

Analisis Potensi Tanah Longsor Menggunakan Metode Geolistrik di Dusun Plalar Desa Kemambang Kecamatan Banyubiru Kabupaten Semarang

Hilma Lutfiana^{1*)}, Wahyudi²⁾, Eddy Hartantyo²⁾

¹⁾ Geophysics Engineering, Faculty of Mineral Technology and Energy, UPN Veteran Yogyakarta

²⁾ Physics, Faculty of Mathematics and Science, Universitas Gadjah Mada

*E-mail: hilmalutfiana@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan wilayah yang rawan terhadap bencana tanah longsor, khususnya di Kecamatan Banyubiru, Kabupaten Semarang, yang sepanjang tahun 2019 terjadi 11 kali peristiwa longsor. Salah satu longsor terparah terjadi di Dusun Plalar, Desa Kemambang, yang belum banyak diteliti. Penelitian ini bertujuan memodelkan litologi bawah permukaan daerah rawan longsor menggunakan metode geolistrik resistivitas 2D dengan konfigurasi dipole-dipole pada enam lintasan sepanjang 160 meter. Selain itu, dilakukan pengukuran *Vertical Electrical Sounding* (VES) dengan konfigurasi Schlumberger di dua titik pada lokasi longsor. Data diolah dengan perangkat lunak Res2DinV dan Progress untuk menganalisis potensi longsor meliputi kedalaman bidang gelincir, ketebalan lapisan lapuk, tipe longsor, serta panjang, kecepatan larian, dan volume tanah terlongsor. Hasil menunjukkan bidang gelincir berada pada kedalaman rata-rata 15 meter dengan kemiringan lereng 31° , dan ketebalan lapisan lapuk antara 2–15 meter berupa lempung pasir. Tipe longsor yang teridentifikasi adalah translasi. Data curah hujan menunjukkan longsor dipicu oleh hujan intensitas tinggi dari Desember hingga Februari. Perkiraan panjang larian longsor mencapai 320 meter dengan kecepatan 1,5–2,0 m/s dan volume tanah terlongsor maksimum sekitar 200.000 m³. Penelitian ini memberikan dasar ilmiah untuk mitigasi bencana longsor di Dusun Plalar dan rekomendasi pengurangan risiko bencana.

Kata Kunci: geolistrik; litologi; tanah longsor

ABSTRACT

Indonesia is highly prone to landslides, especially in Banyubiru District, Semarang Regency, which recorded 11 incidents in 2019. One of the most severe occurred in Plalar Hamlet, Kemambang Village—an area that has not been previously studied. This research aims to model the subsurface lithology of this landslide-prone area using the 2D electrical resistivity method with a dipole-dipole configuration across six 160-meter survey lines. Additional Vertical Electrical Sounding (VES) was conducted using the Schlumberger configuration at two points. Data were processed using Res2DinV and Progress software to assess landslide potential based on slip surface depth, weathered layer thickness, landslide type, runout length and speed, and soil volume displaced. Results show a slip surface at an average depth of 15 meters, a slope angle of 31° , and weathered layers 2–15 meters thick, composed of sandy clay. The identified landslide type is translational. High rainfall between December and February is the main trigger. Estimated runout length is 320 meters, with a speed of 1.5–2.0 m/s and a maximum displaced soil volume of approximately 200,000 m³. This study provides a scientific foundation for disaster mitigation and risk reduction strategies in Plalar Hamlet.

Keywords: geoelectrical; landslide; lithology

I. PENDAHULUAN

Kabupaten Semarang merupakan salah satu daerah di Jawa Tengah yang memiliki tingkat kerawanan bencana alam yang cukup tinggi, khususnya tanah longsor. Berdasarkan data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (Subroto, 2021), tanah longsor menjadi jenis bencana alam yang paling dominan, dengan intensitas lebih dari 70 kejadian setiap tahunnya. Tahun 2020 mencatat rekor tertinggi dalam sembilan tahun terakhir dengan 124 kejadian tanah longsor, dan sebagian besar di antaranya terjadi di Kecamatan Banyubiru (Subroto, 2021). Wilayah ini memiliki morfologi berbukit yang menyebabkan sebagian besar daerahnya, terutama yang berada di kawasan Pegunungan Telomoyo, tergolong rawan terhadap longsor. Kecamatan Banyubiru sendiri terletak di antara Pegunungan Telomoyo dan pesisir Danau Rawa Pening,

di mana wilayah pesisir danau umumnya memiliki tingkat kerawanan longsor yang sangat rendah, sementara kawasan pegunungan dikategorikan sebagai wilayah dengan kerawanan sedang hingga tinggi (Wiyadi, 2017).

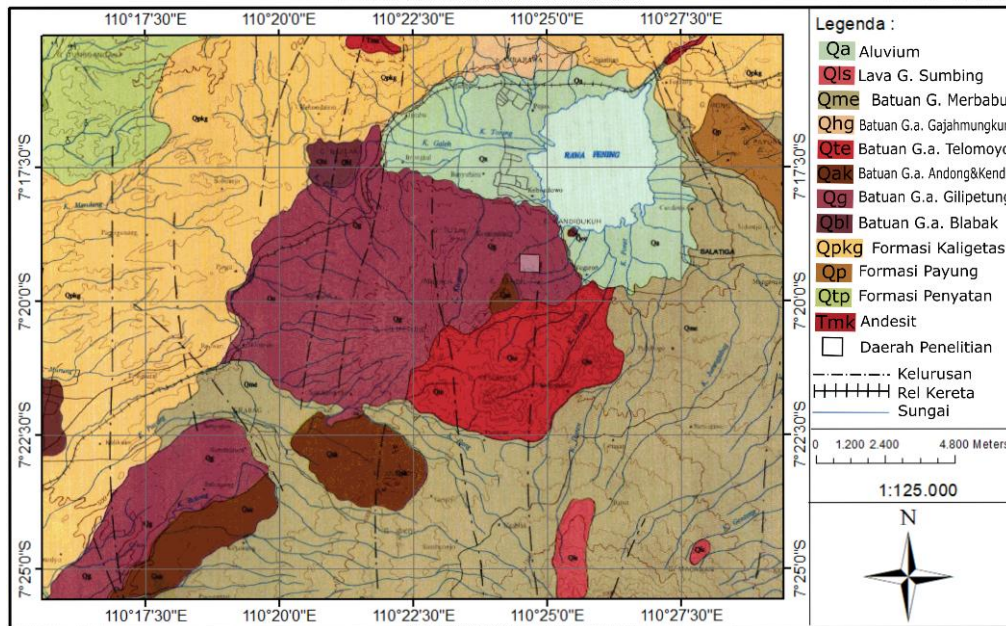
Sepanjang tahun 2019, terjadi 11 kejadian longsor di Kecamatan Banyubiru. Kejadian terparah tercatat pada tanggal 13 Januari 2019 yang melanda tiga lokasi sekaligus, yaitu Dusun Sondong, Dusun Plalar, dan Dusun Kediran (Rahmad Rizkiarto, 2019). Dusun Plalar yang terletak di Desa Kemambang mengalami longsor pada lereng bukit yang lokasinya sangat dekat dengan pemukiman warga, jalan utama antar dusun, serta lahan pertanian dan sungai yang menjadi sumber air masyarakat. Kondisi ini menunjukkan bahwa longsor di wilayah tersebut tidak hanya berisiko terhadap keselamatan jiwa, tetapi juga mengancam infrastruktur dan aktivitas ekonomi warga setempat. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kondisi bawah permukaan di wilayah rawan longsor, khususnya di lereng bukit Dusun Plalar, untuk mendukung upaya mitigasi dan pengurangan risiko bencana (Rosa, 2019).

Metode geofisika, khususnya metode geolistrik resistivitas 2D dengan konfigurasi dipole-dipole, telah terbukti efektif dalam mengidentifikasi bidang gelincir dan struktur bawah permukaan pada daerah rawan longsor. Penelitian oleh Tohari dkk., (2024) di Cibitung menunjukkan bahwa metode geolistrik resistivitas 2D dapat mengidentifikasi bidang gelincir pada kedalaman hingga 9 meter, yang ditandai oleh lapisan batuan dasar dengan resistivitas sangat rendah. Penelitian lain oleh Yatini & Suyanto (2018) di Gedangsari juga berhasil mengidentifikasi bidang gelincir menggunakan konfigurasi dipole-dipole, dengan resistivitas sangat rendah ($2-8 \Omega m$) yang menunjukkan keberadaan lempung atau batulempung sebagai zona lemah. Menurut Loke (1996) konfigurasi ini memiliki resolusi lateral yang tinggi, sehingga memungkinkan pemetaan detail struktur bawah permukaan secara horizontal, yang penting dalam mengidentifikasi bidang gelincir dan sebaran material lapuk. Selain itu, konfigurasi dipole-dipole menunjukkan sensitivitas yang tinggi terhadap variasi resistivitas baik secara lateral maupun vertikal, yang berguna untuk mendeteksi keberadaan zona lemah dalam tubuh longsor. Meskipun sensitivitas menurun seiring bertambahnya kedalaman, array ini tetap mampu mendeteksi struktur pada kedalaman menengah hingga dalam, tergantung pada parameter jarak antar elektroda. Konfigurasi Schlumberger yang digunakan pada dua titik pengukuran memungkinkan identifikasi struktur lapisan batuan secara lebih mendalam, termasuk kedalaman bidang gelincir dan sebaran material lapuk yang menjadi indikator utama kerentanan longsor. Integrasi data VES dengan hasil pemodelan 2D dari metode geolistrik resistivitas membantu memvalidasi ketebalan dan karakteristik litologi, sehingga meningkatkan akurasi interpretasi zona rawan longsor. Dengan demikian, metode VES menjadi instrumen pendukung yang efektif dalam kajian mitigasi bencana longsor, terutama untuk memperkirakan potensi pergerakan massa tanah secara vertikal di area penelitian.

Meskipun metode geolistrik telah banyak digunakan, aplikasi spesifiknya di wilayah Dusun Plalar, Desa Kemambang, Kecamatan Banyubiru, belum banyak diteliti. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan litologi bawah permukaan daerah rawan longsor di Dusun Plalar menggunakan metode geolistrik resistivitas 2D dengan konfigurasi dipole-dipole. Penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi kedalaman bidang gelincir, ketebalan lapisan lapuk, dan struktur bawah permukaan lainnya yang berkontribusi terhadap potensi longsor, serta memberikan dasar ilmiah untuk strategi mitigasi bencana yang lebih efektif di wilayah tersebut.

Tinjauan Geologi

Berdasarkan peta geologi pada **Gambar 1**, daerah penelitian memiliki Formasi Gunung Api Gilipetung berupa kandungan aliran lava berongga, kelabu, padat, sampai berbutir halus dengan fenokris mafik kecil. Sedangkan kondisi tanah daerah penelitian memiliki jenis tanah berliat. Adanya kandungan mineral lempung pada bidang gelincir diduga disebabkan karena adanya kondisi geologi pada daerah penelitian dan sekitarnya telah mengalami ubahan akibat aktivitas cairan hidrotermal (*hydrothermal fluid*) yang cukup kuat seperti alterasi argilik maupun alterasi propilitik, yang menghasilkan mineral lempung yang memiliki tingkat elastisitas tinggi (*sweeling*) terutama mineral smektit yang dapat berfungsi sebagai bidang gelincir (Fadlin, 2016).



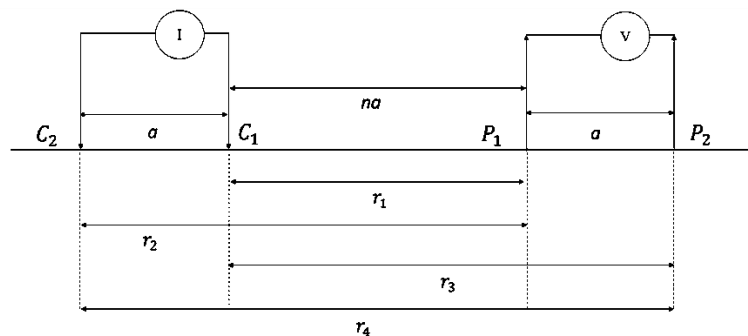
Gambar 1. Peta Geologi Kecamatan Banyubiru (Dimodifikasi Dari (Thanden, dkk., 1996))

II. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di lereng bukit Dusun Plalar, Desa Kemambang, Kecamatan Banyubiru, Kabupaten Semarang. Lokasi penelitian terletak pada koordinat geografis $7^{\circ} 19' 43,99'' - 7^{\circ} 19' 47,68''$ Lintang Selatan dan $110^{\circ} 23' 42,26'' - 110^{\circ} 23' 46,13''$ Bujur Timur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggambarkan kondisi litologi bawah permukaan sebagai dasar analisis potensi bencana tanah longsor di area tersebut. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode geofisika, khususnya metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas).

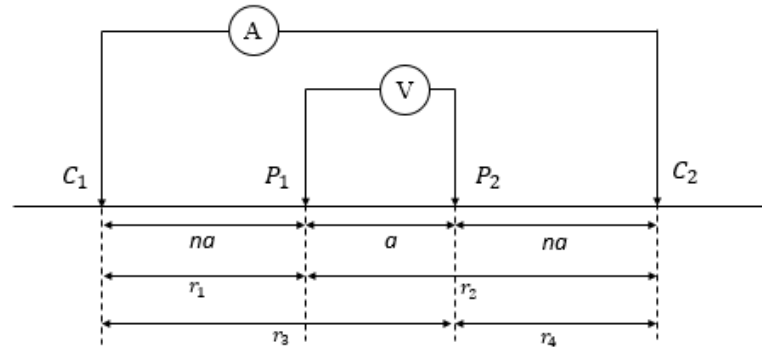
Metode geolistrik digunakan karena kemampuannya dalam memetakan struktur bawah permukaan melalui pengukuran respon kelistrikan batuan. Teknik ini mengukur beda potensial (ΔV), arus listrik (I), dan spasi antar elektroda (a), yang terjadi secara alami maupun sebagai akibat dari injeksi arus ke dalam tanah (Septyanto, dkk., 2018). Dalam studi ini diterapkan dua pendekatan utama, yaitu metode geolistrik resistivitas 2D atau *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) dengan konfigurasi dipole-dipole untuk mendapatkan gambaran horizontal (Gijoha & Pasau, 2017), dan metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) dengan konfigurasi schlumberger untuk informasi kedalaman vertikal (Usman, dkk., 2017).

Susunan elektroda konfigurasi dipole-dipole ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Rangkaian elektroda konfigurasi dipole-dipole (Lowrie & Fichtner, 2020)

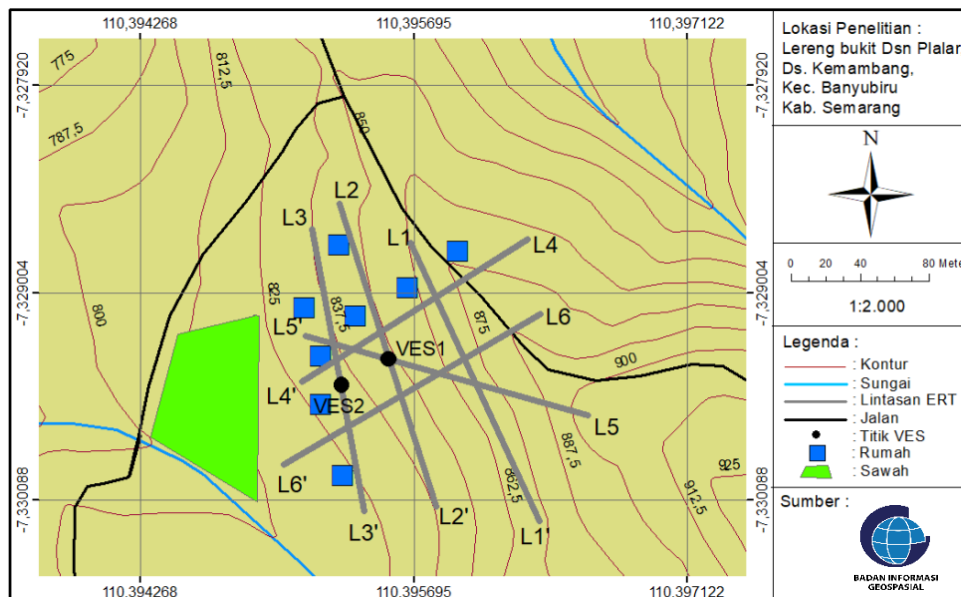
Pada **Gambar 2**, r_1 adalah lebar C1P1 atau sebesar na , r_2 adalah lebar C2P1 atau sebesar $na+a$, r_3 adalah lebar C1P2 atau sebesar $na+a$, dan r_4 adalah lebar C2P2 atau sebesar $na+2a$. Sedangkan susunan elektroda konfigurasi Schlumberger ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian elektroda konfigurasi Schlumberger (Lowrie & Fichtner, 2020)

2.1 Desain Penelitian dan Akuisisi Data

Pengukuran geolistrik resistivitas 2D dilakukan pada enam lintasan dengan panjang masing-masing 160 meter. Data diperoleh menggunakan alat *resistivitymeter* merek Syscal yang dilengkapi dengan kabel *multichannel*, yang mempercepat proses akuisisi. Spasi antar elektroda ditetapkan sebesar 10 meter. Prosedur akuisisi meliputi penentuan posisi elektroda, pemasangan dua elektroda arus dan dua elektroda potensial, penyambungan ke alat, injeksi arus listrik, dan pencatatan nilai resistivitas. Elektroda kemudian dipindahkan mengikuti konfigurasi dipole-dipole hingga seluruh lintasan tercakup. Pengukuran VES dilakukan di dua titik menggunakan konfigurasi Schlumberger dengan teknik dan alat yang sama. **Gambar 4** di bawah ini menunjukkan desain survei penelitian dengan lokasi lintasan ERT dan titik sounding VES yang tersebar di wilayah rawan longsor.



Nilai k untuk konfigurasi dipole-dipole adalah

$$k = n\pi a(n+2)(n+1) \quad (2)$$

sedangkan nilai k untuk konfigurasi schlumberger adalah

$$k = n\pi a(n+1) \quad (3)$$

Setelah melakukan pengolahan data dengan *software* Microsoft Excel, data resistivitas semu (ρ_a) hasil perhitungan, datum point (dp), spasi antar elektroda (a) dan faktor pemisah elektroda (n) diinput ke program Notepad dalam bentuk *file text* atau dengan format .dat. Setelah data lapangan sudah berada dalam bentuk *file text* dan mengikuti format data Res2DinV, selanjutnya dilakukan inversi untuk menampilkan gambar penampang bawah permukaan daerah survei. Nilai iterasi dapat diubah sesuai keinginan. Iterasi berfungsi untuk mengurangi *error* yang terjadi.

Setelah melakukan pengolahan data geolistrik resistivitas 2D, selanjutnya adalah pengolahan data VES. Data yang diperoleh sama dengan data geolistrik resistivitas 2D, yaitu nilai beda potensial (ΔV), kemudian dilakukan pencarian nilai ρ_a dengan *software* Microsoft Excel lalu disimpan dalam format .dat. setelah itu dilakukan pengolahan menggunakan *software* Progress untuk memperoleh informasi litologi bawah permukaan titik penelitian.

Adanya geometri longsoran yang diperoleh pada penelitian dapat digunakan untuk memprediksi panjang larian longsoran, kecepatan longsoran, serta volume longsoran apabila terjadi bencana tanah longsor. Perhitungan panjang larian longsoran dapat dihitung menggunakan **persamaan 4**.

$$L = \frac{H}{\mu} \quad (4)$$

dengan L = panjang larian longsoran, H = ketinggian maksimum material longsoran, μ = koefisien gesek (0,6),

Setelah mendapatkan panjang larian longsoran maksimal, kemudian dapat menghitung prediksi kecepatan tanah lapuk terlongsorkan dengan **persamaan 5**.

$$v(x) = \chi \sqrt{2g\Delta h} \quad (5)$$

dengan $\chi = \sqrt{1 - \frac{\mu}{\tan \alpha}}$

$v(x)$ = kecepatan maksimum, χ = koefisien garis lurus, g = percepatan gravitasi, Δh = beda tinggi pada $v(x)$ maks, α = sudut kemiringan lereng

Setelah mendapatkan panjang larian longsoran maksimal dan kecepatan larian longsoran maksimal, kemudian dapat menghitung prediksi volume tanah lapuk yang terlongsorkan dengan **persamaan 6**.

$$V = \frac{1}{6} \pi (\ell \times d \times w) \quad (6)$$

dengan V = volume longsor (m^3), ℓ = panjang bidang gelincir (m), d = kedalaman bidang gelincir maksimum (m), dan w = lebar bidang gelincir (m)

2.3 Interpretasi Data

Hasil pengolahan data disajikan dalam bentuk penampang dua dimensi yang menunjukkan distribusi resistivitas bawah permukaan. Nilai resistivitas tersebut kemudian diinterpretasikan untuk mengidentifikasi jenis litologi, kedalaman bidang gelincir, ketebalan lapisan lapuk, dan zona lemah yang berpotensi menjadi area longsor. Pemodelan ini juga digunakan untuk memperkirakan panjang dan kecepatan larian longsoran serta volume massa tanah yang berpotensi terlongsorkan.

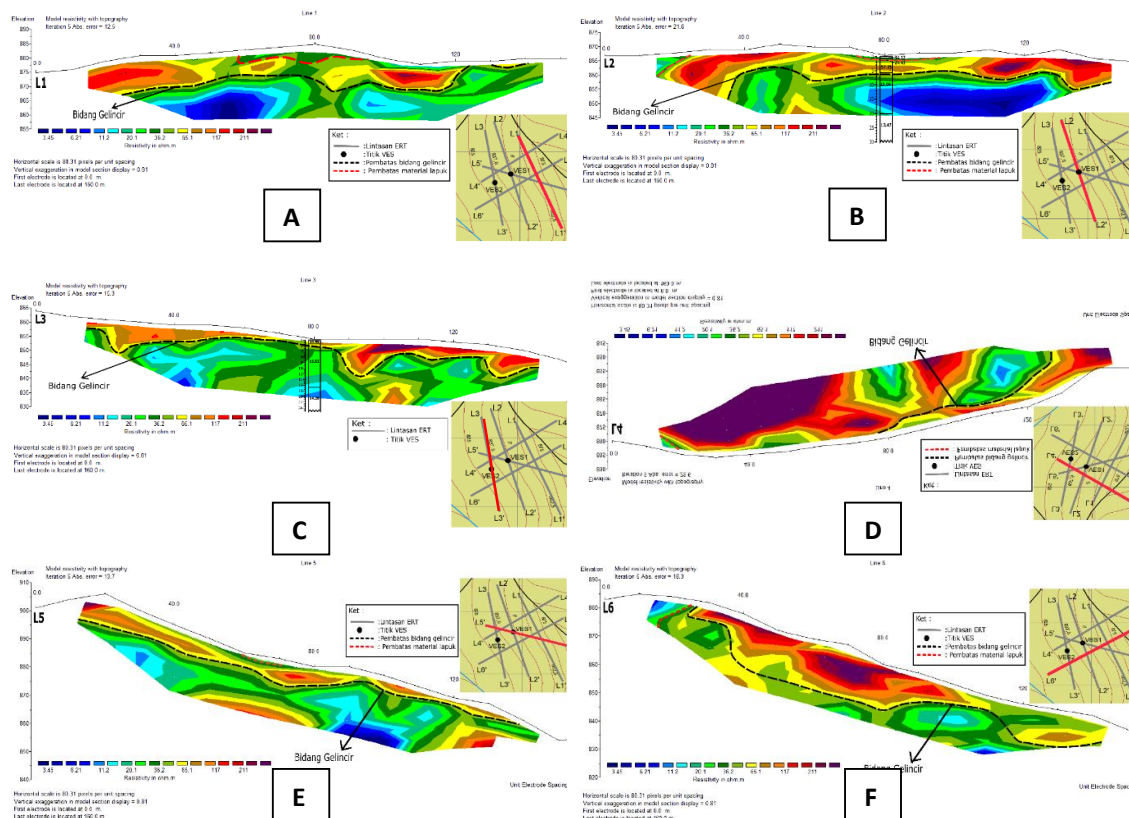
Tabel 1. Nilai Resistivitas Batuan Berdasarkan Jenis Material (Telford, dkk., 1990)

| Material | Resistivitas (Ωm) |
|-------------------|-----------------------------|
| Clays | 1 – 100 |
| Alluvium and sand | 10 – 8 x 10 ² |

| | |
|------------------------------|------------|
| <i>Sherwood sandstones</i> | 100 – 400 |
| <i>Soil (40% clay)</i> | 8 |
| <i>Soil (20% clay)</i> | 33 |
| <i>Top soil</i> | 250 – 1700 |
| <i>Clay (very dry)</i> | 50 – 150 |
| <i>Gravel (dry)</i> | 1400 |
| <i>Gravel (saturated)</i> | 100 |
| <i>Dry sandy soil</i> | 120 – 750 |
| <i>Sand clay/clayey sand</i> | 80 – 1050 |

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

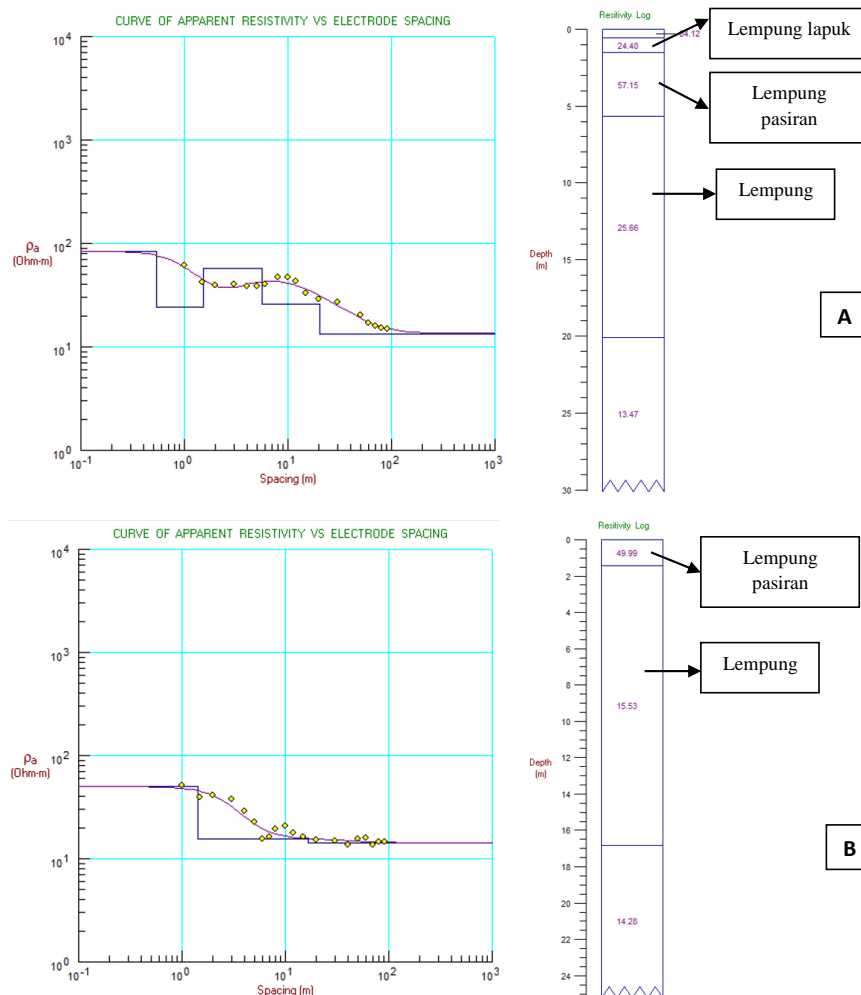
Setelah melakukan pengukuran lapangan, data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *software* Res2DinV. Hasil yang diperoleh adalah penampang resistivitas bawah permukaan dua dimensi dengan kedalaman mencapai 20 meter di bawah permukaan tanah. Hasil pengolahan data tiap lintasan ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. (A) Penampang 2D Lintasan 1 (B) Penampang 2D Lintasan 2 yang dikonfirmasi dengan VES 1 (C) Penampang Lintasan 3 yang dikonfirmasi dengan VES 2 (D) Penampang Lintasan 4 (E) Penampang Lintasan 5 (F) Penampang Lintasan 6.

Pada **Gambar 5A** dapat dilihat bahwa lintasan 1 memiliki nilai resistivitas yang variatif dari 2,98 Ωm sampai 439,76 Ωm . Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa lapisan pertama (atas) lebih tinggi daripada lapisan kedua (bawah). Berdasarkan Tabel 1 tentang nilai resistivitas pada batuan, lapisan pertama dengan resistivitas 50,66 Ωm hingga 439,76 Ωm diidentifikasi sebagai lapisan lapuk berupa lempung pasir (*sandy clay*). Lapisan ini terbentuk hingga kedalaman 10 meter dari atas permukaan tanah. Sedangkan pada lapisan kedua memiliki resistivitas 2,98 Ωm hingga 50,65 Ωm diinterpretasikan sebagai bidang gelincir berupa lempung (*clay*) dengan ketebalan 10 meter.

Lintasan 2 (**Gambar 5B**) memiliki arah lintasan yang tegak lurus arah longsoran dan sejajar dengan lintasan 1 serta lintasan 3. Lintasan ini membentang dari utara (U) – selatan (S) dengan panjang lintasan 160 meter dan spasi antar elektrodanya 10 meter. Lintasan ini tepat memotong badan longsor yang pernah terjadi di tahun 2019. Topografi pada lintasan 1 relatif datar dengan elevasi 866-872 mdpl. Pada Gambar 6A titik VES1 menunjukkan bahwa ada kontras resistivitas pada kedalaman 1,53 meter yang diinterpretasikan sebagai lapisan *top soil*. Pada kedalaman 5,65 meter di bawah permukaan terdapat kontras nilai resistivitas antara lapisan lapuk dan lapisan bidang gelincir. Lapisan lapuk dengan ketebalan 5,65 meter tersebut memiliki nilai resistivitas 57,15 Ωm diinterpretasikan sebagai lempung pasir, sedangkan lapisan bidang gelincir dengan kedalaman 5,66 meter – 20,08 meter berupa lempung memiliki nilai resistivitas 25,66 Ωm . Berdasarkan **Tabel 1**, lapisan pertama dengan resistivitas 50,66 Ωm hingga 439,76 Ωm diidentifikasi sebagai lapisan lapuk berupa lempung pasir (*sandy clay*). Lapisan ini terbentuk hingga kedalaman 10 meter dari atas permukaan tanah. Sedangkan pada lapisan kedua memiliki resistivitas 2,98 Ωm hingga 50,65 Ωm diinterpretasikan sebagai bidang gelincir berupa lempung (*clay*) dengan ketebalan ± 10 meter.



Gambar 6. (A) Hasil Pengolahan Data Ves1 (B) Hasil Pengolahan Data VES2

Hasil pengolahan *sounding* (**Gambar 6B**) diperoleh nilai resistivitas hingga kedalaman 25 meter dari permukaan tanah. Pada kedalaman 1,42 meter diinterpretasikan sebagai lapisan lapuk berupa lempung pasir dengan nilai resistivitas 49,99 Ω m. Kedalaman 1,43 meter hingga 16,82 meter diduga merupakan bidang gelincir dengan nilai resistivitas 15,53 Ω m dengan material berupa lempung. Pada kedalaman 16,89 hingga 25 meter diduga masih dengan material lempung dengan nilai resistivitas lebih rendah yaitu 14,28 Ω m. Hasil pengolahan lintasan 3 dapat dilihat bahwa lintasan 3 (**Gambar 5C**) memiliki nilai resistivitas yang variatif dari 2,98 Ω m sampai 439,76 Ω m. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa lapisan pertama (atas) lebih tinggi daripada lapisan kedua (bawah). Berdasarkan **Tabel 1** lapisan pertama dengan resistivitas 50,66 Ω m hingga 439,76 Ω m diidentifikasi sebagai lapisan lapuk berupa lempung pasir (*sandy clay*). Lapisan ini terbentuk hingga kedalaman 2 meter - 10 meter dari atas permukaan tanah. Sedangkan pada lapisan kedua memiliki resistivitas 2,98 Ω m hingga 50,65 Ω m diinterpretasikan sebagai bidang gelincir berupa lempung (*clay*) dengan ketebalan 5-15 meter.

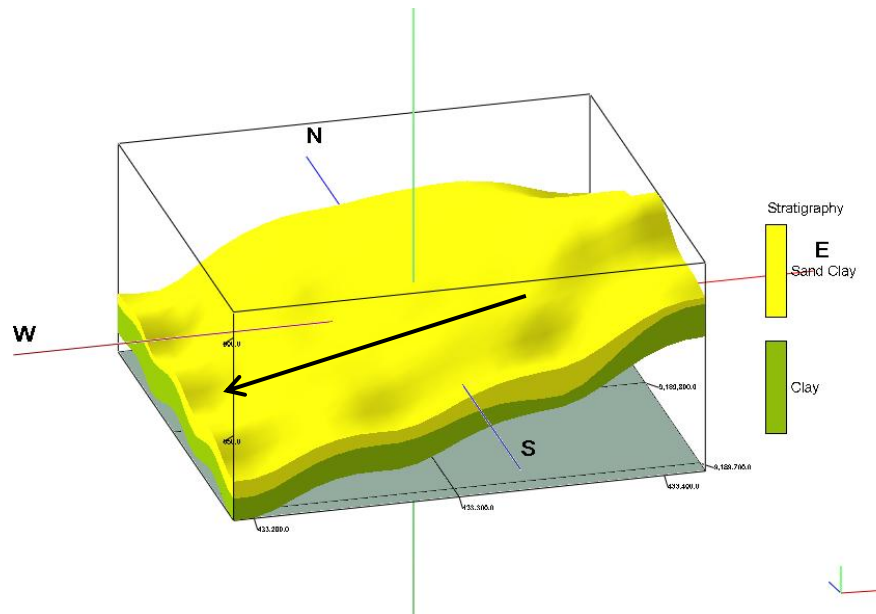
Pada **Gambar 5D** dapat dilihat bahwa lintasan 4 memiliki nilai resistivitas yang variatif dari 2,98 Ω m sampai 439,76 Ω m. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa lapisan pertama (atas) lebih tinggi daripada lapisan kedua (bawah). Berdasarkan **Tabel 1** lapisan pertama dengan resistivitas 50,66 Ω m hingga 439,76 Ω m diidentifikasi sebagai lapisan lapuk berupa lempung pasir (*sandy clay*). Pada ujung awal lintasan terdapat material lempung yang memiliki banyak *crack* akibat pelapukan. Lapisan ini terbentuk hingga kedalaman 10 meter dari atas permukaan tanah. Sedangkan pada lapisan kedua memiliki resistivitas 2,98 Ω m hingga 50,65 Ω m diinterpretasikan sebagai bidang gelincir berupa lempung (*clay*) dengan ketebalan 5-10 meter. Bidang gelincir diduga mulai ada pada meter ke 80. Hal ini disebabkan besarnya *noise* pada awal lintasan hingga pertengahan lintasan.

Pengukuran geolistrik pada lintasan 5 sama dengan lintasan 1 dan 4, yaitu hanya dilakukan secara *mapping*. Panjang lintasan yang digunakan adalah 160 meter dengan spasi antar elektrodanya 10 meter dan mendapatkan kedalaman pengukuran sedalam 20 meter di bawah permukaan tanah. Topografi pada lintasan ini memiliki kemiringan curam, yaitu 23° dengan elevasi 853-905 mdpl. Pada **Gambar 5E** dapat dilihat bahwa lintasan 5 memiliki nilai resistivitas yang variatif dari 2,98 Ω m sampai 439,76 Ω m. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa lapisan pertama (atas) lebih tinggi daripada lapisan kedua (bawah). Berdasarkan Error! Reference source not found. tentang nilai resistivitas pada batuan, lapisan pertama dengan resistivitas 50,66 Ω m hingga 439,76 Ω m diidentifikasi sebagai lapisan lapuk berupa lempung pasir (*sand clay*). Lapisan ini terbentuk hingga kedalaman 10 meter dari atas permukaan tanah. Sedangkan pada lapisan kedua memiliki resistivitas 2,98 Ω m hingga 50,65 Ω m diinterpretasikan sebagai bidang gelincir berupa lempung (*clay*) dengan ketebalan lebih dari 10 meter. Bidang gelincir ditemukan hingga meter ke 140. Hal ini memberikan asumsi bahwa sudah tidak ada lapisan lapuk dibagian bawah lintasan.

Pengukuran geolistrik pada lintasan 6 (**Gambar 5F**) sama dengan lintasan 1, 4, dan 5 yaitu hanya dilakukan secara *mapping*. Lintasan ini membentang dari timur laut (TL) ke barat daya (BD) tegak lurus dengan arah *strike* atau searah dengan longsoran yang pernah terjadi tahun 2019. Topografi pada lintasan ini memiliki kemiringan sangat curam, yaitu 25° dengan elevasi lebih rendah dari lintasan sebelumnya 835-985 mdpl. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa lapisan pertama (atas) lebih tinggi daripada lapisan kedua (bawah). Berdasarkan Error! Reference source not found., tentang nilai resistivitas pada batuan, lapisan pertama dengan resistivitas 50,66 Ω m hingga 439,76 Ω m diidentifikasi sebagai lapisan lapuk berupa lempung pasir (*sand clay*). Lapisan ini terbentuk hingga kedalaman 10 meter dari atas permukaan tanah. Sedangkan pada lapisan kedua memiliki resistivitas 2,98 Ω m hingga 50,65 Ω m diinterpretasikan sebagai bidang gelincir berupa lempung (*clay*) dengan ketebalan 10 – 15 meter. Bidang gelincir ditemukan mulai meter ke 20. Hal ini memberikan asumsi bahwa bagian atas lintasan dikategorikan daerah aman karena tidak memiliki lapisan lapuk.

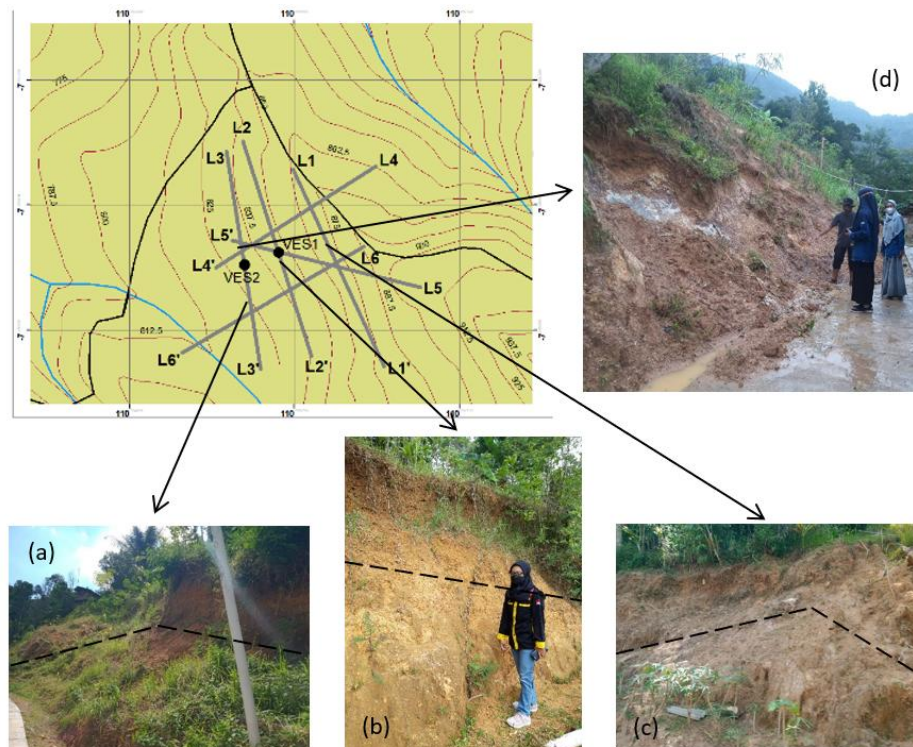
Tipe longsor daerah penelitian

Secara keseluruhan daerah penelitian memiliki ketebalan lapisan lapuk sekitar 15 meter dengan kemiringan lereng 31° berupa material lempung pasir. Daerah penelitian berpotensi terjadi longsor berupa material lempung dengan tipe longsornya adalah translasi (*translational slide*), karena bidang gelincir relatif lurus. Skema potensi longsor ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Skema Potensi Longsor Daerah Penelitian

Bidang gelincir yang didominasi dengan mineral lempung yang pada umumnya licin jika terkena air ini terbentuk akibat batupasir yang melapuk karena terpanaskan oleh magma panas secara terus menerus dalam jangka waktu yang cukup lama. Sumber panas yang berasal dari magma dapat melepaskan cairan hidrotermal ke dalam lapisan batuan di sekitarnya. Sehingga terjadi proses alterasi hidrotermal yang cukup kuat (Muhardi, 2020). Hal tersebut dibuktikan juga dengan kondisi dimana lokasi penelitian masuk ke dalam Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Candi Umbul Telomoyo. Berdasarkan penelitian Agista, dkk., (2014), Desa Kemambang memiliki profil geologi berupa Satuan Lava Andesit Telomoyo. Jarak lokasi penelitian dengan Gunung Telomoyo sendiri ± 14 km. Singkapan yang tampak pada lintasan 3 (**Gambar 8**) memiliki material berupa lempung berwarna coklat dan terdapat beberapa bagian yang berwarna ungu. Diduga bagian yang berwarna ungu adalah endapan lava yang belum teralterasi sempurna.



Gambar 8. Singkapan yang tampak pada lokasi penelitian (a) lintasan 3 (b) lintasan 2 (c) lintasan 1 (d) longsor baru di lintasan 3

Analisis longsor daerah penelitian

Daerah penelitian memiliki historis longsor sebanyak 11 kejadian sepanjang bulan Januari tahun 2019. Tanah longsor dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu faktor penahan dan faktor penggerak. Faktor penahan merupakan faktor-faktor yang membuat suatu lereng siap untuk bergerak meliputi kondisi morfologi, struktur geologi, geohidrologi, tanah, kemiringan lereng dan penggunaan lahan. Faktor penggerak meliputi curah hujan, gempa bumi, aktivitas pertambangan, dan aktivitas manusia lainnya yang dapat menimbulkan perubahan beban massa (Martinsen, 1994).

Penyebab yang paling banyak memicu terjadinya longsor di Dusun Plalar, Desa Kemambang, Kecamatan Banyubiru, Kabupaten Semarang ini adalah tingginya curah hujan. Berdasarkan data BMKG Stasiun Klimatologi Semarang menunjukkan bahwa intensitas hujan di Kab. Semarang pada tahun 2019 paling tinggi adalah pada bulan Februari dengan intensitas rata – rata harian 8,359 mm kemudian disusul bulan Desember dengan intensitas rata – rata harian 7,765 mm.

Pola intensitas hujan yang sama terjadi pada tahun 2020. Intensitas curah hujan tertinggi berada pada bulan Februari dengan intensitas rata – rata harian 15,771 mm, lalu disusul bulan Desember dengan intensitas rata – rata harian 12,261 mm (Harmoko, 2019). Hal ini memicu frekuensi bencana longsor daerah penelitian paling sering terjadi pada bulan Februari maupun bulan Desember.

Berdasarkan hasil pengolahan semua lintasan kemudian dilakukan korelasi tiap lintasannya, maka diperoleh geometri lereng longsor. Geometri longsor tersebut meliputi letak koordinat longsor yaitu $7^{\circ} 19' 43,99'' - 7^{\circ} 19' 47,68''$ LS dan $110^{\circ} 23' 42,26'' - 110^{\circ} 23' 46,13''$ BT. Secara umum elevasi mahkota longsor adalah 913 mdpl dan kaki longsor adalah 817 mdpl dengan kemiringan 31° . Panjang garis energi diperkirakan 190 meter dan lebar terbesar diperkirakan 130 meter. Menurut historis longsor dan hasil analisis, tipe longsor pada lokasi penelitian adalah tipe translasi dengan kedalaman bidang gelincir maksimalnya adalah 15 meter.

Berdasarkan hasil perhitungan geometris 3D pada skema potensi tanah longsor, dapat dilakukan perhitungan matematis untuk mengetahui panjang larian longsor, kecepatan larian longsor, dan volume lapisan lapuk yang terlongsorkan dengan persamaan (3), (4), dan (5). Perhitungan kecepatan longsor adalah :

$$L = \frac{190}{0,6} = 316,67 \approx 320 \text{ meter}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa apabila terjadi longsor, maka panjang larian longsor maksimalnya adalah sekitar 320 meter. Sedangkan untuk kecepatan larian longsorannya adalah :

$$\begin{aligned}\chi &= \sqrt{1 - \frac{\mu}{\tan \alpha}} = \sqrt{1 - \frac{0,6}{\tan 31^{\circ}}} = 0,038 \\ v(x) &= \chi \sqrt{2g\Delta h} \\ v(x) &= 0,038 \sqrt{2 \times 9,8 \times 96} \\ v(x) &= 1,65 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa apabila terjadi longsor, maka kecepatan larian longsor maksimalnya adalah 1,5 – 2,0 m/s.

Volume lapisan lapuknya adalah :

$$\begin{aligned}V &= \frac{1}{6} \pi (l \times d \times w) \\ V &= \frac{1}{6} \times 3,14 (190 \cdot 15 \cdot 130) \\ V &= 193.895 \approx 200.000 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa apabila terjadi longsor, maka volume lapisan lapuk yang terlongsorkan maksimal adalah 200.000 m³.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diketahui Litologi bawah permukaan zona kerentanan longsor di lereng bukit Dusun Plalar, Desa Kemambang, Kecamatan Banyubiru, Kabupaten Semarang tergambarkan dengan dua lapisan material hingga kedalaman 20 meter. Lapisan pertama diidentifikasi berupa lempung pasir dengan rentang nilai resistivitas 50,66 Ω m hingga 439,76 Ω m. Lapisan kedua memiliki rentang resistivitas sebesar 2,98 Ω m hingga 50,65 Ω m, diidentifikasi berupa material lempung. Daerah penelitian mempunyai bidang gelincir relatif lurus dengan pola mengikuti arah lereng bukit sehingga berpotensi terjadi longsor dengan tipe translasi (*translational slide*). Kedalaman bidang gelincir termasuk kategori dalam diperkirakan mencapai 15 meter dengan kemiringan mencapai 31°. Berdasarkan analisis setiap lintasannya memiliki ketebalan lapisan lapuk 2 – 15 meter. Potensi besar terjadinya bencana longsor di lereng bukit Dusun Plalar, Desa Kemambang, Kecamatan Banyubiru, Kabupaten Semarang disebabkan frekuensi hujan tinggi di antara bulan Desember – Februari. Perkiraan panjang larian longsor yang dapat terjadi adalah sepanjang 320 meter dengan perkiraan kecepatan larian longsor 1,5 – 2 m/s. Sedangkan volume maksimal tanah lapuk yang terlongsor apabila terjadi bencana tanah longsor adalah 200.000 m³. Harapannya dengan informasi tersebut dapat menjadi bentuk mitigasi preventif penduduk setempat. Terutama penduduk yang memiliki tempat tinggal di lereng bukit maupun tepat di bawah lereng bukit. Saran untuk penelitian lebih lanjut adalah perlu adanya kajian lebih dalam terkait korelasi antar lintasan yang memiliki nilai resistivitas berbeda. Selain itu, pengambilan data dengan metode VES akan lebih melengkapi data pendukung jika dilakukan pada semua lintasan ERT.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Hari, selaku Kepala Desa di Desa Kemambang yang telah memberikan ijin melakukan penelitian di wilayahnya. Terimakasih kepada Bapak Wahyudi dan Bapak Eddy selaku dosen Universitas Gadjah Mada yang membantu penulis dari awal hingga terselesaikannya penelitian. Penelitian ini tidak didanai oleh sumber pendanaan eksternal.

DAFTAR PUSTAKA

- Agista, Z., Rachwibowo, P., & Aribowo, Y. (2014). ANALISIS LITOLOGI DAN STRUKTUR GEOLOGI BERDASARKAN CITRA LANDSAT PADA AREA PROSPEK PANASBUMI GUNUNG TELOMOYO DAN SEKITARNYA, KABUPATEN MAGELANG, PROVINSI JAWA TENGAH. *Geological Engineering E-Journal*; Vol 6, No 1 (2014): Volume 6, Nomor 1, Tahun 2014.
- Fadlin. (2016). Kompleksitas Penyebab Longsor Clapar, Suara Merdeka. *Suara Merdeka*, 4.
- Gijoha, O. T., & Pasau, G. (2017). Identifikasi Akuifer Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Dipol-Dipol Di Masjid Kampus Universitas Sam Ratulangi. *Jurnal Mipa*, 6(1), 17–20.
- Harmoko. (2019). *Laporan Iklim Harian, BMKG Stasiun Klimatologi*. <https://www.iklimjateng.info/index.php/layanan-informasi/informasi-iklim>
- Loke, M. H. (1996). Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys, 2004 Revised Edition. *Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys*, July, 136.
- Lowrie, W., & Fichtner, A. (2020). *Fundamentals of geophysics*. Cambridge university press.
- Martinsen, O. (1994). Mass movements. In *The geological deformation of sediments* (hal. 127–165). Springer.
- Muhardi, M., & Wahyudi, W. (2020). Prediksi Tipe Longsor di Desa Clapar Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Dipol-dipol. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 11(2), 115–123.
- Rahmad Rizkiarto. (2019). *Tanah Longsor di Kab. Semarang*. https://bpbd.jatengprov.go.id/main/tanah-longsor-di-kab-semarang-3/?utm_source=chatgpt.com
- Rosa, A. (2019, Januari). *Tertimpa Tanah Longsor Dua Warga Semarang Terluka*.
- Septyanto, B., Nafian, M., & Isnaini, N. (2018). Identifikasi Lapisan Batuan di Daerah Bojongsari Depok Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas. *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*, 1(2), 7–14.
- Subroto, H. (2021). *Data Bencana Alam Kabupaten Semarang Tahun 2012-2020*.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics*. Cambridge university press.
- Thanden, R. E., Sumadirdja, H., Richards, P. W., Sutisna, K., & Amin, T. C. (1996). Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung*.

- Tohari, A., Wardhana, D. D., Feranie, S., & Salsabila, G. A. (2024). Identification of sliding surface using electrical-resistivity tomography for landslide mitigation: A case study of the Cibitung Landslide. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1314(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1314/1/012030>
- Usman, B., Manrulu, R. H., Nurfalaq, A., & Rohayu, E. (2017). Identifikasi Akuifer Air Tanah Kota Palopo Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 14(2), 65–72.
- Wiyadi, S. (2017). *Peta Administrasi Kabupaten Semarang*.
- Yatini, Y., & Suyanto, I. (2018). Identification of slip surface based on geoelectrical dipole-dipole in the landslides hazardous area of Gedangsari District, Gunungkidul Regency, Province of Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 212(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/212/1/012013>