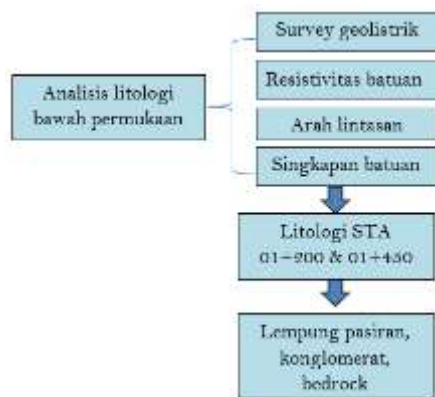


Analisis Litologi Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geolistrik Pada Lokasi Longsoran Jalan Payahe-Weda Provinsi Maluku Utara

Firman Firman*, Syarifullah Bundang, dan Rifaldi Ela
Prodi Teknik Pertambangan Universitas Khairun, Ternate, Indonesia

*Corresponding author
firmam@unkhair.ac.id

Graphical abstract



Abstract

The Payahe-Weda road section often experiences landslides due to the high intensity of weathering, high rainfall, dense vegetation, and its morphology tends to be hilly with steep slopes. Subsurface lithology analysis using geoelectric methods at the Payahe-Weda road landslide site was conducted at two locations: STA 01+200 and STA 01+450. Road landslide mitigation activities at both locations require lithology data for slope design and mitigation, making it crucial to conduct lithology analysis using the Wenner-Alpha geoelectric configuration. The research phase began with preparation, field data collection in the form of rock outcrops at the site, potential difference and current strength data, electrode spacing, elevation, coordinates, and trajectory direction. This research is categorized as quantitative in terms of measuring rock resistivity values, but the lithology interpretation is qualitative. The results of the study at STA 01+200 indicate that the lithology on the road is sandy clay, conglomerate, and bedrock. This trajectory indicates an anomaly in the form of a fracture zone, a change in the condition of the rock layers due to subsidence encountered on the surface. The lithology of the STA 01+450 trajectory is also relatively similar: sandy clay, conglomerate, and bedrock. The resistivity of the sandy clay ranges from 16.1 to 123 Ωm at a depth of 0-14 m, while the resistivity of the conglomerate ranges from 120 to 1000 Ωm at a depth of 6-25 m. The highest resistivity bedrock section indicates hard rock, resulting in high resistivity, at 200 to 4000 Ωm at a depth of 18.5 to 31.9 m.

Keywords: bedrock, conglomerate, lithology, Payahe-Weda, Wenner-Alpha

1. PENDAHULUAN

Daerah di sepanjang Jalan Payahe-Weda sering mengalami longsoran akibat tingginya pelapukan dan curah hujan. Selain itu, daerahnya yang berbukit, serta banyaknya lembah atau jurang di kiri kanan jalan ditambah banyaknya vegetasi di sepanjang jalan turut meningkatkan kejadian longsor setiap tahunnya [1]. Kejadian longsoran terjadi jika dipenuhi 3 (tiga) keadaan, yaitu: (1) lereng cukup curam, (2) terdapat bidang peluncur yang kedap air dibawah permukaan tanah, dan (3) terdapat cukup air dalam tanah di atas lapisan kedap (bidang luncur) sehingga tanah jenuh air [2]. Faktor dominan yang lazim biasanya disebabkan oleh kemiringan lereng, penggunaan lahan dan jenis tanah serta curah hujan sebagai faktor pemicu [3]. Hasil kajian memberikan bidang gelincir terletak pada kelompok resistivitas menengah dengan jenis pasir atau pasir lempungan yang menindih kelompok resistivitas tinggi yang berupa batulempung keras (*bedrock*). Berdasarkan nilai faktor keamanan lereng, bidang gelincir ini berada pada keadaan kurang stabil [4].

Kegiatan penanganan longsoran membutuhkan data litologi, khususnya bagi stakeholder terkait, seperti P2JN (Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional) Wilayah Maluku Utara. Analisis litologi dapat dilakukan dengan menggunakan instrumen geolistrik konfigurasi Wenner-Alpha untuk mendapatkan penampang 2D (dua dimensi) dilakukan pengukuran dengan metode mapping. Penelitian sebelumnya terkait penggunaan geolistrik dalam identifikasi litologi diaplikasikan di Kabupaten Morotai Kepulauan di Desa Sopi dan Wayabula. Kegiatan identifikasi litologi menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger sebanyak 3 lintasan, dimana 1

lintasan di Desa Sopi dan 2 lintasan di Desa Wayabula. Pada lokasi daerah yang mudah longsor adalah pasir lempungan dan konglomerat akibat air, lapukan serta bench jalan yang terlalu tegak [5]. Selain itu, deteksi perlapisan batuan dengan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger di jalan lintas Halmahera Selatan Desa Matuting Kecamatan Gane Timur Tengah sebanyak 2 lintasan, hanya menghasilkan penampang litologi 1D [6]. Penggunaan geolistrik konfigurasi Schlumberger dalam interpretasi lapisan bawah permukaan tanah di jalan lintas Subaim-Buli sebanyak 2 lintasan diperoleh perlapisan batuan (penampang 1D) berupa aluvium, batupasir, batulanau, dan shale dengan nilai resistivitas antara 2,08- 563 Ω m [7]. Ketiga penelitian tersebut menggunakan konfigurasi Schlumberger dan merupakan metode VES (*vertical electrical sounding*) sehingga hanya mendapatkan data 1D (1 dimensi) sedangkan secara *mapping* atau penampang 2D yang diaplikasikan dalam analisis litologi longsor jalan belum dilakukan di wilayah Maluku Utara. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis litologi bawah permukaan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner-Alpha untuk mendapatkan penampang litologi 2D di lokasi-lokasi longsor jalan Daerah Payahe-Weda. Penggunaan metode geolistrik konfigurasi Wenner-Alpha dalam analisis kelongsoran dapat dilakukan seperti yang pernah dilakukan oleh Prambudi dkk (2022) di Jalan Raya Suban Bandar Lampung serta bisa menentukan bidang gelincirnya yang berada pada litologi pasir lempungan dan sedimen tufa [8].

Prinsip kerja survey geolistrik adalah mengukur tahanan jenis (*resistivity*) dengan mengalirkan arus listrik kedalam batuan atau tanah melalui elektroda arus (*current electrode*), kemudian arus diterima oleh elektroda potensial. Beda potensial antara dua elektroda tersebut diukur dengan volt meter dan dari harga pengukuran tersebut dapat dihitung tahanan jenis semu batuan [9]. Pada metoda geolistrik tahanan jenis ini, arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus. Kemudian beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda yang berbeda kemudian dapat diturunkan variasi harga hambatan jenis masing-masing lapisan dibawah titik ukur [10][11].

Peta jalan penelitian analisis litologi bawah permukaan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner-Alpha pada lokasi longsor jalan Payahe-Weda Kota Tidore Kepulauan Provinsi Maluku Utara seperti ditampilkan pada Gambar 1.1. Pada penelitian ini difokuskan pada karakteristik litologi bawah permukaan pada 2 (dua) titik longsor (STA 01+200 dan STA 01+450) di ruas jalan Payahe-Weda berdasarkan nilai resistivitas hasil inversi geolistrik.

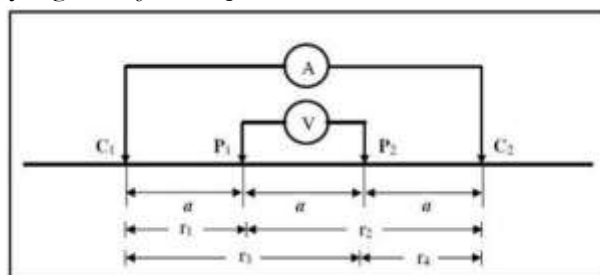


Gambar 1. *Road Map* Penelitian

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di daerah longsor Jalan Payahe-Weda Kota Tidore Kepulauan Provinsi Maluku Utara. Ada dua lokasi yang dilakukan pengukuran geolistrik, yaitu Payahe-Weda STA 01+200, dan Payahe-Weda STA 01+450. Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan April-Juli 2025 sesuai jadwal pelaksanaan PKUPT dari LPPM. Alat yang digunakan dalam penelitian satu set geolistrik tipe IRES T300F (Multi channel), radio/HT, palu geologi, GPS, kompas, aki, roll meter, dan parang. Bahan yang digunakan adalah payung, baterai alkalin, tali rafia, dan patok kayu.

Konfigurasi Wenner-Alpha memiliki karakteristik yang sensitif terhadap perubahan lateral dan dangkal. Resolusi yang dihasilkan dari konfigurasi ini cukup tinggi sehingga konfigurasi ini sangat baik untuk survey *mapping vertical* [12]. Konfigurasi Wenner-Alpha mempunyai jarak antar elektroda arus (C_1 C_2) dan elektroda potensial (P_1 - P_2) sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.

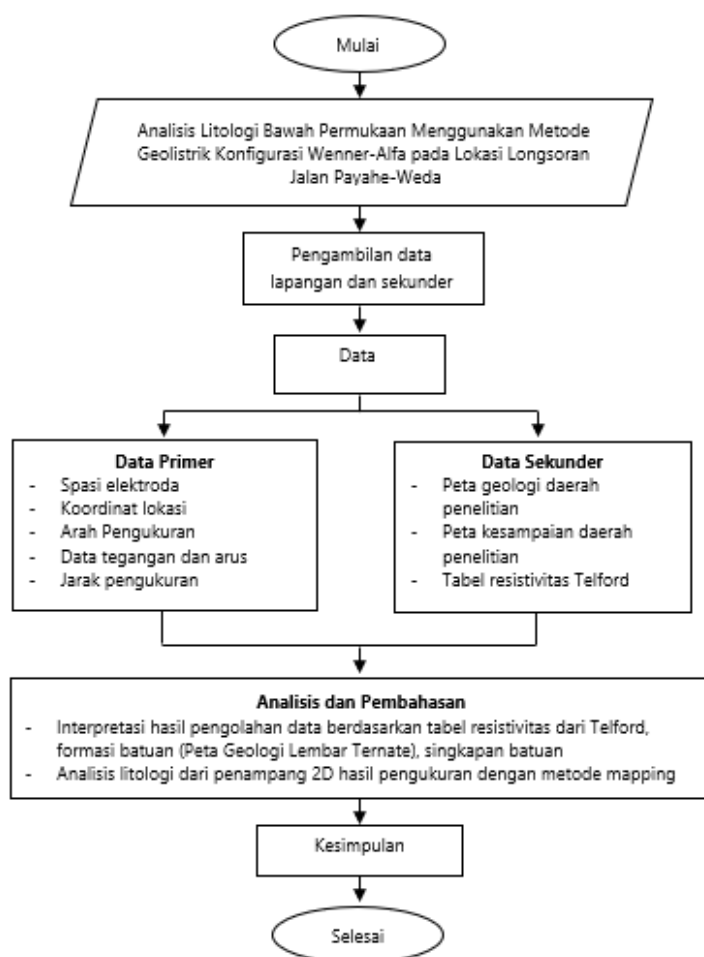


Gambar 2. Susunan elektroda pada konfigurasi Wenner-Alpha [9]

TKT penelitian ini termasuk penelitian dasar TKT 3 yaitu pembuktian konsep fungsi dan/atau karakteristik penting secara analitis dan eksperimental. Penelitian ini terkategori penelitian kuantitatif jenis eksperimental lapangan, tetapi dalam interpretasi litologinya bersifat kualitatif. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu memadukan hasil-hasil kajian literatur, penelitian sebelumnya dan data lapangan, yang nantinya akan dilakukan pengkajian dan analisis untuk menarik suatu kesimpulan tentang interpretasi litologi bawah permukaan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner-Alpha pada lokasi longsor Jalan Payahe-Weda Provinsi Maluku Utara.

Pengambilan data lapangan dilakukan pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner-Alpha serta dilakukan pengambilan data koordinat dan elevasi setiap titik serta arah lintasan. Singkapan batuan pada lokasi pengukuran juga didokumentasikan dan dilakukan deskripsi megaskopis. Data hasil pengukuran geolistrik dilakukan pengolahan data di Microsoft Excel lalu dilakukan pemodelan inversi menggunakan perangkat lunak Res2Dinv. Interpretasi litologi dilakukan berdasarkan nilai resistivitas serta singkapan batuan yang ada di lokasi pengukuran. Selain itu, formasi batuan pada lokasi penelitian (Formasi Weda/Tmpw) juga menjadi pertimbangan untuk menguatkan interpretasi litologi hasil penelitian.

Adapun tahapan penelitian inti dimulai dari pengambilan data lapangan hingga analisis litologi hasil pemodelan penampang 2D. Tahapan lengkapnya dapat dilihat pada bagan alir seperti pada Gambar 2.2 berikut ini:



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

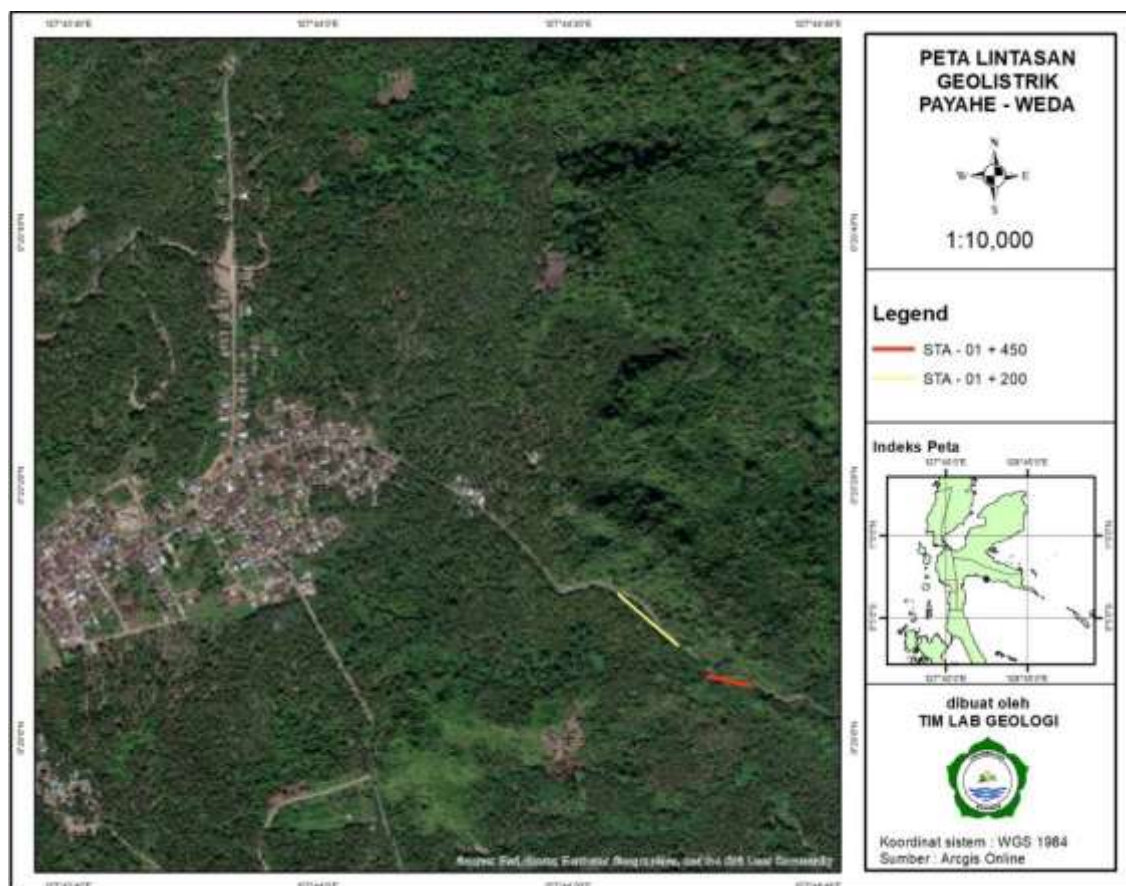
Lokasi Penelitian dan Digitasi Peta Lintasan Geolistrik

Lokasi kegiatan penelitian survey geolistrik menggunakan alat Geolistrik *Resistivity Meter* Type IRES T300F. Metode geolistrik resistivitas konfigurasi *Wenner-Alpha*. Lokasi pengukuran lapangan dilakukan di dua titik, yaitu STA-01 + 450 dan STA-01 + 200, yang secara administrasi terletak di Kota Tidore Kepulauan Kecamatan Oba. Detilnya lokasi pengukuran ditampilkan pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.1.

Tabel 1. Lokasi dan Station Pengukuran Geolistrik

No	Lokasi	Station	Keterangan
1	Payahe - Weda	Sta.01+200	Tidore Kepulauan
2	Payahe - Weda	Sta.01+450	Tidore Kepulauan

Lokasi pengukuran termasuk dalam peta geologi lembar Ternate Maluku Utara. Berdasarkan overlay lokasi pengukuran dan peta geologi, lokasi tersebut berada pada Formasi Weda (Tm_{pw}). Menurut Apandi dan Sudana (1980), formasi Weda tersusun dari batupasir, napal, tufa, konglomerat dan batugamping. Hasil pengamatan atau deskripsi megaskopis singkapan batuan, pada lokasi Payahe-Weda singkapan batuan didominasi lempung pasir yang disisipi oleh kerikil. Singkapan tersebut secara megaskopis mengalami tingkat pelapukan yang sangat tinggi. Pada STA – 01 + 200 dijumpai rekahan yang cukup lebar mencapai 16 cm. Salah satu bidang dari rekahan tersebut mengalami penurunan sekitar 12 cm.

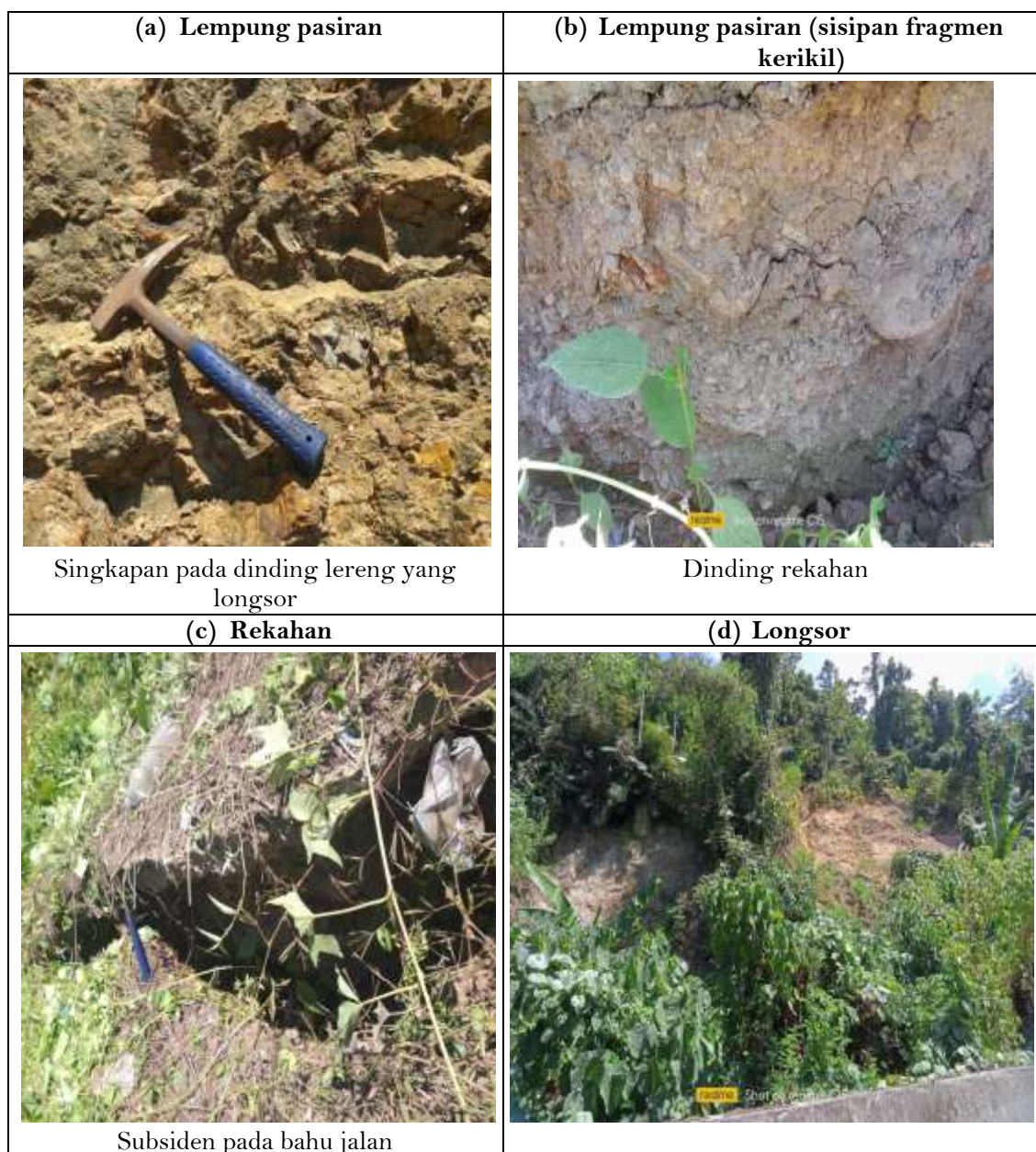


Gambar 4. Peta Lintasan Geolistrik Payahe-Weda

Hasil Analisis Lokasi STA-01+200

Lokasi pengukuran termasuk dalam peta geologi Lembar Ternate Maluku Utara. Berdasarkan *overlay* lokasi pengukuran dan peta geologi, lokasi tersebut berada pada Formasi Weda (Tm_{pw}). Menurut Apandi dan Sudana (1980), formasi Weda tersusun dari batupasir, napal, tufa, konglomerat dan batugamping. Batuan yang dijumpai tersingkap pada lokasi pengukuran yaitu lempung pasir berwarna coklat kekuningan. Lempung pasir tersebut menunjukkan tingkat pelapukan yang sangat tinggi (Gambar 3.2 (a)). Selain itu juga dijumpai singkapan batuan lempung pasir yang disisipi fragmen berupa kerikil (Gambar 3.2 (b)). Hasil pengamatan lapangan dijumpai adanya subsiden pada bahu jalan (Gambar 3.2(c)) yang menyebabkan salah satu bidang dari lapisan tanah mengalami penurunan mencapai 12 cm dan lebar rekahan sekitar 16 cm. Selain itu juga terdapat longsor pada sisi kiri jalan arah Payahe Weda (Gambar 3.2 (d)), dimana dinding lereng tersebut menunjukkan material yang sangat lapuk.

Penentuan lintasan geolistrik dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi geologi lapangan dan titik longsor serta subsiden. Lokasi pengukuran terletak di ruas jalan Payahe - Weda Sta 01+200. Koordinat lintasan geolistrik pada elektroda 1 yaitu 00°20'11.42"N dan 127°44'24.02"E sampai dengan elektroda 16 yaitu 00°20'07.34"N dan 127°44'28.75"E. Panjang lintasan yaitu 160 meter sesuai area longsoran dan subsiden dengan spasi elektroda 10 m, menggunakan konfigurasi *Wenner-Alpha*. Arah lintasan yaitu barat laut-tenggara. Bentangan lintasan geolistrik memotong arah bidang rekahan. Area longsoran dan subsiden berada di sebelah kiri jalan menuju Weda.



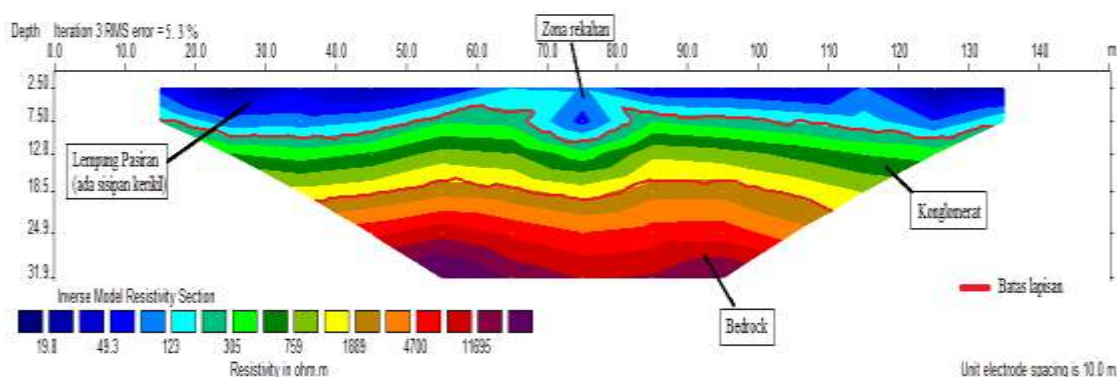
Gambar 5. Singkapan batuan dan kondisi lokasi pengukuran

Hasil pengukuran dan pengolahan data geolistrik diperoleh penampang resistivitas 2D (Gambar 3.3) dengan nilai resistivitas terendah $19.8 \Omega\text{m}$ dan nilai resistivitas tertinggi yaitu $11.695 \Omega\text{m}$. Penetrasi kedalaman yang dijangkau yaitu 31.9 m . Berdasarkan penampang resistivitas 2D pada Gambar 3, kondisi geologi bawah permukaan diinterpretasikan terdiri dari 3 litologi batuan penyusun, antara lain (tabel 3.2):

- 1) Lapisan pertama dengan resistivitas rendah $19.8\text{-}123 \Omega\text{m}$ dengan kedalaman bervariasi mulai dari batuan yang tersingkap di permukaan sampai dengan kedalaman 11 meter, lapisan ini diinterpretasikan sebagai lempung pasir. Lempung pasir tersebut ada yang disisipi fragmen berupa kerikil seperti pada Gambar 3.2 (b). Lapisan tersebut merupakan bagian dari batuan yang tersingkap di permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 3.2, dimana singkapan tersebut sudah dilakukan deskripsi megaskopis dan disimpulkan bahwa batuan tersebut adalah lempung pasir. Lapisan lempung pasir yang tebal dapat menjadi bidang gelincir yang memicu longsor, karena resistivitasnya rendah serta materialnya memiliki permeabilitas yang tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian terkait bidang gelincir dengan metode geolistrik, dimana lapisan material

sedimen yang tebal yang berbatasan dengan material dengan resistivitas tinggi berpotensi menjadi bidang gelincir yang memicu kejadian longsor [13][14].

- 2) Lapisan kedua dengan resistivitas 305-1.000 Ωm pada kedalaman yang bervariasi antara 7.5-22 m. Lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai batuan konglomerat.
- 3) Lapisan ketiga dengan resistivitas tinggi antara 200-4.000 Ωm dengan kedalaman bervariasi antara 22-31.9 m. Lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai *bedrock*. Perbedaan nilai resistivitas antara lapisan lempung pasir dan batuan konglomerat serta *bedrock* menjadi zona bidang gelincir yang bisa memicu longsor saat intensitas hujan tinggi dan intensitas pelapukan massif.



Gambar 6. Penampang resistivitas 2D hasil inversi Payahe – Weda Sta 01+200

Tabel 2. Litologi batuan berdasarkan interpretasi geolistrik pada STA 01+200

No.	Litologi	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)
1	Lempung pasir	19.8 - 123	0 - 11
2	Konglomerat	305 - 1000	7.5 - 22
3	Bedrock	200 - 4.000	22 - 31.9

Interpretasi dari data geolistrik yang dapat dilihat pada penampang resistivitas 2D (gambar 3.3) mengindikasikan adanya anomali berupa zona rekahan. Anomali tersebut yang diinterpretasikan sebagai zona rekahan merupakan bagian dari perubahan kondisi lapisan batuan dampak dari terjadinya subsiden yang dijumpai di permukaan (gambar 3.2 (c)) yang menerus secara vertikal ke bawah permukaan. Hal tersebut diperkuat dengan posisi yang tepat berada pada titik ukur yaitu 75 m sesuai dengan posisi rekahan yang ada di permukaan, selain itu adanya perbedaan nilai resistivitas pada batuan di sekitarnya.

Hasil Analisis Lokasi STA-01+450

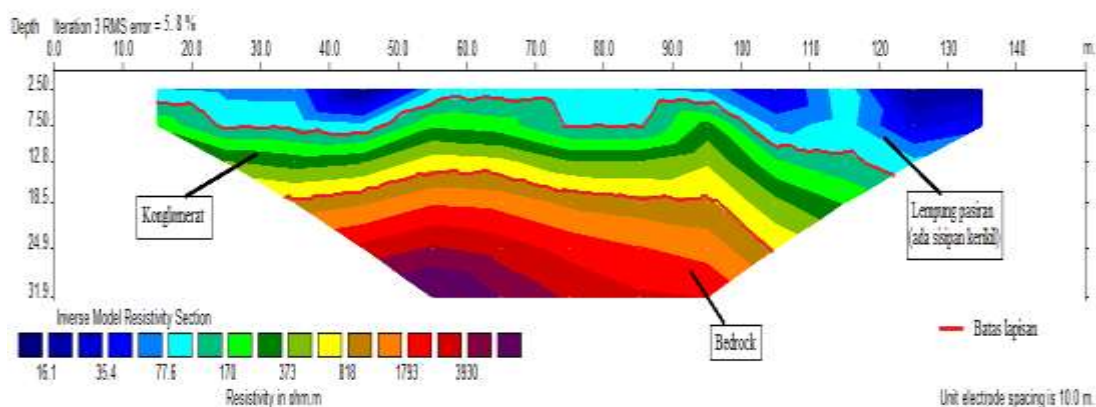
Lokasi pengukuran termasuk dalam peta geologi Lembar Ternate Maluku Utara. Berdasarkan overlay lokasi pengukuran dan peta geologi, lokasi tersebut berada pada Formasi Weda (TmPW). Menurut Apandi dan Sudana (1980), formasi Weda tersusun dari batupasir, napal, tufa, konglomerat dan batugamping. Batuan yang dijumpai tersingkap pada lokasi pengukuran yaitu lempung pasir berwarna coklat kekuningan. Lempung pasir tersebut menunjukkan tingkat pelapukan yang sangat tinggi (Gambar 3.4 (a,b)). Selain itu juga dijumpai singkapan batuan lempung pasir yang disisipi fragmen berupa kerikil (Gambar 3.4 (a)). Hasil survei lapangan dijumpai terjadinya longsor lereng bawah pada bahu jalan (Gambar 3.4 (c,d)). Longsor tersebut berada pada sisi kanan jalan arah Payahe-Weda. Lapisan atau singkapan baik itu dinding lereng bawah yang sudah mengalami longsor maupun dinding lereng atas menunjukkan material yang sangat lapuk. Ketinggian lereng bawah yang telah mengalami longsor sekitar 13 m.

(a) Lempung pasir (sisipan fragmen)	(b) Lempung pasir
 Material singkapan yang mengalami longsor	 Singkapan dinding lereng atas
(c) Longsor	(d) Arah dan material longsor
	

Gambar 7. Singkapan batuan dan kondisi lokasi pengukuran

Penentuan lintasan geolistrik dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi geologi lapangan dan titik longsor. Lokasi pengukuran terletak di ruas jalan Payahe-Weda Sta 01+450, lintasan berada di sisi kanan jalan. Koordinat lintasan geolistrik pada elektroda 1 yaitu 00°20'04.97"N dan 127°44'31.03"E sampai dengan elektroda 16 yaitu 00°20'04.17"N dan 127°44'34.65"E. Panjang lintasan yaitu 160 meter sesuai area longsor dengan spasi elektroda 10 m, menggunakan konfigurasi *Wenner- Schlumberger*. Arah lintasan yaitu barat-timur. Bentangan lintasan geolistrik tepat berada di dinding lereng bawah yang mengalami longsor. Area longsor berada di sebelah kanan jalan menuju Weda.

Hasil pengukuran dan pengolahan data geolistrik diperoleh penampang resistivitas 2D (Gambar 3.5) dengan nilai resistivitas terendah 16.1 Ωm dan nilai resistivitas tertinggi yaitu 3.930 Ωm . Penetrasi kedalaman yang dijangkau yaitu 31.9 m.



Gambar 8. Penampang resistivitas 2D hasil inversi Payahe-Weda Sta 01+450

Berdasarkan penampang resistivitas 2D pada Gambar 3.5, kondisi geologi bawah permukaan diinterpretasikan terdiri dari 3 litologi batuan penyusun, antara lain (tabel 3.3):

1. Lapisan pertama dengan resistivitas rendah 16.1-77.6 Ωm dengan kedalaman bervariasi mulai dari batuan yang tersingkap di permukaan sampai dengan kedalaman 14 meter, lapisan ini diinterpretasikan sebagai lempung pasir. Lempung pasir tersebut ada yang disisipi fragmen berupa kerikil seperti pada Gambar 4 (a). Lapisan tersebut merupakan bagian dari batuan yang tersingkap di permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 4, dimana singkapan tersebut sudah dilakukan deskripsi megaskopis dan disimpulkan bahwa batuan tersebut adalah lempung pasir. Lapisan lempung pasir dengan ketebalan 14 meter memiliki nilai resistivitas rendah dan berada di atas batuan dengan resistivitas besar sehingga berpotensi menjadi bidang gelincir yang memicu tanah longsor. Hal tersebut sejalan dengan penelitian terdahulu terkait bidang gelincir dengan metode geolistrik [15][16]. Selain itu, material lempung pasir memiliki nilai permeabilitas yang tinggi seiring dengan meningkatnya persentase pasir dalam material.
2. Lapisan kedua dengan resistivitas 120-818 Ωm pada kedalaman yang bervariasi antara 6-25 m. Lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai batuan konglomerat.
3. Lapisan ketiga dengan resistivitas tinggi antara 820-3.930 Ωm dengan kedalaman bervariasi antara 18.5-31.9 m. Lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai *bedrock*.

Tabel 3. Litologi batuan berdasarkan interpretasi geolistrik pada STA 01+450

No.	Litologi	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)
1	Lempung pasir	16.1 – 77.6	0 – 14
2	Konglomerat	120 – 818	6 – 25
3	<i>Bedrock</i>	820 – 3.930	18.5 – 31.9

Interpretasi dari data geolistrik yang dapat dilihat pada penampang resistivitas 2D (Gambar 3.5) mengindikasikan jenis batuan yang sama dengan lintasan pengukuran Payahe-Weda Sta 01+200, hal tersebut dikarenakan jarak yang tidak begitu jauh hanya 250 m dan berada pada formasi batuan yang sama serta singkapan batuan yang dijumpai hampir sama. Ketebalan lapisan lempung pasir mencapai 14, hal tersebut sejalan dengan hasil pengukuran singkapan batuan pada dinding lereng bawah dengan ketebalan 13 m.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian analisis litologi bawah permukaan menggunakan metode geolistrik pada longsor jalan Payahe-Weda Provinsi Maluku Utara adalah Litologi bawah permukaan lokasi Payahe-Weda STA-01+200 yaitu lapisan atas adalah lempung pasir (resistivitas 19,8-123 Ωm) kedalaman 0-11 m, konglomerat (resistivitas 305-1000 Ωm) kedalaman 7,5-22 m, dan litologi paling bawah adalah *bedrock* (resistivitas 200-4000 Ωm) dengan kedalaman 22-31,9 m. Litologi bawah permukaan lokasi Payahe-Weda STA-01+450, yaitu lapisan atas adalah lempung pasir resistivitas 16,1-77,6 Ωm kedalaman 0-14 m, litologi dibawahnya adalah konglomerat dengan resistivitas 120-818 Ωm yang kedalamannya 6-25 m, serta litologi paling bawah yang mampu dideteksi pada penelitian ini adalah *bedrock* dikedalaman 18,5-31,9 m yang resistivitasnya 820-3.930 Ωm . Lapisan lempung pasir yang tebal (11 dan 14 meter) dapat menjadi zona gelincir karena resistivitas rendah serta permeabilitasnya tinggi.

5. REKOMENDASI

Rekomendasi dari penelitian ini yaitu perlu dilakukan integrasi dengan metode geoteknik seperti uji SPT dan seismik refraksi. Perlu dilakukan monitoring resistivitas jangka panjang dengan menggunakan konfigurasi yang berbeda, seperti dipole-dipole dan menambah panjang lintasan untuk mendapatkan profil litologi yang lebih dalam (diatas 30 meter).

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Khairun yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Penelitian Kompetitif Unggulan Perguruan Tinggi (PKUPT) Fakultas Teknik Tahun 2025 dengan Nomor Kontrak 774/PEN-PKUPT/PG.12/2025.

REFERENCES

- [1] Ilyas, P., Haya, A., Madi, A., & Sahetapy, G. B. 2022. Analisis Daya Dukung Material Menggunakan Metode Hoek and Bray Pada Areal Penambangan Blok Lily Di PT. Tekindo Energi Site Lelilef Kecamatan Weda Tengah Kabupaten Halmahera Tengah. *Jurnal Geomining*. 3(2): 76-83.
- [2] Paimin, S., & Pramono, I. B. 2009. Teknik Mitigasi Banjir dan Tanah Longsor. Tropenbos International Indonesia Programme. Balikpapan.
- [3] Goma, E. I., Sunimbar, S., & Angin, I. S. 2022. Analisis Geologi Kejadian Longsor Di Desa Wolotolo Kecamatan Detusoku Kabupaten Ende. *JPG (Jurnal Pendidikan Geografi)*. 9(2): 10-24.
- [4] Souisa, M., Hendrajaya, L., & Handayani, G. 2018. Analisis bidang longsor menggunakan pendekatan terpadu geolistrik, geoteknik dan geokomputer di Negeri Lima Ambon. *Indonesian Journal of Applied Physics*. 8(1): 13-25.
- [5] Usman, H., Haya, A., Firman, F., & Marsaoly, N. (2021). Identifikasi Litologi Daerah Rawan Longsor Dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Pada Desa Sopi dan Wayabula, Morotai. *Jurnal Teknologi Sumberdaya Mineral*, 2(2), 41-47.
- [6] Lahia, A. H., La Ada, F., & Ahmad, B. (2023). Studi Perlapisan Batuan dengan Metode Geolistrik di Jalan Lintas Halmahera Selatan Desa Matuting Kecamatan Gane Timur Tengah. *JURNAL SIPIL SAINS*, 13(1), 84-91.
- [7] Halil, A., Tjina, A., Firman, F., Sumantri, A. D. I., & Alkatiri, H. (2023). Studi Interpretasi Lapisan Bawah Permukaan Tanah dengan Metode Geolistrik di Jalan Lintas Subaim-Buli Kecamatan Wasile Timur Kabupaten Halmahera Timur. *Journal Of Science and Engineering*, 6(1), 22-28.
- [8] Pambudi, R. R., Nurul, M., Prihadita, W. P., & Mulyasari, R. (2022). Analisis Kelongsoran Dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger dan Wenner-Alpha di Jalan Raya Suban Bandar Lampung. *Jurnal Geoelebes Vol*, 6(2), 108-116.
- [9] Telford, W.M., Geldart, L.P., & Sheriff, R.E. (1990). *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press, USA.
- [10] Hendrajaya, L., & Arif, I. (1990). *Geolistrik Tahanan, Monografi: Metoda Eksplorasi*. Laboratorium Fisika Bumi. ITB. Bandung.
- [11] Susilo, A., Juwono, A. M., Fitriah, F., Puspita, M. B., Hasan, M. F. R., Hisyam, F., & Suryo, E. A. 2022. *Teori dan Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas*. Universitas Brawijaya Press.
- [12] Taib, M.I.T. (2004). *Eksplorasi Geolistrik Diktat Kuliah Metoda Geolistrik*. Bandung: Departemen Teknik Geofisika, ITB.

- [13] Mulyasari, R., Darmawan, I. B., Effendi, D. S., Saputro, S. P., Hesti, H., Hidayatika, A., & Haerudin, N. 2020. Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Untuk Analisis Bidang Gelincir Dan Studi Karakteristik Longsoran Di Jalan Raya Suban Bandar Lampung. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*. 6(1): 66-76.
- [14] Sugito, S., Irayani, Z., & Permana Jati, I. 2010. Investigasi bidang gelincir tanah longsor menggunakan metode geolistrik tahanan jenis di Desa Kebarongan Kec. Kemranjen Kab. Banyumas. *Berkala Fisika*. 13(2): 49-54.
- [15] Sugito, S., Irayani, Z., & Permana Jati, I. 2010. Investigasi bidang gelincir tanah longsor menggunakan metode geolistrik tahanan jenis di Desa Kebarongan Kec. Kemranjen Kab. Banyumas. *Berkala Fisika*. 13(2): 49-54.
- [16] Mulyasari, R., Darmawan, I. G. B., & Haerudin, N. 2021. Perbandingan konfigurasi elektroda metode geolistrik resistivitas untuk identifikasi litologi dan bidang gelincir di Kelurahan Pidada Bandar Lampung. *Journal Online of Physics*. 6(2): 16-23.