



dapat diakses melalui <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmuo>



## Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Tuff ring Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipol-Dipol

Gregorio Arikalang\*, Ferdy<sup>a</sup>, Guntur Pasau<sup>a</sup>, Gerald Hendrik Tamuntuan<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Sam Ratulangi, Manado

### KATA KUNCI

*Tuff ring*  
Geolistrik  
Resistivitas  
Dipol-dipol

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk identifikasi struktur bawah permukaan *tuff ring* di daerah perkebunan Mahawu dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi dipol-dipol. Penelitian ini dibagi menjadi 2 lintasan pengukuran dengan panjang masing-masing 480 m untuk lintasan 1 spasi 10 m antar elektroda dan untuk lintasan 2 memiliki panjang 240 m dengan spasi 5 m antar elektroda. Data yang diperoleh kemudian di olah dengan menggunakan software Res2dinv untuk mendapatkan gambar struktur bawah permukaan *tuff ring* secara 2D. Hasil pengolahan data menunjukkan citra resistivitas bawah permukaan pada lintasan 1 secara umum terlihat bahwa nilai resistivitas bawah permukaan lintasan 1 didominasi oleh nilai resistivitas lebih dari 300  $\Omega\text{m}$  (citra berwarna ungu). Khusus pada meter ke 250 – 260 dan meter ke 280 – 290 terdapat dua zonasi dengan nilai resistivitas yang relatif kecil yaitu kurang dari 50  $\Omega\text{m}$ . Sedangkan pada lintasan 2 terdapat nilai resistivitas kurang dari 60  $\Omega\text{m}$  (zona berwarna biru hingga hijau) yang membentuk pola memanjang dari kedalaman maksimum hingga permukaan, terlihat membentuk corong / saluran dari kedalaman sekitar 40 m (di bawah elektroda ke 18 atau pada meter ke 90) hingga ke permukaan (di bawah elektroda ke 25 – 33 atau pada meter ke 125 – 165) yang berarah Barat laut-Tenggara dengan sudut kemiringan sekitar 40° - 42° terhadap garis tegak lurus ke atas. Serta pola resistivitas yang memanjang berbentuk corong, secara kontras juga dibatasi oleh zona resistivitas tinggi (> 300  $\Omega\text{m}$ ) yang merupakan struktur dengan densitas tinggi dan kurang konduktif, yang di interpretasikan sebagai saluran bekas erupsi preatomagmatik

### KEY WORDS

*Tuff ring*  
Geoelectric  
Resistivity  
Dipole-dipole

### ABSTRACT

The research has been done to identify the subsurface structure of the tuff ring in plantation area Mahawu using geoelectric method of dipole-dipole configuration. It has been divided into two lines measuring with the length of 480 m for each lines, one space 10 m between the electrodes and the line 2 has 240 m length with spaces 5 m between electrodes. The data was obtained and processed using software RES2DINV to get an image of the structure below the tuff ring into two dimensions. The results of data processing shown an image of resistivitas beneath the surface on the line 1. In general, it can be seen that the resistivitas beneath the surface line 1 is dominated by resistivitas more than 300  $\Omega\text{m}$  (purple colour image). Especially in meter 250-260 and meter 280-290, there are two zones with resistivitas value that is relatively small at less than 50 m. While on the line two, the resistivitas value is less than 60  $\Omega\text{m}$  (blue and green coloured zone) that form patterns extend from the maximum depth to the surface, visible form a funnel/the cust from a depth of about 40 m (under electrodes to 18 or in meters to 90) To the surface (under electrodes 25 – 33 or in meters 125 -165) is directed to the northwest-southeast with the angle of inclination of about 40° - 42° and the resistivitas pattern elongated funnel-shaped by contrast it also limited by the high resistivitas (> 300  $\Omega\text{m}$ ) which is a structure with high density and less conductive. Which is interpreted as a former eruption channel preatomagmatic.

### TERSEDIA ONLINE

01 Februari 2021

### Pendahuluan

Gunung api adalah tempat dimana material-material dari dalam perut bumi dikeluarkan yang

kemudian terendap membentuk gunung. Gunung api dapat terbentuk dari interaksi eksplosif antara magma dengan air permukaan, air tanah atau sedimen basah dan menghasilkan berbagai variasi

\*Corresponding author:

Email address: ferdysagita19@gmail.com

Published by FMIPA UNSRAT (2021)

morfologi dan struktur yang bergantung pada lingkungan saat erupsi dan gaya erupsi, dimana gunung api ini disebut dengan Gunung Api Hidromagmatis (Wohletz dan Sheridan, 1983; Basile dan Chauvet, 2009). Salah satu gunung api hidromagmatis adalah *tuff ring*. *Tuff ring* pada umumnya terbentuk di sekitar daerah dengan kandungan air tanah, dimana air tanah tersebut akan berinteraksi dengan magma dan menghasilkan letusan freatomagmatis. Salah satu kompleks Gunung Api di Sulawesi Utara yang memiliki *tuff ring* adalah di kompleks Gunung Api Mahawu. Hingga saat ini belum pernah dilakukan kajian terhadap *tuff ring* yang berada di kompleks Gunung Api Mahawu, padahal ini penting untuk mengetahui resiko yang dapat ditimbulkan karena letaknya yang berada di dekat pemukiman.

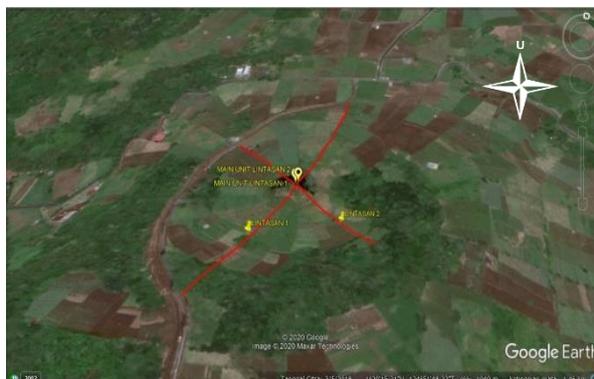
Penelitian terhadap *tuff ring* dapat memberikan informasi yang berharga mengenai kadar dan komposisi volatil magma, dan durasi dari erupsi atau letusan (Chough S.K., 1990; Sohn dan Park, 2005; Marshall, 2015). Analisis terhadap endapan yang terekspos dapat digunakan untuk memperkirakan energi dan memahami mekanisme saat terjadi letusan (Van Otterloo dan Cas, 2013). Namun demikian, pengamatan terhadap endapan *tuff ring* sulit dilakukan apabila tidak ada singkapan yang muncul di permukaan. Untuk dapat mengetahui proses letusan masa lalu dari *tuff ring*, tidak cukup hanya dengan mengamati struktur di permukaan *tuff ring* tetapi juga dibutuhkan pengamatan struktur bawah permukaannya.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengamati dan mempelajari struktur bawah permukaan adalah metode geolistrik (Blaikie et al., 2012). Prinsip dari metode ini adalah menginjeksikan arus listrik ke dalam permukaan bumi melalui sepasang elektroda arus yang kemudian responsnya ditangkap oleh sepasang elektroda potensial. Barde-Cabusson (2013) telah memanfaatkan metode ini untuk menginvestigasi struktur internal dari gunung api, dimana diperoleh letusan freatomagmatis dapat menghasilkan lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda. Hal ini menunjukkan bahwa metode geolistrik sangat potensial untuk menginvestigasi struktur bawah permukaan *tuff ring*. Dalam penelitian ini digunakan metode geolistrik konfigurasi dipol-dipol.

Susunan elektroda konfigurasi dipol-dipol menjelaskan bahwa antara dua elektroda arus dan elektroda potensial sama yaitu  $a$ . Pengukuran ini dilakukan dengan memindahkan elektroda potensial pada suatu penampang dengan elektroda arus tetap, kemudian pemindahan elektroda arus pada spasi  $n$  berikutnya diikuti oleh pemindahan elektroda potensial sepanjang penampang seterusnya hingga pengukuran elektroda arus pada titik terakhir di penampang itu. Pada metode Dipol-dipol bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas di bawah permukaan bumi secara vertikal maupun secara horisontal.

## Material dan Metode

Lokasi penelitian adalah *tuff ring* yang berada di sekitar gunung Api Mahawu, tepatnya di Desa Mahawu Kota Tomohon. Gambar 1 menunjukkan lokasi dan arah lintasan pengukuran. Jumlah lintasan pengukuran dilapangan adalah 2 lintasan dengan masing-masing memiliki panjang 480 m untuk lintasan 1 dan 240 m untuk lintasan 2.



Gambar 1. Lokasi dan arah lintasan penelitian

Pengukuran geolistrik dilakukan dengan menggunakan alat geolistrik *Multi-Channel and Multi-Electrode Resistivity and IP Meter MAE X612-EM*. Konfigurasi yang digunakan adalah dipol-dipol dengan 48 elektroda. Proses inversi data untuk memperoleh nilai resistivitas dan pembuatan citra resistivitas 2D dilakukan dengan menggunakan software RES2DINV.

## Hasil dan Pembahasan

### Deskripsi lokasi penelitian dan Lintasan Pengukuran

Penelitian ini dilakukan pada daerah *tuff ring* yang selanjutnya akan disebut sebagai *tuff ring* Mahawu, terletak di Kelurahan Mahawu Kota Tomohon Propinsi Sulawesi Utara. *Tuff ring* ini diperkirakan merupakan bagian dari sistem gunung api Mahawu (Poedjoprajitno, 2012) yang secara geografis berjarak sekitar 2,1 km arah selatan dari kaldera Gunung Mahawu, berjarak sekitar 1 km dari perkampungan / pemukiman terdekat, dan berjarak sekitar 3,5 km dari pusat kota Tomohon.

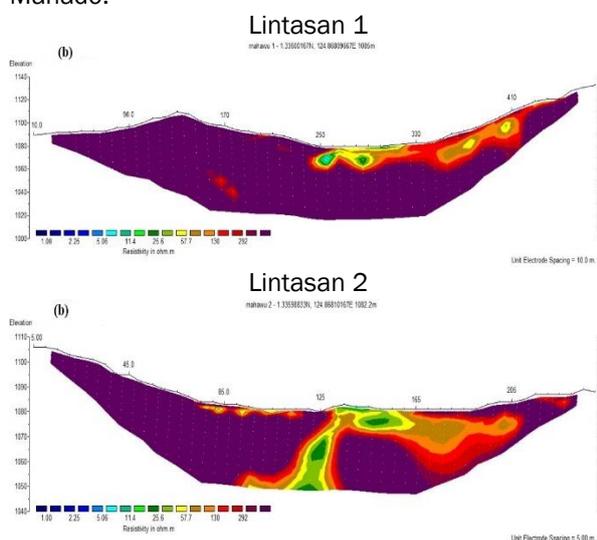
*Tuff ring* Mahawu adalah cekungan yang terbentuk sebagai hasil letusan preatomagmatik dengan diameter sekitar 250 m dalam arah Timur – Barat dan sekitar 300 m dalam arah Utara – Selatan. Kemiringan lereng bervariasi antara 20° – 30° dengan daerah yang lebih landai berada pada bagian timur hingga tenggara dari *tuff ring*. Bagian atau cekungan terendah dari *tuff ring* biasanya tergenang air pada musim hujan (genangan dapat mencapai diameter 15 m) dan kering pada musim kemarau. Saat pengambilan data, bagian tersebut dalam kondisi tidak ada genangan namun tanah relatif lembab. Lokasi penelitian saat ini merupakan daerah pertanian. Warna tanah adalah coklat tua hingga coklat kehitaman.

Identifikasi struktur bawah permukaan pada daerah *tuff ring* dilakukan dengan menggunakan 2 lintasan, yaitu lintasan 1 sepanjang 480 m (48

elektroda dengan spasi antar elektroda 10 m) membentuk arah Timur Laut – Barat Daya dan lintasan 2 sepanjang 240 m (48 elektroda dengan spasi antar elektroda 5 m) membentuk arah Barat Laut – Tenggara. Penggunaan spasi elektroda 5 m pada lintasan 2 adalah untuk menyesuaikan dengan kondisi lapangan. Posisi main unit berada pada titik perpotongan kedua lintasan yaitu pada koordinat 1,336 °LU dan 124,868 °BT atau 1° 20'9,6" LU dan 124° 52'4,8" BT serta ketinggian 1.085 m dari permukaan laut.

### Profil Resistivitas 2D *Tuff ring* Mahawu Lintasan 1.

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa nilai resistivitas pada lintasan 1 bervariasi dari 8  $\Omega\text{m}$  hingga ribuan  $\Omega\text{m}$ . Secara umum terlihat bahwa nilai resistivitas bawah permukaan lintasan 1 didominasi oleh nilai resistivitas lebih dari 300  $\Omega\text{m}$  (citra berwarna ungu). Namun demikian terdapat sebaran nilai resistivitas kurang dari 300  $\Omega\text{m}$  (citra berwarna biru muda hingga coklat) pada elektroda ke 24 hingga 44 atau meter ke 240 hingga 440 dengan kedalaman dari permukaan bervariasi sekitar 20 hingga 30 m. Khusus pada meter ke 250 – 260 dan meter ke 280 – 290 terdapat dua zonasi dengan nilai resistivitas yang relatif kecil yaitu kurang dari 50  $\Omega\text{m}$  Manado.



Gambar 2. Pola resistivitas bawah permukaan pada lintasan 1 dan lintasan 2 dengan topografi.

### Lintasan 2.

Gambar 2 memperlihatkan bahwa kedalaman maksimum yang dapat diidentifikasi adalah sekitar 35 m dari permukaan tanah. Kedalaman identifikasi bawah permukaan lintasan 2 yang hanya setengah dari identifikasi bawah permukaan pada lintasan 1 adalah sebanding dengan perbedaan panjang pada kedua lintasan tersebut. Semakin panjang lintasan pengukuran, semakin dalam data yang diperoleh. Sebaran nilai resistivitas pada lintasan 2 bervariasi antara 10  $\Omega\text{m}$  hingga ribuan  $\Omega\text{m}$ .

Berbeda dengan lintasan 1, profil resistivitas bawah permukaan pada lintasan 2 memperlihatkan zonasi nilai resistivitas kurang dari 300  $\Omega\text{m}$  yang

relatif lebih luas. Zona resistivitas dengan nilai kurang dari 60  $\Omega\text{m}$  terlihat membentuk corong / saluran dari kedalaman sekitar 40 m (di bawah elektroda ke 18 atau pada meter ke 90) hingga ke permukaan (di bawah elektroda ke 25 – 33 atau pada meter ke 125 – 165) dengan sudut sekitar 40 – 42°. Zona ini secara kontras dibatasi oleh zona resistivitas tinggi (> 300  $\Omega\text{m}$ ) yang diinterpretasi sebagai struktur dengan densitas tinggi dan kurang konduktif.

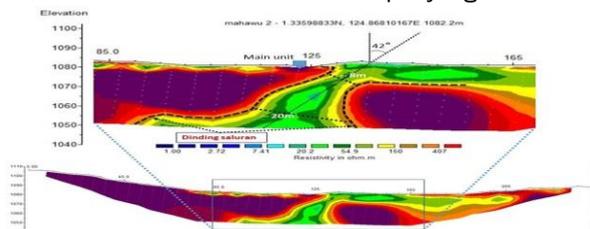
Gambar 2 juga memperlihatkan zona resistivitas antara 60 – 300  $\Omega\text{m}$ . Zona ini secara umum terlihat disekitar zona resistivitas rendah serta teridentifikasi cukup luas memanjang dari meter ke 125 (elektroda ke 25) hingga meter ke 210 (elektroda ke 42). Zona ini memiliki kedalaman bervariasi hingga mencapai 35 m dari permukaan tanah. Sebaran nilai resistivitas kurang dari 300  $\Omega\text{m}$  juga terlihat pada bagian dekat permukaan (kurang dari 10 m) di meter ke 75 hingga ke 115.

### Struktur Bawah Permukaan *Tuff ring* Mahawu

Data sebaran resistivitas menunjukkan bahwa daerah bawah permukaan *tuff ring* Mahawu, terutama arah Timur Laut – Barat Daya (lintasan 1), memiliki struktur yang relatif homogen. Dominasi nilai resistivitas > 300  $\Omega\text{m}$  pada struktur bagian sebelah dalam (*inner ring*) mengindikasikan struktur bawah permukaan didominasi oleh struktur padat kurang konduktif. Ada dua alternatif material untuk itu, yaitu batuan intrusi ataupun tufa gunung api yang telah terpadatkan. Secara geologi dan hasil pengamatan di lapangan sekitar lokasi sangat jarang tidak ditemukan batuan. Telford dkk (1990) menyebutkan bahwa tufa gunung api yang mengalami kompaksi sehingga membuat memiliki nilai resistivitas bervariasi hingga mencapai lebih dari 2000  $\Omega\text{m}$ . Oleh karena itu zona resistivitas > 300  $\Omega\text{m}$  pada struktur bawah permukaan *tuff ring* Mahawu diduga kuat sebagai endapan *tuff* hasil jatuhnya dari letusan preatomagmatik yang terjadi di lokasi *tuff ring* Mahawu bercampur *tuff* Tondano yang selanjutnya terpadatkan karena proses kompaksi. Kondisi di lapangan menunjukkan bahwa daerah ini didominasi oleh *tuff* gunung api dengan lapisan teratasnya telah membentuk paleosol yang subur untuk pertanian.

Citra resistivitas bawah permukaan pada lintasan 2 (Gambar 3) memperlihatkan zona resistivitas bernilai rendah (zona berwarna biru hingga hijau) yang membentuk pola memanjang dari kedalaman maksimum hingga permukaan. Zona tersebut diinterpretasikan sebagai saluran bekas erupsi / letusan preatomagmatik yang membentuk *tuff ring*. Nilai resistivitas rendah pada zona ini menunjukkan bahwa saluran erupsi di tutupi Oleh sedimen bersifat poriyang diduga terakumulasi selama periode tertentu setelah terjadinya letusan. Tidak adanya spot resistivitas tinggi pada zona tersebut mengindikasikan tidak adanya fragmen

batuan berukuran besar disepanjang saluran.



Gambar 3. Zona resistivitas rendah pada lintasan 2 yang diperkirakan adalah saluran bekas letusan preatomagmatik yang membentuk *tuff ring* Mahawu

Saluran erupsi preatomagmatik pada *tuff ring* Mahawu di duga kuat berarah Barat Laut – Tenggara. Zona resistivitas rendah yang berbentuk menyerupai saluran hanya teridentifikasi pada lintasan 2. Pada lintasan 1 tidak mengidentifikasi hal serupa. Lintasan 1 yang berarah Timur Laut – Barat Daya terlihat hanya memotong saluran pada bagian atas. Pada lintasan 1 teridentifikasi adanya zonasi resistivitas rendah yang relatif berbentuk lingkaran pada meter ke 250 – 260 (di bawah elektroda 25 dan 26) dengan diameter sekitar 10 m dan pada kedalaman sekitar 15 m dari permukaan. Hal tersebut memiliki posisi yang sangat bersesuaian dengan dugaan posisi saluran yang diinterpretasi berdasarkan profil resistivitas bawah permukaan pada lintasan 2.

Brož dan Németh (2015) mengemukakan bahwa kemiringan lereng dari *tuff ring* umumnya adalah 25°. Pada daerah *tuff ring* Mahawu kemiringan lereng bervariasi dari 20° - 30°, dengan daerah yang lebih landai berada pada bagian timur hingga tenggara dari *tuff ring*. Hal ini merupakan faktor lain yang memperkuat bahwa saluran erupsi *tuff ring* Mahawu adalah berarah Barat Laut – Tenggara. Gambar 3 juga menunjukkan karakteristik saluran bekas letusan pada *tuff ring* Mahawu. Saluran tersebut tidak tegak lurus ke atas namun diestimasi memiliki kemiringan sekitar 40 – 42° terhadap garis tegak lurus ke atas. Lebar saluran bervariasi yaitu semakin ke atas relatif semakin sempit. Pada kedalaman lebih dari 30 m dari permukaan tanah, lebar saluran diperkirakan mencapai lebih dari 40 m. Lebar saluran selanjutnya mengecil menjadi sekitar 20 m pada kedalaman antara 20 – 30 m, dan menjadi sekitar 8 m pada kedalaman 5 – 15 m. Zona resistivitas rendah pada bagian dekat permukaan (elektroda 25 – 33) melebar sekitar 40 m dan relatif searah dengan kemiringan saluran. Bagian ini diperkirakan terjadi sebagai akibat tekanan letusan di daerah permukaan

### Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui struktur bawah permukaan *tuff ring* di daerah Mahawu Sulawesi Utara dan diperoleh nilai resistivitas bawah permukaan *tuff ring* Mahawu bervariasi dari 8  $\Omega$ m hingga 9803  $\Omega$ m. Resistivitas > 300  $\Omega$ m diperkirakan adalah struktur bersifat padat dan kurang konduktif yang diinterpretasi didominasi oleh tufa gunung api yang telah mengalami

kompaksi. Saluran erupsi preatomagmatik pada *tuff ring* Mahawu diidentifikasi berarah Barat Laut – Tenggara. Hal ini ditandai dengan zona resistivitas rendah yang membentuk pola seperti saluran pada profil citra bawah permukaan lintasan 2 yang berarah Barat Laut – Tenggara. Zona tersebut terlihat cukup kontras dengan resistivitas disekitarnya, yang memiliki kemiringan sekitar 40° – 42° terhadap garis tegak lurus ke atas, serta lebar saluran bervariasi yaitu semakin ke atas relatif semakin sempit.

### Daftar Pustaka

- Blaikie, T.N., L. Ailleres, R.A.F. Cas, and P.G. Betts. 2012. Three-dimensional potential field modeling of a multi-vent maar-diatreme – The Lake Coragulac maar, Newer Volcanic Province, south-eastern Australia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. **235-236**: 70 – 83.
- Chough, S.K., and Y.K. Sohn. 1990. Depositional Mechanics and Sequences of Base Surge, Songaksan Tuff Ring, Cheju Island Korea. *Sedimentology*. **37**: 1115-1135.
- Marshall, A., C. Connor, S. Kruse, R. Malservisi, J. Richardson, L. Courtland, L. Connor, J. Wilson, M.A. Karegar. 2015. Subsurface structure of a maar-diatreme and associated tuff ring from a high-resolution geophysical survey, Rattlesnake Crater, Arizona. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* doi: 10.1016/j.jvolgeores.2015.09.006
- Poedjoprajitno, S. 2012. Morphostructure Control Towards the Development of Mahawu Volcanic Complex, North Sulawesi. *Indonesian Journal of Geology* **7(1)**: 39-54.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E. 1990. Applied Geophysics, second edition, Cambridge University Press. New York Port Chester Melbourne Sydney.
- S. Barder-Cabusson 2013. Structural Control of monogenetic volcanism in the Garrotxa volcanic field (Northeastern Spain) from gravity and self potential measurement. *Bull Volcanol* (2014) 76:788. Doi 10.1007/s 00445-013-0788-0.
- Wohletz and Sheridan 1983. Hydrovolcanic Explosions II Evolution of Basaltic Tuff Ring and Tuff Cones. *American Journal of Science*, Vol 283, May 1983, P.385-413.
- Brož dan Németh (2015). Encyclopedia of Planetary Landforms (pp 2204-2210), November 2015. DOI : 10.1007/978-1-4614-3134-3\_403.
- Van Otterloo and Cas (2013). Bulletin of Volcanology 75(12). DOI : 10.1007/s00445-013-0769-3.