

PEMETAAN TEROWONGAN BAWAH TANAH DENGAN METODE GEOLISTRIK PADA LOKASI GUDANG MINYAK BONEN, KABUPATEN KUPANG

MAPPING OF UNDERGROUND TUNNELS USING GEOELECTRIC METHODS AT THE BONEN OIL WAREHOUSE LOCATION, KUPANG REGENCY

Yohanes S.M.C Leba, Noni Banunaek dan Ika F. Krisnasiwi

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
e-mail: lebakelvin23@gmail.com, nbanunaek@gmail.com dan ikafitri_0102@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan terowongan bawah tanah peninggalan Tentara Jepang di Kampung Bonen, Desa Baumata, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang, dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner. Terowongan ini merupakan bagian dari situs sejarah penting yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai objek wisata minat khusus maupun konservasi budaya. Metode geolistrik digunakan karena mampu mendeteksi perbedaan resistivitas bawah permukaan yang dapat mengidentifikasikan adanya rongga atau struktur tidak homogen seperti terowongan. Penelitian dilakukan pada lima lintasan pengukuran dengan spasi elektroda 2–3 meter, menggunakan perangkat *Res2Dinv* untuk proses inversi data dan visualisasi penampang bawah permukaan. Hasil interpretasi menunjukkan adanya variasi nilai resistivitas antara 0,0068 hingga 141 $\Omega\cdot m$, yang mengindikasikan keberadaan lapisan lempung, napal, dan gamping. Zona resistivitas tinggi di beberapa lintasan menunjukkan indikasi keberadaan rongga yang konsisten dengan posisi terowongan berdasarkan pemetaan 3D menggunakan *Total Station*. Meskipun terdapat sedikit perbedaan arah dan bentuk, hasil penelitian membuktikan bahwa metode geolistrik efektif digunakan untuk mendeteksi struktur bawah permukaan seperti terowongan.

Kata kunci: geolistrik, terowongan, resistivitas, wenner, res2dinv, Baumata

Abstract

This study aims to identify the existence of an underground tunnel left by the Japanese Army in Bonen Village, Baumata Village, Taebenu District, Kupang Regency, using the Wenner configuration geoelectric method. This tunnel is part of an important historical site that has great potential to be developed as a tourist attraction of special interest and cultural conservation. The geoelectric method is used because it is able to detect differences in subsurface resistivity that can indicate the presence of cavities or non-homogeneous structures such as tunnels. The study was conducted on five measurement trajectories with electrode spacing of 2–3 meters, using the Res2Dinv device for data inversion and subsurface cross-sectional visualization. The results of the interpretation showed a variation in resistivity values between 0.0068 to 141 $\Omega\cdot m$, which indicated the presence of clay, napal, and limestone layers. High resistivity zones on some tracks show indications of cavity presence consistent with tunnel position based on 3D mapping using Total Station. Although there are slight differences in direction and shape, the results of the study prove that the geoelectric method is effectively used to detect subsurface structures such as tunnels.

Keywords: geoelectrical, tunnel, resistivity, wenner, res2dinv, baumata

1. PENDAHULUAN

Terowongan pertahanan bawah tanah peninggalan Tentara Jepang pada masa Perang Dunia II yang terletak di Kampung Bonen, Desa Baumata, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang, merupakan salah satu situs sejarah penting yang memiliki nilai strategis, baik dari sisi arkeologi maupun potensi pengembangan wisata minat khusus. Kawasan ini berada sekitar 17 kilometer sebelah timur Kota Kupang dan diketahui memiliki sekitar ± 53 terowongan yang

tersebar di area seluas $\pm 10,6$ hektar. Dari jumlah tersebut, sebanyak 11 terowongan telah berhasil dikunjungi dan dieksplorasi oleh tim peneliti pada jalur menuju Bukit Fatu Suba.

Pemilihan judul ini dilatarbelakangi oleh keinginan penulis untuk mengetahui nilai tahanan jenis (resistivity) di sekitar area terowongan serta memperkirakan kedalaman terowongan dari permukaan tanah. Informasi ini penting untuk memperoleh gambaran utuh mengenai struktur bawah permukaan, yang selama ini belum banyak

diungkap secara menyeluruh. Penelitian sebelumnya sebagian besar masih terbatas pada pemetaan topografi dan observasi bentuk fisik luar terowongan, sehingga belum mampu memberikan informasi yang detail terkait kondisi geologi bawah tanah, jenis batuan penyusun, atau potensi keberadaan rongga bawah permukaan.

Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan berbasis geofisika guna memperoleh data yang lebih komprehensif mengenai karakteristik fisik media geologi tempat terowongan berada. Salah satu metode yang dinilai efektif dalam mendeteksi anomali bawah tanah seperti rongga, retakan, atau struktur tak homogen adalah metode geolistrik tahanan jenis (resistivity). Nilai tahanan jenis suatu batuan sangat dipengaruhi oleh sifat fisik material penyusunnya, seperti jenis batuan, porositas, kadar air, serta keberadaan kekosongan (void), sehingga distribusi resistivitas dapat diinterpretasikan untuk mengidentifikasi struktur bawah tanah, termasuk lokasi dan geometri terowongan.

Dalam penelitian ini digunakan konfigurasi elektroda Wenner, karena metode ini memiliki sensitivitas yang baik terhadap variasi resistivitas baik secara bilateral maupun vertikal, serta efisien dalam memetakan struktur geologi dangkal hingga menengah. Dengan menggunakan metode ini, diharapkan dapat diperoleh penampang dua dimensi (2D) yang menggambarkan kondisi bawah permukaan secara lebih akurat dari segi bentuk, kedalaman, dan arah keberadaan terowongan bawah tanah.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Topografi

Peta topografi adalah peta yang menggambarkan bentuk permukaan bumi melalui garis-garis ketinggian. Menurut Suparno dan Endy (2005), keadaan topografi adalah keadaan yang menggambarkan kemiringan lahan atau kontur lahan, maka akan semakin besar juga kontur lahan tersebut dan memiliki kemiringan lereng yang semakin besar. Pengertian topografi adalah studi tentang bentuk permukaan bumi dan objek lain seperti planet, satelit, dan asteroid.

2.2 Geologi

Secara geologi, area studi dan daerah sekitarnya terdiri dari jenis batuan yang bervariasi dari yang paling muda hingga yang paling tua, sesuai dengan peta geologi regional Kampung Bonen, Desa Bone, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang. Daerah ini terdiri dari beberapa jenis batuan, yakni Batu Gamping Koral

(QI), Formasi Noele (QTn), dan Kompleks Bobonaro (Tmb).

2.3 Geolistrik

2.3.1 Metode geolistrik

Metode geolistrik adalah suatu teknik geofisika yang digunakan untuk mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi, serta cara mendeteksi dan mengukur sifat-sifat tersebut dari permukaan bumi. Perumusan teoritis dari metode geolistrik didasarkan pada perhitungan potensial listrik yang terjadi di dalam suatu medium tertentu akibat sumber arus listrik yang diletakkan di permukaan tanah. Ketika arus listrik diinjeksikan ke dalam tanah yang homogen dan isotropis melalui elektroda tunggal, arus akan menyebar ke segala arah, membentuk permukaan ekuipotensial yang berbentuk setengah bola Telford (1990).

2.3.2 Konfigurasi Elektroda

Pengukuran nilai tahanan jenis batuan di lapangan secara umum dengan cara memasukkan arus listrik buatan ke bumi dengan kontak galvanis. Umumnya mempergunakan empat elektroda terminal, di mana arus dimasukkan lewat sepasang elektroda arus, sedangkan dua buah elektroda yang lain untuk mengukur beda potensial. Susunan elektroda tersebut akan menentukan besarnya faktor geometri (K) sehingga setiap aturan akan mempunyai faktor geometri yang berbeda terhadap aturan yang lain. Sesuatu besaran yang berfungsi sebagai faktor geometri.

Persamaan umum dari sebuah jenis konfigurasi elektroda:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

Keterangan:

ρ = apparent resistivity ($\Omega \cdot m$)

K = faktor geometri

V = beda potensial terukur (mV)

I = besarnya arus yang diberikan (mA)

2.3.3 Konfigurasi Wenner

Menurut Rivera, 2012 konfigurasi Wenner dikembangkan oleh Werner di Amerika yang keempat buah elektrodanya terletak dalam suatu garis dan simetris terhadap titik tengah. Jarak P1P2 pada konfigurasi Wenner selalu sepertiga (1/3) jarak C1C2. keunggulan dari konfigurasi Wenner ini adalah ketelitian pembacaan tegangan pada elektroda P1P2 lebih baik dengan angka yang relatif besar karena elektroda P1P2 yang relatif dekat dengan elektroda C1C2. Jarak masing-masing elektroda dapat dihitung menggunakan rumus pada:

$$r_1=r_4=a \text{ dan } r_2=r_3=2a$$

Keterangan:

- r1 : Jarak antara C1 dan P1 (m)
- r2 : Jarak antara C2 dan P1 (m)
- r3 : Jarak antara C1 dan P2 (m)
- r4 : Jarak antara C2 dan P2 (m)

2.3.4 Sifat Kelistrikan Batuan

Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan dalam menghantarkan arus listrik. Batuan dapat dianggap sebagai medium listrik seperti pada kawat penghantar listrik, sehingga mempunyai resistivitas. Resistivitas batuan adalah hambatan dari batuan terhadap aliran listrik. Resistivitas batuan dipengaruhi oleh porositas, kadar air, dan mineral.

2.3.5 Teknik Pengukuran Geolistrik 2D

Survei resistivity dilakukan dengan teknik pengukuran 2 dimensi (profiling) menggunakan konfigurasi wenner schlumberger. Metode ini disebut juga dengan metode mapping, digunakan untuk menentukan distribusi resistivitas semu secara vertikal per kedalaman.

Pengukurannya dilakukan dengan memasang elektroda arus dan potensial pada satu garis lurus dengan spasi tetap, kemudian semua elektroda dipindahkan atau digeser sepanjang permukaan sesuai dengan arah yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk setiap posisi elektroda akan didapatkan harga tahanan jenis semu.

2.4 Software Res2DINV

Res2DInv adalah perangkat lunak yang digunakan dalam pemrosesan dan inversi data geolistrik resistivitas 2D. Dikembangkan oleh *Geotomo Software*, software ini memungkinkan pengguna untuk mengubah data resistivitas semu dari hasil pengukuran lapangan menjadi model resistivitas sebenarnya. Dengan menggunakan algoritma *Least-Squares Smoothness-Constrained Inversion (LS-SCI)*, Res2DInv dapat menghasilkan model bawah permukaan yang lebih akurat.

2.5 Model Penampang 2D

Model penampang target pengukuran merupakan suatu asumsi, sehingga harus dilakukan penyusunan banyak parameter untuk mencapai model yang optimum berdasarkan data lapangan. Pemodelan penampang resistivitas bawah permukaan gua dilakukan dengan perangkat lunak Res2DInv yang menggunakan dasar metode inversi kuadrat terkecil beda hingga. Menurut (Nanang Dwi, 2009).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer

diperoleh melalui pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan berupa data geolistrik, yaitu resistivitas batuan untuk mengidentifikasi karakteristik geologi daerah penelitian. Dalam penelitian ini dilakukan 5 lintasan dengan jumlah elektroda sebanyak 48 buah. Jarak elektroda setiap masing-masing lintasan 2 m dan 3 m. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari penelitian sebelumnya untuk mendapatkan Peta Topografi, Peta 3D terowongan dan penampang (Profil terowongan), yang dipakai dalam penelitian ini untuk menentukan panjang dan jumlah lintasan, jalur bentangan, dan spasi (jarak elektroda).

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.8 untuk membuat peta kontur berdasarkan data Digital Elevation Model (DEM) kawasan penelitian.

Pengolahan Data Geolistrik 2D, Data hasil pengukuran geolistrik dimasukkan kedalam Ms. Excel kemudian melakukan pengolahan data dimulai dengan membagi nilai V dengan nilai I untuk menghasilkan nilai R. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai K atau faktor geometri dengan mengalikan 2π dengan jarak atau spasi elektroda (a). Selanjutnya menghitung nilai dengan mengalikan nilai dengan R.

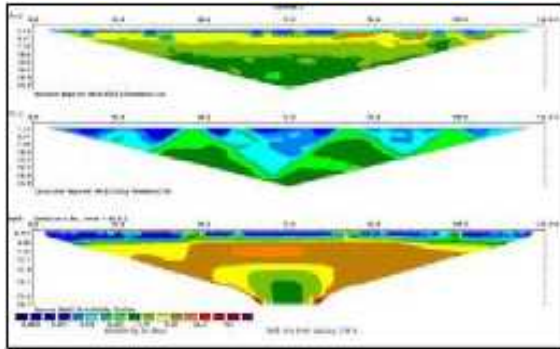
Setelah didapat nilai maka dilanjutkan dengan menghitung nilai DP (Datum Point) dan kedalaman

(Z). Dari data-data yang telah diperoleh dari *microsoft excel* dipindahkan ke *Notepad* untuk disimpan dengan format data agar dapat terbaca dalam *software Res2dinv*. Setelah masuk ke Res2dinv dimasukkan file *notepad* agar dilakukan proses *read data file*. Selanjutnya akan dilakukan inversi agar muncul 3 section yang menunjukkan *Measured Apparent Resistivity*, yaitu nilai resistivitas semu yang terukur di lapangan. Tahap kedua menunjukkan *Calculated Apparent Resistivity*, yaitu tampilan resistivitas semu hasil perhitungan, *gridding* dan seleksi datum yang buruk. Tahap ketiga merupakan tampilan True Resistivity yang diambil berdasarkan *Calculated Apparent Resistivity* yang merupakan perhitungan tahanan jenis sebenarnya di lapangan.

Dari *microsoft excel* dipindahkan ke *Notepad* untuk disimpan dengan format data agar dapat terbaca dalam *software Res2dinv*. Setelah masuk ke Res2dinv dimasukkan file *notepad* agar dilakukan proses *read data file*. Selanjutnya akan dilakukan inversi agar muncul 3 section yang menunjukkan *Measured Apparent Resistivity*, yaitu nilai resistivitas semu yang terukur di lapangan. Tahap kedua menunjukkan *Calculated*

4.1.4 Lintasan 2

Pengukuran geolistrik pada lintasan 2 dilakukan dengan panjang bentangan kabel 144 meter di permukaan tanah dan berhasil melakukan penetrasi pembacaan gambaran di bawah permukaan tanah sampai dengan 28,7 meter. Data pengukuran geolistrik diolah menggunakan *Software* Res2dinv untuk menghasilkan 3 penampang.



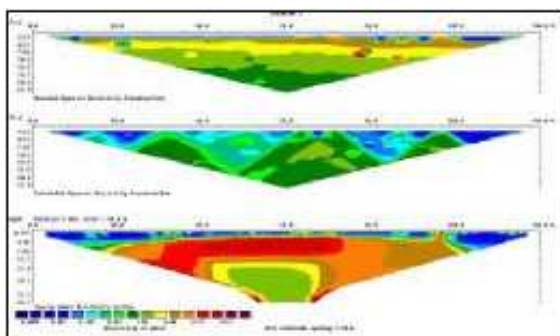
Gambar 3. Penampang Lintasan 2

Tabel 4. Resistivitas Lintasan 2

No	Resistivitas	Warna	Interpretasi
1	10-100	Blue	Tanah
2	100-1000	Green	Ngal
3	1000-10000	Red	Umpung

4.1.5 Lintasan 3

Pengukuran geolistrik pada lintasan 3 dilakukan dengan panjang bentangan kabel 48 meter di permukaan tanah dan berhasil melakukan penetrasi pembacaan gambaran di bawah permukaan tanah sampai dengan 27,8 meter. Data pengukuran geolistrik diolah menggunakan *Software* Res2dinv untuk menghasilkan 3 penampang.



Gambar 4. Penampang Lintasan 3

Tabel 5. Resistivitas Lintasan 3

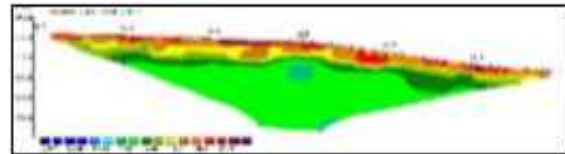
No	Resistivitas	Warna	Interpretasi
1	10-100	Blue	Tanah
2	100-1000	Green	Ngal
3	1000-10000	Red	Umpung

4.2 Hasil Interpretasi Di Terowongan Gudang Minyak

Dengan menggunakan data topografi dari elektroda setiap lintasan, penampang hasil olahan *Software* Res2dinv juga dapat disajikan dengan kondisi topografinya (penampang keempat).

4.2.1 Lintasan 1

Pengukuran geolistrik pada lintasan 1 dilakukan dengan panjang bentangan kabel 96 meter di permukaan tanah dan berhasil melakukan penetrasi pembacaan gambaran di bawah permukaan tanah sampai dengan 19,1 meter.



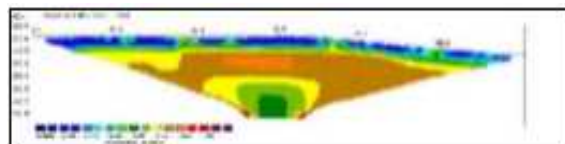
Gambar 5. Penampang Lintasan 1

Tabel 6. Resistivitas Lintasan 1

No	Resistivitas	Warna	Interpretasi
1	10-100	Blue	Tanah
2	100-1000	Green	Ngal
3	1000-10000	Red	Umpung

4.2.2 Lintasan 2

Pengukuran geolistrik pada lintasan 2 dilakukan dengan panjang bentangan kabel 144 meter di permukaan tanah dan berhasil melakukan penetrasi pembacaan gambaran di bawah permukaan tanah sampai dengan 28,7 meter.



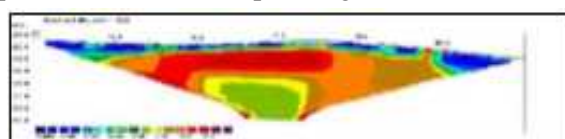
Gambar 6. Penampang Lintasan 2

Tabel 7. Resistivitas Lintasan 2

No	Resistivitas	Warna	Interpretasi
1	10-100	Blue	Tanah
2	100-1000	Green	Ngal
3	1000-10000	Red	Umpung









4.2.3 Lintasan 3

Pengukuran geolistrik pada lintasan 3 dilakukan dengan panjang bentangan kabel 144 meter di permukaan tanah dan berhasil melakukan penetrasi pembacaan gambaran di bawah permukaan tanah sampai dengan 27,8 meter.



Gambar 7. Penampang Lintasan 3

Tabel 8. Resistivitas Lintasan 3

No	Resistivitas ohm.m	Warna	Interpretasi
1	100000		Salinitas
2	10000		Salinitas
3	1000		Salinitas
4	100		Salinitas
5	10		Salinitas
6	1		Salinitas
7	0.1		Salinitas
8	0.01		Salinitas

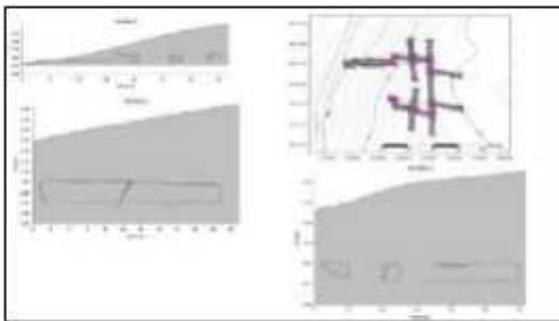
4.8 Perbandingan Hasil Antara penampang 2D dan Hasil Pemetaan Menggunakan Total Station 3D Terowongan dan Profil

Hasil perbandingan antara penampang geolistrik 2D dan pemetaan 3D terowongan menggunakan alat Total Station menunjukkan berbeda. Indikasi anomali resistivitas tinggi pada hasil inversi 2D, yang mengarah pada dugaan adanya terowongan, berada pada lokasi dan kedalaman yang hampir sama dengan hasil pengukuran langsung. Bentuk serta arah terowongan yang ditafsirkan dari data geolistrik juga tidak selaras dengan dimensi geometris hasil pemetaan.



Gambar 8. Tampak Mesh Dari Atas

4.8.1 Pemetaan Menggunakan Total Station 3D Terowongan dan Profil

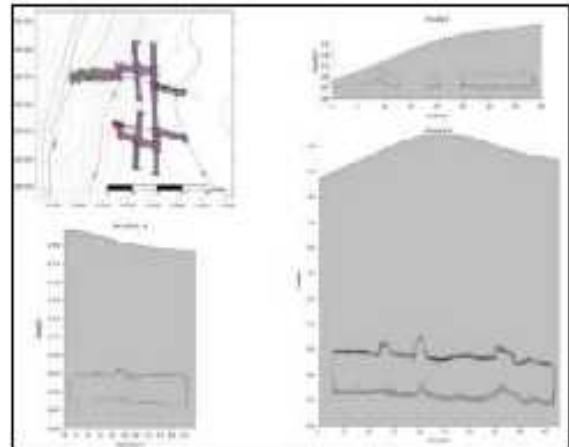


Sumber: Anthonyo, 2024

Gambar 9. Profil 1, 2 dan 3

Dari gambar profil 1 di atas, terlihat bahwa lubang terowongan atau akses masuk ke

terowongan terletak pada elevasi 267 mdpl, sedangkan ketinggian terowongan berada pada elevasi 269. Dengan demikian, tinggi terowongan ini kurang lebih mencapai 2 meter, dan ketebalan dari atas bukit menuju ke dalam terowongan berkisar antara elevasi 269 hingga elevasi tertinggi, yaitu 275 mdpl. Dari gambar profil 2 di atas menunjukkan kalau lubang terowongan berada di elevasi 267 dan ketinggian terowongan di ketinggian atau elevasi 269 Mdpl. Tebal dari bukit ke terowongan berdasarkan profil 2 yaitu dari 269 sampai yang paling tinggi yaitu 276 Mdpl. Pada gambar profil ketiga di atas, lubang terowongan terlihat di ketinggian 267, dan tingginya 269 meter di atas permukaan laut. Ketebalan dari bukit menuju terowongan berdasarkan profil 3 adalah dari elevasi terendah sebesar 269 hingga ketebalan tertinggi yaitu 277 Mdpl.



Sumber: Anthonyo, 2024

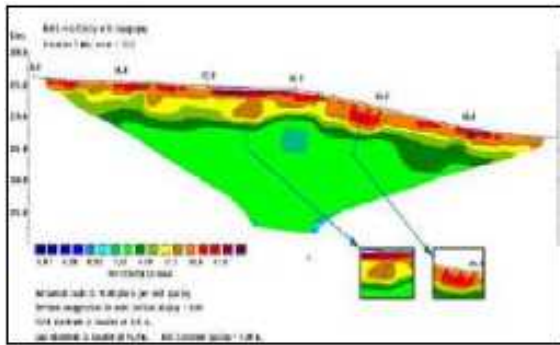
Gambar 10. Profil 4, 5, dan 6

Dilihat dari gambar profil 4 di atas menunjukkan bahwa lubang terowongan terletak pada elevasi 267, sedangkan ketinggian atau elevasi terowongan adalah 269 Mdpl. Ketebalan dari bukit ke terowongan berdasarkan profil 4 adalah dari elevasi terendah 269 Mdpl hingga ketebalan tertinggi 277 Mdpl. Dari gambar profil 5 di atas menunjukkan kalau lubang terowongan berada di elevasi 267 dan ketinggian atau elevasi dari terowongan yaitu 269 Mdpl. Tebal dari bukit ke terowongan berdasarkan profil 5 yaitu dari elevasi terendah di 269 sampai tebal yang paling tinggi yaitu 276 Mdpl.

Dari gambar profil 6 di atas menunjukkan kalau lubang terowongan berada di elevasi 267 dan ketinggian atau elevasi dari terowongan yaitu 269 Mdpl. Tebal dari bukit ke terowongan berdasarkan profil 6 yaitu dari elevasi terendah di 269 sampai tebal yang paling tinggi yaitu 277 Mdpl.

4.8.2 Penampang 2D Res2dinv Lintasan 1

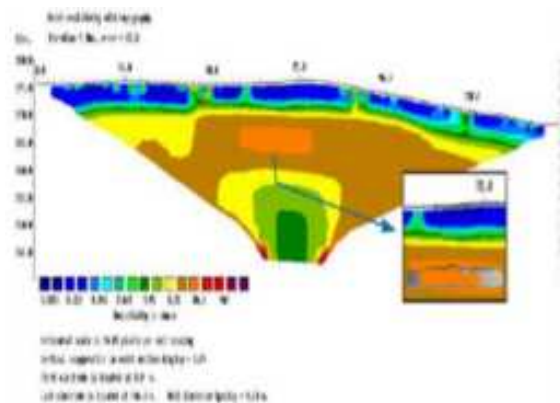
Perbandingan antara 3D terowongan profil permukaan dan penampang 2D mengindikasikan bahwa keberadaan terowongan belum sepenuhnya terkonfirmasi, terlihat dari anomali resistivitas tinggi pada elektroda 21–22 di area pintu keluar dan elektroda 30–31 di sisi pintu masuk. Indikasi ini menunjukkan kemungkinan posisi terowongan berada pada kedalaman sekitar 4 meter dari permukaan tanah, dengan elevasi ± 271 mdpl.



Gambar 11. Penampang Lintasan 1

4.8.3 Penampang 2D Res2dinv Lintasan 2

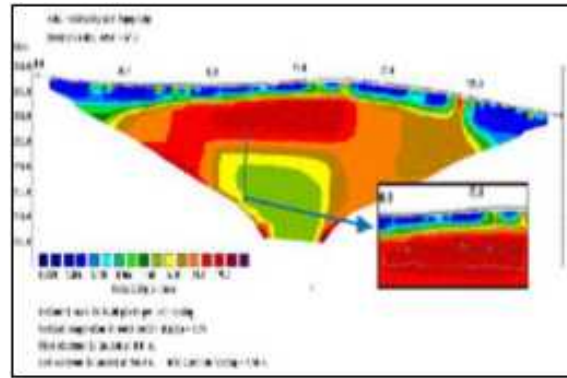
Berdasarkan perbandingan 3D terowongan dan profil dan penampang 2D, teridentifikasi bahwa keberadaan terowongan belum sepenuhnya konsisten, yang ditunjukkan oleh munculnya anomali resistivitas tinggi pada rentang elektroda 16 hingga 26. Terowongan diperkirakan berada pada kedalaman sekitar 7 meter dari permukaan tanah, dengan elevasi dasar mencapai 265 meter di atas permukaan laut (mdpl).



Gambar 12. Penampang Lintasan 2

4.8.4 Penampang 2D Res2dinv Lintasan 3

Ada indikasi ketidaksesuaian posisi terowongan berdasarkan perbandingan antara 3D terowongan dan profil permukaan dan penampang 2D, yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas tinggi pada rentang elektroda 16–26. Lokasi terowongan diperkirakan berada pada kedalaman sekitar 7,85 meter dari permukaan tanah, dengan elevasi dasar mencapai 267,5 meter di atas permukaan laut (mdpl).



Gambar 13. Penampang Lintasan 3

KESIMPULAN

Berdasarkan pengukuran geolistrik yang dilakukan sebanyak 5 lintasan di kawasan Terowongan Bonen, setiap lintasan pengukuran dapat melakukan penetrasi dan pembacaan gambaran bawah permukaan tanah hingga kedalaman 19,1m dan 28,7 m.

Berdasarkan hasil pengolahan dan interpretasi data geolistrik 2D metode Wenner dengan bantuan perangkat lunak Res2Dinv pada lima lintasan, diperoleh gambaran bawah permukaan berupa variasi nilai resistivitas yang mengindikasikan keberadaan terowongan. Anomali resistivitas terdeteksi pada beberapa titik elektroda, menunjukkan adanya rongga atau ruang kosong. Perbandingan antara penampang 2D geolistrik dan pemetaan 3D Total Station menunjukkan bahwa indikasi terowongan terdeteksi pada beberapa lintasan melalui anomali resistivitas tinggi pada kedalaman 4 –7,85 meter. Meskipun bentuk dan arah tidak sepenuhnya sesuai, lokasi dan elevasi anomali cukup konsisten dengan data lapangan, sehingga metode geolistrik efektif sebagai deteksi awal keberadaan terowongan bawah tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada bapak Noni Banunaek ST., MT dan ibu Ika F. Krisnawati, S.Si., M.Sc, atas bimbingan dan dukungan yang telah diberikan selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardi, N. D., & Iryanti, M. (2009). Profil Resistivitas 2D pada Gua Bawah Tanah dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger (Studi Kasus Gua Dago Pakar, Bandung).
- Aryaseta, B., Wardhani, P. C., & Zainab, S. (2022). Studi Eksperimental Sifat Fisik dan Mekanik Batu Gamping. *KERN: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 8(1), 37-42

- Fadhlan. 2022. "Karakteristik dan Penentuan Umur Batuan Napal Berdasarkan Kesebandingan dengan Formasi Lengkong." *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 10, No. 2, hlm. 123–135.
- Rahardjo, Paulus P. 2004. Teknik Konstruksi dan Metode Pelaksanaan. Jakarta: Andi.
- Rori, S. V., Balamba, S., & Sarajar, A. N. (2017). Analisa Tanah pada Buka-an Terowongan (Studi Kasus: Terowongan Kawasan Green Hill, Malendeng).
- Santie, P. A. W. (2019). Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas 2D dan Analisis XRF untuk Identifikasi Paleochannel di Desa Terung Wetan, Krian, Sidoarjo.
- Suparno dan Endy. 2005. *Ilmu Ukur Tanah*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional.
- Tolan, V. M. (2024). Pemetaan Hidrogeologi dan Ketersediaan Air Tanah di Desa Nobi-Nobi, Kecamatan Amanuban Tengah, Kabupaten Timor Tengah Selatan.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R. E. 1990. *Geofisika Terapan*. Edisi Kedua. Terjemahan. Jakarta: Penerbit ITB.