

Identifikasi zona lemah pada ruas jalan utama Ajibarang – Gumelar kabupaten Banyumas menggunakan metode geolistrik resistivitas

Tita Murwiyanti, Sehad*, dan Sukmaji Anom Raharjo

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah

*email: sehad.geophysics@gmail.com

Abstrak – Penelitian menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner telah dilakukan untuk mengidentifikasi struktur batuan bawah permukaan khususnya zona lemah pada ruas jalan utama Ajibarang – Gumelar, Kecamatan Ajibarang, Kabupaten Banyumas. Akuisisi data resistivitas telah dilakukan di dua lintasan dengan panjang masing-masing lintasan sebesar 200 meter. Data yang diperoleh adalah nilai resistivitas semu batuan bawah permukaan. Hasil pemodelan terhadap resistivitas semu secara inversi menghasilkan penampang resistivitas batuan bawah permukaan secara dua dimensi (2D). Hasil interpretasi terhadap penampang resistivitas menunjukkan tiga lapisan batuan yang terdiri atas batupasir berbutir halus hingga sedang dengan nilai resistivitas 2,37 – 6,56 Ωm , batunapal gampingan dengan nilai resistivitas 6,32 – 12,60 Ωm , dan batugamping dengan nilai resistivitas 12,10 – 24,30 Ωm . Hasil interpretasi litologi terhadap penampang resistivitas menunjukkan adanya zona lemah di kawasan tersebut pada titik pengukuran $\pm 140 - 180$ meter. Zona lemah tersebut diinterpretasi sebagai lapisan batugamping dan batupasir berbutir halus hingga sedang yang bersifat lunak dan tidak kompak.

Kata kunci: zona lemah, resistivitas, jalan utama Ajibarang-Gumelar, Banyumas

Abstract – A Research using the geoelectric-resistivity method with Wenner configuration has been carried out to identify the subsurface rock structures especially weak zones on the part of main road of Ajibarang – Gumelar, Ajibarang District, Banyumas Regency. Resistivity data acquisition has been carried out on two trajectories with a length of each trajectory is 200 meters. The data acquired are the apparent resistivity values of subsurface rocks. The modeling results of apparent resistivity values in inversion have produced a two-dimensional (2D) cross section of subsurface rock resistivity. The interpretation results of the resistivity cross section have shown three layers of subsurface rocks consisting of fine to moderate grained sandstone with a resistivity value of 2.37 – 6.56 Ωm , limy marl with a resistivity value of 6.32 – 12.60 Ωm , and limestone with a resistivity value of 12.10 – 24.30 Ωm . The results of lithological interpretation of the resistivity cross section have shown the existence of a weak zone in this area at the measurement point about of 140 – 180 meters. The weak zone is interpreted as limestones and sandstones which have fine to moderate grain that is soft and not compact

Key words: weak zone, resistivity, Ajibarang-Gumelar main road, Banyumas.

PENDAHULUAN

Pembangunan sarana transportasi seperti jalan raya yang menghubungkan antar wilayah di Kabupaten Banyumas pada dasarnya adalah usaha untuk memberikan akses informasi, ekonomi, pendidikan, sosial, budaya, dan aspek lain secara lancar dan aman. Mengingat pentingnya manfaat sarana jalan raya tersebut, pembangunan jalan raya seharusnya dilakukan dengan baik dan benar. Namun, sarana jalan raya tidak selalu berbanding lurus dengan kelancaran dan kenyamanan bagi para penggunaannya akibat terjadi kerusakan seperti amblesan, lubang, dan retakan. Amblesan (*subsidence*) adalah gerakan tanah atau batuan ke bawah permukaan bumi dari suatu titik

datum, sehingga elevasi muka tanah berkurang atau menjadi lebih rendah dari semula. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya adalah struktur geologi bawah permukaan jalan raya tersebut. Peristiwa amblesnya jalan menunjukkan bahwa kestabilan batuan penyangga di bawah jalan tersebut mulai menurun, yang mengakibatkan gangguan kontinuitas kekuatan batuan pada struktur bawah permukaan jalan [1]. Beberapa proses alami yang memicu terjadi amblesan adalah sesar normal, kars, penurunan kaldera. Sementara kegiatan manusia yang mengakibatkan amblesan adalah eksploitasi air tanah secara berlebihan, penambangan bahan-bahan galian secara masif, dan sebagainya [2].

Salah satu jalan di Kabupaten Banyumas yang mengalami amblesan adalah salah satu ruas pada Jalan Raya Ajibarang – Gumelar. Secara administratif, jalan raya ini terletak di Desa Karangbawang Kecamatan Ajibarang Kabupaten Banyumas. Di kawasan ini telah terjadi amblesan, tepatnya di jalan yang menghubungkan antara Kecamatan Gumelar dengan Ibukota Kabupaten Banyumas. Bahkan pada sebagian ruas Jalan Raya Ajibarang – Gumelar telah terjadi amblesan hingga longsor seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**. Sebenarnya amblesan jalan raya ini telah terjadi beberapa tahun sebelumnya, namun pemerintah hanya menambal dan belum mengambil upaya teknis untuk memperbaikinya secara kongkrit [3]. Salah satu upaya teknis untuk mengidentifikasi zona lemah (amblesan) pada jalan adalah melalui survei geolistrik. Survei geolistrik menjadi langkah awal untuk menginvestigasi struktur geologi bawah permukaan [4]. Hasil survei geolistrik ini memberikan gambaran visual zona yang teridentifikasi lemah (berpotensi longsor), sehingga dapat dijadikan acuan untuk melakukan penanggulangan secara teknis.

Teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi zona-zona lemah adalah metode geolistrik resistivitas. Metode geolistrik resistivitas adalah salah satu metode geofisika yang bertujuan mempelajari sifat fisis batuan atau objek di bawah permukaan bumi berdasarkan sifat-sifat kelistrikannya. Metode geolistrik resistivitas digunakan menggambarkan distribusi variasi nilai resistivitas listrik di bawah permukaan secara satu dimensi (1D) atau dua dimensi (2D) berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan di permukaan bumi [5]. Metode geolistrik resistivitas ini umumnya diterapkan untuk eksplorasi dangkal dengan batas pendeteksian bawah permukaan berkisar 300 – 500 meter. Nilai resistivitas yang terukur berkaitan dengan parameter fisis batuan seperti mineral, kandungan fluida, dan porositas [6]. Pada penelitian ini, konfigurasi elektroda yang digunakan adalah konfigurasi Wenner. Konfigurasi Wenner menghasilkan model penampang batuan bawah permukaan secara 2D. Selanjutnya korelasi hasil pemodelan resistivitas antar lintasan dapat digunakan untuk mengidentifikasi zona lemah atau amblesan pada ruas Jalan Ajibarang – Gumelar secara visual.



Gambar 1. Amblesan jalan raya yang berakibat bencana longsor pada ruas Jalan Ajibarang – Gumelar Kabupaten Banyumas pada tahun 2017 (<https://radarbanyumas.co.id/>)

LANDASAN TEORI

Teknik akuisisi data geolistrik resistivitas dapat dilakukan dengan mengalirkan arus listrik searah (DC) ke dalam tanah atau batuan kerak bumi melalui dua buah elektroda arus C_1 dan C_2 . Arus listrik yang diinjeksikan ke tanah atau batuan akan menyebar secara radial ke seluruh medium tanah atau batuan. Polarisasi listrik yang terjadi dalam medium bawah permukaan diukur nilai beda potensialnya melalui dua buah elektroda potensial, yaitu P_1 dan P_2 . Setelah nilai kuat arus dan beda potensial diketahui, nilai resistivitas semu (*apparent resistivity*) batuan bawah permukaan dapat dihitung dengan persamaan [7]:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

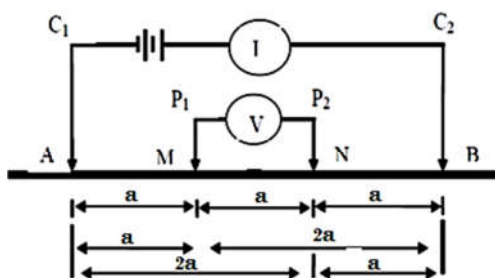
Di mana ρ_a adalah resistivitas semu, K adalah faktor geometri, ΔV adalah beda potensial, dan I adalah kuat arus. Besar faktor geometri tergantung dari konfigurasi atau model susunan dan jarak bentangan elektroda yang digunakan. Untuk konfigurasi Wenner, susunan elektroda dibuat seperti **Gambar 2** dengan nilai faktor geometri dapat dinyatakan dengan persamaan [7]:

$$K_w = 2\pi a \quad (2)$$

Dengan demikian nilai resistivitas semu dalam konfigurasi Wenner dapat dituliskan [7]:

$$\rho_a = K_w \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

Nilai-nilai resistivitas semu tersebut, selanjutnya dimodelkan sehingga diperoleh nilai resistivitas sesungguhnya.



Gambar 2. Susunan konfigurasi elektroda Wenner yang digunakan pada saat akuisisi data geolistrik resistivitas [8].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan November 2017 hingga Januari 2018. Akuisisi data geolistrik resistivitas 2D dengan konfigurasi Wenner dilakukan pada bulan November 2017 pada ruas Jalan Raya Ajibarang – Gumelar Kecamatan Gumelar Kabupaten Banyumas, sebagaimana terlihat pada **Gambar 3**. Peralatan yang digunakan pada survei geolistrik adalah Resistivitymeter merk NANIURA model NRD-300 lengkap dengan instrumen pendukungnya, peralatan *Global Positioning System* (GPS), peta geologi, lembar pengamatan, alat tulis, aplikasi *google earth*, laptop, *software* Res2Dinv 3.54, dan sebagainya.

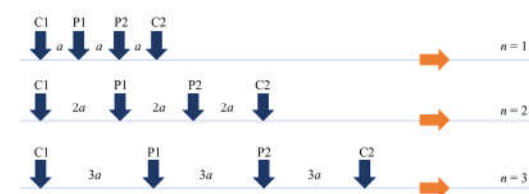


Gambar 3. Lokasi survei geolistrik resistivitas pada ruas jalan raya Ajibarang – Gumelar Kabupaten Banyumas

Teknik akuisisi data geolistrik dengan konfigurasi Wenner (*lateral mapping*) dilakukan untuk mendapatkan penampang resistivitas batuan bawah permukaan secara 2D. Akuisisi data dimulai dengan memasang seluruh elektroda pada salah satu ujung lintasan dengan jarak antar elektroda dibuat sama, misalnya a . Selanjutnya dilakukan pengukuran kuat arus (I), beda potensial (ΔV), dan posisi *datum point*. Selanjutnya seluruh elektroda tersebut digerakkan secara bersamaan ke arah ujung

lintasan yang lain sejauh a , dimana elektroda C_1 digeser ke posisi P_1 , P_1 digeser ke P_2 , P_2 digeser ke C_2 , dan C_2 digeser ke arah ujung lintasan sebesar a . Setelah itu dilakukan pengukuran besaran-besaran fisis tersebut kembali. Demikian seterusnya, akuisisi data dilakukan sehingga mencapai ujung lintasan. Untuk mendapatkan penampang resistivitas 2D pada lintasan tertentu, akuisisi data resistivitas pada suatu lintasan dapat diulangi hingga n kali; dimana setiap kali pengulangan, jarak antar elektroda selalu diperlebar menjadi $2a$, $3a$, $4a$, $5a$, $6a$ dan seterusnya seperti terlihat pada **Gambar 4**. Adapun jarak pergerakan bersama elektroda ke arah ujung lintasan dibuat tetap sebesar a [9].

Data yang diperoleh secara langsung pada masing-masing lintasan terdiri atas kuat arus listrik (I), beda potensial (ΔV), dan jarak antar elektroda (a). Adapun faktor geometri (K_w) dan nilai resistivitas semu (ρ_a) untuk setiap pengukuran data dihitung berdasarkan persamaan (2) dan (4). Panjang lintasan pengukuran dibuat 200 meter, dengan jarak spasi pergerakan elektroda ke arah kanan adalah 10 meter. Dengan demikian jumlah data terukur untuk satu lintasan adalah 63 *sheet* data berdasarkan **Gambar 4**. Jumlah lintasan untuk akuisisi data adalah 2 buah, yang terdiri atas Lintasan WA-01 dan Lintasan WA-02 dengan panjang masing-masing sebesar 200 meter. Pada konfigurasi Wenner, besarnya data *datum point* untuk setiap n pengukuran dapat dihitung berdasarkan jarak antar elektroda, seperti **Gambar 5** [9].



Gambar 4. Skema pergerakan elektroda arus (C_1 dan C_2) dan elektroda potensial (P_1 dan P_2) pada akuisisi data resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner [9].

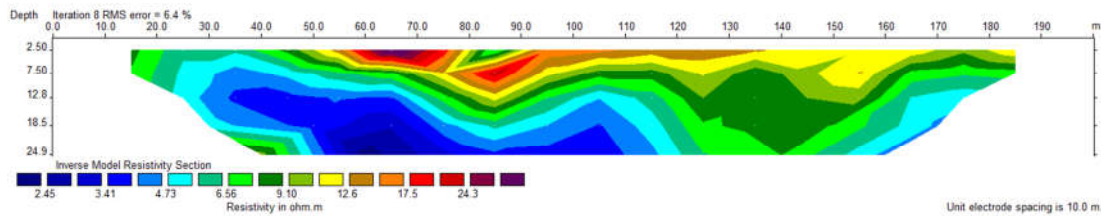
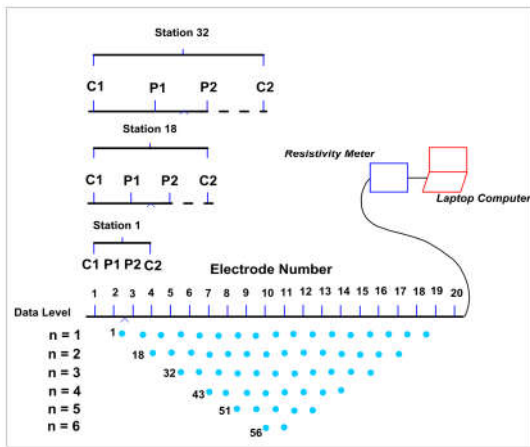
Resistivitas yang diperoleh dari akuisisi data menggunakan konfigurasi Wenner seperti persamaan (1) adalah resistivitas semu (*apparent resistivity*). Besarnya nilai resistivitas semu tergantung dari jarak antar elektroda (a) dan heterogenitas medium atau batuan bawah permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa setiap lapisan batuan di dalam kerak bumi memiliki resistivitas yang berbeda, tergantung dari beberapa parameter seperti kandungan mineral

logam, tekstur, kandungan air, temperatur, permeabilitas medium, umur geologi batuan, dan sebagainya [7]. Pemodelan terhadap data resistivitas semu yang diperoleh menghasilkan penampang resistivitas batuan bawah permukaan. Resistivitas hasil pemodelan diasumsikan sebagai nilai resistivitas batuan bawah permukaan yang sesungguhnya (*true resistivity*). Selanjutnya nilai resistivitas untuk masing-masing lapisan pada penampang resistivitas diinterpretasi, sehingga diperoleh penampang litologi batuan bawah permukaan secara 2D [10], termasuk zona lemah atau amblesan.

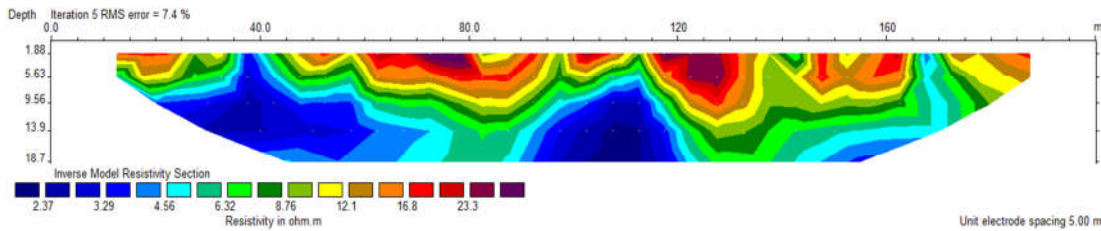
Gambar 5. Posisi titik-titik *datum point* untuk setiap *n* pengukuran pada sebuah lintasan hasil akuisisi data resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner [11].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan akuisisi data geolistrik resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner telah dilakukan pada dua lintasan yang diletakkan di kawasan zona lemah atau amblesan di ruas Jalan Raya Ajibarang – Gumelar Desa Karangbawang Kecamatan Ajibarang Kabupaten Banyumas, seperti telah diperlihatkan pada **Gambar 3**. Seluruh data resistivitas semu (ρ_a) masing-masing lintasan dimodelkan menggunakan perangkat lunak Res2Dinv 3.54 sehingga diperoleh penampang resistivitas batuan bawah permukaan seperti ditunjukkan pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**. Kedalaman maksimum hasil pemodelan adalah 24,9 meter untuk Lintasan WA-01 dan 18,7 meter untuk Lintasan WA-02. Model penampang resistivitas batuan bawah permukaan yang diperoleh, selanjutnya diinterpretasi berdasarkan informasi geologi setempat, sehingga diperoleh model penampang litologi batuan bawah permukaan. Secara lengkap hasil interpretasi penampang resistivitas bisa dilihat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.



Gambar 6. Penampang resistivitas batuan bawah permukaan hasil pemodelan konfigurasi Wenner pada Lintasan WA-01.



Gambar 7 Penampang resistivitas batuan bawah permukaan hasil pemodelan konfigurasi Wenner pada Lintasan WA-02.

Tabel 1. Hasil interpretasi litologi batuan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas pada Lintasan WA-01

No.	Nilai Resistivitas (Ωm)	Hasil Interpretasi Litologi
1	2,45 – 6,56	Batupasir berbutir halus hingga sedang yang mudah terisi air

2	6,56 – 12,6	Batunapal gampingan
3	12,6 – 24,3	Batugamping

Catatan: posisi ujung kiri lintasan WA-01 adalah 7° 25' 51,53" LS dan 109° 3' 33,54" BT dan ujung kanan adalah 7° 25' 55,77" LS dan 109° 3' 37,52"

Tabel 2. Hasil interpretasi litologi batuan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas pada Lintasan WA-02

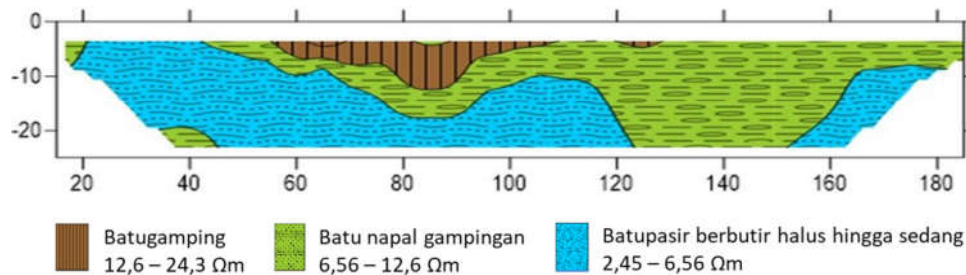
No.	Nilai Resistivitas (Ωm)	Hasil Interpretasi Litologi
1	2,37 – 6,32	Batupasir berbutir halus hingga sedang yang mudah terisi air
2	6,32 – 12,1	Batunapal gampingan
3	12,1 – 23,3	Batugamping

Catatan: posisi ujung kiri lintasan WA-02 adalah 7° 25' 51,28" LS dan 109° 3' 33,77" BT dan ujung kanan adalah 7° 25' 55,57" LS dan 109° 3' 37,52"

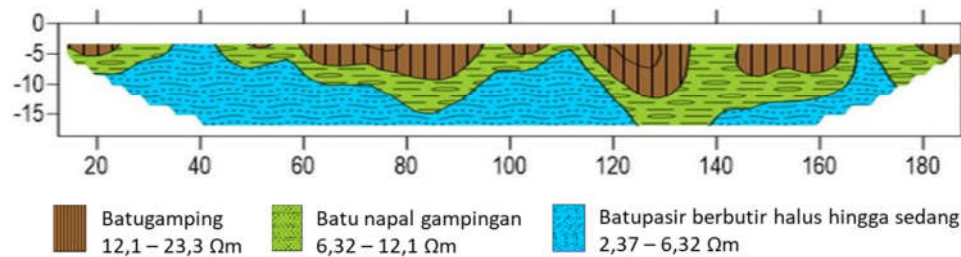
Hasil interpretasi terhadap penampang resistivitas batuan bawah permukaan di Lintasan WA-01 dan Lintasan WA-02 menunjukkan bahwa formasi batuan yang ter-cover di dalam penelitian adalah formasi Tapak yang tersusun atas batupasir, batugamping, dan napal gampingan [12]. Secara umum, daerah penelitian terdiri atas tiga formasi [12], yang meliputi formasi batuan Gunungapi Slamet tidak terurai berupa *tuff*, formasi Halang berupa *tuff* dan napal, serta formasi Tapak yang terdiri atas batupasir, batugamping, napal gampingan. Hasil interpretasi batuan ini digambar ulang menjadi model penampang litologi dua dimensi (2D) sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**. Kedua gambar ini menunjukkan keberadaan lapisan batuan sebagai zona lemah (berpotensi ambles) yaitu lapisan batugamping dengan nilai resistivitas 12,1 – 24,3 Ωm serta lapisan batupasir berbutir halus hingga sedang dengan nilai resistivitas 2,37 – 6,56 Ωm.

Lapisan batugamping terletak di permukaan jalan sehingga langsung terkena gaya berat dari kendaraan-kendaraan berat yang melintas di atasnya. Batugamping memiliki massa jenis 2,3 – 2,7 g/cm³ [13] dan bersifat *porous* dengan warna yang bervariasi seperti putih, abu-abu muda hingga tua, coklat, dan merah hingga kehitaman yang dipengaruhi zat-zat pengotor di dalam batuan. Namun demikian sifat fisik, kadar mineral, dan kenampakan batugamping dapat berubah jika mengalami diagenesa hingga pemalihan akibat tekanan dan temperatur, sehingga terjadi penghabluran kembali material penyusun batugamping [14]. Sifat batugamping yang *porous* (memiliki banyak pori dan rekahan pada tubuhnya) memicu air hujan atau air permukaan masuk dengan mudah menuju ke bawah permukaan, sehingga mengakibatkan batugamping menjadi lebih lunak.

Di bawah batugamping, diinterpretasi terdapat batunapal gampingan yang diperkirakan merupakan batuan lempung berkarbonat dengan sisipan gamping. Pada saat kondisi jenuh akan air (mengandung fluida) batuan ini memiliki sifat agak lembek dan mudah hancur atau berubah bentuk. Sedangkan pada kondisi kering batuan ini bersifat agak keras meskipun relatif rapuh. Lapisan batunapal gampingan relatif tidak tebal sehingga kontribusinya untuk memperkuat zona lemah relatif kecil. Di bagian bawah lapisan batunapal gampingan terdapat batupasir berbutir halus hingga sedang yang diestimasi tidak keras, tidak kompak, mudah ditembus air, dan dapat berubah struktur lapisannya mengikuti beban lapisan di atasnya atau sekitarnya [14]. Lapisan batupasir ini relatif tebal dan volume yang besar, sehingga dominan "mengontrol" zona lemah atau amblesan tersebut.



Gambar 8. Penampang litologi batuan bawah permukaan hasil interpretasi data resistivitas 2D pada Lintasan WA-01.

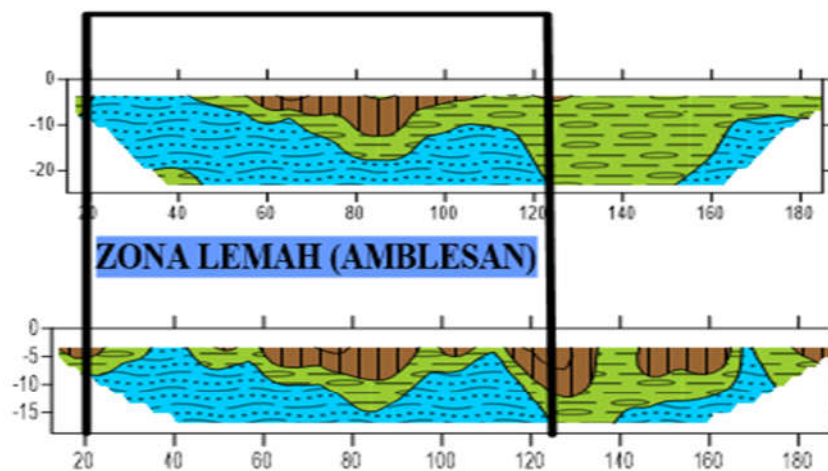


Gambar 9. Penampang litologi batuan bawah permukaan hasil interpretasi data resistivitas 2D pada Lintasan WA-02.

Gambar 9 merupakan korelasi antara Lintasan WA-01 dan Lintasan WA-02 yaitu lintasan yang sejajar dengan jalan raya di daerah penelitian. Hasil interpretasi menunjukkan adanya tiga lapisan batuan yang terdiri atas batugamping pada bagian atas, batu napal gampingan pada bagian tengah, dan batupasir berbutir halus hingga sedang di bagian bawah. Berdasarkan hasil korelasi penampang litologi batuan bawah permukaan, keberadaan zona lemah di kawasan Jalan Raya Ajibarang-Gumelar Kecamatan Ajibarang Kabupaten Banyumas dapat diidentifikasi dengan mudah. Lemahnya zona tersebut diduga akibat kontribusi dari struktur yang terbentuk dari tiga lapisan batuan tersebut, dimana batupasir sebagai faktor pengontrol utama. Lapisan batupasir diperkirakan tidak mampu menahan perubahan struktur lapisan di atasnya akibat gaya berat yang menghasilkan tekanan dari kendaraan yang melewati jalan raya tersebut [15]. Berdasarkan **Gambar 10**, zona lemah yang berpotensi mengalami amblesan diperkirakan berada pada titik pengukuran ± (20

–125) meter atau berada pada titik BMS Km 39,6 – 39,7; namun potensi amblesannya dapat melebar. Zona lemah itu sejajar dengan zona amblesan yang telah terjadi di atas permukaan jalan raya tersebut.

Berdasarkan hasil interpretasi data resistivitas dan korelasi penampang litologi Lintasan WA-01 dan Lintasan WA-02, terdapat dua faktor utama yang menjadi penyebab amblesan. Faktor pertama adalah tidak terdapat batuan keras misalnya batuan beku yang berfungsi untuk menyangga badan jalan. Faktor kedua adalah adanya gaya berat dari kendaraan besar yang sering melintas di jalan tersebut sehingga menyebabkan permukaan jalan raya mengalami tekanan besar. Kondisi ini mengakibatkan struktur batuan bawah permukaan berubah sehingga memicu terjadinya pergerakan tanah. Hal ini juga diperkuat oleh peta kerentanan pergerakan tanah di kawasan Kabupaten Banyumas, bahwa kawasan ini merupakan zona kerentanan pergerakan tanah menengah [16].



Gambar 10. Hasil korelasi penampang litologi batuan bawah permukaan pada Lintasan WA-01 dan Lintasan WA-02.

KESIMPULAN

Penelitian geolistrik resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner telah dilakukan di jalan utama Ajibarang – Gumelar, Kecamatan Ajibarang, Kabupaten Banyumas. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi struktur batuan bawah permukaan khususnya zona lemah (amblesan). Akuisisi data resistivitas telah dilakukan pada dua lintasan; yaitu Lintasan WA-01 dan Lintasan WA-02 dengan panjang masing-masing 200 meter. Hasil akuisisi data telah menghasilkan data-data resistivitas semu untuk masing-masing lintasan. Selanjutnya pemodelan secara inversi terhadap data resistivitas semu menghasilkan penampang resistivitas batuan bawah permukaan secara 2D. Adapun interpretasi terhadap model penampang resistivitas telah menghasilkan penampang litologi daerah penelitian.

Penampang litologi masing-masing lintasan menunjukkan adanya tiga lapisan batuan yang terdiri atas batupasir berbutir halus hingga sedang dengan nilai resistivitas 2,37 – 6,56 Ωm , batunapal gampingan dengan nilai resistivitas 6,32 – 12,60 Ωm , dan batugamping dengan nilai resistivitas 12,10 – 24,30 Ωm . Berdasarkan analisis terhadap penampang litologi yang diperoleh, zona lemah atau amblesan di kawasan ini terletak pada titik pengukuran $\pm(140-180)$ meter. Zona lemah tersebut diduga merupakan kontribusi dari model struktur batuan yang terbentuk dari tiga lapisan itu. Namun demikian, kontribusi yang dominan diduga berasal dari batugamping dan batupasir berbutir halus hingga sedang yang bersifat lunak dan tidak kompak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Kepala Laboratorium Elektronika, Instrumentasi, dan Geofisika Fakultas MIPA UNSOED atas peralatan Resistivitymeter dan komponen pendukungnya yang disediakan. Terimakasih juga disampaikan kepada tim akuisisi data di lapangan yang telah bekerja dengan keras dalam kegiatan akuisisi data resistivitas konfigurasi Wenner di kawasan Desa Kasegeran, Kecamatan Cilongok, Kabupaten Banyumas.

PUSTAKA

- [1] Soedarsono, Analisis Amblesan Tanah Akibat Pembebanan Pada Akuifer Bebas dan Pengaruhnya Terhadap Lingkungan di Sebagian Kota Semarang, *Jurnal Pondasi* 12 (1) (2006) 76-85.
- [2] Y. Ramadhani, Penyebab Tanah Ambles: Penambangan Hingga Eksploitasi Air Tanah. *Website/Blog*. Tersedia pada: <https://tirto.id/penyebab-tanah-ambles-penambangan-hingga-eksploitasi-air-tanah-dcgK>. Diakses tanggal 23 Maret 2020, 2018.
- [3] Radar Banyumas, Rusak, Jalur Ajibarang-Gumelar Rawan Kecelakaan (Online). *Website/Blog*, Tersedia pada: <https://radarbanyumas.co.id/rusak-jalur-ajibarang-gumelar-rawan-kecelakaan/>. Diakses tanggal 23 Maret 2020, 2018.
- [4] A.A. Akinlalu, A. Adegbuyiro, and A.A. Obore, Application of Electrical Resistivity Method in Designing a Structural Model for a Proposed Filling Station Site, Akure, Southwestern Nigeria, *Global Journal of Science Frontier Research: A Physics and Space Science*, 16(6) version 1.0 (2016).
- [5] N.U. Ugwu, R.T. Ranganai, R.E. Simon, and G. Ogubazghi, Application of Geoelectrical Resistivity Method to the Assessment of Groundwater Pollution: A case Study of Onibu-Eja Active Open Dumpsite, Osogbo, Southwestern Nigeria, *International Journal of Environmental Protection*, 6(1) (2016) 160 – 174.
- [6] D. Santoso, Pengantar Teknik Geofisika. Bandung: Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung (ITB), 2002.
- [7] W.M. Telford, L.P. Gedaart, and R.E. Sheriff, *Applied Geophysics* 2nd Ed. New York, Cambridge University, 1990
- [8] H. R. Burger, *Applied Geophysics: Exploring the Shallow Subsurface*, New York, WW Norton, 2006
- [9] Sehad, S.A. Raharjo, F. Destiani, Interpretation of 2D-Subsurface Resistivity Data in The Iron Ore Prospect Area of Eastern Binangun Coastal, Regency of Cilacap, Central Jawa. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology (JGEET)* 3(4) (2018) 213 – 220.
- [10] Sehad, S.A. Raharjo, M. Vickramdani, Karakteristik Akuifer di Kawasan Prospek Bijih Besi Pesisir Desa Karang-tawang Kecamatan Nusawungu Kabupaten

- Cilacap Berdasarkan Data Resistivitas 2D, *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY* 16(3) (2018) 195 – 204.
- [11] M.H. Loke, *Electrical Imaging Surveys For Environmental and Engineering Studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys*, 2000.
- [12] M. Djuri, H. Samodra, dan S. Gafoer, *Peta Geologi Lembar Purwokerto – Tegal Jawa; Skala 1:100,000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G). Bandung, 1996.
- [13] A.P. Putra, E.W.D. Hastuti, A., Abro, *Studi Potensi Sumberdaya Batu Gamping sebagai Bahan Baku Pembuatan Semen di Kecamatan Buay Sandang Aji Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan*, *Jurnal Pertambangan (JP)* 1 (3) (2017).
- [14] E, Aditya, dan D.D. Warnana, *Analisa Pengaruh Kadar Air Terhadap Sifat Resistivitas dan Konduktivitas Batu Kapur Daerah Gresik Jawa Timur*, *Jurnal Fisika Batuan* 1(1) (2013) 1 – 5.
- [15] S. Makmur, Sehad, Sugito, *Analisis Zona Lemah (Amblesan) Di Kawasan Jalan Raya Gunung Tugel Kabupaten Banyumas Berdasarkan Survei Geolistrik Konfigurasi Wenner*, *Techno* 17(2) (2016) 111 – 121.
- [16] Anonim, -. *Peta Zona Kerentanan dan Gerakan Tanah Kabupaten Banyumas*. Galeri Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG). Website/Blog. Tersedia di <https://vsi.esdm.go.id/gallery/picture.php?/142/category/16> Diakses tanggal 24 Maret 2020.