

**IDENTIFIKASI ZONA AKUIFER DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE TAHANAN JENIS (*RESISTIVITY*) KONFIGURASI DIPOLE-  
DIPOLE DI KOTA MANOKWARI, PAPUA BARAT**  
(*Aquifer Zone Identification Using the Dipole-Dipole Configuration Resistivity Method in  
Manokwari, West Papua*)

**Ahmad Musyafa, Tobias T Tukan, Khristian Enggar Pamuji**

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Papua, Jln. Gunung Salju Amban,  
Manokwari 98314, Telp. (0986) 215938, Fax. (0986) 213089.

Email: [k\\_enggar\\_p@yahoo.com](mailto:k_enggar_p@yahoo.com)

### ABSTRAK

Penelitian untuk mengidentifikasi keberadaan zona akuifer di Kota Manokwari Provinsi Papua telah dilakukan menggunakan metode Tahanan Jenis (*resistivity*) konfigurasi dipole-dipole. Lokasi penelitian berada pada satuan fisiografi Terumbu Karang Terangkat. Akuisisi data dilakukan pada 15 lintasan. Panjang masing-masing lintasan survei bervariasi dari 80 m sampai dengan 200 m, dengan spasi elektroda antara 10 sampai dengan 25 m. Hasil penelitian didapatkan bahwa nilai tahanan jenis yang bervariasi, mulai dari yang terendah yakni 9  $\Omega\text{m}$  sampai yang tertinggi 11.954  $\Omega\text{m}$ . Variasi tahanan jenis tersebut dipengaruhi oleh kondisi geologi, khususnya kondisi fisiografi Kota Manokwari yang berupa Terumbu Karang Terangkat. Akibat fisiografi tersebut, keberadaan akuifer tersebar tidak merata. Di beberapa lokasi penelitian, zona akuifer dapat dijumpai pada kedalaman 2 meter sampai 60an meter, namun demikian, keberadaan zona akuifer tidak terdeteksi di semua lokasi penelitian.

**Kata kunci:** Metode Geolistrik Resistivitas, Konfigurasi Dipole-dipole, Akuifer, Tahanan Jenis Karst

### PENDAHULUAN

Kota Manokwari sebagai pusat pemerintahan Provinsi Papua Barat, mengalami pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi. Menurut data BPS, dari tahun 2005-2020, laju pertumbuhan penduduk Manokwari mencapai 4.02 % (BPS, 2022). Peningkatan jumlah penduduk di Kota Manokwari mempengaruhi daya dukung lingkungannya. Keterbatasan sumber daya air tentunya akan menjadi pembatas utama dukungan lingkungan bagi aktivitas manusia di Kota Manokwari.

Keberadaan Kota Manokwari yang berada pada satuan fisiografi Terumbu Karang Terangkat dan Lintap Gisik. Menurut Robinson dan Pieters (1990), daerah fisiografi ini sebagian besar berupa terumbu karang yang terangkat akibat proses tektonik, yang kemudian membentuk perbukitan licin yang cukup luas dan khas, dengan ketinggian 1 mdpl hingga 290 m dpl. Kondisi seperti ini menyebabkan sumber air di Kota Manokwari terdistribusi tidak

merata. Akuifer pada daerah karst atau daerah gamping terumbu, memiliki sistem *conduit*. Sistem ini dicirikan dengan permeabilitas sangat kecil, dikontrol oleh lapisan di atasnya, dan alirannya membentuk Lorong-lorong (Bonacci, 1990).

Survey geolistrik tahanan jenis (*resistivity*) untuk mengetahui keberadaan zona akuifer di daerah karst telah lama dilakukan. Pengukuran geolistrik tahanan jenis (*resistivity*) dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik ke bumi, kemudian mengamati pengaruhnya dipermukaan bumi. Metode ini memiliki tujuan untuk mengetahui sifat kelistrikan (daya hantar listrik dan hambatan/tahanan listrik) dari suatu medium di bawah permukaan bumi (Todd, 1980).

Survei tahanan jenis akan memberikan gambaran tentang sebaran nilai tahanan jenis bawah permukaan. Nilai tahanan jenis ini berhubungan erat dengan kondisi fisik batuan dibawahnya. Nilai tahanan jenis batuan dipengaruhi oleh

mineral penyusun batuan, pori-pori batuan dan material yang mengisi pori-pori tersebut, serta dipengaruhi oleh banyak sedikitnya electron bebas pada batuan (Telford dkk, 1990).

Identifikasi zona akuifer di Kota Manokwari dilakukan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis (*resistivity*) konfigurasi dipole-dipole. Metode tahanan jenis (*resistivity*) dengan konfigurasi dipole-dipole dipilih karena konfigurasi ini dapat memberikan gambaran tahanan jenis baik ke arah vertikal maupun ke arah horizontal.

**METODE PENELITIAN**

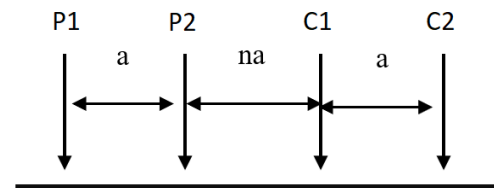
Penelitian ini dilakukan pada tanggal 25 juli 2021 sampai dengan 5 februari 2022, di 7 lokasi yang tersebar di Kota Manokwari yaitu Amban, Fanindi, Swapen, Reremi, Sowi, Soribo dan Sowi gunung (Gambar 2).

Metode geolistrik merupakan metode geofisika yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan akuifer. Salah satu metode geolistrik yang paling banyak digunakan untuk tujuan tersebut adalah metode tahanan jenis (*resistivity*). Kontras tahanan jenis antara target dan medium disekitarnya sangat mempengaruhi keberhasilan metode tahanan jenis (*resistivity*) (Bhattacharya, 1968).

Penelitian ini menggunakan metode geolistrik tahanan jenis (*resistivity*) dengan konfigurasi dipole - dipole.

Konfigurasi ini menggunakan dua buah elektroda arus (C1 dan C2) yang terpisah sejauh a, dan dua buah elektroda potensial (P1 dan P2) yang juga terpisah sejauh a. Antara elektroda arus dan elektroda potensial terdekat (P2 dan C1) dipisahkan sejauh na, dengan n adalah bilangan bulat (Waluyo, 2000). Skema konfigurasi dipole-dipole dapat dilihat pada gambar 1. Untuk mendapatkan nilai tahanan jenis dari berbagai kedalaman, nilai n divariasikan ( $n=1, 2, 3, 4, dst$ ), semakin besar n, maka semakin dalam titik yang akan diukur nilai tahanan jenisnya. Besarnya a dan variasi n akan mempengaruhi tingkat

sensitivitas jangkauan pada konfigurasi dipole-dipole (Loke, 1999 dalam Andriyani.S dkk, 2010).



Gambar 1. Skema konfigurasi dipole-dipole

Prinsip kerja dari metode geolistrik resistivity konfigurasi dipole-dipole yaitu dengan mengalirkan arus ke dalam tanah melalui dua elektroda arus (C1 dan C2), kemudian beda potensial diukur dengan dua elektrodapotensial (P1 dan P2). Nilai arus listrik yang diijeksikan dan nilai beda potensial yang didapat kemudian dikalikan dengan factor geometri.

Faktor geometri pada konfigurasi elektroda dipole-dipole :

$$K = 2\pi \left( \frac{1}{r1} - \frac{1}{r2} - \frac{1}{r3} + \frac{1}{r4} \right)^{-1}$$

$$= 2\pi \left( \frac{1}{na} - \frac{1}{a+na} - \frac{1}{a+na} + \frac{1}{2a+na} \right)^{-1}$$

$$= 2\pi \left( \frac{1}{na} - \frac{2}{a+na} + \frac{1}{2a+na} \right)^{-1}$$

$$K = \pi a n (1+n)(2+n)$$

Keterangan :

- K : Faktor geometri
- a : spasi antar elektroda
- n : konstanta

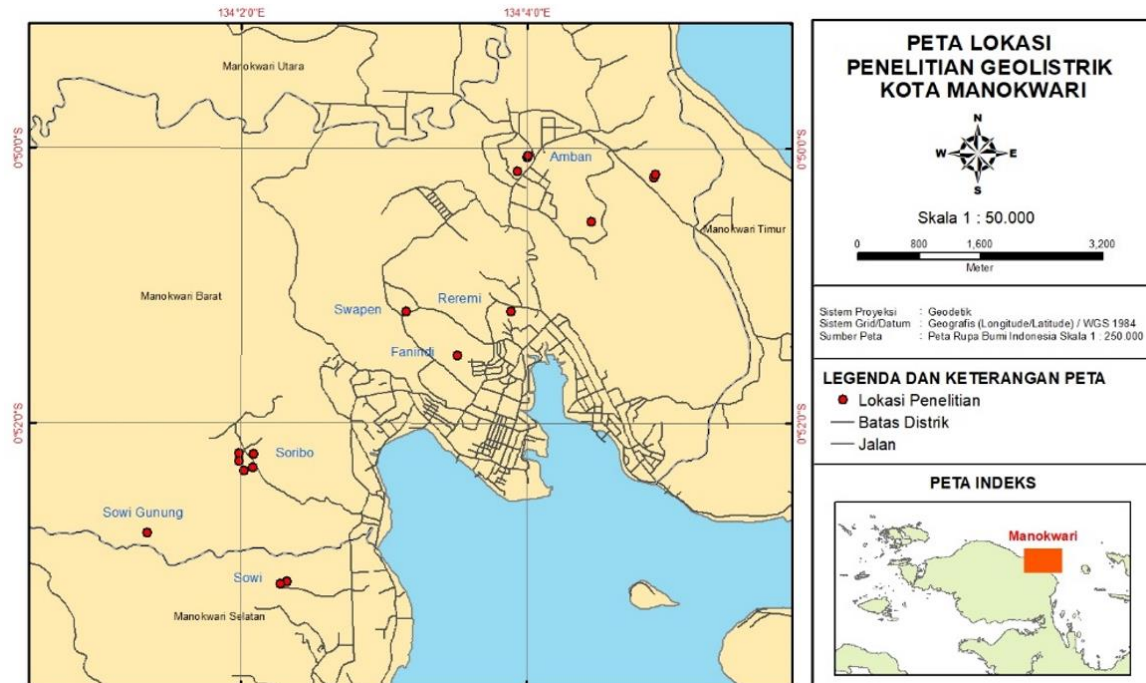
Kemudian untuk mendapatkan nilai resistivitas semu ( $\rho_a$ ) digunakan persamaan di bawah ini.

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

Keterangan :

- $\rho_a$  : Tahanan semu ( $\Omega m$ )
- K : Faktor geometri
- $\Delta V$  : Beda potensial pada MN (V)
- I : Kuat arus (A)

Nilai tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) yang diperoleh dari survei, diolah menggunakan *Res2Dinv* untuk mendapatkan model tahanan jenis di tiap lintasan. Untuk mendapatkan zona akuifer, model tersebut diinterpretasi dengan dukungan informasi geologi.



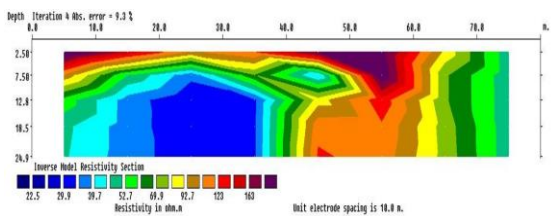
Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

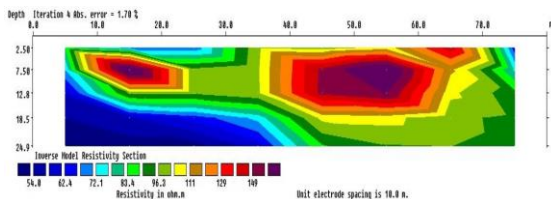
Geohidrologi di daerah gamping atau karst memiliki batasan yang terkait ketersediaan air tanah yaitu akuifer (aquifer), akiklud (aquiclude), dan akuitard (aquitard) (Sudarmadji, 2013).

**Lokasi Amban**

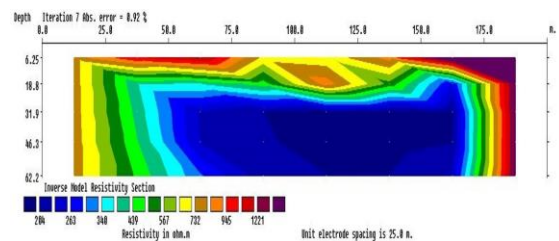
Akuisisi data pada lokasi amban terdiri dari 6 lintasan. Lintasan – lintasan tersebut memiliki panjang antara 80 - 200 meter, dengan jarak antar elektroda antara 10 - 25 meter. Hasil pengolahan data lintasan 1 sampai lintasan 6 dapat dilihat pada gambar 3 sampai dengan gambar 8.



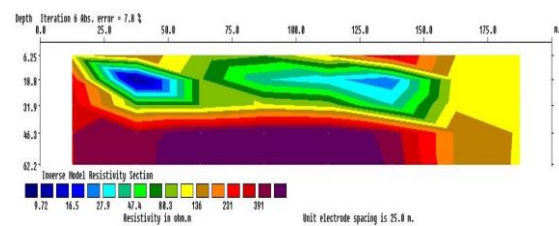
Gambar 3. Lintasan Amban 1



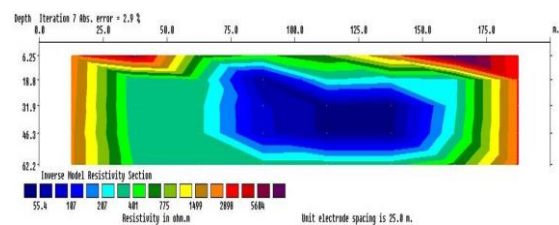
Gambar 4. Lintasan Amban 2



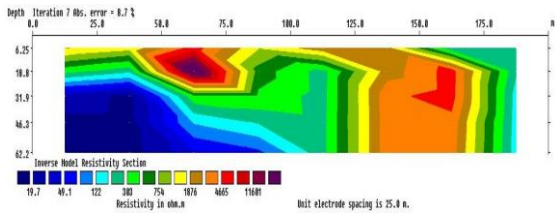
Gambar 5. Lintasan Amban 3



Gambar 6. Lintasan Amban 4



Gambar 7. Lintasan Amban 5



Gambar 8. Lintasan Amban 6

Akuifer di daerah batu gamping terumbu atau karst berbeda dari aquifer bukan karst. Perbedaan dapat terlihat dengan munculnya jaringan-jaringan atau lorong-lorong yang memiliki bentuk tidak beraturan yang saling berhubungan atau berintegrasi satu dengan lainnya.

Selain itu akuifer karst juga memiliki ciri khas jika dilihat dari porositasnya. Pada akuifer karst seringkali dijumpai tiga jenis porositas sekaligus, yakni intergranuler atau porositas matriks (pori-pori antar

butir), porositas rongga, dan porositas retakan (Kusumayudha, 2004 dalam Arhananta dkk).

Gambar 3 sampai dengan gambar 8 memperlihatkan penampang melintang model tahanan jenis di setiap lintasan. Tampak jelas bahwa variasi tahanan jenis ke arah lateral dan vertikal sangat bervariasi. Nilai tahanan jenis bervariasi dari yang terendah 9 Ωm sampai yang tertinggi 11681 Ωm.

Berdasarkan informasi geologi dan kondisi lapangan, lokasi penelitian merupakan batu gamping terumbu, hal inilah yang menyebabkan nilai tahanan jenis lateral sangat bervariasi. Keberadaan zona akuifer ditandai oleh nilai tahanan jenis yang rendah. Keberadaan dan kedalaman zona akuifer di lokasi Amban dapat dilihat pada tabel 1.

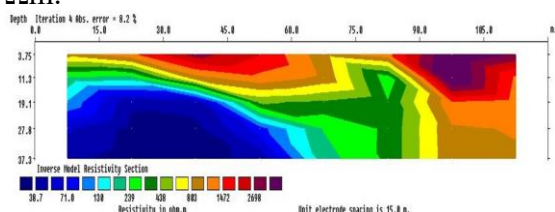
Tabel 1. Nilai Tahanan Jenis dan Perkiraan letak zona akuifer pada setiap lintasan di Amban

Koordinat Lintasan	Arah	Nilai resistivitas (Ωm)	Error (%)	Spasi elektroda (m)	Panjang lintasan (m)	Kedalaman	Jarak
0°50'12.91"S & 134°4'52.72" E	N 51° E	22.5-165	9.3	10	80	10-24m	19-36m
0°50'11.57"S & 134°4'53.64"E	N 51°E	54.8-149	1.7	10	80	7,6-24m	0-35m
0°50'32.00"S & 134°4'26.47" E	N 172° E	204-1221	8.9	25	200	tidak terdeteksi	
0°50'10.31" S & 134°3'30.34" E	N 32°E	9.72-391	7.8	25	200	7-19m	26-50m
0°50'03.92"S & 134°3'59.06" E	N 142°E	55.4-5604	2.9	25	200	6,2-60m	70-160m
0°50'3.24" S & 134°3'59.91" E	N 127°E	19.7-11681	8.7	25	200	30-62m	0-97m

Gambar 9. Lintasan Fanindi

**Lokasi Fanindi**

Lokasi pengukuran geolistrik berada pada koordinat 0°51'30.56" S dan 134°3'30.34" E. Akuisisi data pada lokasi Fanindi terdiri dari 1 lintasan sepanjang 120 m dengan jarak antar elektroda sebesar 15 m dan arah N 7°E. Penampang tahanan jenis hasil inversi lintasan Fanindi dengan 4 kali iterasi dan nilai *RMS error* sebesar 8,2% dapat dilihat pada gambar 9. Hasil pengukuran dan pengolahan data diperoleh nilai tahanan jenis batuan berkisar 48 –1345 Ωm.

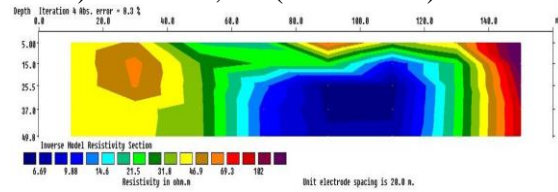


Dari gambar tersebut dapat dilihat pula lapisan batuan yang memiliki nilai tahanan jenis berkisar 450-3000 Ωm merupakan batuan gamping, seperti pada kedalaman kurang lebih 0-11 m yang berada pada jarak 0-100 m. Selanjutnya lapisan batuan yang memiliki nilai tahanan jenis berkisar 130-240 Ωm merupakan lapisan batuan alluvium yang berada diatas batu gamping. Akuifer diperkirakan memiliki nilai tahanan jenis 20 -70 Ωm (warna biru tua) dan diperkirakan terletak pada jarak 15 -30 m dari titik awal dan di kedalaman 27 m.

**Lokasi Swapen**

Di lokasi swapen, data tahanan jenis diambil di satu lintasan sepanjang 160 m,

dengan jarak antar elektroda sebesar 20 m. Lintasan tersebut berada pada koordinat 0°51'11.50" S dan 134°3'8.95" E dengan arah N 51°E. Penampang tahanan jenis hasil pengolahan data memiliki kesalahan (*RMS error*) sebesar 8,3% (Gambar 10).

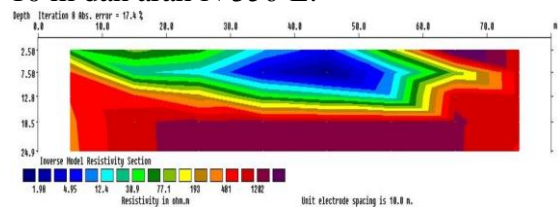


Gambar 10. Lintasan Swapan

Dari gambar 8 dapat dilihat lapisan batuan yang memiliki nilai tahanan jenis berkisar 50-300 Ωm. Menurut informasi geologi lokasi pengambilan data didominasi oleh batuan gamping. Keberadaan zona akuifer diperkirakan berada pada jarak 100-120 m dari titik nol dan pada kedalaman 25-30 m (warna biru tua).

**Lokasi Reremi**

Di lokasi Reremi, data tahanan jenis diambil pada koordinat 0°51'11.50" S dan 134°03'52.9" E, memiliki panjang lintasan 80 m, dengan jarak antar elektroda sebesar 10 m dan arah N 356°E.



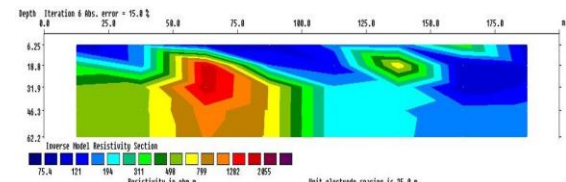
Gambar 11. Lintasan Reremi

Penampang tahanan jenis hasil pengolahan data memiliki kesalahan (*RMS error*) yang cukup tinggi, yakni sebesar 17,4%. Penampang tersebut menunjukkan bahwa variasi nilai tahanan jenis bekisar antara 2 – 1300 Ωm. Nilai tahanan jenis rendah yang berasosiasi dengan zona akuifer dijumpai di kedalaman 7.5 – 12 m dan berjarak 40 m dari titik awal pengukuran

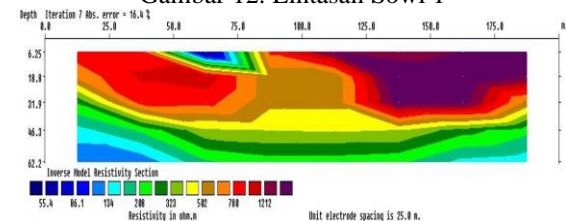
**Lokasi Sowi**

Akuisisi data pada lokasi Sowi terdiri dari 2 lintasan. Lintasan pertama memiliki panjang 200 meter dan memiliki jarak antar elektroda sejauh 25 meter, arah N 183°E

terletak pada koordinat 0°53'09.4" S dan 134°2'18.8" E. Sedangkan lintasan kedua sepanjang 200 m dengan jarak antar elektroda sepanjang 25 m arah N 177°E berada pada koordinat 0°53'10.37" S dan 134°2'15.98" E. Hasi pengolahan data dengan nilai kesalahan sebesar 15,0% pada lintasan 1 dan 16,0% pada lintasan 2 dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 12. Lintasan Sowi 1



Gambar 13. Lintasan Sowi 2

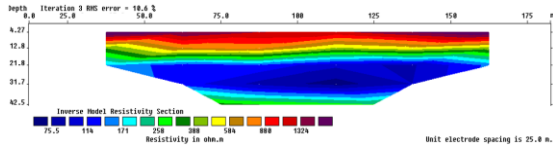
Dari informasi geologi, lokasi lintasan geolistrik di daerah Sowi masih didominasi batuan gamping yang di atasnya tertutup lapisan tanah alluvial. Pada lintasan 1 hanya terdeteksi zona aerasi. Zona aerasi merupakan zona dimana air dan udara mendominasi isi pori-pori tanah dalam jumlah yang berbeda-beda (Todd, 1980). Adanya gaya-gaya kapiler pada pori-pori yang kecil dan adanya gaya tarikan molekuler di sekitar partikel tanah akan menahan air yang melalui zona aerasi. Jika kapasitas retensi tanah pada zona ini telah habis, maka air akan bergerak ke bawah menuju pori-pori tanah atau batuan yang jenuh air. Zona ini disebut sebagai zona jenuh air (*zone of saturation*). Pada zona jenuh air inilah, air akan disebut sebagai air tanah (Linsley, 1985).

Pada lintasan ke dua tidak terdeteksi keberadaan akuifer. Hal ini terlihat pada nilai tahanan jenis yang lebih besar dari 100 Ωm dan mendominasi penampang tersebut.

**Lokasi Soribo**

Lokasi survei lintasan Soribo 1 terletak pada koordinat 0°52'16.37" S dan 134° 1'59.10" E (Titik Tengah Lintasan).

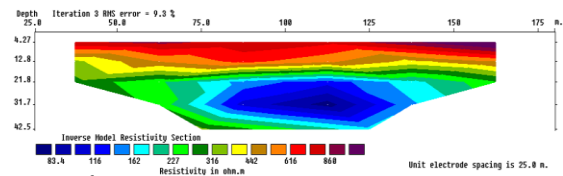
Lokasi ini berjarak  $\pm 1.7$  Km dari garis pantai dan memiliki elevasi 204 mdpl. Arah lintasan relatif barat daya - timur laut (N 850 E), dengan panjang bentangan 200 m, dan spasi elektroda 25 m.



Gambar 14. Lintasan Soribo 1

Dengan menggunakan *software Res2Dinv* hasil yang diperoleh memiliki kesalahan RMS sebesar 10.6%, Gambar 14. Nilai tahanan jenis ke arah lateral/horizontal tidak mengalami variasi/perbedaan yang signifikan. Nilai tahanan jenis mengalami variasi/perbedaan pada arah vertikal. Pada penampang *iso-resistivity* (batuan dengan tahanan jenis sama) bagian atas (kedalaman 0-21 m) nilai tahanan jenis cukup besar, yakni diatas 300  $\Omega$ m. Lapisan ini diduga merupakan lapisan batuan yang sedikit mengandung air atau kering. Mengingat di lokasi survey terdapat singkapan batu gamping, maka diyakini lapisan ini merupakan lapisan batu gamping. Resistivitas menurun (dibawah 100  $\Omega$ m) dan resistivitas terendah dijumpai mulai kedalaman 22 m (warna Biru tua) dan kemudian resistivitas kembali naik dibawah kedalaman 50 m. Sampai pada kedalaman dibawah 80 m, kecenderungan nilai resistivitas terus meningkat, tidak dijumpai nilai resistivitas yang lebih rendah yang mencirikan adanya akuifer. Lapisan yang banyak mengandung air berdasarkan penampang *iso-resistivity*, diperkirakan berada di kedalaman 40 – 50 m.

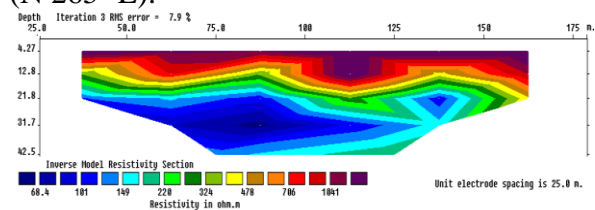
Lokasi survei lintasan Soribo 2 terletak di  $00^{\circ} 52' 21.3''$  S dan  $134^{\circ} 02' 01.6''$  E (Titik Tengah Lintasan). Lokasi ini juga terletak pada ketinggian 207 mdpl. Lintasan Soribo 2 hanya berjarak 100m dari lintasan Soribo 1. Panjang bentangan elektroda pada lintasan Soribo 2 adalah 200 m, spasi elektroda 25 m dan arah lintasan relatif timur laut – barat daya (N 265<sup>0</sup> E).



Gambar 15. Lintasan Soribo 2

Hasil penampang *iso-resistivity* dari pengolahan data dengan menggunakan *software Res2Dinv* memiliki kesalahan RMS 9.3%, seperti terlihat pada Gambar 15. Tidak dijumpai adanya variasi/perbedaan nilai tahanan jenis kearah lateral/horisontal yang signifikan. Sebaliknya, pada arah vertikal, nilai tahanan jenis mengalami variasi/perbedaan yang cukup mencolok. Pada bagian atas (kedalaman 0-21 m) nilai tahanan jenis terdeteksi cukup besar, yakni diatas 300  $\Omega$ m. Lapisan ini diduga kuat merupakan lapisan batuan mengandung sedikit air. Mengingat di lokasi survey terdapat singkapan batu gamping, maka diyakini lapisan ini merupakan lapisan batu gamping. Tahanan jenis menurun (dibawah 100  $\Omega$ m) dan tahanan jenis terendah dijumpai mulai kedalaman 30 m (warna Biru tua) dan kemudian tahanan jenis kembali naik dibawah kedalaman 50 m. Tidak dijumpai adanya nilai tahanan jenis yang lebih rendah sampai pada kedalaman dibawah 60 m, nilai tahanan jenis memiliki kecenderngan terus meningkat. Dari beberapa lapisan *iso-resistivity* tersebut terlihat bahwa keberadaan air diperkirakan dijumpai pada kedalaman 38 – 50 m.

Lokasi survei lintasan Soribo 3 terletak di  $00^{\circ} 52' 21.3''$  S dan  $134^{\circ} 02' 01.6''$  E (Titik Tengah Lintasan). Lokasi ini berada tidak jauh dari garis pantai,  $\pm 1.6$  Km dari pantai dan pada ketinggian 191 m dpl. Lintasan Soribo 3 memiliki panjang bentangan 200 m, spasi elektroda 25 m dan arah lintasan relatif timur laut - barat daya (N 265<sup>0</sup> E).

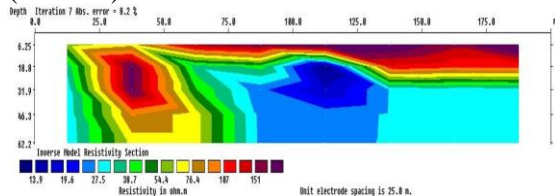


Gambar 16. Lintasan Soribo 3

Hasil pengolahan data memiliki kesalahan RMS 7.9 %, dapat dilihat pada Gambar 16. Nilai tahanan jenis tidak mengalami variasi yang signifikan ke arah lateral, sebaliknya variasi tahanan jenis secara signifikan terlihat pada arah vertikal. Pada kedalaman 0-21 m (bagian atas), nilai tahanan jenis terdeteksi cukup tinggi, yakni diatas 300  $\Omega\text{m}$ . Lapisan dengan tahanan jenis cukup tinggi diduga merupakan lapisan batuan yang tidak mengandung air (bukan akuifer). Mengingat di lokasi survei terdapat singkapan batu gamping, maka diyakini lapisan ini merupakan lapisan batu gamping. Tahanan jenis menurun (dibawah 100  $\Omega\text{m}$ ) dan tahanan jenis terendah dijumpai mulai kedalaman 28 m (warna biru tua) dan kemudian tahanan jenis kembali naik dibawah kedalaman 45 m. Sampai pada kedalaman dibawah 50 m, tidak dijumpai adanya lapisan akuifer, hal ini ditunjukkan oleh kecenderungan nilai tahanan jenis terus meningkat. Dari beberapa lapisan *iso-resistivity* tersebut terlihat bahwa keberadaan air diperkirakan dijumpai pada kedalaman 38 – 50 m.

### Loaksi Sowi gunung

Lokasi survei lintasan Sowi Gunung terletak pada koordinat  $0^{\circ}52'48.11''$  S dan  $134^{\circ}1'20.11''$  E. Lokasi ini berada pada daerah perbukitan dan memiliki ketinggian 457 m dpl. Lintasan Sowi memiliki spasi elektroda 25 m dengan panjang bentangan 200 m, dan arah lintasan relatif barat - timur ( $N 82^{\circ}E$ ).



Gambar 17. Lintasan Sowi Gunung

Pada gambar 17, terlihat hasil pengolahan data tahanan jenis dapat. Hasil pengolahan data tersebut memiliki kesalahan RMS sebesar 8.2 %. Dari gambar 17 dapat dilihat nilai tahanan jenis yang bervariasi dalam rentang antara 10-300  $\Omega\text{m}$ . Keberadaan akuifer dilihat dari nilai tahanan jenis yang rendah. Nilai tahanan

jenis rendah, berkisar antar 10-30  $\Omega\text{m}$ , terdeteksi berada pada jarak 100-125 dari titik nol di kedalaman 18-30m.

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di beberapa tempat di Kota Manokwari, didapatkan nilai tahanan jenis memiliki variasi/perbedaan, mulai dari yang terendah yakni 9  $\Omega\text{m}$  sampai yang tertinggi 11.954  $\Omega\text{m}$ . Variasi tahanan jenis tersebut dipengaruhi kondisi geologi, khususnya kondisi fisiografi Kota Manokwari yang berupa Terumbu Korall Terangkat (karst). Akibat fisiografi tersebut, keberadaan akuifer tersebar tidak merata. Di beberapa lokasi penelitian, zona akuifer dapat dijumpai pada kedalaman 2 meter sampai 60an meter, namun demikian, keberadaan zona akuifer tidak terdeteksi di semua lokasi penelitian.

### DAFTAR PUSTAKA

- Andriyani, S., Ramelan, A.R., Sartono. 2010. *Metode Geolistrik Imaging Konfigurasi Dipole-Dipole Digunakan Untuk Penelusuran Sistem Sungai Bawah Tanah Pada Kawasan Karst Di Pacitan, Jawa Timur*. Jurnal Ekosains. No.1 Vol.2.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Manokwari. 2022. <https://manokwarikab.bps.go.id/subject/12/kependudukan.html#subjekViewTab3>
- Bhattacharya, P. K., & Patra. 1968. *Methods in Geochemistry and Geophysics*. London: Elsevier Publishing Company.
- Bonacci, O., 1990. Regionalization in Karst Regions. Proceedings of the Ljubljana. Symposium. April 1990, Slovenia:IAHS Publ. no. 191
- Kusumayudha, Sari B., Zen, M.T., Notosiswoyo., G. Rudy Sayoga. 1997. *Mekanika Aliran Airtanah pada Akifer Karst : Melalui Saluran Fraktal*. Media Teknik No.2 Edisi Mei hal.18-24.

Linsley, R.K. 1985. Hidrologi Untuk Insinyur. Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta.

Robinson GP, Ratman N, dan Pieters PE. 1990. Geologi Lembar Manokwari, Irian Jaya. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Departemen Pertambangan dan Energi

Sudarmadji. 2013. Mata Air Perspektif Hidrologis dan Lingkungan. Yogyakarta: Pascasarjana Universitas Gadjah Mada

Telford, W.M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. (1990). Applied Geophysics. Second Edition. London: Cambridge University Press.

Todd, D.K. 1980. Groundwater Hydrology Second Edition: New York: John Wiley & Sons, Inc

Waluyo dan Edy Hartantyo. 2000. *Teori Dan Aplikasi Metode Resistivitas*, Yogyakarta : Laboratorium Geofisika, Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika FMIPA UGM.