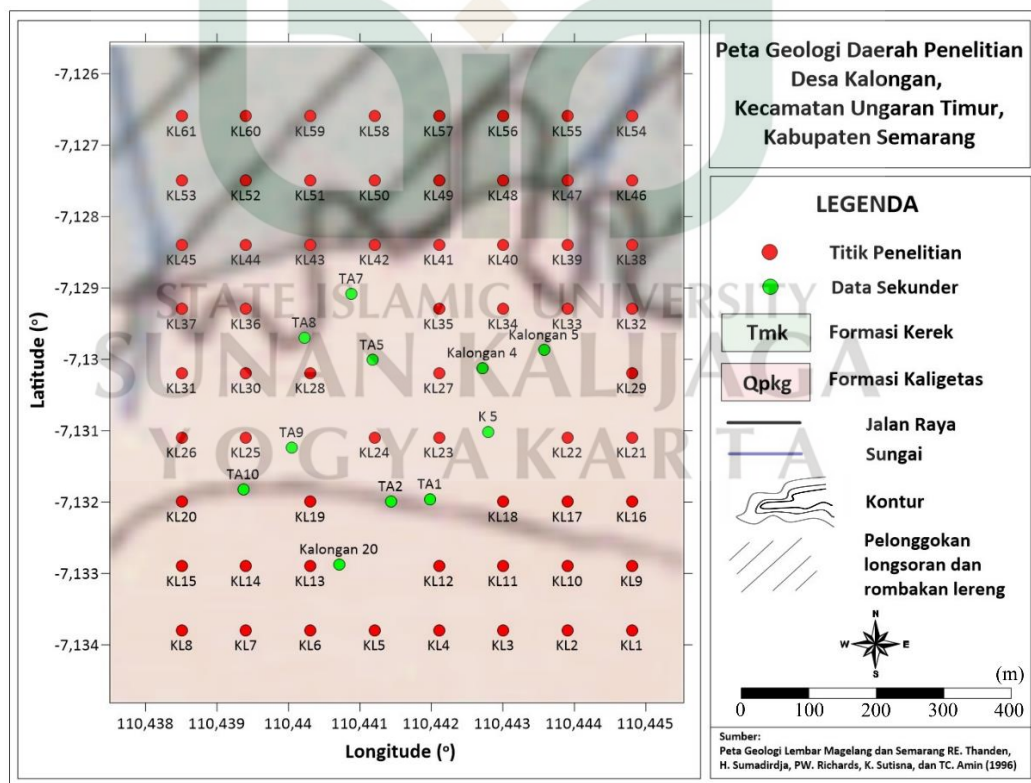
Formasi Kaligetas merupakan lapisan batuan yang terdiri dari breksi vulkanik, aliran lava, tuf, batupasir tufan dan batulempung. Pada formasi ini, breksi aliran dan lahar dengan sisipan lava dan tuf halus hingga kasar dimana dibawahnya terdapat batulempung yang mengandung moluska dan batupasir tufan. Formasi ini memiliki ketebalan dengan kisaran antara 50 – 200 meter. Formasi Kaligetas termasuk batuan gunungapi yang melapuk berwarna coklat-kemerahan dan sering membentuk bongkah-bongkah besar (RE Thanden et al, 1996).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dengan judul “Analisis Bidang Gelincir dan Ketebalan Lapisan Sedimen pada Zona Longsor dengan Metode Mikrotremor di Desa Kalongan, Ungaran Timur, Semarang” dimulai dari bulan Maret 2023 dan selesai pada bulan Desember 2023. Lokasi pengambilan data berada di Desa Kalongan, Ungaran Timur, Kabupaten Semarang dengan batas koordinat $110^{\circ}26'14.694''$ BT s.d. $110^{\circ}26'45.704''$ BT dan $7^{\circ}06'45.983''$ LS s.d. $7^{\circ}08'4.866''$ LS. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Fisika, Laboratorium Terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.



Gambar 3. 1 Desain Persebaran Titik Pengukuran (RE. Thanden *et al*, 1996)

Pengukuran mikrotremor dilakukan dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 63 titik pengukuran. Beberapa titik pengukuran yang tidak diukur yakni titik pengukuran KL13, KL26, KL41, KL42, KL49, KL53, KL54, dan KL61. Titik-titik pengukuran yang sulit dijangkau tersebut memiliki area dengan lereng yang sangat curam dan beberapa berada di bawah jurang sehingga sulit untuk dijangkau.

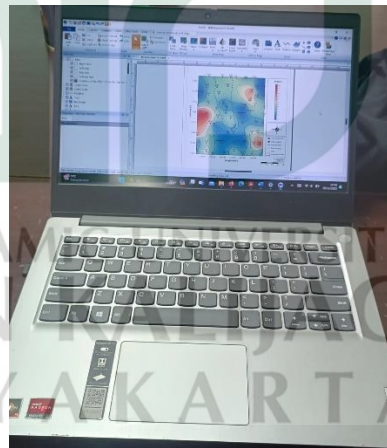
3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas perangkat alat keras dan lunak yang dijelaskan sebagai berikut:

3.2.1 Alat

1. Perangkat Keras

- Laptop Lenovo IdeaPad 3 dengan prosesor AMD Ryzen 3 3250U untuk menjalankan software pengolahan data



Gambar 3. 2 Laptop Lenovo IdeaPad 3

- Seismometer tipe TDV-23S Taide digunakan untuk merekam getaran tanah yang dihasilkan oleh sumber alami dan buatan (Meyers, 2011).



Gambar 3. 3 Seismometer tipe TDV-23S Taide

- *Digital Portable Seismograph* tipe TDL 303-S Taide digunakan untuk mendeteksi dan mencatat getaran tanah baik alami maupun buatan. Seismograf terdiri atas seismometer, *digitizer*, *GPS*, dan kabel penghubung.
- Satu set kabel penghubung untuk menghubungkan sensor ke laptop sensor ke *Digital Portable Seismograph*.
- *GPS* untuk menentukan posisi pada setiap titik penelitian, dan untuk memberi tanda koordinat lokasi.
- Peta geologi area penelitian sebagai bahan pembuatan desain survei dan bahan analisis geologi.
- Cetok untuk meratakan permukaan tanah agar sensor berada di posisi datar.



Gambar 3. 4 Cetok Bangunan

- Kamera ponsel merk Redmi Note 11 Pro untuk dokumentasi lapangan.



Gambar 3. 5 Ponsel merk Redmi Note 11 Pro

- Kompas untuk menentukan arah mata angin (utara).



Gambar 3. 6 Kompas

2. Perangkat Lunak

- *Geopsy* versi 3.4.2 untuk melakukan pengolahan data sinyal mikrotremor sehingga didapatkan kurva H/V sebagai fungsi amplifikasi tanah dan frekuensi dominan.

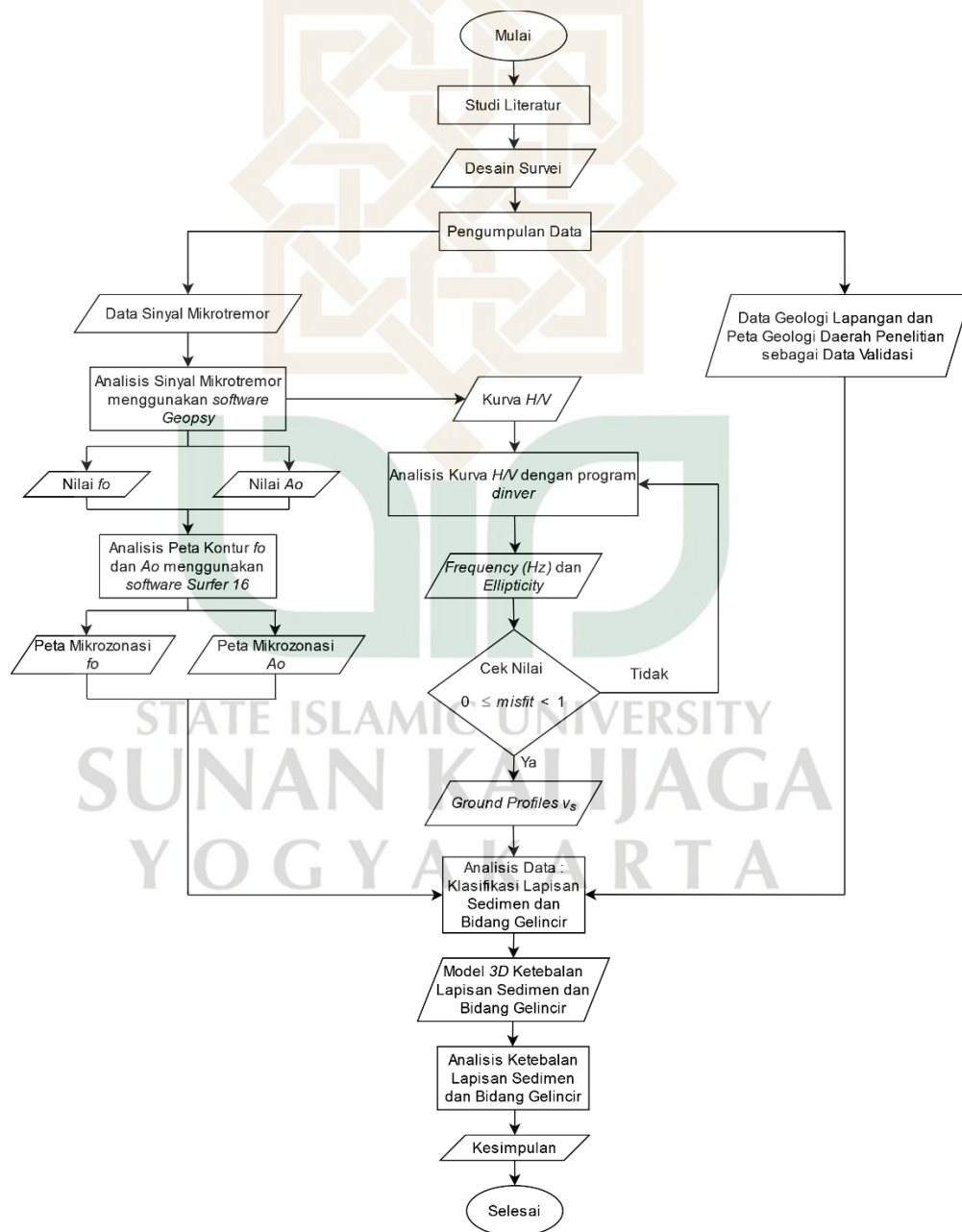
- *Dinver* pada *software Geopsy* versi 3.4.2 untuk melakukan analisis kurva H/V menggunakan metode *ellipticity curve*.
- *Software Google Earth* sebagai gambaran kondisi lokasi penelitian.
- *Software Global Mapper 22* untuk meregister memotong peta lokasi penelitian.
- *Microsoft Word* untuk menyusun laporan hasil penelitian.
- *Microsoft Excel* untuk mengolah data pendahuluan.
- *Software Qgis* untuk membuat peta daerah penelitian.
- *Software Rockwork 16* untuk membuat visualisasi struktur bawah permukaan tanah.
- *Software Surfer 16* untuk melakukan *overlay* peta lokasi penelitian.

3.2.2 Bahan

1. Data mikrotremor yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer berjumlah 53 titik dan data sekunder berjumlah 10 titik. Kedua data tersebut diolah menggunakan *software geopsy* untuk mendapatkan kurva H/V.
2. Peta geologi area penelitian untuk mengetahui formasi yang berada di area penelitian.
3. Peta *Digital Elevation Model (DEM)* untuk mengetahui kontur area penelitian.

3.3 Prosedur Kerja

Prosedur kerja ini terdiri dari beberapa prosedur atau langkah-langkah. Prosedur kerja tersebut ditunjukkan oleh diagram alir penelitian pada Gambar 3.7. Prosedur kerja ini dimulai dari studi literatur hingga analisis ketebalan sedimen dan bidang gelincir.



Gambar 3. 7 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan serangkaian kegiatan yang berkaitan dengan pengumpulan data pustaka. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai jurnal, skripsi atau berbagai bentuk laporan dari penelitian lain yang telah dilakukan sebelumnya dengan topik yang masih relevan dengan tema penelitian ini “Analisis Bidang Gelincir dan Ketebalan Lapisan Sedimen pada Zona Longsor dengan Metode Mikrotremor di Desa Kalongan, Ungaran Timur, Semarang”.

Pada studi literatur ini dilakukan dengan tujuan untuk menambah wawasan penulis sebagai referensi berupa teori, gambar, maupun tabel. Dengan menggunakan studi literatur yang relevan dengan penelitian maka dapat diperoleh gambaran mengenai proses pengolahan data hingga mendapatkan data hasil penelitian. Melalui berbagai sumber primer tersebut diharapkan dapat menjadi referensi yang kemudian dapat dikembangkan lebih lanjut terkait dengan penelitian. Penelitian ini akan dilakukan sesuai dengan diagram alir sebagai berikut:

3.3.2 Desain Survei

Desain survei dalam hal ini merupakan pemetaan untuk menentukan lokasi titik pengukuran. Pembuatan desain survei dilakukan supaya ketika proses akuisisi data tidak memakan waktu yang lama. Desain survei pengukuran dibuat dengan plotting titik pengukuran dengan interval $0,0009^\circ$ atau 100 meter antar titik pengukuran.

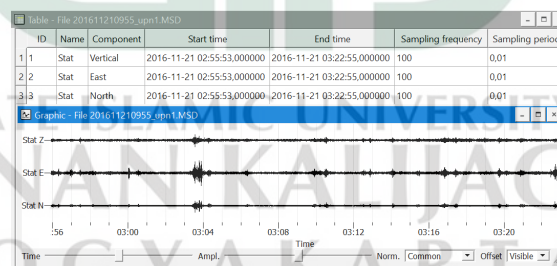
Pembuatan desain survei dilakukan menggunakan software *Google Earth*. Koordinat batas titik pengukuran disesuaikan dengan koordinat area penelitian dan kondisi lapangan. Penelitian ini menggunakan desain survei sebagai berikut.



Gambar 3. 8 Peta Batas Penelitian

3.3.3 Akuisisi Data

Akuisisi data dilakukan menggunakan metode mikrotremor. Alat yang digunakan adalah digitizer dan seismometer. Proses akuisisi data dilakukan dengan cara memasang peralatan di titik pengukuran untuk merekam getaran alami tanah (mikrotremor) selama kurang lebih 30 menit setiap titik pengukuran.



Gambar 3. 9 Data Sinyal Mikrotremor (Geopsy, 2023)

Data rekaman sinyal mikrotremor pada gambar 3.3 terdiri dari dua komponen horizontal dimana terdapat spektrum stat E (barat-timur) dan spektrum stat N (utara-selatan). Selain terdiri dari dua komponen, juga terdapat komponen vertikal yang diwakili oleh spektrum stat Z. spektrum dengan amplitudo yang tinggi

merupakan noise, sedangkan spektrum dengan amplitudo kecil merupakan data mikrotremor yang digunakan dalam pengolahan data.

3.3.4 Analisis Sinyal Mikrotremor (SESAME, 2004)

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan sekunder. Tujuan tahapan ini adalah untuk menganalisis kurva H/V . Penelitian menggunakan data primer yang dilakukan untuk melengkapi data sekunder yang kurang lengkap agar mencakup area penelitian dengan batas-batas yang telah ditentukan. Sedangkan data sekunder didapatkan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Data penelitian baik dari data primer maupun sekunder, dilakukan analisis sinyal mikrotremor menggunakan software *Geopsy*. Dilakukan proses *windowing* untuk memilih sinyal tanpa gangguan (noise) dan dilakukan proses *cutting* untuk memotong sinyal menggunakan metode *HVSR* untuk mendapatkan kurva H/V .

Hasil atau *output* dari tahapan ini adalah kurva H/V yang memuat nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi tanah (A_0). Dengan kurva H/V maka dapat dianalisis apakah area penelitian memiliki struktur tanah yang lunak atau batuan keras. Hal tersebut dapat diketahui dengan menggunakan klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai pada tabel 2.2 dan klasifikasi nilai faktor amplifikasi oleh Setiawan yang dapat dilihat pada tabel 2.3.

3.3.5 Analisis Kurva H/V Menggunakan Metode Ellipticity Curve

Pada tahapan ini bertujuan menganalisis gambaran *ground profiles* untuk menentukan nilai kecepatan gelombang geser (v_s). Data berupa spektrum sinyal

mikrotremor disimpan dengan format.hv. Kurva tersebut akan menjadi parameter input dari metode *ellipticity curve* dalam pengolahan data menggunakan program *Dinver*. Nilai kecepatan gelombang geser yang diperoleh akan terpengaruhi oleh parameter fisis lapisan batuan yakni kecepatan gelombang P, kecepatan gelombang S, rasio poisson, dan densitas batuan. Parameter tersebut akan menyesuaikan dengan geologi regional kawasan penelitian dimana akan mengacu pada peta geologi lembar Magelang dan Semarang.

Hasil atau *output* dari tahapan ini adalah pemodelan *ground profiles* kecepatan gelombang geser, model dengan nilai *misfit* terkecil akan digunakan menjadi model yang terbaik ($0 \leq \text{misfit} < 1$). Dengan nilai kecepatan gelombang geser maka dapat ditentukan lapisan tanahnya, apakah berupa sedimen atau *bedrock*. Dalam menentukannya menggunakan klasifikasi *site* berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

3.3.6 Analisis Mikrozonasi f_0 dan A_0 serta Ketebalan Sedimen

Mikrozonasi adalah suatu teknik yang digunakan untuk membagi zona-zona besar menjadi zona-zona yang kecil dengan tujuan agar lebih fokus dengan area yang akan ditargetkan sebagai lokasi penelitian. Teknik ini akan digunakan untuk membuat pemodelan terhadap frekuensi dominan, amplifikasi tanah, dan ketebalan sedimen sesuai dengan nilai masing-masing parameter. Pemodelan ini sebagai tahapan mengkategorikan nilai terkecil maupun tertinggi dari parameter-parameter tersebut.

Mikrozonasi dilakukan menggunakan parameter-parameter yang telah diperoleh. Pemodelan dibuat melalui software *surfer 16*. Mikrozonasi dilakukan

dengan tujuan untuk mengetahui daerah mana yang memiliki nilai tertinggi baik dari amplifikasi tanah maupun frekuensi natural sehingga bisa ditentukan menggunakan klasifikasi Kanai untuk mengetahui ketebalan sedimen dan batuan-batuan penyusunnya.

3.3.7 Analisis Ketebalan Sedimen dan Bidang Gelincir

Pada tahapan ini bertujuan untuk menganalisis bentuk pemodelan ketebalan sedimen dan bidang gelincir pada area penelitian. Parameter-parameter yang sudah ditentukan diolah sebelumnya menggunakan metode *ellipticity curve*, kemudian dilakukan pemodelan ketebalan sedimen menggunakan parameter kecepatan gelombang geser (v_s) yang diperoleh dari *ground profiles*. Pada *ground profiles* terdapat kedalaman tanah dan kecepatan gelombang geser (v_s).

Hasil atau *output* dari tahapan ini adalah pemodelan 3D ketebalan sedimen dan bidang gelincir. Setelah itu, dilakukan analisis terhadap pemodelan ketebalan sedimen dan bidang gelincir yang menyebabkan longsor menggunakan software *Rockwork*. Hasil dari pemodelan 3D dari ketebalan sedimen dan bidang gelincir ini akan memudahkan visualisasi struktur bawah permukaan dengan menampilkan kedalaman tanah serta batas antar lapisan batuan.

3.3.8 Analisis Bidang Gelincir

Bidang gelincir merupakan lapisan yang berperan sebagai bidang gerak material longsor. Sehingga bidang gelincir menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya tanah longsor yang harus diselidiki keberadaannya. Tahapan ini bertujuan menganalisis pemodelan bidang gelincir.

Pemodelan tersebut dibuat dalam bentuk gambar 3D bersamaan dengan ketebalan sedimen. Berdasarkan pemodelan lapisan bawah permukaan area penelitian maka dilakukan identifikasi bidang gelincir. Bidang gelincir dapat diketahui dengan menggunakan pemodelan melalui *software Rockwork 16* dengan berdasarkan pada nilai v_s lapisan batuan dasar (*bedrock*).



BAB IV

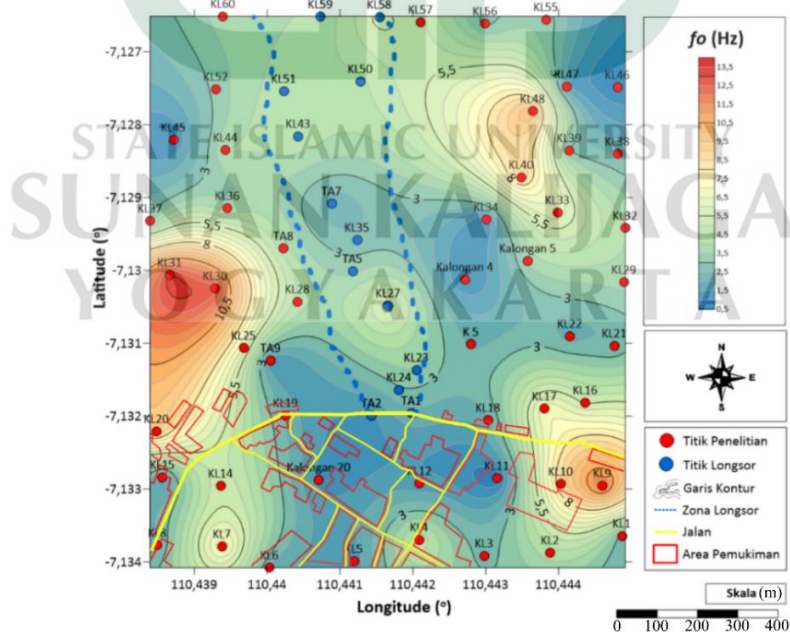
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

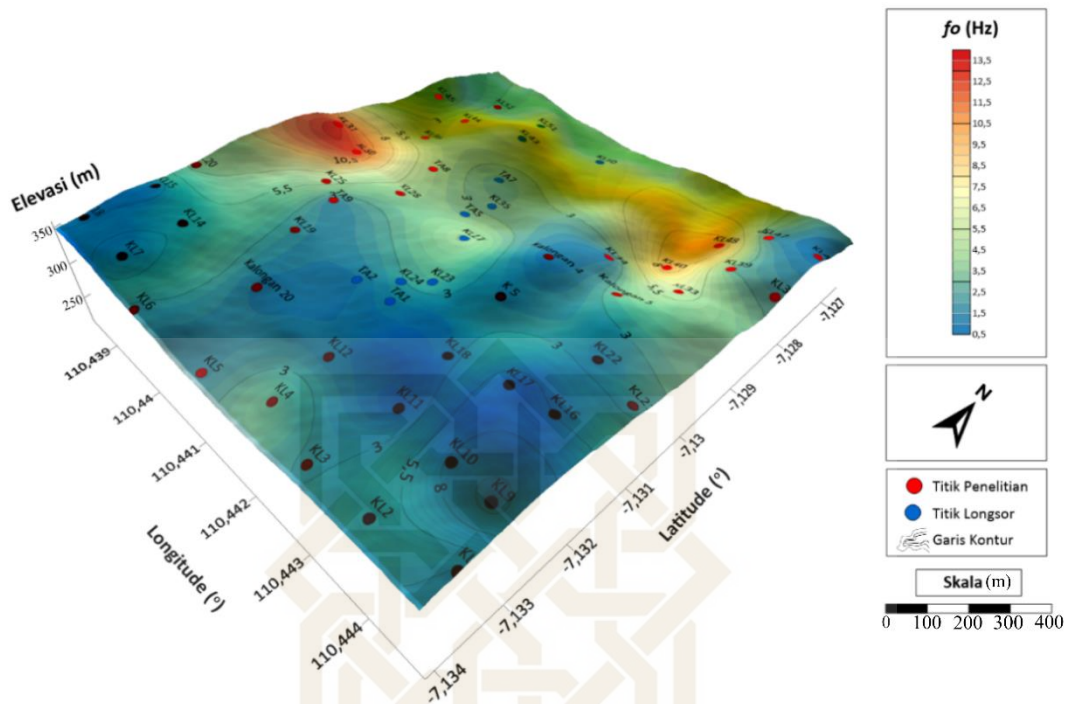
Wilayah penelitian berada di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang. Jumlah titik penelitian berada di daerah tersebut sebanyak 63 titik pengukuran. Data yang diperoleh dari proses akuisisi di lapangan yakni berupa rekaman sinyal mikrotremor, dimana akan didapatkan kurva H/V yang digunakan untuk membuat pemetaan ketebalan sedimen dan bidang gelincir secara 3D.

4.1.1 Mikrozonasi Frekuensi Dominan dan Amplifikasi

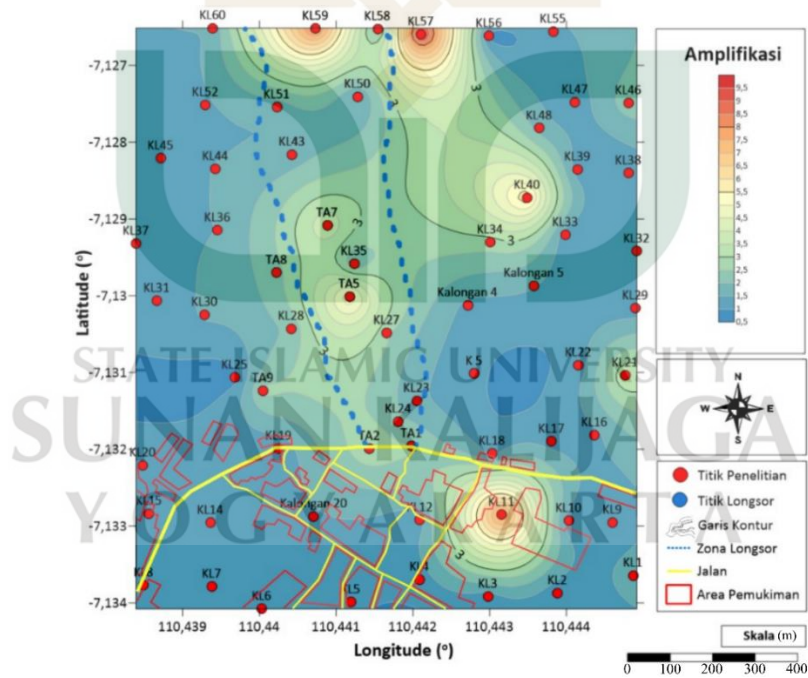
Data rekaman sinyal mikrotremor menghasilkan kurva H/V dengan menggunakan *software geopsy*. Parameter yang dihasilkan dari kurva H/V yakni frekuensi dominan (f_0) dan amplifikasi tanah (A_0). Dari kedua parameter tersebut, diperoleh mikrozonasi f_0 dan A_0 yang dapat dilihat pada gambar 4.1 s.d 4.4 berikut.



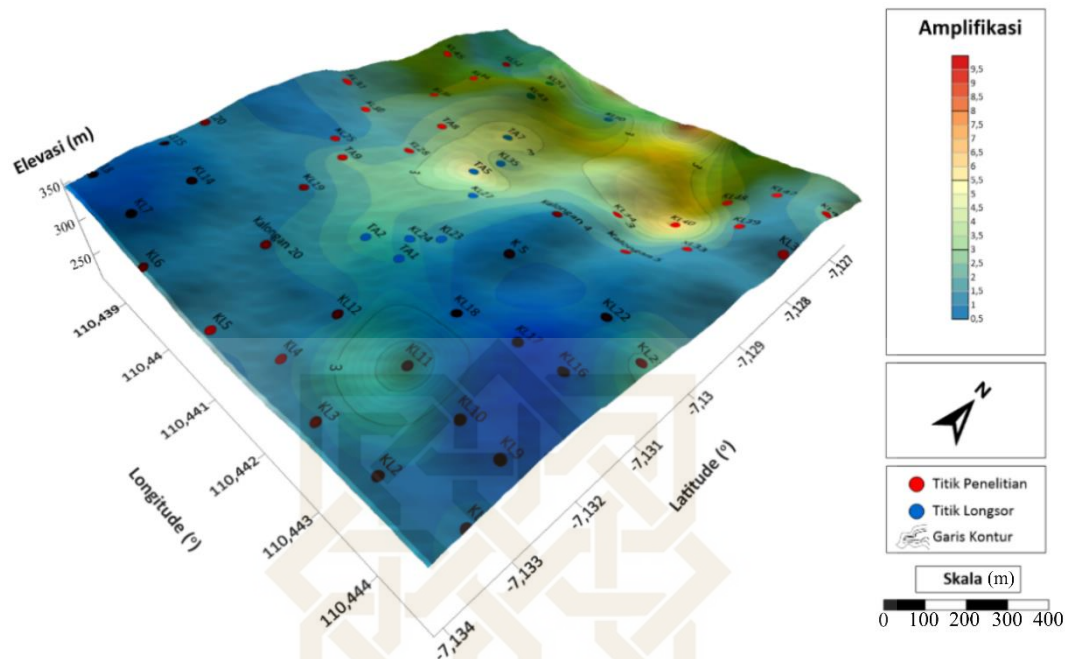
Gambar 4. 1 Peta Mikrozonasi f_0 (Frekuensi Dominan)



Gambar 4. 2 Peta Mikrozonasi f_o dan Peta DEM (Digital Elevation Model)



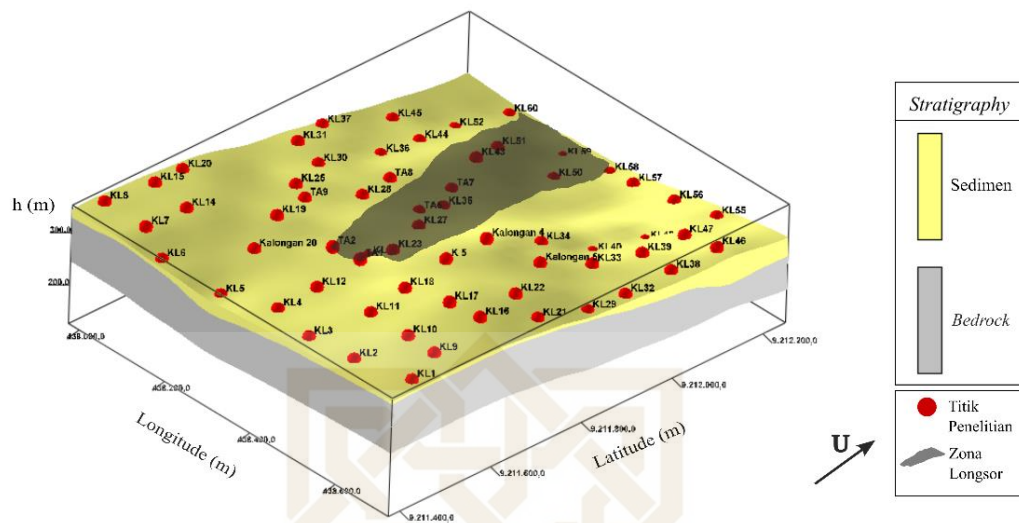
Gambar 4. 3 Peta Mikrozonasi Ao (Amplifikasi Tanah)



Gambar 4. 4 Peta Mikrozonasi Ao dan Peta DEM (Digital Elevation Model)

4.1.2 Pemodelan 3D Lapisan Sedimen dan *Bedrock*

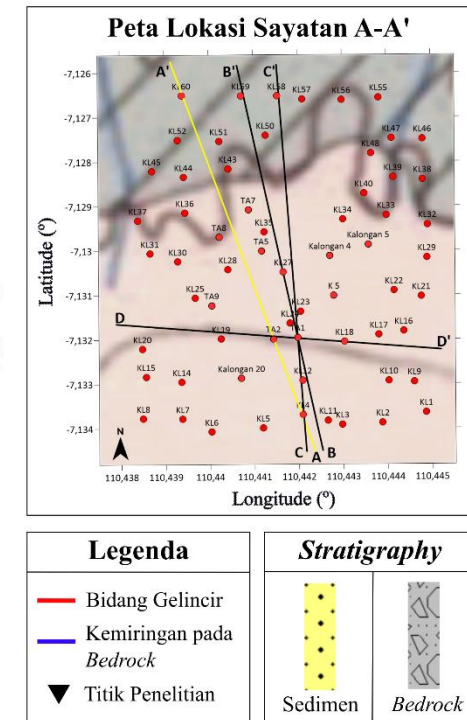
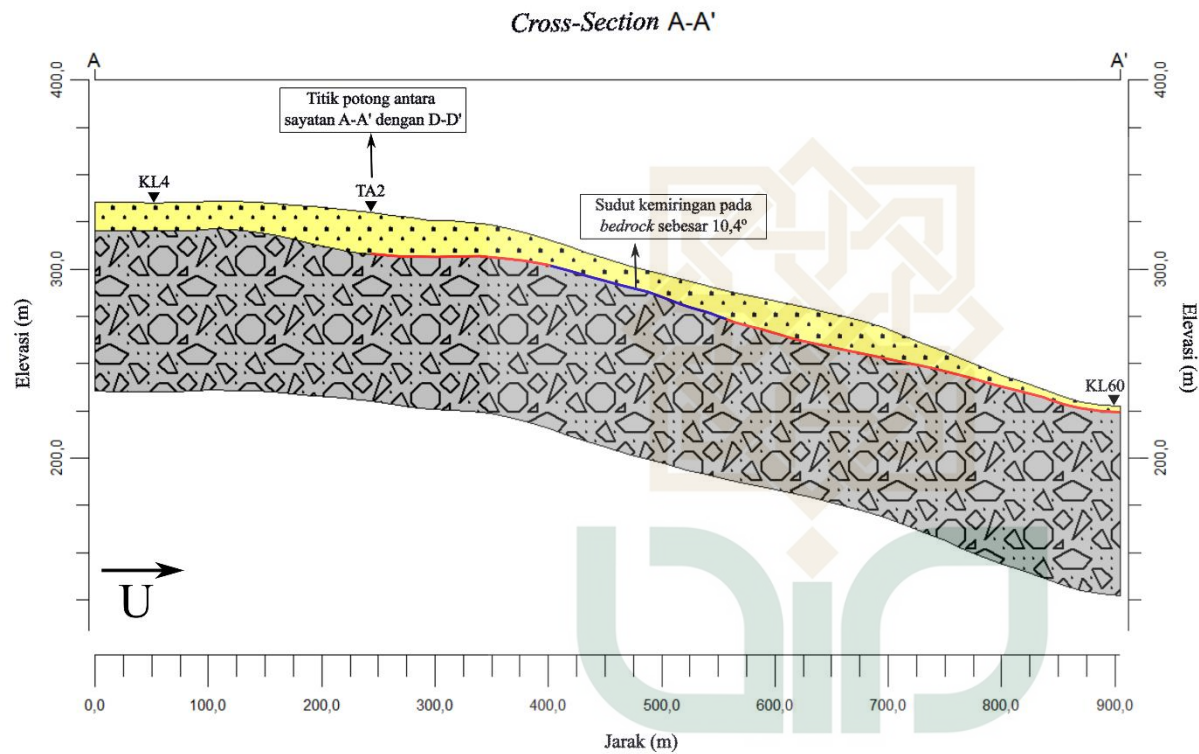
Pemodelan 3D merupakan hasil pengolahan lanjutan dari program dinver dengan tujuan untuk mengetahui lapisan sedimen dan *bedrock* di zona longsor. Pemodelan ini dibuat menggunakan *software Rockwork 16*. Input data pengolahan ini yakni data *borehole* yang diperoleh dari pemetaan kedalaman tiap lapisan yang dihasilkan oleh *ground profile* tiap titik pengukuran yang berjarak 100 meter antar titik. Hasil pemodelan 3D Lapisan Sedimen dan *Bedrock* ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut.



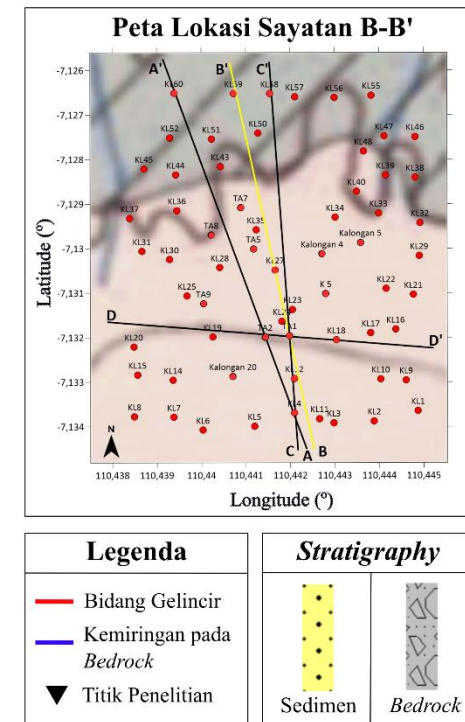
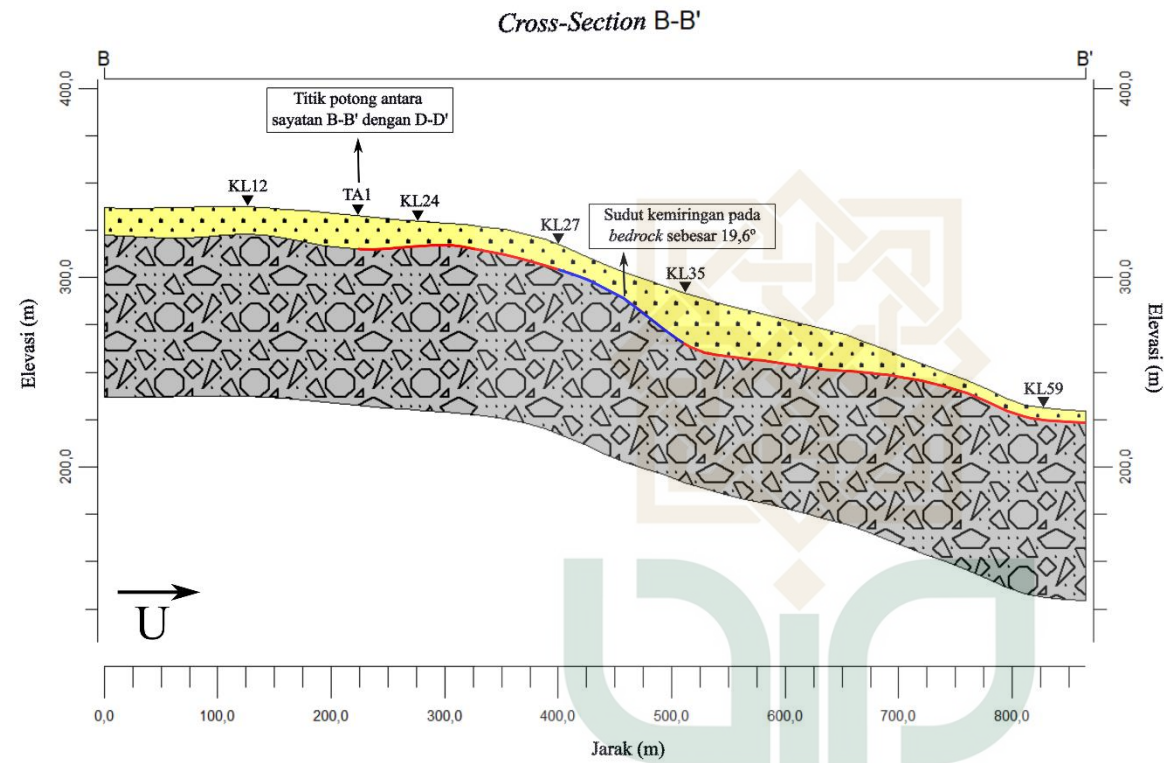
Gambar 4. 5 Pemodelan 3D Lapisan Sedimen dan Lapisan *Bedrock*

4.1.3 Pemodelan *Cross-Section*

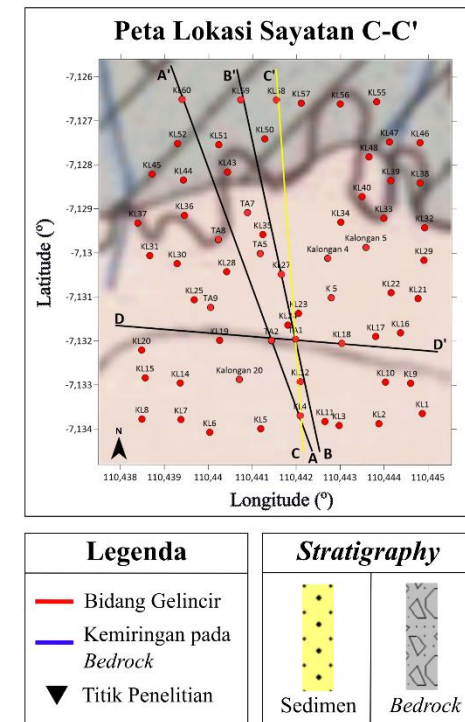
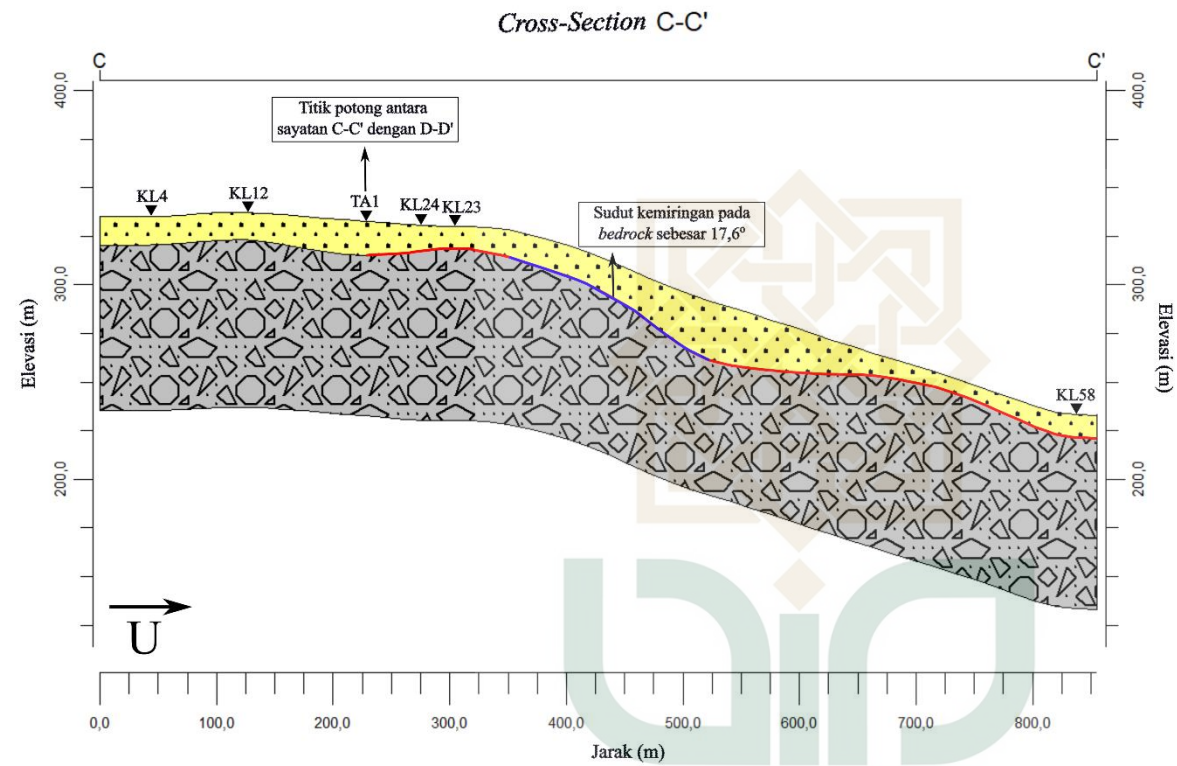
Pemodelan *Cross-Section* dibuat untuk mengetahui ketebalan lapisan bawah permukaan pada zona longsor dan area pemukiman di sekitar longsor dengan melakukan sayatan seperti pada gambar 4.6, Gambar 4.7, Gambar 4.8, dan Gambar 4.9. Pemilihan jalur sayatan ini dipilih berdasarkan letak atau lokasi zona longsor berada. Sayatan-sayatan tersebut memiliki titik potong yang berada di jalan terdampak longsor, tepatnya di titik pengukuran TA1 dan TA2. Sayatan A-A', sayatan B-B', dan sayatan C-C' berada di dua formasi, yakni Formasi Kaligetas dan Formasi Kerek. Ketiga sayatan tersebut disayat dari selatan ke utara. Sedangkan pada sayatan D-D' hanya berada di satu formasi, yakni Formasi Kaligetas. Sayatan D-D' ini disayat dari barat ke timur.



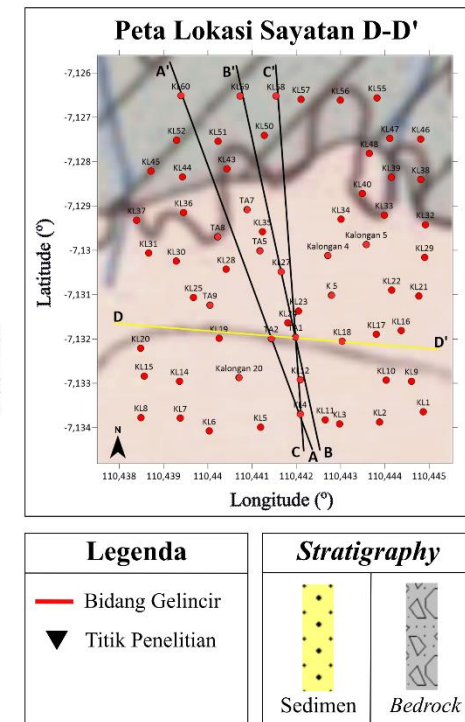
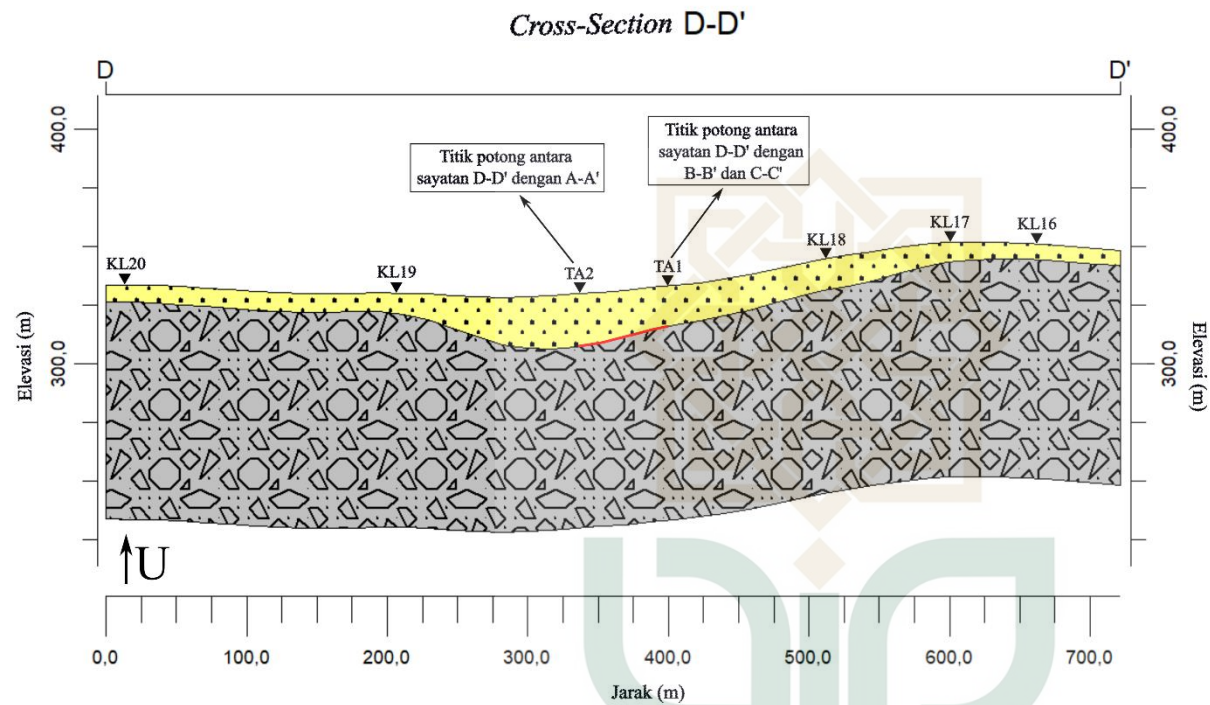
Gambar 4. 6 Peta Sayatan A-A'



Gambar 4. 7 Peta Sayatan B-B'



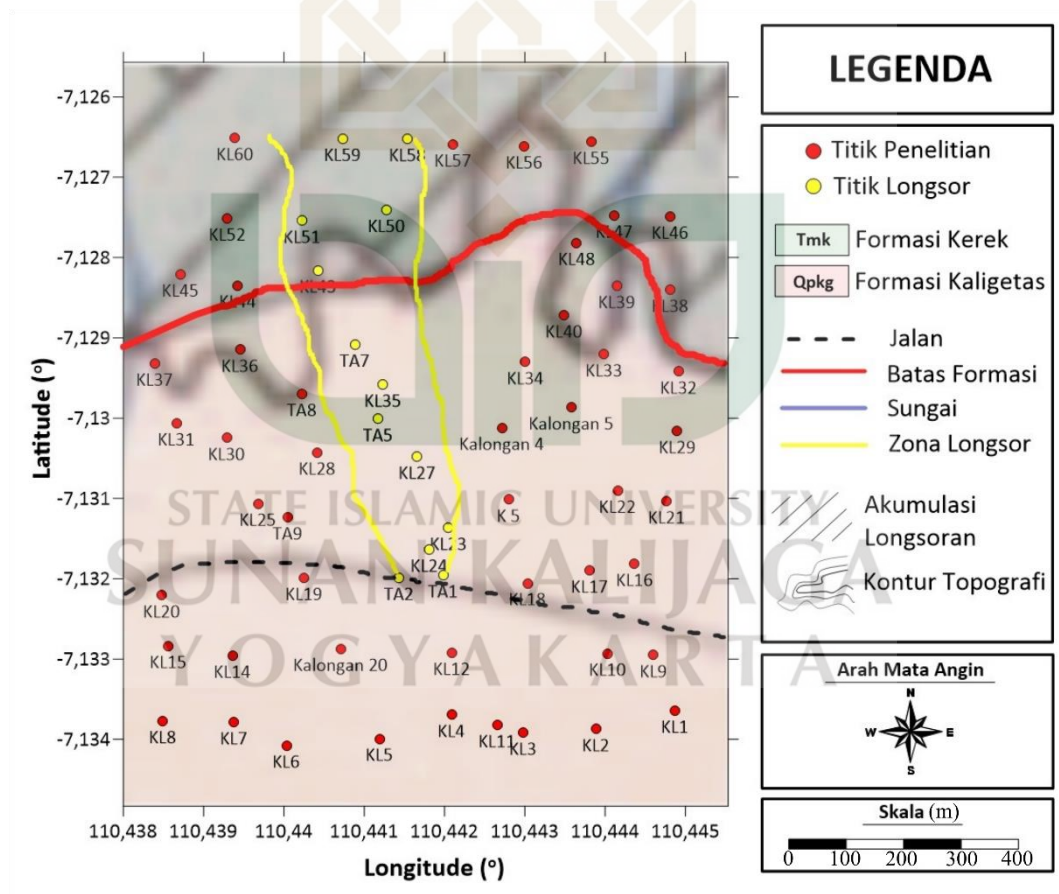
Gambar 4. 8 Peta Sayatan C-C'



Gambar 4. 9 Peta Sayatan D-D'

4.1.4 Hasil Identifikasi Zona Longsor

Zona longsor berlokasi di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang. Pemetaan zona longsor tersebut dibuat menggunakan *software Surfer 16*. Hasil pemetaan tersebut dapat diamati seperti gambar 4.10 berikut. Pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa zona longsor melalui dua formasi, yaitu Formasi Kaligetas di selatan dan Formasi Kerek di utara dengan lintasan longsor sepanjang ± 550 meter dan lebar longsor ± 150 meter. Longsor yang terjadi merusak jalan desa sepanjang ± 60 meter.



Gambar 4. 10 Hasil Identifikasi Zona Longsor

4.2 Pembahasan

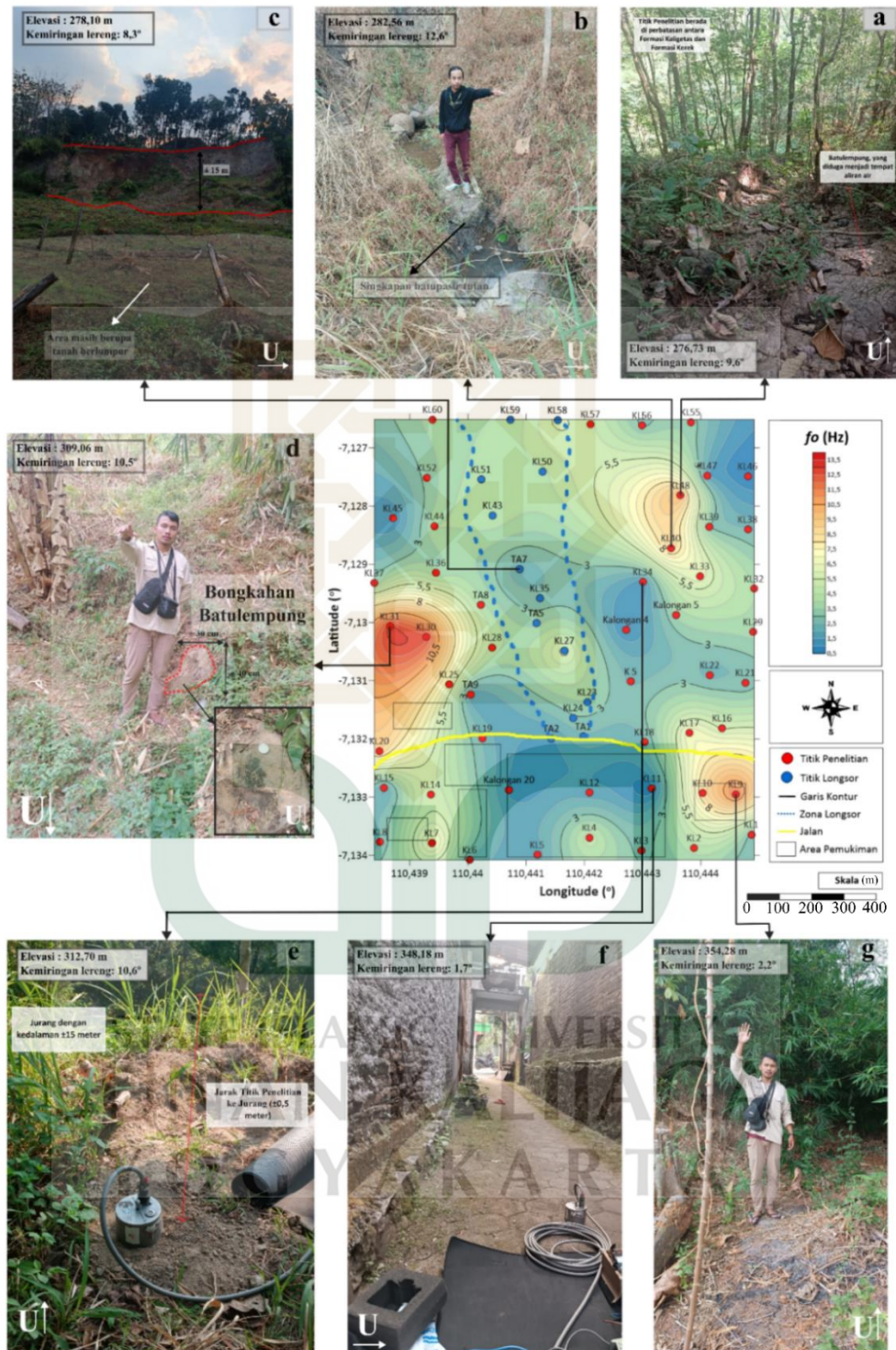
Penelitian ini dilakukan pada zona longsor di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang dengan menggunakan nilai kurva H/V yang diperoleh dari akuisisi data pada 63 titik penelitian. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi analisis sinyal mikrotremor menggunakan *software Geopsy* untuk mendapatkan kurva H/V , analisis metode *ellipticity curve* menggunakan program *dinver* pada kurva H/V , analisis *ground profile Vs* untuk mendapatkan nilai V_s dan kedalaman tiap lapisan. Data kedalaman tersebut digunakan untuk data *borehole* dalam membuat pemodelan 3D ketebalan lapisan sedimen, pemodelan *cross-section*, dan identifikasi zona longsor.

4.2.1 Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan adalah frekuensi alami yang sering muncul di suatu wilayah (Arifin Satria Subkhi dkk, 2014). Parameter ini berkaitan erat dengan ketebalan lapisan sedimen. Suatu wilayah dengan lapisan sedimen yang tebal cenderung memiliki nilai frekuensi dominan yang rendah, sedangkan wilayah yang memiliki ketebalan sedimen yang tipis maka menunjukkan di wilayah tersebut memiliki nilai frekuensi dominan yang tinggi.

Kecamatan Ungaran Timur termasuk daerah rawan longsor, tepatnya di Desa Kalongan. Zona longsor yang berada di Desa Kalongan sendiri berada pada dua formasi, yakni Formasi Kaligetas dan Formasi Kerek. Pada Gambar 4.11(a) merupakan area yang dominan dengan batuan-batuan kecil (*gravel*) dan terdapat singkapan batulempung yang menandakan area tersebut memiliki lapisan sedimen yang tipis. Area ini berada di perbatasan dua formasi, yakni Formasi Kaligetas di

sebelah selatan dan Formasi Kerek di sebelah utara, dimana berada pada ketinggian 276,73 m dengan kemiringan lereng sebesar $9,6^\circ$. Gambar 4.11(b) merupakan area sungai dengan batuan dasar batupasir tufan yang berada di Formasi Kaligetas. Area tersebut berada pada ketinggian 282,56 m dan kemiringan lereng sebesar $12,6^\circ$. Gambar 4.11(c) merupakan area yang memiliki struktur tanah yang lembek dan berlumpur, dimana area ini berada di kawasan danau. Area ini berada di Formasi Kaligetas dan berada pada ketinggian 278,10 m dengan kemiringan lereng sebesar $8,3^\circ$. Gambar 4.11(d) merupakan area yang dominan dengan batuan *hard sandy* dan *gravel*, yang ditandai dengan ditemukannya bongkahan batulempung. Area ini berlokasi di Formasi Kaligetas dan memiliki nilai f_0 tertinggi sebesar 13,220 Hz, dimana berada pada ketinggian 309,06 m dengan kemiringan lereng sebesar $10,5^\circ$. Gambar 4.11(e) merupakan area yang memiliki lapisan *top soil* yang lunak dan terdapat *gravel* (batuan-batuan kecil) yang mudah lapuk. Area ini terletak di Formasi Kaligetas dan berada pada ketinggian 312,70 m dengan kemiringan lereng sebesar $10,6^\circ$. Gambar 4.11(f) merupakan area pemukiman warga dengan kondisi *top soil* berupa tanah lempung yang tertutup oleh jalan ber-*conblock*. Area ini terletak di Formasi Kaligetas dan berada pada ketinggian 348,18 m dengan kemiringan lereng sebesar $1,7^\circ$. Gambar 4.11(g) merupakan area perkebunan warga yang dominan dengan batuan *hard sandy*, *sandy hard clay*, dan *gravel*. Nilai frekuensi dominan (f_0) yang berada di area penelitian tersebut berkisar antara 0,524 Hz s.d 13,220 Hz. Persebaran nilai frekuensi dominan tersebut dapat diklasifikasikan dalam empat jenis tanah yang didasarkan pada formasi geologi yang berada di zona longsor Desa Kalongan yang ditunjukkan pada tabel 4.1.



Gambar 4. 11 Peta Persebaran Nilai f_o dan Kondisi Geologi Area Penelitian, (a) Jalur Air di Perbatasan Formasi Kaligetas dan Kerek, (b) Sungai di Formasi Kaligetas, (c) Area Danau di Formasi Kaligetas, (d) Area yang didominasi Batulempung di Formasi Kaligetas, (e) Area yang didominasi tanah lunak, (f) Area Pemukiman di Formasi Kaligetas, (g) Area dengan tanah yang keras (*hard sandy*) di Formasi Kaligetas

Tabel 4. 1 Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Formasi dan Nilai Frekuensi Dominan

Formasi	Material Penyusun	f_o (Hz)	Jenis Tanah	Korelasi Material Penyusun dengan Kondisi Geologi Lapangan
Kaligetas	Breksi vulkanik, aliran lava, tuf, batupasir tufan, dan batulempung	7,00 s.d 13,22	Jenis I	Untuk Formasi Kaligetas jenis tanah I dan II dengan nilai f_o 4,02 Hz s.d 13,92 Hz, berkorelasi dengan material tuff dan batupasir tufan. Sedangkan untuk jenis tanah III dan IV dengan nilai f_o 0,52 Hz s.d 3,70 Hz, berkorelasi dengan material batulempung.
		4,02 s.d 6,39	Jenis II	
		2,63 s.d 3,70	Jenis III	
		0,52 s.d 2,49	Jenis IV	
Kerek	Batulempung, napal, batupasir tufan, konglomerat, breksi vulkanik, dan batugamping.	10,15	Jenis I	Untuk Formasi Kerek jenis tanah I dan II dengan nilai f_o 4,02 Hz s.d 10,15 Hz, berkorelasi dengan material batupasir tufan. Sedangkan untuk tanah jenis III dan IV dengan nilai f_o 0,62 Hz s.d 3,73 Hz, berkorelasi dengan material batulempung dan napal.
		4,02 s.d 5,71	Jenis II	
		2,50 s.d 3,73	Jenis III	
		0,62 s.d 1,49	Jenis IV	

Formasi Kaligetas di Kecamatan Ungaran Timur merupakan formasi yang batuanannya terdiri dari breksi dan lahar dengan sisipan lava dan tuf halus sampai kasar, setempat di bagian bawahnya ditemukan batu lempung mengandung moluska dan batu pasir tufaan. Berdasarkan hasil mikrozonasi nilai frekuensi dominan (f_o) yang ditunjukkan pada Gambar 4.11, maka dapat diketahui bahwa Formasi Kaligetas memiliki nilai frekuensi dominan yang berkisar antara 0,524 Hz hingga 13,2203 Hz dengan nilai terendah berada di titik penelitian KL11 dan nilai tertinggi berada di titik penelitian KL31. Sesuai dengan tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan yang ditunjukkan pada Tabel 4.11, maka dapat diklasifikasikan jenis tanah yang berada di Formasi Kaligetas adalah jenis I, II, III, dan IV. Tanah jenis I merupakan batuan tersier yang lebih tua, dimana terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (*hard sandy gravel*), diantaranya merupakan batupasir tufan dan bongkahan batulempung..

Formasi Kerek secara umum terdiri dari perselingan batu lempung, napal, batupasir tufaan, konglomerat, breksi vulkanik, dan batugamping. Berdasarkan hasil mikrozonasi nilai frekuensi dominan (f_0) yang ditunjukkan pada Gambar 4.11, maka dapat diketahui bahwa Formasi Kerek memiliki nilai frekuensi dominan yang berkisar antara 0,62 Hz hingga 10,15 Hz dengan nilai terendah berada di titik penelitian KL46 dan nilai tertinggi berada di titik penelitian KL48. Sesuai dengan tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, maka dapat diklasifikasikan jenis tanah yang berada di Formasi Kerek adalah jenis I, II, III, dan IV.

Berdasarkan mikrozonasi nilai frekuensi dominan pada Gambar 4.11 tersebut, maka dapat diketahui bahwa titik-titik longsor, yakni titik KL23, KL24, KL27, KL35, KL43, KL50, KL51, KL58, KL59, TA1, TA2, TA5, dan TA7 memiliki nilai frekuensi dominan (f_0) yang berkisar antara 1,39 Hz hingga 5,71 Hz. Sesuai klasifikasi jenis tanah yang berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0) pada Tabel 2.2, maka titik-titik longsor tersebut dikategorikan ke dalam tanah jenis I, II, dan III dimana titik-titik longsor tersebut berada di dua formasi, yakni Formasi Kaligetas dan Formasi Kerek. Pada penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa berdasarkan nilai parameter f_0 , kedua formasi tidak memiliki perbedaan yang signifikan, dikarenakan kedua formasi memiliki material penyusun yang hampir sama.

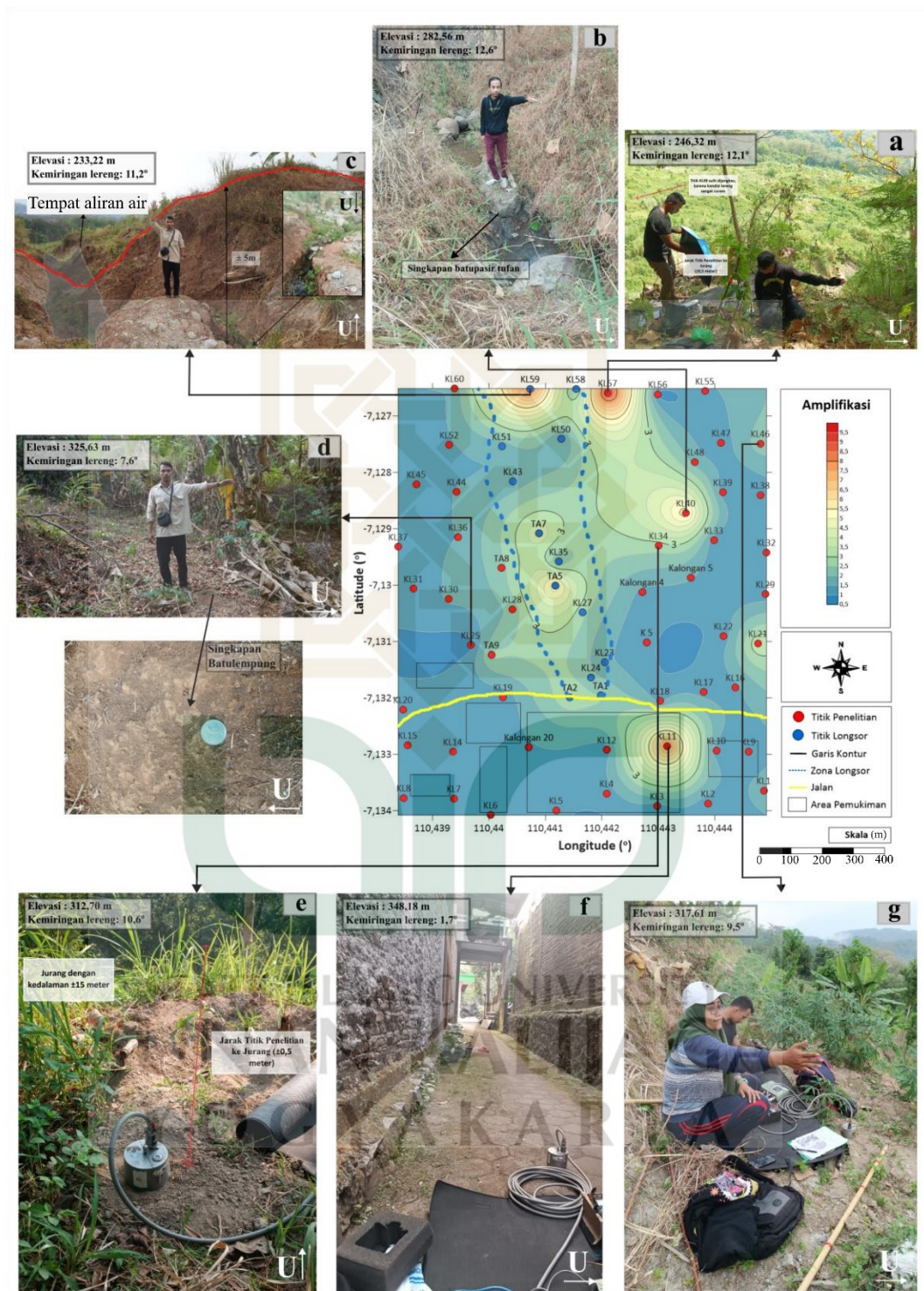
4.2.2 Faktor Amplifikasi

Amplifikasi adalah besarnya penguatan gelombang ketika melalui medium tertentu (Nakamura, 2020). Amplifikasi tanah memiliki kaitan dengan penelitian ini

sebagai parameter dari kurva H/V yang dibutuhkan untuk menentukan tebal lapisan bawah permukaan (*ground profiles*). Ketika gelombang seismik melewati lapisan tanah atau batuan yang lunak atau tidak rapat, maka amplifikasi tanah di tempat tersebut semakin tinggi karena gelombang seismik mengalami perbesaran. Hal itu menyebabkan tempat tersebut mudah longsor ketika dilewati gelombang seismik yang berasal dari sumber getaran atau guncangan. Amplifikasi terjadi saat frekuensi gelombang seismik yang terjebak di suatu lapisan sedimen memiliki nilai yang sama dengan frekuensi dominan (f_0) di daerah tersebut sehingga terjadi resonansi gelombang (Tanjung dkk, 2019). Pada frekuensi resonansi, gelombang seismik dari *bedrock* akan diperbesar beberapa kali sehingga amplitudo gelombang seismik di lapisan sedimen akan semakin besar. Amplifikasi merupakan perbesaran dari gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan antara lapisan yang kontras. Gelombang seismik akan mengalami perbesaran amplitudo jika merambat pada medium yang lebih lunak, seperti lapisan sedimen. Daerah dengan lapisan sedimen yang tebal cenderung memiliki nilai amplifikasi tanah yang tinggi karena pada kondisi geologi tersebut, biasanya daerah tersebut memiliki nilai f_0 yang rendah. Nilai f_0 yang rendah cenderung memiliki lapisan sedimen tebal dengan dominan tanah lunak dan batuan lapuk sehingga gelombang seismik yang merambat pada lapisan sedimen tersebut maka akan mengalami perbesaran amplitudo. Jika batuan-batuan mengalami deformasi atau pelapukan maka nilai A_0 akan bertambah tinggi (Widyawarman dan Fauzi, 2020). Lokasi penelitian memiliki nilai A_0 berkisar antara 0,76 hingga 9,70. Lokasi dengan nilai amplifikasi tertinggi berada di titik penelitian KL57, sedangkan lokasi yang memiliki A_0

terendah berada di titik penelitian KL25. Nilai faktor amplifikasi (A_o) dibagi menjadi empat klasifikasi yakni nilai A_o rendah, nilai A_o sedang, nilai A_o tinggi, dan nilai A_o sangat tinggi. Persebaran nilai amplifikasi tersebut ditunjukkan pada tabel 4.2.





Gambar 4. 12 Peta Persebaran Ao dan Kondisi Geologi Area Penelitian, (a) Area yang didominasi tanah lunak, (b) Sungai di Formasi Kaligetas, (c) Jalur Air di Formasi Kerek, (d) Area yang didominasi tanah keras (*hard sandy*) dan Batulempung berada di Formasi Kaligetas, (e) Area yang didominasi tanah lunak, (f) Area Pemukiman Warga, (g) Area dengan struktur tanah yang lunak berada di Formasi Kerek

Tabel 4. 2 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (Ao)

Klasifikasi	Nilai Ao	Formasi
Rendah	0,76 s.d 2,89	Kaligetas Kerek
Sedang	3,50 s.d 5,97	Kaligetas
Tinggi	8,16 dan 8,47	Kaligetas Kerek
Sangat Tinggi	9,7	Kerek

Pada Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa nilai faktor amplifikasi rendah berkisar antara 0,76 hingga 2,89 yang tersebar di Formasi Kaligetas dan Formasi Kerek. Nilai faktor amplifikasi sedang berkisar antara 3,50 hingga 5,97 yang tersebar di Formasi Kaligetas. Untuk nilai faktor amplifikasi tinggi yakni 8,16 di Formasi Kaligetas dan 8,47 di Formasi Kerek. Sedangkan nilai faktor amplifikasi sangat tinggi berlokasi di Formasi Kerek, tepatnya titik KL57 dengan nilai amplifikasi yaitu 9,7. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada formasi geologi yang sama, nilai faktor amplifikasi dapat bervariasi dari rendah hingga sangat tinggi, dikarenakan karakteristik geologi di suatu daerah dapat berubah-ubah akibat dari deformasi batuan.

Pada wilayah perbukitan dengan kemiringan lereng yang curam dapat membuat batuan mudah terkikis dan melapuk karena lereng yang curam tersebut langsung bersentuhan dengan cuaca. Batuan yang telah lapuk akan berubah menjadi tanah sehingga lapisan sedimen di lereng curam tersebut semakin tebal. Hal tersebut akan membuat gelombang seismik dapat mengalami amplifikasi lebih besar karena melalui medium yang lebih lunak (lapisan sedimen).

4.2.3 Ketebalan Lapisan Sedimen dan *Bedrock* sebagai Bidang Gelincir

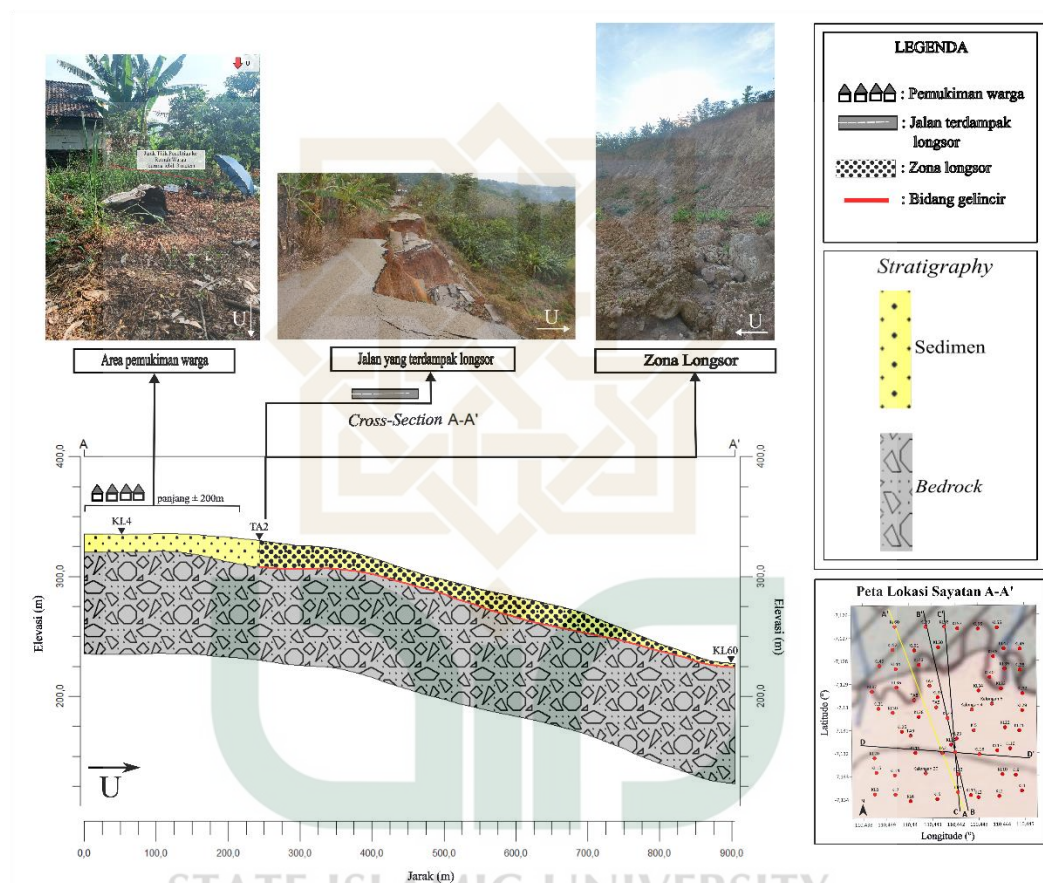
Lapisan sedimen merupakan lapisan yang dihasilkan dari proses pelapukan dan pengendapan. Pelapukan merupakan proses pemecahan massa batuan menjadi

bagian-bagian yang lebih kecil oleh faktor cuaca, salah satunya ketika hujan. Selain itu, di lokasi penelitian juga memiliki daerah yang lembap dan panas, sehingga batuan akan lebih cepat mengalami pelapukan. Batuan yang telah mengalami proses pelapukan akan berubah menjadi tanah. Material pada lapisan tersebut mudah mengalami deformasi atau perpindahan massa, sehingga ketika bobot material tersebut bertambah akibat terserapnya air hingga lapisan kedap air (*bedrock*), maka akan menimbulkan gerakan material secara massal seperti tanah longsor (Winardi dkk, 2023).

Melalui metode mikrotremor, struktur lapisan seperti sedimen dan *bedrock* suatu wilayah dapat ditentukan dari nilai kecepatan gelombang geser (V_s). Struktur lapisan longsor di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang diketahui dari pengolahan inversi kurva H/V dengan metode *ellipticity curve*. Berdasarkan pengolahan tersebut diperoleh *ground profiles* yang menampilkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) setiap lapisan, yakni lapisan sedimen dan *bedrock* beserta nilai kedalaman hingga 100 m, seperti yang ditunjukkan di Lampiran 2. Nilai V_s dan kedalaman tersebut kemudian dimodelkan secara 3D dengan software *Rockworks 16*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.

Berdasarkan hasil pemodelan 3D pada gambar 4.5 tersebut dapat diketahui bahwa nilai ketebalan sedimen paling rendah bernilai 1,41 m yang berada di titik penelitian KL33 dan ketebalan lapisan sedimen paling tebal berada di titik penelitian KL56 dengan tebal 98,14 m. Ketebalan lapisan sedimen pada zona longsor di Desa Kalongan dapat diketahui dengan melakukan penyayatan

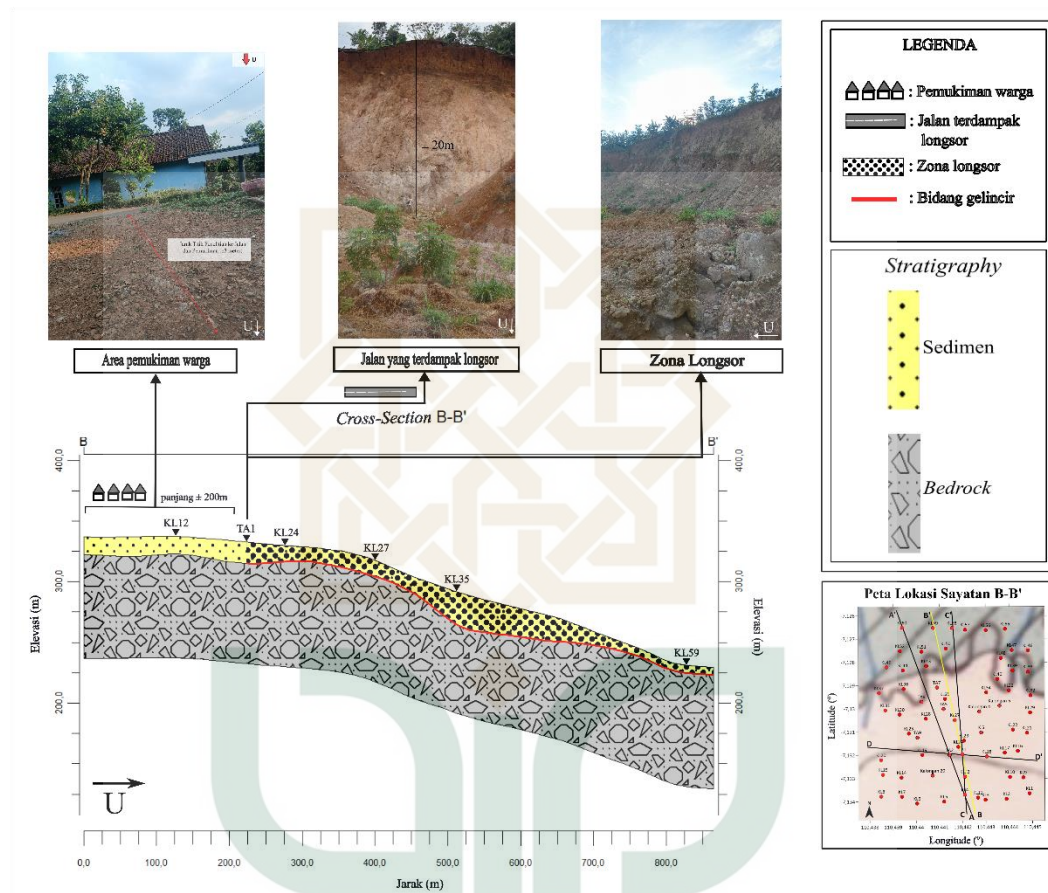
pemodelan pada gambar 4.5 melewati titik-titik penelitian yang mengalami longsoran. Hasil dari proses sayatan ini ditunjukkan pada gambar 4.13 sampai dengan 4.16.



Gambar 4. 13 Cross-section A-A' Lapisan Sedimen dan Bedrock

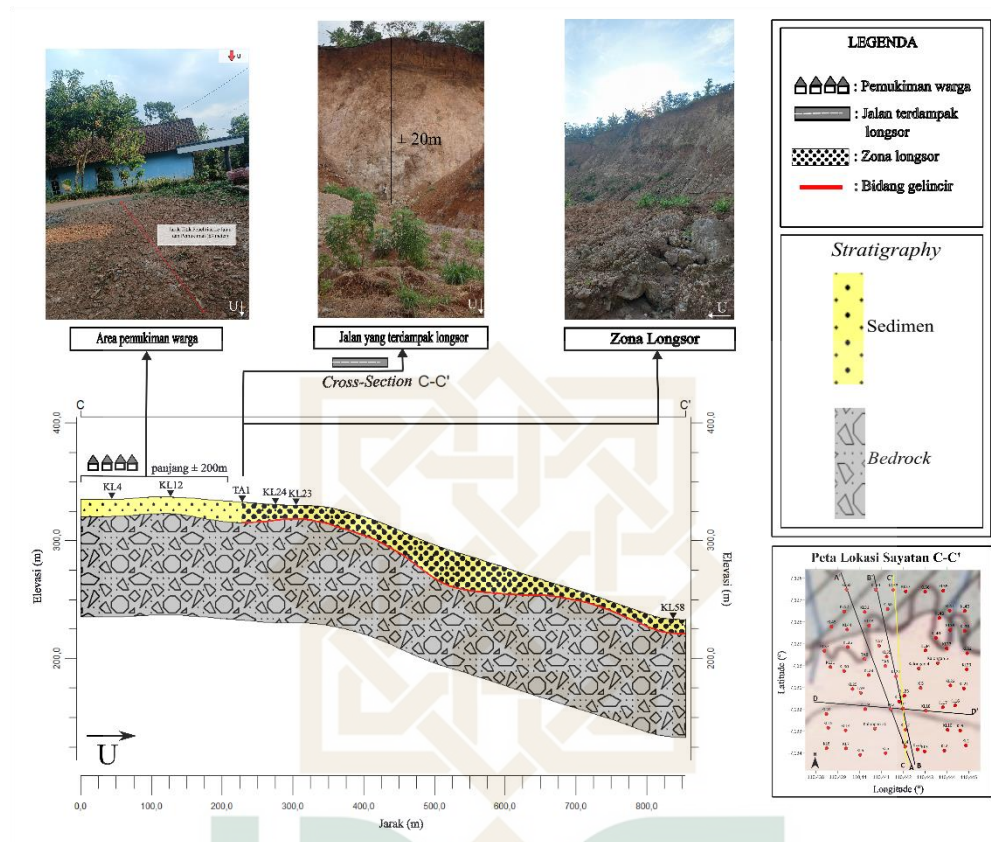
Berdasarkan gambar 4.13 dapat diketahui bahwa di area pemukiman sebelah selatan dari zona longsor memiliki ketebalan sedimen berkisar antara $\pm 16,3$ m hingga ± 20 m dari permukaan tanah yang ditunjukkan pada spektrum warna kuning. Berdasarkan tabel 2.2, dapat diketahui bahwa ketebalan lapisan sedimen di area pemukiman tergolong tebal (10 s.d 30 m). Sedangkan di zona longsoran dari titik pengukuran TA2 ke utara hingga titik pengukuran KL60, keberadaan *bedrock*

sebagai bidang gelincir berada pada kedalaman $\pm 3,2$ m hingga $\pm 21,9$ m dari permukaan tanah.



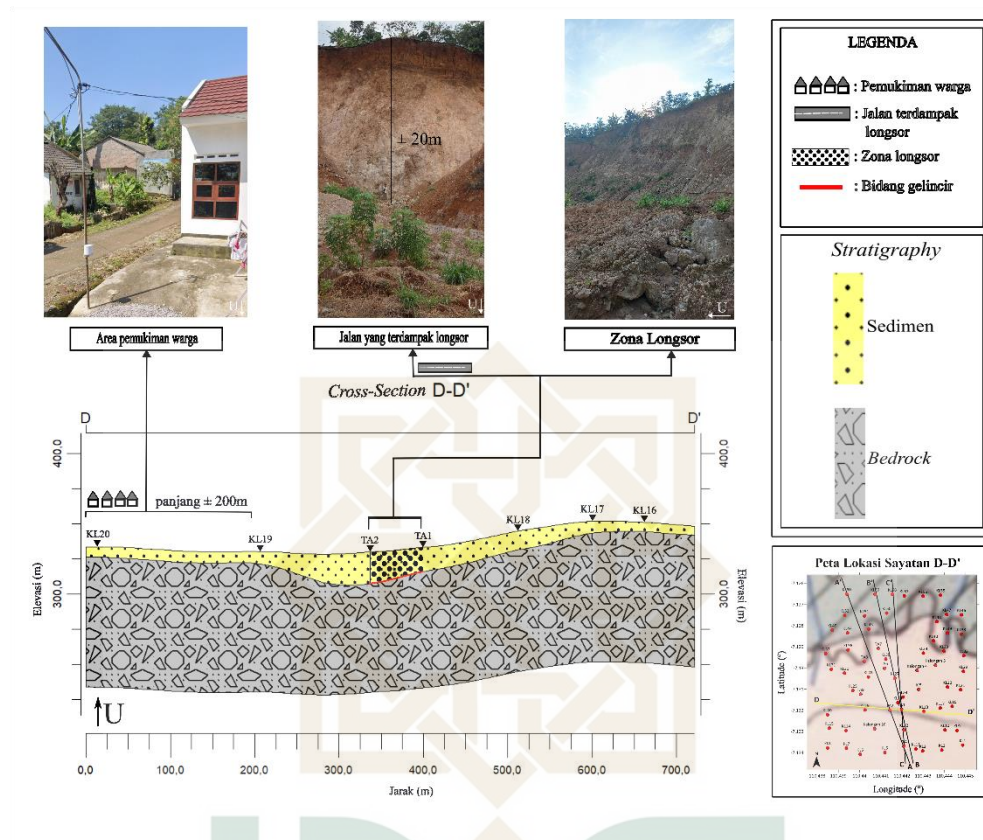
Gambar 4. 14 Cross-section B-B' Lapisan Sedimen dan Bedrock

Pada gambar 4.14 terdapat pemodelan sayatan untuk area pemukiman dan zona longsor dengan batas yang ditandai oleh jalan yang terdampak longsor. Pada area pemukiman memiliki lapisan sedimen dengan ketebalan berkisar antara ± 14 m hingga $\pm 17,5$ m. Sedangkan di zona longsor, keberadaan lapisan *bedrock* sebagai bidang gelincir berada pada kedalaman $\pm 5,7$ m hingga $\pm 26,9$ m dari permukaan tanah.



Gambar 4. 15 Cross-section C-C' Lapisan Sedimen dan Bedrock

Pada gambar 4.15 dapat diketahui bahwa tebal sedimen di area pemukiman berkisar $\pm 13,9$ m hingga $\pm 17,6$ m. Berdasarkan tabel 2.2 maka di area pemukiman tersebut memiliki sedimen yang tebal. Sedangkan di zona longsor, keberadaan *bedrock* sebagai bidang gelincir berada pada kedalaman $\pm 6,6$ m hingga $\pm 27,9$ m dari permukaan tanah.



Gambar 4. 16 Cross-section D-D' Lapisan Sedimen dan Bedrock

Berdasarkan gambar 4.16 adalah pemodelan sayatan dari barat ke timur. Area penelitian bagian barat berupa pemukiman dan jalan, sedangkan di tengah berupa lokasi terjadinya longsor yang ditandai dengan titik-titik warna hitam dengan panjang jalan yang rusak $\pm 58,79$ m. Pada area pemukiman di sebelah barat memiliki ketebalan sedimen $\pm 7,3$ m hingga $\pm 10,3$ m. Sedangkan sebelah timur dari zona longsor yang berupa jalan desa memiliki ketebalan sedimen $\pm 6,6$ m hingga $\pm 16,9$ m. Pada zona longsor, keberadaan *bedrock* sebagai bidang gelincir berada pada kedalaman $\pm 15,5$ m hingga ± 22 m dari permukaan tanah.

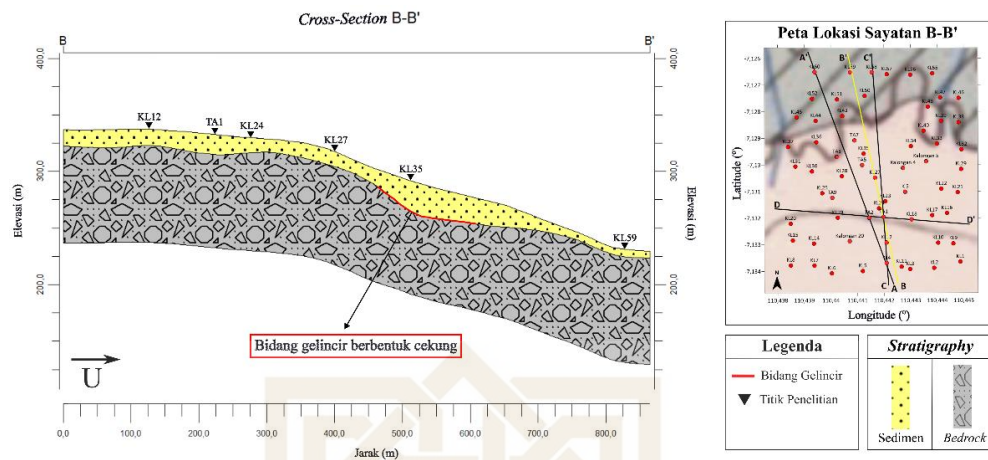
Lapisan *bedrock* yang berperan sebagai bidang gelincir memiliki sifat kedap air sehingga air yang masuk ke dalam tanah akan terjebak dan menumpuk diatas bidang gelincir. Hal tersebut membuat bidang gelincir berperan sebagai media

untuk air yang terjebak dan menumpuk tadi mengalir menuruni lereng membawa lapisan tanah di atasnya secara massal sehingga terjadilah tanah longsor.

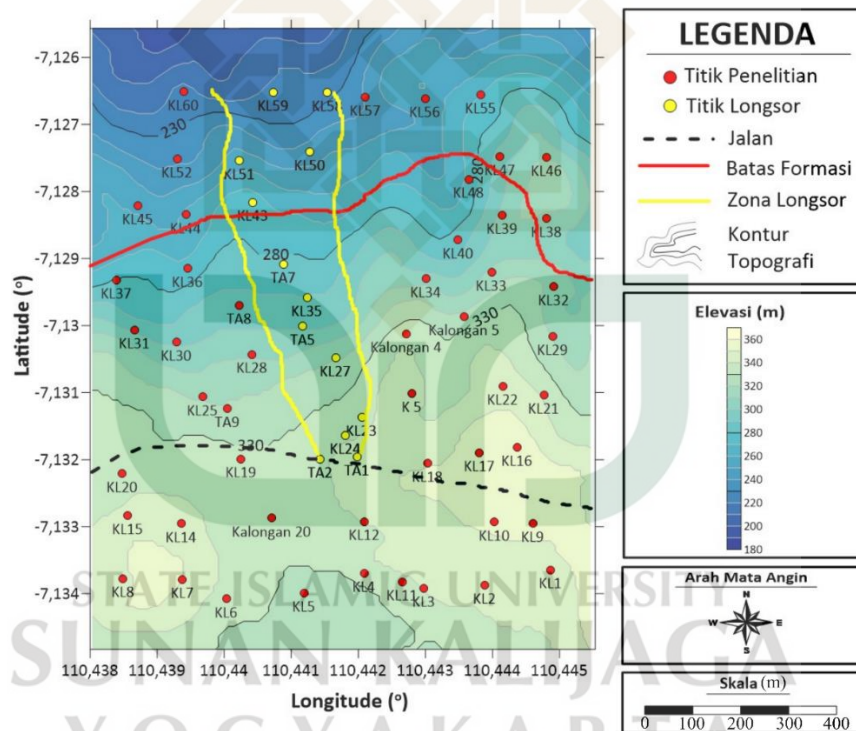
4.2.4 Identifikasi Zona Longsor di Desa Kalongan

Desa Kalongan menjadi lokasi penelitian dikarenakan di desa tersebut terjadi bencana tanah longsor. Kondisi geomorfologis daerah penelitian berada di dataran tinggi berupa pegunungan, tepatnya berada di titik-titik longsor yang ditunjukkan pada gambar 4.18. Lokasi penelitian memiliki ketinggian dari 180 m hingga 370 m. Hal tersebut yang menjadi faktor pendukung terjadinya tanah longsor di daerah tersebut. Berdasarkan gambar 4.18 maka dapat diketahui terdapat 13 titik penelitian yang dilalui oleh tanah longsor. Titik-titik longsor tersebut berada di dua formasi yakni Formasi Kaligetas dan Formasi Kerek.

Identifikasi daerah longsor di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang ditunjukkan pada Gambar 4.18. Daerah-daerah yang diidentifikasi adalah daerah yang terletak di dataran tinggi dengan ketinggian 343 m (ujung longsor bagian selatan) dan 216 m (ujung longsor bagian utara) dengan jarak kurang lebih 684,38 meter dari ujung selatan hingga ke utara zona longsor. Tanah longsor yang terjadi pada daerah tersebut adalah jenis longsor rotasi. Longsor rotasi adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17 berikut.



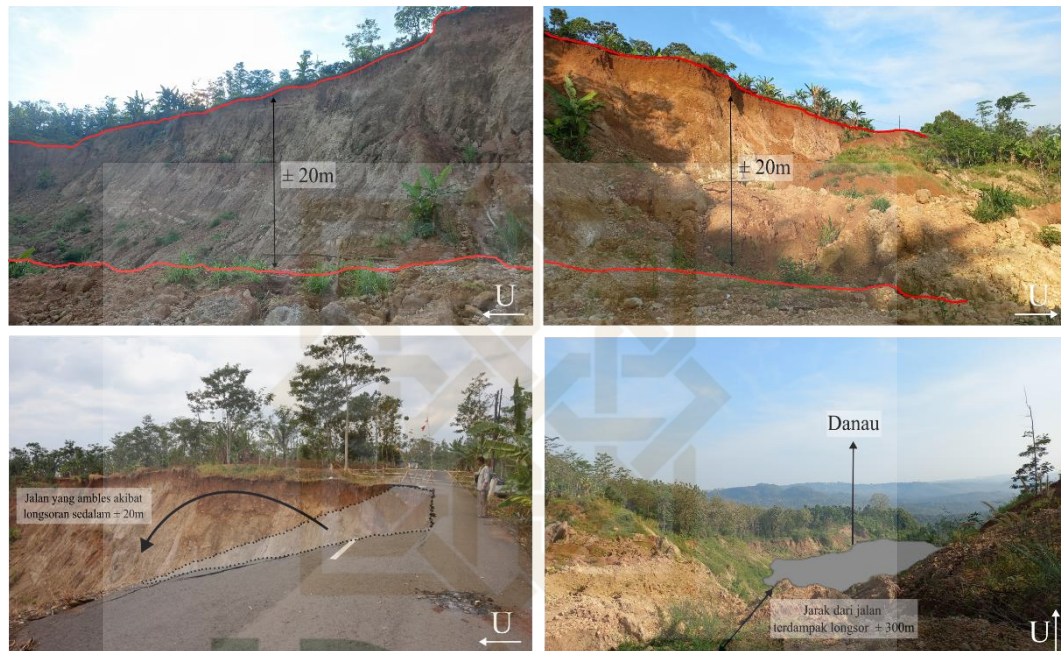
Gambar 4. 17 Jenis Longsoran Rotasi



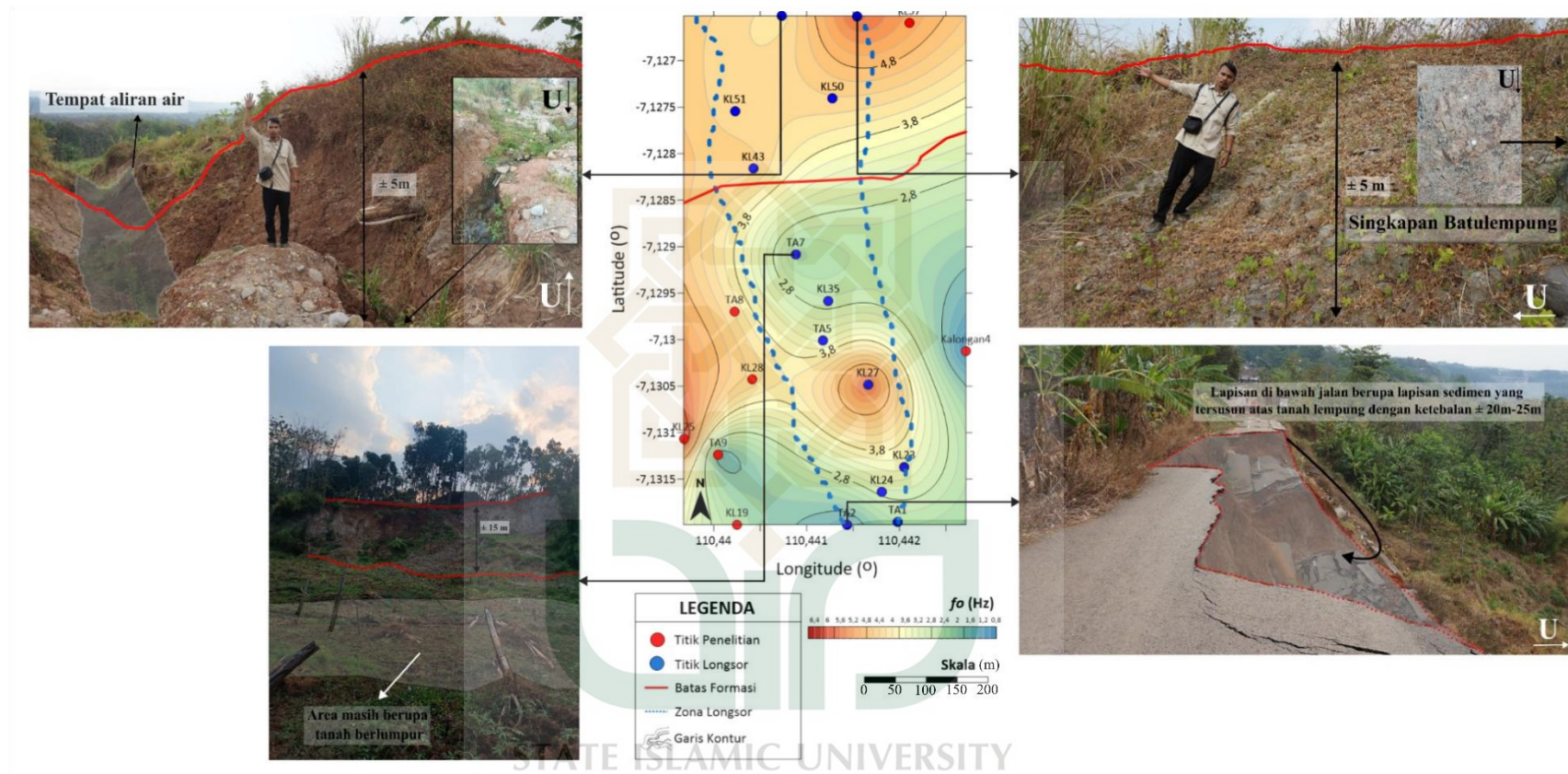
Gambar 4. 18 Peta Persebaran Titik Longsor di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang

Lapisan *bedrock* yang berbetuk cekung tersebut diduga kuat adalah bidang gelincir yang berperan sebagai bidang atau tempat Bergeraknya massa tanah dan batuan menuruni lereng. Material longsor tersebut bergerak menuruni lereng dengan dibantu oleh air hujan yang meresap ke dalam tanah hingga ke lapisan *bedrock* (batuan dasar). Air tersebut tidak dapat menembus lapisan *bedrock*

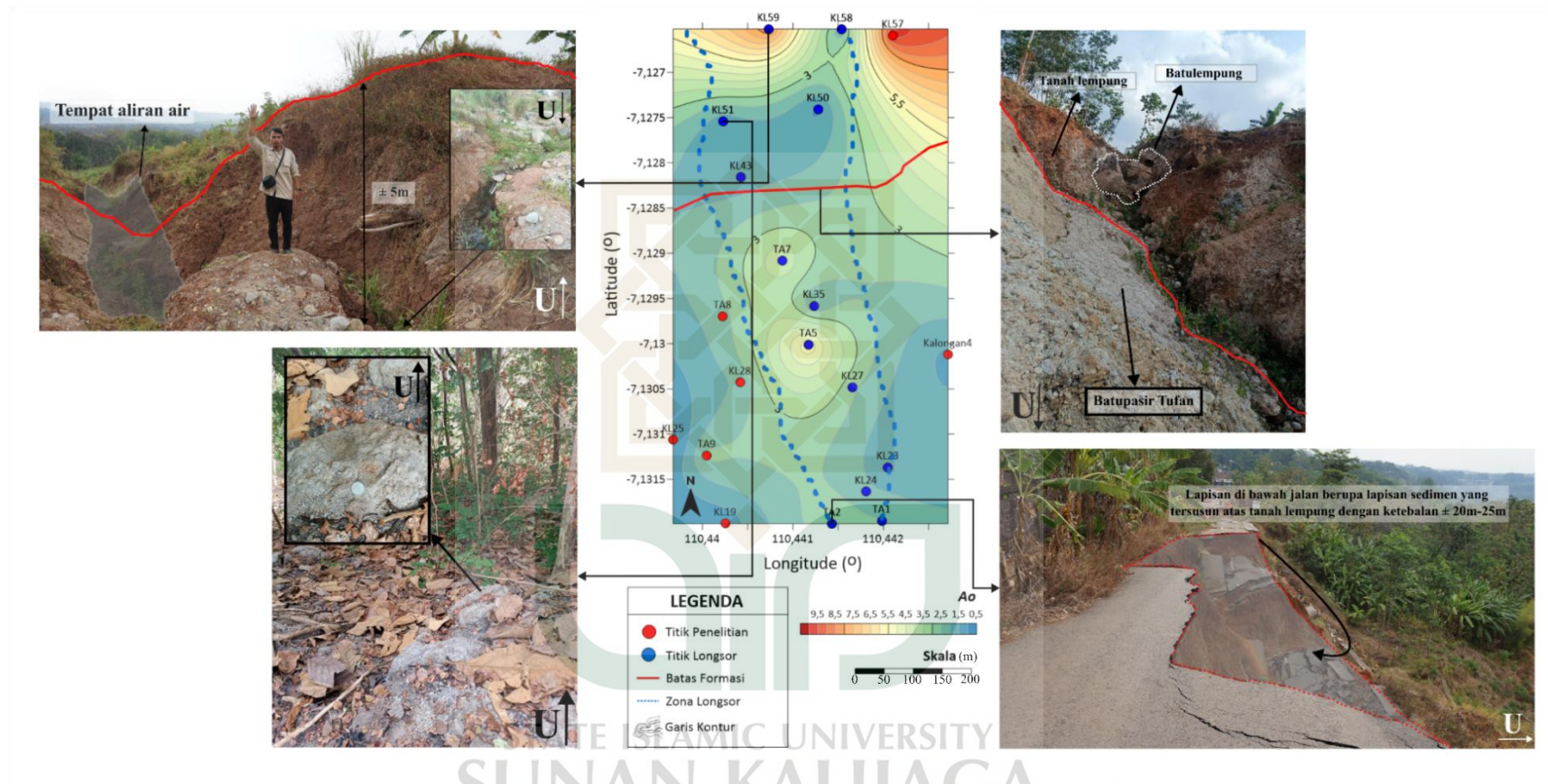
dikarenakan sifat *bedrock* yang kedap air. Kejadian longsor ditunjukkan pada Gambar 4.19 berikut.



Gambar 4. 19 Lokasi Tanah Longsor



Gambar 4. 20 Mikrozonasi f_o di Zona Longsor



Gambar 4. 21 Mikrozonasi Ao di Zona Longsor

Pada sub-bab ini dilakukan validasi data lapangan berdasarkan parameter f_0 dan A_0 , tidak dianalisis dengan model ketebalan lapisan sedimen dan *bedrock* dikarenakan tidak semua titik pengukuran dilalui oleh sayatan. Ketebalan lapisan sedimen dan *bedrock* baik di area pemukiman maupun di longsoran telah dijelaskan pada sub-bab 4.2.3. Berdasarkan hasil mikrozonasi f_0 yang ditunjukkan pada Gambar 4.20 maka dapat diketahui bahwa nilai f_0 tertinggi berada di titik KL58 dengan nilai 5,71 Hz. Sedangkan nilai f_0 terendah berada di titik TA2 dengan nilai 1,39 Hz. Nilai f_0 di titik KL58 tersebut diketahui sebagai tanah jenis II yang didominasi oleh batuan *hard sandy* dan *gravel*. Sedangkan nilai f_0 di titik TA2 diketahui sebagai tanah jenis IV yang didominasi oleh batuan alluvial yang terbentuk dari *top soil* berupa *sandy soft clay*. Nilai amplifikasi tanah di zona longsor dapat ditunjukkan pada Gambar 4.21. Nilai amplifikasi tertinggi berada di titik KL59 dengan nilai 8,47. Nilai tersebut adalah jenis amplifikasi tinggi yang berarti kerapatan tanah dan batuan berkurang (lapisan tanah kurang *solid*) sehingga nilai faktor amplifikasinya bertambah besar. Titik KL59 sendiri berada di ujung longsoran bagian utara.

Berdasarkan pemodelan 3D pada Gambar 4.5, maka dapat diketahui bahwa ketebalan lapisan sedimen di zona longsoran tersebut berkisar antara 13,6 m hingga 52,2 m. Hal tersebut menunjukkan bahwa di zona longsoran memiliki lapisan sedimen yang tergolong tebal hingga sangat tebal. Kondisi zona longsoran yang berada di area dataran tinggi dengan kemiringan yang curam menjadi faktor penyebab proses pelapukan terjadi lebih cepat sehingga lapisan permukaan tersusun dari material yang lunak. Material lunak tersebut mudah ditembus air sehingga air

yang masuk dapat membawa material yang lunak bergeser ke daerah yang lebih rendah sehingga berakibat tanah longsor.

4.2.5 Integrasi Interkoneksi

Dalam surat Ar-Rum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: *“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).”*

Ayat diatas menunjukkan bahwa bencana itu datang karena ulang tangan dari manusia itu sendiri. Melalui izin-Nya segala sesuatu dapat terjadi, termasuk dalam hal ini adalah bencana. Bencana alam merupakan peristiwa alam atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam. Namun peristiwa alam tersebut dapat terjadi dengan faktor pendukung, salah satunya dari tangan manusia. Peristiwa alam yang berkaitan dengan ayat tersebut salah satunya adalah peristiwa tanah longsor. Penebangan pohon-pohon di area pegunungan atau perbukitan dengan lereng yang curam dapat mengikis habis pepohonan. Hal tersebut berdampak pada tempat penyerapan air yang semakin berkurang. Selain itu, batuan-batuan akan mudah lapuk karena bersentuhan langsung dengan cuaca. Kondisi tersebut akan diperparah ketika hujan turun di kawasan tersebut.

Batuan-batuan lapuk menjadi tanah dengan tekstur lunak dan lembek yang membuat lapisan sedimen semakin tebal, tidak adanya pepohonan, dan daerah yang berupa pegunungan atau bukit dengan lereng yang curam. Hal itu tentu membuat daerah tersebut menjadi zona rawan longsor. Jika terjadi hujan dengan intensitas

yang tinggi maka air yang turun di kawasan itu akan meresap hingga ke lapisan batuan dasar (*bedrock*) karena tidak adanya akar-akar pohon yang berfungsi untuk menyerap air. *Bedrock* memiliki sifat kedap air, sehingga air tersebut tidak dapat menembus ke lapisan *bedrock*. Hal itu membuat air akan terjebak dan menumpuk sehingga mengalir menuruni lereng dengan membawa material tanah yang ada di atasnya secara massal. Persitiwa itulah yang disebut dengan tanah longsor.

Maha suci Allah, petunjuk Allah melalui ayat 41 dari Surah Ar-Rum benar nyata adanya. Sebagai manusia, kita diwajibkan untuk menuntut ilmu agar kita dapat berfikir dengan matang dalam menjaga dan mengelola alam. Selain ilmu, akhlak juga menjadi bagian yang harus menjadi prioritas. Akhlakul karimah merupakan akhlak terpuji yang sesuai dengan norma yang mengatur hubungan antara manusia dengan Allah SWT dan hubungan antar sesama manusia (*Habluminallah, habluminannas*). Akhlakul karimah yang ada pada diri Rasulullah SAW adalah akhlak yang dapat kita contoh untuk mempergunakan ilmu dengan bijak.

Melalui pendekatan pada Surah Ar-Rum ayat 41 ini, menjadikan surat ini sebagai dasar dalam melaksanakan penelitian dengan menggunakan metode mikrotremor. Metode tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui penyebab terjadinya tanah longsor sehingga dibuat model struktur lapisan bawah permukaan melalui pemodelan 3D dan *Cross-section* menggunakan *software Rockwork 16*. Pendekatan ini digunakan untuk integrasi dan interkoneksi pada penelitian ini adalah model informatif-konfirmatif. Pendekatan informatif yang dimaksud yaitu penelitian yang berdasarkan pada ayat Al-Quran mengenai

penyebab bencana alam, sedangkan maksud dari pendekatan konfirmatif yaitu menggunakan perantara metode seismik sebagai instrumen dalam mengonfirmasi penyebab bencana alam. Manfaat lain yang didapatkan dari penelitian ini yaitu meningkatkan keimanan kepada Allah SWT dan menambah ilmu pengetahuan dalam mempelajari ciptaan-Nya.

