

## Analisis Ketebalan Lapisan Batuapung Fungsi Jarak dari Sumber Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas di Kecamatan Lingsar, Lombok Barat

Yuyun Ustina<sup>1</sup>, Bakti Sukrisna<sup>1</sup>, Hiden<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, NTB, Indonesia

E-mail: \*[hiden@unram.ac.id](mailto:hiden@unram.ac.id)

### INFO ARTIKEL

#### Article History

Received: 29-01-2020

Revised: 05-03-2020

Accepted: 10-05-2020

#### Keywords :

Ketebalan lapisan; Batu apung; Metode geolistrik; Resistivitas

#### How To Cite :

Yuyun Ustina, Bakti Sukrisna, Hiden. (2020). Analisis Ketebalan Lapisan batuapung Fungsi Jarak dari Sumber Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas di Kecamatan Lingsar Lombok Barat. *Indonesian Physical Review*, 3(2), 54-63

#### DOI :

<https://doi.org/10.29303/ipr.v3i2.41>

### ABSTRAK

Letusan Gunungapi Samalas 1257 menghasilkan piroklastik seperti batuapung yang tersebar merata di sekitarnya. Salah satu daerah yang terkena dampak erupsi tersebut adalah Kecamatan Lingsar Kabupaten Lombok Barat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur resistivitas, ketebalan lapisan batuapung, dan analisa ketebalan terhadap jarak sumber di Kecamatan Lingsar Kabupaten Lombok Barat. Metode yang digunakan yaitu metode geolistrik resistivitas dan pengukuran nilai resistivitas batuan di Laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan lapisan batuapung dengan ketebalan 10 meter sampai 21 meter. Sementara hasil pengukuran Laboratorium menunjukkan nilai resistivitas batuapung basah yaitu (23.9 - 40.0) ohm.m dan (204.3 - 354.8) ohm-m untuk batuapung kering. Ketebalan lapisan batuapung menipis secara eksponensial terhadap jarak dari sumber letusan. Penelitian selanjutnya, analisa volume tefra dan dinamika terjadinya letusan.

Copyright © 2020 IPR. All rights reserved.

### Pendahuluan

Gunung Rinjani terletak pada koordinat 116°27'52,30"E dan 08°25'12,81"S serta memiliki ketinggian 3.726 mdpl (meter di atas permukaan laut). Kompleks Gunung Rinjani terdiri dari Gunung Samalas, Gunung Rinjani, Gunung Mas, Gunung Barujari, dll. Sejarah letusan Gunung Samalas terjadi pertama kali pada tahun 1257 [1]. Gunung Samalas meletus mengeluarkan berbagai jenis material salah satunya yaitu batuapung. Jarak tempuh horizontal maksimum material letusan Gunung Samalas yaitu 51.32 km dari pusat letusan [3]. Penyebaran Batuapung ditemukan di setiap Kabupaten yang ada di Pulau Lombok (Lombok Timur, Lombok Tengah, Lombok Utara, Kota Madya Mataram, maupun Lombok Barat) [1,2].

Salah satu daerah yang terkena dampak letusan tersebut yaitu Kecamatan Lingsar Kabupaten Lombok Barat. Daerah tersebut merupakan daerah yang tersusun atas dua kelompok batuan yakni Aluvium dan Formasi Lekopiko [10]. Formasi Lekopiko di Kecamatan Lingsar terdapat beberapa singkapan berupa batuapung yang memiliki ketinggian 10 hingga 15 meter khususnya di Desa Batu Mekar pada jarak 32.97 Km dari sumber erupsi.

Batuapung terbentuk dari letusan Gunungapi yang memiliki kekuatan sangat dahsyat yakni lebih dari 4 *Volcanic Eruption Index* (VEI) [1, 2, 3, 4]. Batuapung merupakan salah satu batuan yang termasuk kelompok jenis batuan beku. Batuapung tersebut terbentuk dari magma yang terlempar ke udara, mengalami penurunan tekanan drastis sehingga kandungan gas-gas didalamnya keluar dan meninggalkan lubang pori-pori serta mengalami pembekuan secara cepat di udara [4, 5, 6]. Proses letusan tersebut menyebabkan batuapung memiliki tingkat porositas dan nilai resistivitasnya yang tinggi.

Metode geolistrik adalah salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis material bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitasnya [2, 7, 8]. Dengan demikian, lapisan batuapung dapat dideteksi dengan metode geolistrik. Prinsip kerja metode geolistrik adalah dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam Bumi. Arus listrik yang diinjeksikan melalui dua buah elektroda arus dan kemudian mengukur beda potensial listrik yang ditimbulkannya melalui dua buah elektroda potensial. Berdasarkan data-data hasil pengukuran ini, selanjutnya dihitung nilai tahanan jenis pada setiap lapisan bawah permukaan bumi [9, 12, 13].

### Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Lingsar Kabupaten Lombok Barat menggunakan metode geolistrik resistivitas. Hukum fisika mendasar yang mendasari survei geolistrik adalah Hukum Ohm. Hal ini sesuai dengan hukum Ohm yang ditulis dalam bentuk vektor [9, 12,13] berikut.

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (1)$$

$\mathbf{J}$  adalah rapat arus, dengan  $\sigma$  adalah konduktivitas medium yang berbanding terbalik dengan resistivitas ( $\rho = \frac{1}{\sigma}$ ), dan  $\mathbf{E}$  adalah medan listrik.

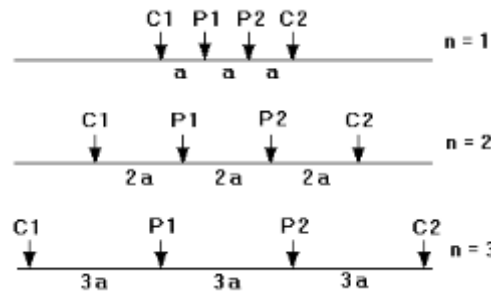
Tujuan survei geolistrik adalah untuk menentukan distribusi resistivitas batuan bawah permukaan dengan melakukan pengukuran di permukaan. Nilai resistivitas batuan sebenarnya diestimasi dari pengukuran ini. Prinsip dasar pengukuran geolistrik aktual adalah Bumi diasumsikan sebagai resistor (R) yang homogen dan isotropis. Apabila Bumi ini dialiri arus (I) di antara dua elektroda (C1 dan C2, **Gambar 1**), maka arus listrik menyebar ke dalam tanah secara radial, maka akan terjadi beda potensial diantara kedua elektroda potensial (P1 dan P2, **Gambar 1**). Penyebaran potensial listrik berbentuk garis-garis menyerupai setengah bola dengan luas  $2\pi r^2$  [9, 12, 13].

Ketika arus diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus maka di antara kedua elektroda potensial terjadi beda potensial ( $\Delta V$ ) sesuai dengan persamaan (2) berikut.

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (2)$$

dimana  $\Delta V$  merupakan beda potensial (volt),  $I$  merupakan arus (ampere),  $\rho$  adalah resistivitas (ohm.m),  $r$  adalah jarak antar elektroda (m).

Konfigurasi Wenner (**Gambar 1**) merupakan salah satu konfigurasi dalam eksplorasi geofisika yakni susunan elektroda terletak dalam satu garis yang simetris terhadap titik tengah dan memiliki jarak antara elektroda yang sama ( $a$ ). Konfigurasi Wenner memiliki resolusi vertikal yang baik, sensitivitas terhadap perubahan lateral yang tinggi tetapi lemah pada penetrasi arus terhadap kedalaman. Susunan elektroda konfigurasi Wenner dapat dilihat pada (**Gambar 1**) berikut [9].



**Gambar 1.** Susunan elektroda konfigurasi Wenner untuk titik datum n: 1, 2, dan 3 [9]

Data hasil pengukuran di lapangan menggunakan konfigurasi Wenner, selanjutnya dihitung nilai resistivitas jenis semunya (*apparent resistivity*,  $\rho_a$ ) sesuai dengan persamaan (2) dan (**Gambar 1**), sebagai berikut,

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

## Hasil dan Pembahasan

### Nilai Resistivitas Batuapung hasil Uji Laboratorium

Pengumpulan data dilakukan baik di lapangan maupun pengukuran nilai resistivitas batuapung skala laboratorium. Pengukuran skala Laboratorium ini dimaksudkan sebagai kontrol nilai resistivitas hasil pengukuran lapangan. Pengukuran nilai resistivitas batuapung skala laboratorium dilakukan menggunakan alat *soil resistivity meter* dari sampel batuapung yang dibentuk sesuai dengan ukuran *soil box resistivity*. Pengukuran nilai resistivitas batuapung dilakukan lima kali setiap sampel, baik yang dalam kondisi kering maupun yang basah. Hasil pengukuran tersebut, kemudian dihitung nilai rata-rata dan standar deviasinya, seperti pada **Table 1** berikut.

**Tabel 1.** Hasil Pengukuran Nilai Resistivitas Batuapung skala Laboratorium

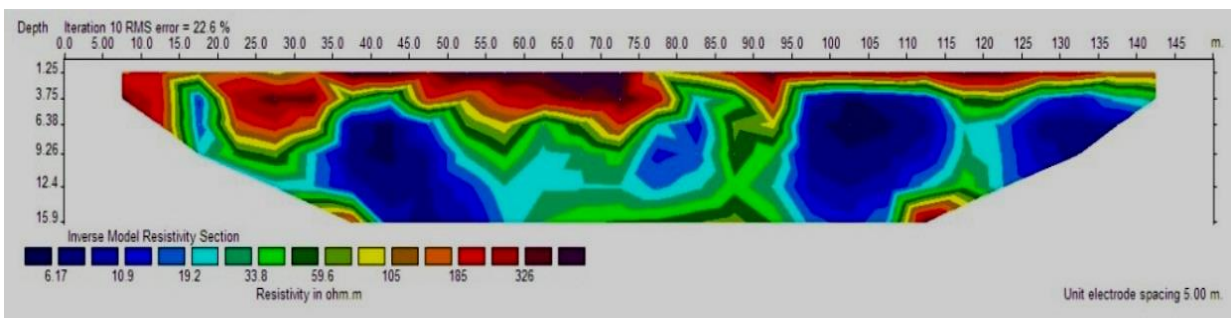
No Sampel	Lokasi Sampel	Nilai resistivitas batuan ( $\Omega\text{m}$ )	
		Kering	Basah
SM-1	Desa Batu Mekar	204,20 $\pm$ 0,10	27,32 $\pm$ 0,04
SM-2	Desa Batu Kumbang	354,84 $\pm$ 0,05	27,70 $\pm$ 0,10
SM-3	Desa Karang Bayan	284,76 $\pm$ 0,05	42,94 $\pm$ 0,09
SM-4	Desa Langko	287,66 $\pm$ 0,09	23,80 $\pm$ 0,08
SM-5	Desa Geria	275,96 $\pm$ 0,05	28,24 $\pm$ 0,05

**Tabel 1** di atas menunjukkan bahwa nilai resistivitas batuapung kering dan basah memiliki selisih yang cukup tinggi. Penurunan nilai resistivitas batuapung kering ke nilai resistivitas batuapung basah mencapai 91,47%. Hal tersebut diakibatkan oleh sampel yang diukur dalam keadaan kering dan poros, dimana pori-porinya terisi udara yang sangat resistif. Penyebab lainnya, Sampel batuapung dari masing-masing lintasan bercampur dengan material lempung yang lebih dominan khususnya di permukaan dibandingkan dengan batuapung. Material lempung cukup konduktif terutama pada kondisi basah. Pada keadaan basah, pori-pori batuapung terisi air, dimana air cukup konduktif sehingga nilai resistivitas jauh berbeda ketika batuapung kering.

**Hasil Pengukuran Geolistrik Resistivitas Pada Lokasi Penelitian**

**Lintasan 1**

Lintasan pertama merupakan lintasan yang paling dekat dengan sumber erupsi yaitu Gunung Rinjani, tepat di Desa Batu Mekar pada koordinat 116°13'0.97"E dan 08°33'38.02"S. Secara geologi, lokasi ini termasuk kedalam Formasi Lekopiko, selain itu lokasi ini merupakan tempat penambangan batuapung oleh masyarakat. Deposit batuapung tersingkap di lokasi tersebut setinggi 14 m. Lintasan pengukuran di lokasi ini mengarah Timur-Barat dengan panjang 150 meter dan diukur pada lokasi yang telah ditambang untuk mengetahui batas bawah lapisan batuapung tersingkap tersebut. Adapun hasil model inversi nilai resistivitas dari lintasan pertama ini seperti pada (**Gambar 2**) berikut.



**Gambar 2.** Penampang Geolistrik 2D nilai resistivitas di Desa Batu Mekar Kecamatan Lingsar

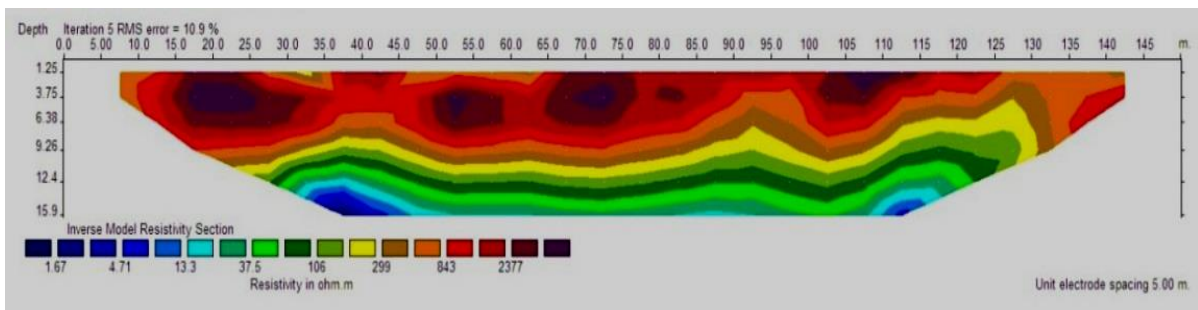
(**Gambar 2**) menggambarkan kondisi bawah permukaan lintasan pertama. Jenis material bawah permukaan pada lintasan ini dapat ditentukan berdasarkan nilai resistivitasnya. Penampang Geolistrik 2D di Desa Batu Mekar Kecamatan Lingsar (**Gambar 2**) dapat dilihat bahwa pada

kedalaman 0.00 sampai 7.00 meter dari permukaan tanah, memiliki rentang nilai resistivitas 59.6 sampai 326 ohm.m yang ditunjukkan oleh warna kuning sampai ungu pekat dengan ketebalan maksimum 8.00 meter. Pengamatan di lapangan terlihat bahwa pada jarak 0 sampai 80 meter dijadikan sebagai lahan pertanian, dan pada jarak 80 sampai 150 meter dimanfaatkan masyarakat sebagai lahan perkebunan, namun tidak cukup subur. Hal ini membuktikan bahwa di lokasi ini yang masih terdapat banyak kandungan batupung, sebagaimana terlihat pada warna kuning sampai ungu pekat pada (**Gambar 2**) diatas. Sehingga tebal lapisan batupung di desa Batu Mekar ini mencapai 22 meter.

### Lintasan 2

Pengukuran lintasan kedua di Desa Batu Kumbang dengan koordinat  $116^{\circ}11'55,63''E$  dan  $08^{\circ}33'34,85''S$ . Berdasarkan peta geologi, Desa Batu Kumbang merupakan daerah yang termasuk kedalam Formasi Lekopiko juga seperti lintasan pertama, sehingga batupung juga banyak ditemukan di lokasi tersebut. Walaupun, pada lintasan ini telah dijadikan sebagai kebun yaitu kebun aren dan kebun coklat oleh masyarakat setempat, masih terlihat didominasi oleh tufa batupung.

Panjang lintasan pada lokasi pengukuran ini adalah 150 meter. Penampang geolistrik 2D nilai resistivitas hasil pengukuran pada lintasan ini dapat dilihat pada (**Gambar 3**) berikut.



**Gambar 3.** Penampang Geolistrik 2D nilai resistivitas di Desa Batu Kumbang Kecamatan Lingsar

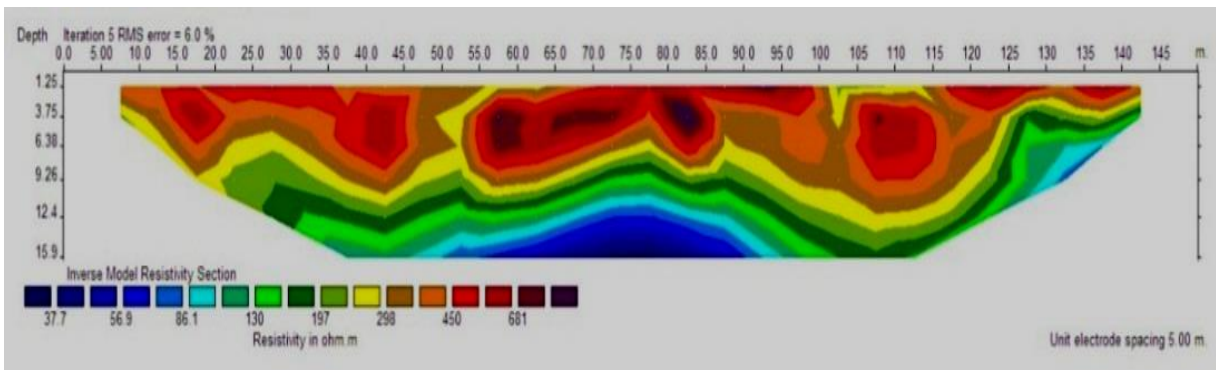
(**Gambar 3**) menggambarkan kondisi bawah permukaan pada lintasan kedua. Rentang nilai resistivitas pada lapisan pertama adalah (299 – 2377) ohm.m. Nilai resistivitas ini diinterpretasikan sebagai lapisan batupung yang berada pada kedalaman (0 – 12) meter dari permukaan tanah setempat. Rentang nilai resistivitas (13.3 – 299) ohm.m pada lapisan kedua, diinterpretasikan sebagai campuran pasir, lempung, kerikil, dan batupung dengan kedalaman (12 – 15) meter. Lapisan ketiga dengan rentang nilai resistivitas (1,67 – 13,3) ohm.m berada pada kedalaman (15 – 15,9) meter ditafsirkan sebagai lumpur pasiran. Lapisan batupung pada lintasan ini berada pada kedalaman nol hingga 14.00 meter dari permukaan tanah setempat.

### Lintasan 3

Lintasan ketiga, di Desa Karang Bayan Kecamatan Lingsar terletak pada posisi  $116^{\circ}10'46,07''E$  dan  $08^{\circ}33'38,47''S$ . Pengukuran dilakukan di lapangan dekat dengan jalan beraspal dan bersebelahan dengan sawah dengan panjang lintasan 150 meter. Penampang geolistrik 2D nilai resistivitas yang diperoleh pada lintasan ini dapat dilihat pada (**Gambar 4**).



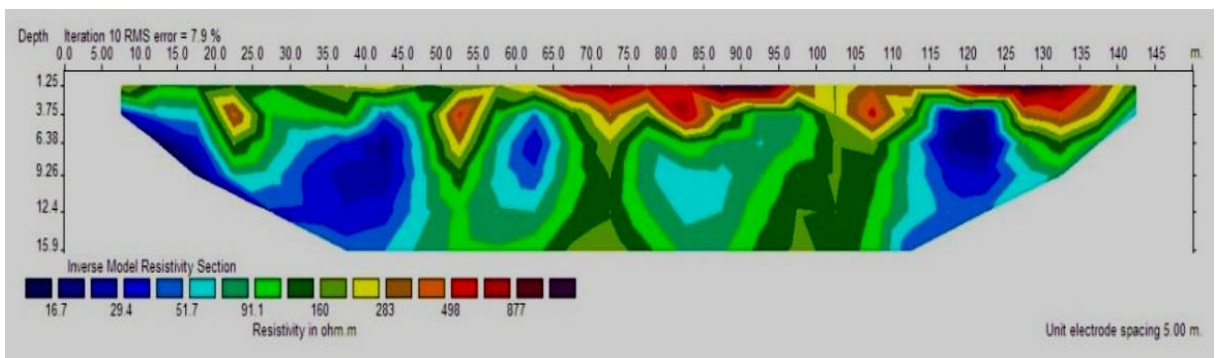
(**Gambar 4**) menggambarkan jenis material bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitasnya. Pada lintasan ini, lapisan batupung terindikasi pada kedalaman (0,00 - 11,50) meter dengan nilai resistivitas (298 - 681) ohm-m. Pada kedalaman (11,50 - 13,50) meter merupakan batupasir yang mengandung batupung dengan rentang nilai resistivitas (86,1 - 298) ohm.m. Sementara pada kedalaman (12,40 - 15,90) meter diinterpretasikan sebagai lempung berkerikil dengan rentang nilai resistivitas (37,70 - 86,10) ohm-m. Lapisan batupung di Desa Karang Bayan ini memiliki ketebalan mencapai 13,70 meter. Penafsiran jenis lapisan di lokasi ini sesuai Peta Geologi [10] daerah tersebut yakni merupakan daerah yang termasuk Formasi Aluvial dengan jenis materialnya dominan lempung, pasir dan lanau. Pada penelitian ini juga menunjukkan bahwa batupung tidak hanya berada pada Formasi Lekopiko tetapi juga dapat pada Formasi Aluvial.



**Gambar 4.** Penampang Geolistrik 2D nilai resistivitas di Desa Karang Bayan, Kecamatan Lingsar

**Lintasan 4**

Lintasan pengukuran keempat yakni di Desa Langko, pada koordinat 116°09'39.52'E dan 08°33'38.97'S dengan panjang lintasan 150 meter berarah Timur-Barat. Pengukuran dilakukan di dekat pemukiman warga, pinggir jalan beraspal. Hasil pengukuran lintasan keempat ini dapat dilihat pada (**Gambar 5**) dibawah ini.

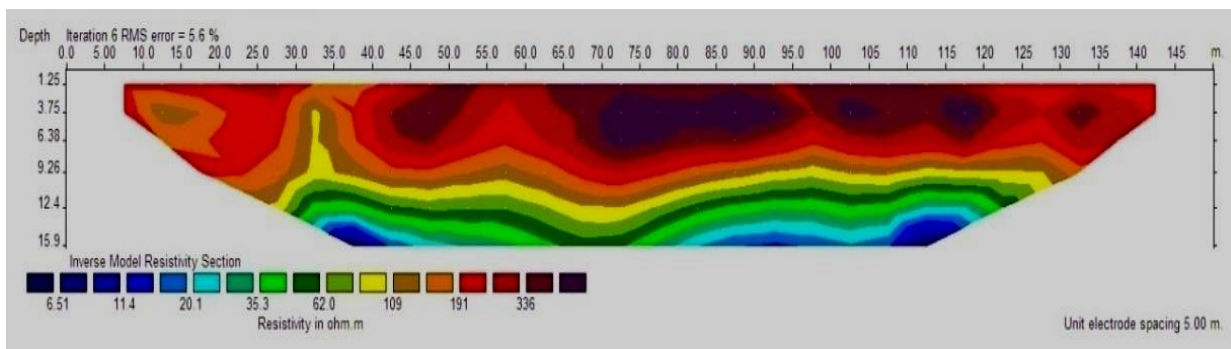


**Gambar 5.** Penampang Geolistrik 2D nilai resistivitas Di Langko, Kecamatan Lingsar

(**Gambar 5**) di atas menggambarkan lapisan tanah bawah permukaan Desa Langko. Lapisan pertama dengan rentang nilai resistivitas (283 – 877) ohm.m diinterpretasikan sebagai lapisan batuapung dan berada pada kedalaman (0,00 – 6,38) meter dari permukaan tanah setempat. Pada kedalaman (3,75 – 15,9) meter dengan rentang nilai resistivitas (16,7 – 51,7) ohm.m ditafsirkan sebagai campuran pasir, lempung, kerikil, dan batuapung, serta pasir lempungan. Lapisan batuapung pada lintasan ini tidak merata diakibatkan oleh kondisi lapangan yang sudah beralih fungsi. Pengamatan di lapangan, tampak kondisi peralihan lapisan batuapung merupakan batuapung aliran, bukan jatuhnya. Hal ini sesuai dengan keterangan dari peta geologi [10] yang memperlihatkan lintasan ini termasuk kedalam Formasi Aluvial dengan jenis batuan kerakal, kerikil, lempung, dan pasir. Lapisan yang mengandung material batuapung pada penelitian ini memiliki ketebalan 11 meter.

### Lintasan 5

Pengukuran geolistrik resistivitas 2D lintasan kelima terletak di Desa Geria Kecamatan Lingsar pada koordinat  $116^{\circ}08'20.75''E$  dan  $08^{\circ}33'34.92''S$ . Panjang lintasan 150 meter berarah Timur-Barat. Penampang geolistrik 2D hasil pengolahan data pada lintasan ini dapat dilihat pada (**Gambar 6**) berikut.

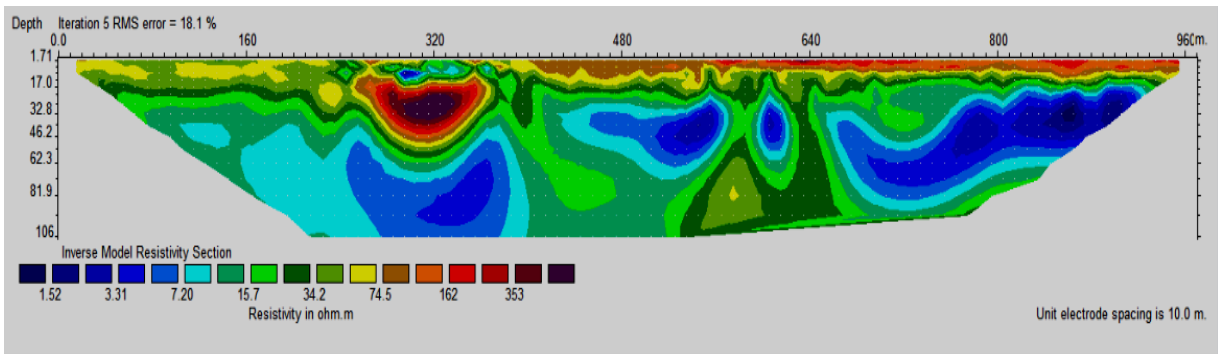


**Gambar 6.** Penampang Geolistrik 2D nilai resistivitas di Desa Geria Kecamatan Lingsar

(**Gambar 6**) Menggambarkan kondisi bawah permukaan Desa Geria Kecamatan Lingsar. Penampang yang berwarna coklat sampai ungu dengan rentang nilai resistivitas (109 – 363) ohm.m mengindikasikan lapisan campuran kerikil dan batuapung yang berada pada kedalaman 0 sampai 11 meter. Sementara, pada kedalaman 11 – 13 meter dengan rentang nilai resistivitas (20,1 – 109) ohm.m ditafsirkan sebagai campuran pasir, lempung dan kerikil. Lapisan dengan rentang nilai resistivitas (6,51 – 20,10) ohm.m diindikasikan sebagai lumpur pasir yang terletak pada kedalaman (13 – 15,9) meter. Hal ini sesuai dengan keterangan dari peta geologi [9], bahwa daerah ini termasuk dalam Formasi Aluvial yang memiliki kandungan batuapung yang cukup tebal yakni mencapai 10 meter.

### Lintasan 6

Pengukuran lintasan 6 dilakukan di Bandara Selaparang yang terletak pada koordinat  $08^{\circ}33'38.72''S$  dan  $116^{\circ}08'17.80''E$ . Pengukuran geolistrik resistivitas multi-kanal dilakukan dengan konfigurasi dipole-dipole. Lokasi ini merupakan Formasi Aluvial [10]. Pengukuran tersebut dilakukan panjang lintasan 900 meter. Penampang geolistrik resistivitas 2D pada lintasan ini dapat dilihat pada (**Gambar 7**) berikut.



Gambar 7. Penampang Geolistrik 2D nilai resistivitas di Selaparang, Mataram

(Gambar 7) menggambarkan kondisi bawah permukaan Desa Selaparang berdasarkan nilai resistivitas batuan. Nilai resistivitas dan jenis batuan pada lintasan 6 ini dapat dilihat pada (Gambar 7). Rentang nilai resistivitas (74,2 – 353) ohm.m pada kedalaman (0 – 10) meter diinterpretasikan sebagai Lempung berbatuapung. Pada kedalaman (9 – 160) meter dengan rentang nilai resistivitas (7,2 – 74,5) ohm.m merupakan lumpur pasiran, serta pada kedalaman (32,6 – 160) meter memiliki rentang nilai resistivitas (1,52 – 7,7) ohm.m merupakan lumpur.

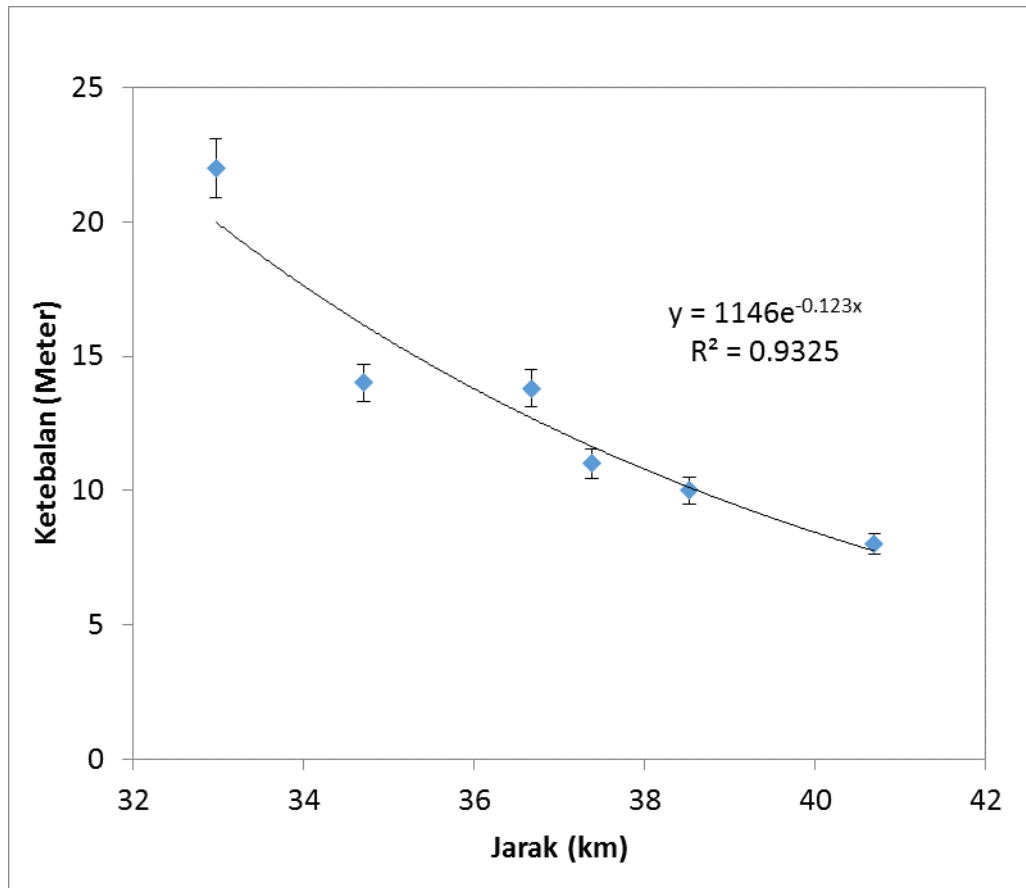
Nilai resistivitas yang cukup rendah pada lapisan tanah khususnya pada kedalaman 9 meter sampai 160 meter dari permukaan setempat menunjukkan bahwa tempat ini dahulu merupakan pantai. Pantai ini tertimbun endapan vulkanik dari Samalas tahun 1257 [1] baik deposit aliran yang merupakan limpahan Sungai Meninting maupun batuapung jatuhan. Batuapung terindikasikan pada lapisan penutup yaitu pada jarak 250 sampai 370 meter (lebih dekat ke pantai dan sungai Meninting) pada kedalaman 17 sampai 46,2 meter dan pada jarak 400 sampai 900 meter, batuapung berada pada kedalaman 0 sampai 9 meter.

### Pengaruh Jarak Sumber Erupsi Terhadap Ketebalan Lapisan Batuapung

Berdasarkan hasil pengolahan data lapangan, diperoleh hubungan ketebalan lapisan batuapung terhadap jarak sumber erupsi, yaitu letusan Samalas pada tahun 1257. Bagaimana pengaruh jarak dari sumber erupsi terhadap ketebalan lapisan batuapung, dapat dilihat pada (Gambar 8) berikut.

(Gambar 8) merupakan grafik pangaruh jarak dari sumber erupsi terhadap tingkat ketebalan lapisan batuapung. Grafik pada (Gambar 8) memperlihatkan ketebalan lapisan batuapung dipengaruhi oleh jarak jatuhnya material hasil erupsi terhadap sumber erupsi pada saat terjadinya letusan. Ketebalan lapisan batuapung tampak semakin jauh jatuhnya, semakin menipis lapisannya. Penipisan terjadi secara eksponensial sesuai persamaan  $y = 1146e^{-0.123x}$  dengan tingkat kepercayaan 95%. Hal ini sesuai dengan riset yang pernah dilakukan oleh [1, 2, 11] bahwa ketebalan lapisan batuapung menipis secara eksponensial terhadap area isopachnya.





Gambar 8. Hubungan ketebalan lapisan Batupung terhadap jarak sumber erupsi

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di atas, maka secara umum dapat disimpulkan bahwa endapan vulkanik dapat dianalisa menggunakan metode geolistrik. Kedepan, analisis lanjutan yang dapat dilakukan adalah pemetaan isopach dan perhitungan volume endapan, serta dinamika erupsi sebelumnya. Dari uraian di atas, secara khusus dapat disimpulkan bahwa nilai resistivitas batupung di Kecamatan Lingsar Kabupaten Lombok Barat berdasarkan hasil pengukuran Laboratorium untuk batupung basah (23,9 - 43,0) ohm-m dan batupung kering (204,3 - 354,8) ohm-m dengan ketebalan (10 - 22) m dengan kedalaman (0 - 22) meter. Ketebalan ini menurun secara eksponensial terhadap jarak dari sumber erupsi.

### Daftar Pustaka

- [1] Franck Lavigne, Jean-Philippe Degeai, Jean-Christophe Komorowski, Sébastien Guillet, Pierre Lahitte, Clive Oppenheimer, Markus Stoffel, Céline M. Vidal, Surono, Vincent Robert, Indyo Pratomo, Irka Hajdas, Danang Sri Hadmoko, and Edouard de Belizal, Patrick Wassmer. (2013). *Source of the great A.D. 1257 mystery eruption unveiled,*

*Samalas volcano, Rinjani Volcanic Complex, Indonesia*, PNAS Early Edition, [www.pnas.org/looku1073/pnas.1307520110/-/DCSupplemental](http://www.pnas.org/looku1073/pnas.1307520110/-/DCSupplemental).

- [2] Hiden. (2018). *Rekonstruksi Model Sumber Dan Model Kolom Letusan Samalas 1257 Ad, Berdasarkan Ketebalan Lapisan Deposit Batuapung*. Disertasi Program Studi S3 Ilmu Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- [3] Newhall, C.G. and Self, S., 1982, "The Volcanic Explosivity Index (VEI) An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism." *J Geophys, Res Oceans Atm* 87(1):1231-38.
- [4] Fagents, S. A., and L. Wilson, 1993, Explosive volcanic eruptions: VII. The ranges of pyroclasts ejected in transient volcanic explosions, *Geophys. J. Int.*, 113, 359-370.
- [5] Sparks, S Carey and RSJ. (1986). "Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruption coulomn." *Bull volcanol* ,: 109 -125.
- [6] Sigurdsson, H, Houghton, B, McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J, 2000, *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press to supply copyright page, Toronto.
- [7] D. Gómez-Ortiz, S. Martín-Velázquez, T. Martín-Crespo, A. Márquez, J. Lillo, I. López, F. Carreño, F. Martín-González, R. Herrera, M.A. De Pablo. (2007). Joint application of ground penetrating radar and electrical resistivity imaging to investigate volcanic materials and structures in Tenerife (Canary Islands, Spain), *Journal of Applied Geophysics* 62: 287-300.
- [8] P. De Vita, D. Agrello, F. Ambrosino. (2006). Landslide susceptibility assessment in ash-fall pyroclastic deposits surrounding Mount Somma-Vesuvius: Application of geophysical surveys for soil thickness mapping, *Journal of Applied Geophysics* 59: 126- 139.
- [9] Dr. M.H.Loke. [2004]. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, Copyright (1996-2004) [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com).
- [10] A. Mangga, S., Atmawinata, S, Hermanto, B, Setyonugraho, B dan Amin, T. C. [1994]. "Peta Geologi\_Lembar Lombok", Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [11] Bonadonna C, Costa A, 2012, Estimating the volume of tephra deposits: a new simple strategy, *Geology*, 40(5):415-418.
- [12] Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E. (1990). *Applied Geophysics: Second Editon*, Cambridge University Press, USA.
- [13] Burger, H.R. (1992). *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. Prentice Hall: New Jersey.