

Potensi Airtanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Di Desa Molingkapoto, Kecamatan Kwandang, Kabupaten Gorontalo Utara, Provinsi Gorontalo

Siti Fatimah^{1*}, Muhammad Kasim¹, Noviar Akase¹

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo

*Email Koresponden: sifa.sitifat27@gmail.com

Diterima: 20-05-2022

Disetujui: 22-06-2022

Diterbitkan: 29-06-2022

Abstrak – Kecamatan Kwandang memiliki kepadatan penduduk tertinggi di Kabupaten Gorontalo Utara, dengan kepadatan penduduk 29.124 jiwa/km². Kepadatan penduduk yang tinggi ini disbanding kecamatan lainya membuat kebutuhan kebutuhan air akan lebih banyak untuk melengkapi kebutuhan sehari-hari yang salah satunya warga memanfaatkan pemenuhannya dari air tanah. Hal ini penting untuk mengetahui arah aliran, karakteristik akuifer dan potensi air tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi airtanah di daerah penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemetaan geologi pengumpulan data permukaan dan bawah permukaan dengan metode geolistrik konfigurasi *Schlumberger*. Hasil Penelitian yaitu Arah aliran muka air tanah mengikuti topografi daerah penelitian yang mengalir dari selatan, barat, timur ke utara. Karakteristik akuifer di daerah penelitian dibagi menjadi dua berdasarkan interpretasi data geolistrik, yaitu akuifer dangkal dengan material pasir halus dan akuifer dalam dengan material pasir dan kerikil. Potensi cadangan airtanah diperoleh dari interpretasi data geolistrik dan data perhitungan muka airtanah dangkal di lokasi penelitian. Dengan demikian, potensi airtanah dangkal di daerah penelitian adalah 1.264,54 m³/hari atau 0,014 m³/detik, prediksi potensi airtanah dalam adalah 3.536,39 m³/hari atau 0,040 m³/hari.

Kata kunci – akuifer; darcy; potensi airtanah; resistivitas

Abstract – District has the highest population density in North Gorontalo Regency, with a population density of 29,124 people/km². This high population density compared to other sub-districts makes the need for water needs more to complete daily needs, one of which residents take advantage of for its fulfillment from ground water. It is important to know the flow direction, aquifer characteristics and groundwater potential. The purpose of this study was to determine the potential of groundwater in the research area. The method used in this research is geological mapping of surface and subsurface data collection with the geoelectric method of the Schlumberger configuration. The results of the study are that the direction of groundwater flow follows the topography of the study area which flows from south, west, east to north. The characteristics of aquifers in the study area are divided into two based on the interpretation of geoelectrical data, namely shallow aquifers with fine sand material and deep aquifers with sand and gravel material. The potential for groundwater reserves is obtained from the interpretation of geoelectrical data and shallow groundwater table calculation data at the study site. Thus, the shallow groundwater potential in the study area is 1,264.54 m³/day or 0.014 m³/second, the prediction for deep groundwater potential is 3,536.39 m³/day or 0.040 m³/day.

Keywords – aquifer; darcy; groundwater; resistivity

1. PENDAHULUAN

Hidrogeologi adalah cabang ilmu pengetahuan yang membahas tentang ilmu geologi dan ilmu hidrologi yang mengkaji tentang hubungan antara keterdapatan, sifat fisik, dan perilaku air tanah. Air tanah adalah air yang berada dalam zona jenuh yang dibatasi pada bagian bawahnya oleh lapisan impermeable atau kedap air dan di bagian atasnya dibatasi oleh muka air tanah (Irawan & Puradimanja, 2015). Pemanfaatan air tanah untuk konsumsi manusia dan pengairan pada dekade terakhir ini berdampak pada penurunan air tanah di Sebagian besar dunia (Treidel et al., 2012) Aset air tanah menjadi sangat penting untuk kehidupan manusia terutama kondisi saat ini yang di perparah oleh adanya polusi, urbanisasi dan industrialisasi (Raju et al., 2011). Kualitas air tanah yang layak untuk dikonsumsi menjadi air minum harus melakukan pengujian parameter fisika, kimia, mikro biologi dan aktivasi radio (Permenkes RI, 1990)

Kabupaten Gorontalo Utara memiliki luas 1.777,02 km² dan kecamatan Kwandang memiliki kepadatan penduduk tertinggi di Kabupaten Gorontalo Utara, dengan kepadatan penduduk 29.124 jiwa/km² (BPS, 2022). Kepadatan yang tinggi ini tentu akan memerlukan jumlah air tawar yang besar untuk memenuhi kebutuhan hidup penduduk, yang salah satunya berasal dari air tanah. Sebelum mengetahui cadangan air tanah sebaiknya dilakukan survei permukaan dan bawah permukaan. Pada survei bawah permukaan menggunakan metode geolistrik yang sering digunakan dengan hasil yang akurat, biaya

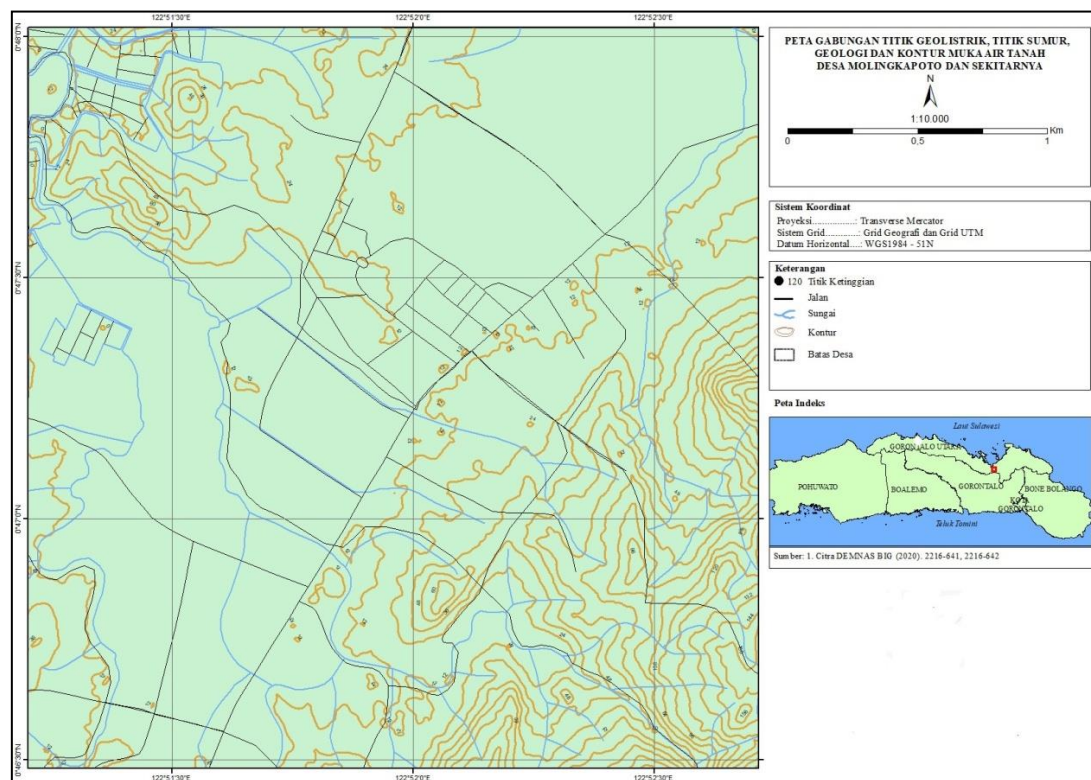
operasional yang relatif murah dan kecepatan akuisis data (Harijito, 2013). Pada survey permukaan kondisi geologi suatu daerah sangat berkaitan dengan keterdapat, penyebaran, dan pergerakan airtanah karena terdapat dalam litologi di bawah permukaan tanah (Permana, 2019). Dengan demikian bahwa karakteristik akuifer terdiri dari dua jenis yaitu akuifer bebas dan akuifer tertekan yang lapisannya terdiri dari top soil, pasir dan lempung (Wumu et al.,2022).

Pada Desa Molingkapoto umumnya warga desa menggunakan air tanah untuk memenuhi kebutuhan pemakaian air setiap harinya. Adapun rata-rata dari kedalaman sumur warga di Desa Molingkapoto ± 10 meter, bahkan saat hujan maupun kemarau jumlah volume air tanahnya tetap sama apalagi saat musim kemarau sumur warga akan kering. Beberapa rumah warga yang ada desa ini menggunakan satu sumur dan berbagi dengan warga lainnya. Permasalahan ini akan selalu ada setiap tahunnya karena laju pertumbuhan penduduk di daerah ini tidak bisa di kontrol dan kebutuhan air setiap tahunnya selalu bertambah. Dari masalah ini sehingga membuat saya ingin melakukan kajian hidrogeologi yang bertujuan untuk mengetahui potensi cadangan air tanah dengan metode geolistrik konfigurasi *schlumberger*.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan di Desa Molingkapoto, Kecamatan Kwandang, Kabupaten Gorontalo Utara dari bulan September 2019 hingga Maret 2021 (Gambar 1). Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat ukur geolistrik yang terdiri dari: (1) Resistivity Meter IP Geo4100 alat ini menggunakan input power dari accu kering dengan kapasitas masing-masing 12V 7Ah, dengan output yang dihasilkan mulai dari 500 A (2) Seperangkat komputer beserta perlengkapannya berupa *software* surfer 11, ipi2win, Rockworks 16 dan ArcGis 10 (3) Kabel sepanjang 500 m sebanyak 2 unit untuk elektroda arus (4) kabel sepanjang 30 m sebanyak 2 unit untuk elektroda potensial (5) palu sebanyak 4 unit (6) GPS (7) Peta geologi, peta hidrologi dan peta RBI (8) ATK untuk mencatat data. Terdapat 3 titik pengukuran geolistrik yang tersebar pada lokasi penelitian yaitu S1, S2 dan S3 yang berada di desa Molingkapoto serta juga terdapat 62 titik sumur yang tersebar di tiga desa yaitu desa Pontolo, desa Mootinelo dan desa Molingkapoto.



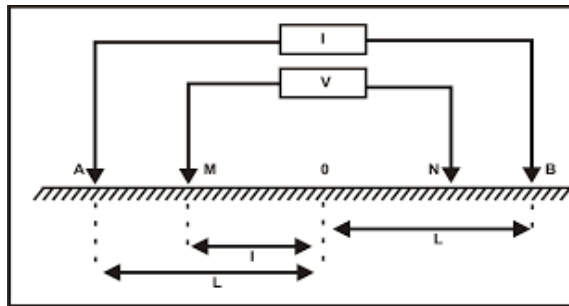
Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2. Metode Pengukuran dan Interpretasi Data MAT

Pengukuran dilakukan di setiap rumah warga yang masih memiliki sumur dengan menggunakan alat bantu yaitu roll meter atau meteran dengan panjang ± 100 meter. Data yang di dapatkan berupa kedalaman setiap sumur yang kemudian di olah menggunakan aplikasi Surfer 11 sehingga di ketahui MAT pada daerah penelitian.

2.3. Metode Pengukuran dan Interpretasi Data Geolistrik

Penelitian ini dilakukan dengan melewati arus searah melalui dua elektroda arus A dan B ke tanah (pembumian). Ada perbedaan potensial karena perbedaan jenis formasi batuan yang dilalui arus. Beda potensial ini dapat diukur di permukaan bumi dengan dua elektroda potensial M dan N, seperti terlihat pada foto susunan elektroda menurut hukum *Schlumberger*. (Gambar 2).



Gambar 2. Konfigurasi Elektroda *Schlumberger*(Telford et al., 1990)

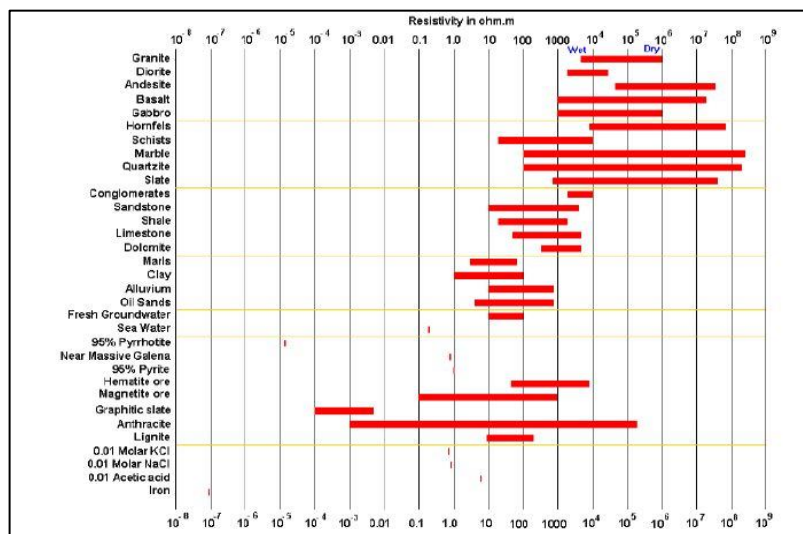
Untuk mendapatkan resistansi nyata untuk setiap pengukuran, gunakan persamaan dasar berikut yang terkait dengan sistem konfigurasi *Schlumberger*:

$$\Omega = \left[\pi \times \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2}{MN} \right] \times \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Dengan

- Ω = Tahanan jenis semu (Ωm)
- AB = Jarak antara dua eektroda arus (m)
- MN = Jarak antara dua elektroda potensial (m)
- ΔV = Perbedaan potensial (V atau mV)
- I = Kuat arus yang dialirkan (A atau mA)

Setelah nilai resisistivitas dihitung, maka selanjutnya dapat diketahui tanah penyusun pada lokasi penelitian dengan menggunakan aplikasi *IPI2WIN* untuk penentuan jenis resistivas tersebut didasarkan pada gambar 3.



Gambar 3. Kisaran harga resistivitas berbagai batuan, tanah dan mineral (Telford et al., 1990)

2.4. Metode Perhitungan Potensi Air Tanah

Air tanah dalam akuifer berasal dari air infiltrasi dan aliran air tanah dari akuifer di bagian hulu. Q adalah aliran air tanah yang keluar dari akuifer, K adalah konduktivitas batuan penyusun akuifer, A adalah luasan akuifer, ∂h adalah perubahan elevasi akuifer, ∂l adalah panjang akuifer, b adalah tebal akuifer dan w adalah lebar akuifer. Selanjutnya debit air tanah dapat dihitung dengan rumus Darcy (Fetter 1994).

$$Q = k * i * A \tag{2}$$

Untuk nilai $i = \frac{\delta h}{\delta l}$

dengan Q adalah debit atau jumlah aliran air tanah, K adalah permeabilitas akuifer, A adalah luas penampang akuifer dan dh/dl adalah gradien hidrolik atau kemiringan permukaan air tanah.

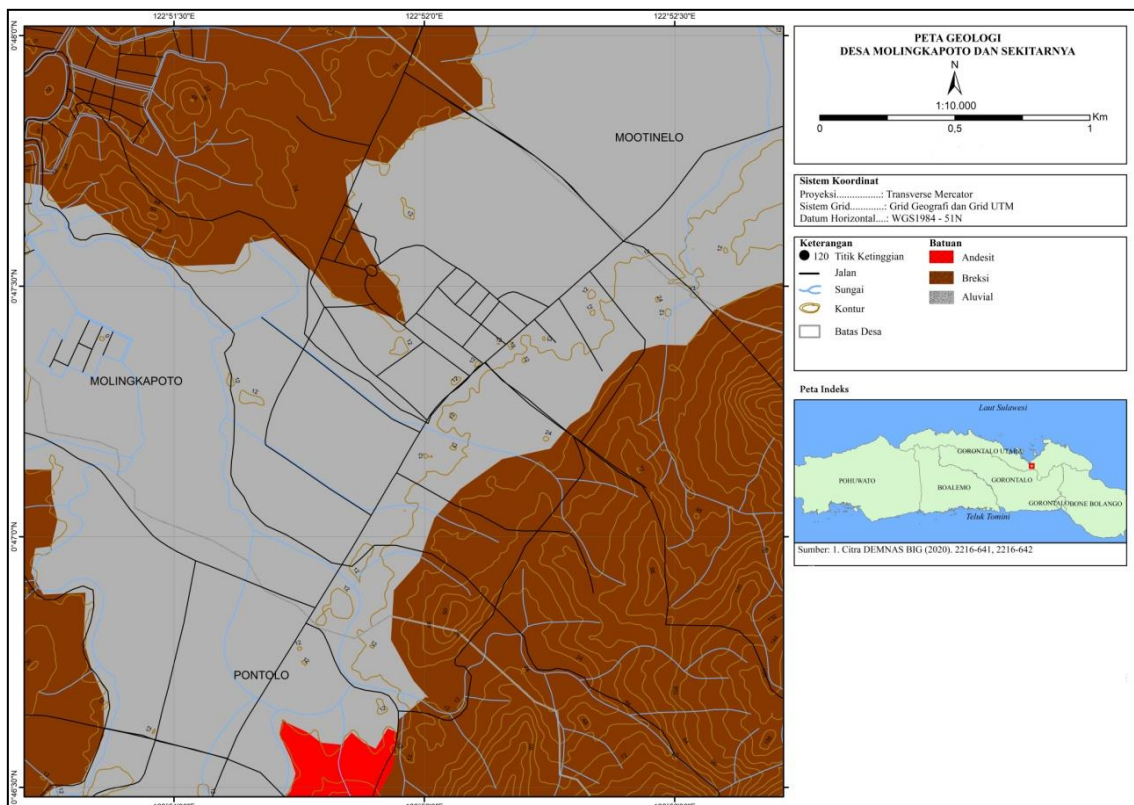
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Keadaan Umum Wilayah Studi

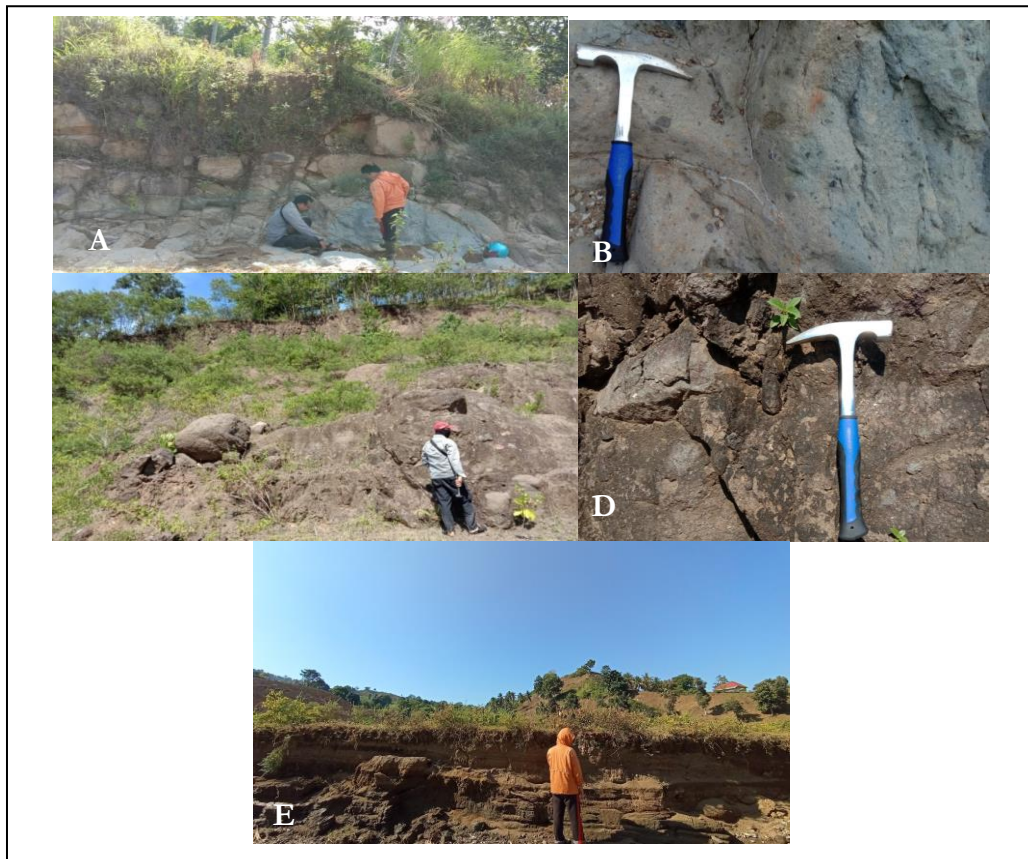
Daerah penelitian berada di Desa Molingkapoto, Kecamatan Kwandang, Provinsi Gorontalo dengan luas wilayah $\pm 190,753$ Km² dengan jumlah penduduk yaitu 29,124 jiwa. Daerah penelitian merupakan daerah yang di dominasi oleh lahan perkebunan yaitu tanaman kelapa sawit 660.71 ha, kakao 14.75 ha, kelapa hibrida 218.08 ha, jambu mete 42.10 ha, dengan produkrivitas semua tanaman 307.24ton pada tahun 2021 hal ini menunjukkan bahwa sektor utama di daerah ini adalah perkebunan (BPS, 2022).

3.2. Geologi Wilayah Studi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Tilamuta (Gambar 3) Lokasi penelitian termasuk dalam Formasi Breksi Wobudu (Tp_{wv}) dan Formasi Batuan Gunungapi Bilungala (T_{mbv}). Formasi Breksi Wobudu (Tp_{wv}) terdiri dari breksi gunungapi, aglomerat, tuf, tuff lapilli dan lava, bersusunan andesitan sampai basalan. Sedangkan Formasi Batuan Gunungapi Bilungala (T_{mbv}) terdiri dari breksi, tuf dan lava andesite sampai basal (Bachri, Sukido dan Ratman,1993). Berdasarkan hasil penelitian bahwa stratigrafi daerah penelitian yaitu terdiri dari satuan breksi, satuan andesit dan satuan aluvial yang jika di urutkan dari tua ke muda yaitu satuan breksi berumur miosen akhir hingga pliosen awal, satuan andesit berumur pliosen tengah dan satuan alluvial berumur holosen.



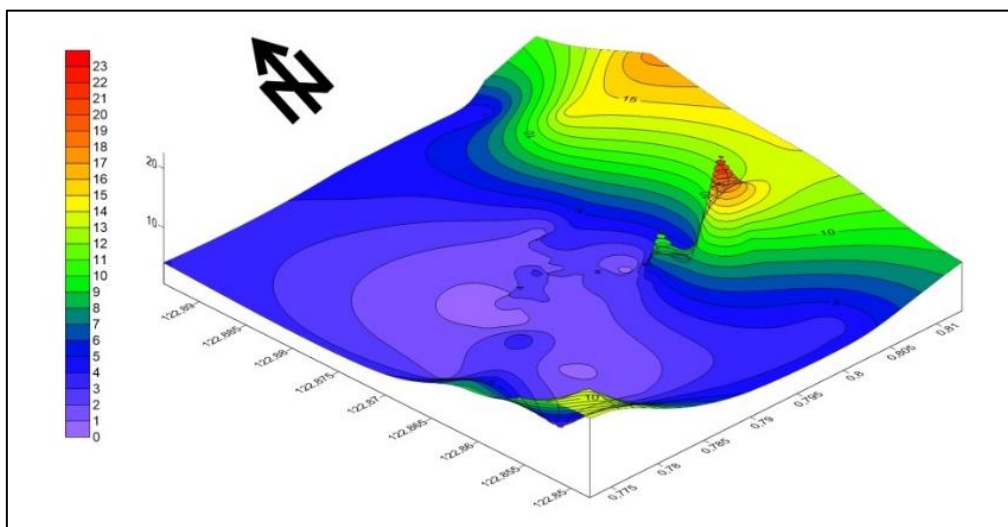
Gambar 4. Peta Geologi



Gambar 5. (A) Singkapan satuan andesit (B) batuanandesit (C) Singkapan satuan breksi (D) batubreksi (E) singkapan satuan aluvial

3.3. Arah Aliran Air Tanah

Sifat tanah yang miring memungkinkan terjadinya pergerakan airtanah di dalam akuifer. Pergerakan air tanah dapat dikenali dari nilai *head*, *koefisien permeabilitas*, dan pola garis aliran airtanah (*flow network*). *Head* diperoleh dengan membagi selisih antara kedalaman muka air tanah (meter) dan panjang saluran airtanah (meter). Pergerakan airtanah digunakan untuk menentukan daerah resapan dan daerah limpasan. Arah aliran airtanah juga dapat digunakan sebagai dasar perhitungan potensi airtanah di lokasi survei. *Software* Surfer 11 digunakan untuk menganalisa pergerakan air tanah menggunakan koordinat dari *borehole logging* dan input data kedalaman airtanah. Gambar 10 menunjukkan foto aliran airtanah dangkal di daerah penelitian. Gambar 6 menunjukkan bahwa air tanah mengalir dari selatan ke utara. Daerah selatan dan timur merupakan daerah resapan air tanah dalam, dan daerah utara merupakan daerah limpasan.



Gambar 6. MAT Lokasi Penelitian

3.4. Identifikasi Akuifer dan Interpretasi Batuan

Hasil interpretasi pengolahan data geolistrik sebanyak 3 (tiga) titik duga, Berdasarkan pengukuran geolistrik di daerah penelitian bahwa terdapat tiga titik pengukuran geolistrik yang tersebar di daerah penelitian dengan lintasan S1 berada di desa Molingkapoto pada koordinat N 00 47' 30.1", E 122 51' 58.0" elevasi 12 mdpl dengan panjang bentangan \pm 200 meter, lintasan S2 berada di desa Mootinelo pada koordinat N 00 47' 56.4", E 122 52' 37.30" elevasi 12 mdpl dengan panjang bentangan \pm 300 meter dan lintasan S3 berada di desa Pontolo pada koordinat N 00 46' 51.58", E 122 51' 34.99" elevasi 12 mdpl dengan panjang bentangan \pm 300 meter. daerah penyelidikan pendugaan geolistrik ini bertahanan jenis 1 – 1.098 Ω m. Berdasarkan kisaran harga tahanan jenis tersebut secara umum dapat dikelompokkan menjadi 6 kelompok jenis batuan. Pengelompokan berdasarkan perbedaan harga jenis dan sifat hantaran listrik batuan.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Geolistrik

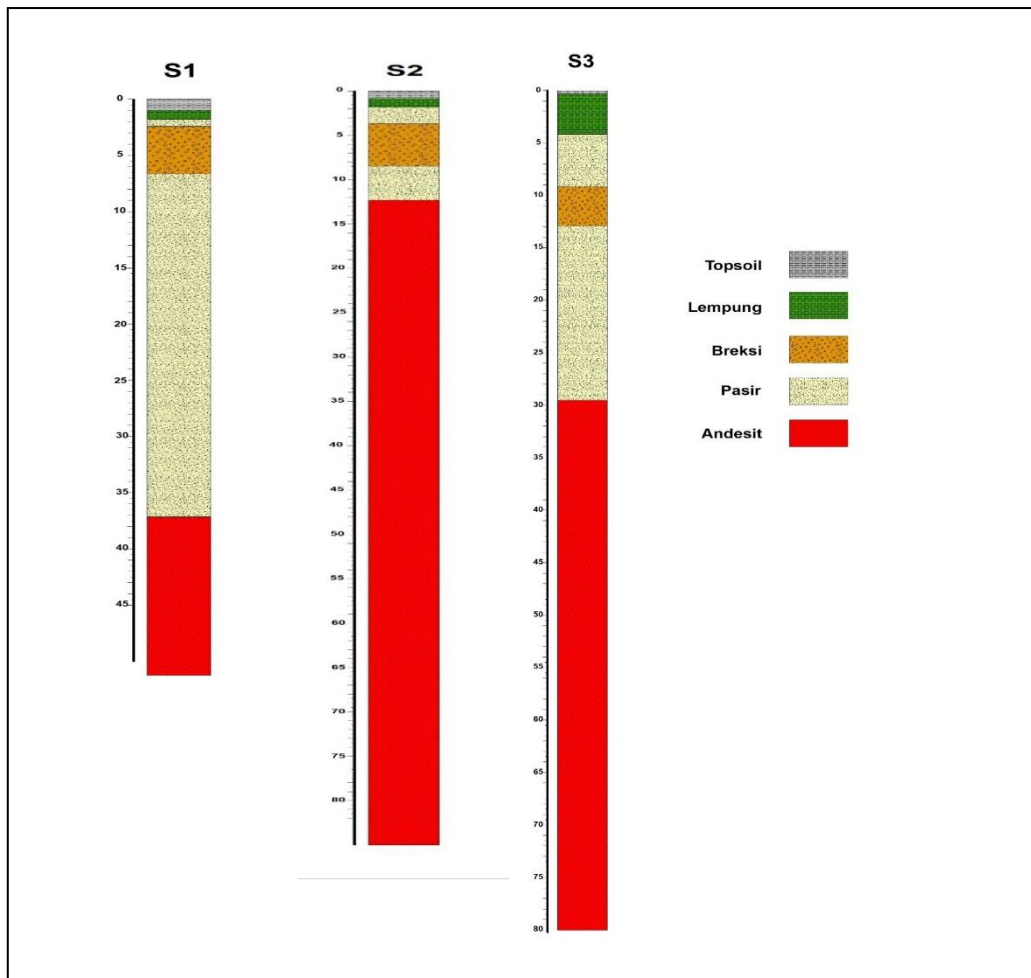
Titik Lintasan	Resistivitas (Ω m)	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Litologi
S1	21,86	0-1,037	1,037	Tanah
	8,58	1,037-1,809	1,809	Lempung
	13,12	1,809-1,175	1,175	Pasir
	928,4	1,175-5,396	5,396	Breksi
	29,48	5,396-35,93	35,93	Pasir
	1098	35,93- ∞	-	Andesit
S2	4,03	0-0,827	0,827	Tanah
	3,463	0,827-1,8	0,927	Lempung
	94,12	1,8-3,665	1,865	Pasir
	7,166	3,665-8,409	4,744	Breksi
	51,18	8,409-12,26	3,846	Pasir
	3929	12,26-81,62	69,36	Andesit
S3	368	81,62- ∞	-	Andesit
	6,07	0-0,346	0,346	Tanah
	9,2	0,346-4,17	3,82	Lempung
	146	4,17-9,18	5,01	Pasir
	60,6	9,18-12,9	3,77	Breksi
	13	12,9-29,5	16,5	Pasir
	74,6	29,5-75,6	46,1	Andesit
	1083	75,6- ∞	-	Andesit

Pada titik pengukuran geolistrik stasiun S1 didapatkan bahwa pada setiap lapisan bawah permukaan mencerminkan beberapa litologi yang berbeda di setiap lapisannya dengan nilai resistivitas yang berbeda. Pada lapisan pertama nilai resistivitas 21,86 Ω m dengan kedalaman 1,037 m di interpretasikan jenis tanah (top soil), lapisan kedua nilai resistivitas 8,58 Ω m dengan kedalaman 1,809 m di interpretasikan jenis lempung, lapisan ketiga nilai resistivitas 13,12 Ω m dengan kedalaman 1,175 m di interpretasikan jenis pasir, lapisan keempat nilai resistivitas 928,4 Ω m dengan kedalaman 5,396 m di interpretasikan jenis breksi, lapisan kelima nilai resistivitas 29,48 Ω m dengan kedalaman 35,93 m di interpretasikan jenis pasir, lapisan terakhir nilai resistivitas 1.098 Ω m dengan kedalaman 40 - ∞ m di interpretasikan jenis andesit.

Pada titik pengukuran geolistrik stasiun S2 didapatkan bahwa pada setiap lapisan bawah permukaan mencerminkan beberapa litologi yang berbeda di setiap lapisannya dengan nilai resistivitas yang berbeda. Pada lapisan pertama nilai resistivitas 4,03 Ω m dengan kedalaman 0,827 m di interpretasikan jenis tanah (top soil), lapisan kedua nilai resistivitas 3,463 Ω m dengan kedalaman 0,927 m di interpretasikan jenis lempung, lapisan ketiga nilai resistivitas 94,12 Ω m dengan kedalaman 1,865 m di interpretasikan jenis pasir, lapisan keempat nilai resistivitas 7,166 Ω m dengan kedalaman 4,744 m di interpretasikan jenis breksi, lapisan kelima nilai resistivitas 51,18 Ω m dengan kedalaman 3,846 m di interpretasikan jenis pasir, lapisan terakhir nilai resistivitas 3.929 dan 368 Ω m dengan kedalaman 69,36- ∞ m di interpretasikan jenis andesit.

Pada titik pengukuran geolistrik stasiun S3 didapatkan bahwa pada setiap lapisan bawah permukaan mencerminkan beberapa litologi yang berbeda di setiap lapisannya dengan nilai resistivitas yang berbeda. Pada lapisan pertama nilai resistivitas 6,07 Ω m dengan kedalaman 0,346 m di interpretasikan jenis tanah (top soil), lapisan kedua nilai resistivitas 9,2 Ω m dengan kedalaman 3,82 m di interpretasikan jenis

lempung, lapisan ketiga nilai resistivitas $146 \Omega\text{m}$ dengan kedalaman $5,01 \text{ m}$ di interpretasikan jenis pasir, lapisan keempat nilai resistivitas $60,6 \Omega\text{m}$ dengan kedalaman $3,77 \text{ m}$ di interpretasikan jenis breksi, lapisan kelima nilai resistivitas $13 \Omega\text{m}$ dengan kedalaman $16,5 \text{ m}$ di interpretasikan jenis pasir, lapisan terakhir nilai resistivitas $74,6$ dan $1.083 \Omega\text{m}$ dengan kedalaman $46,1-\infty \text{ m}$ di interpretasikan jenis andesit.



Gambar 7. Penampang bawah permukaan pengukuran geolistrik

3.4.1 Akuifer dangkal

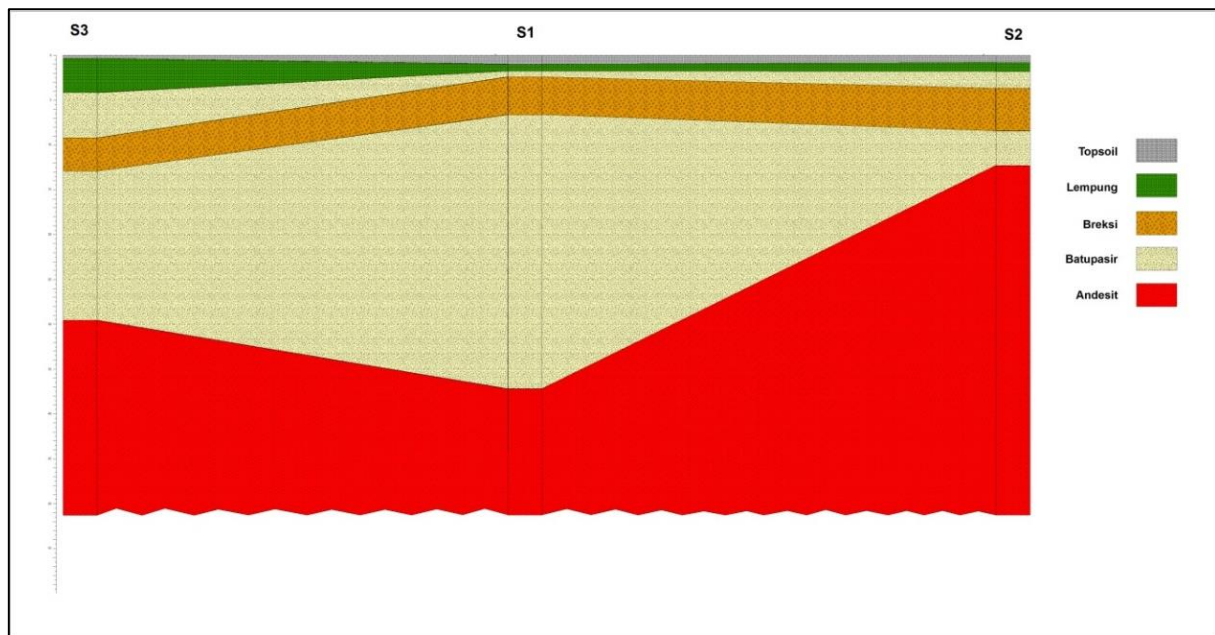
Kedalaman akuifer bebas diperkirakan $1,8-9,18 \text{ m}$ di bawah permukaan daerah (bmt). Ketebalan akuifer bebas diperkirakan 15 m , dan batuan penyusun akuifer adalah pasir halus. Nilai koefisien permeabilitas diperoleh dari hasil fasies litologi mayor di daerah penelitian. Koefisien permeabilitas akuifer adalah $23,75 \text{ m/hari}$.

3.4.1 Akuifer dalam

Kedalaman akuifer yang dibendung diperkirakan $5-35 \text{ m}$ di bawah permukaan lokal (bmt). Ketebalan akuifer diperkirakan $3,8-35 \text{ m}$. Akuifer terdiri dari pasir kasar. Batuan penyusun akuifer tertekan juga memiliki koefisien permeabilitas yang sama yaitu $23,75 \text{ m/hari}$ dengan akuifer bebas.

3.5. Perhitungan Potensi Air Tanah

Persamaan 2 digunakan dalam proses analisis data untuk menghitung potensi airtanah baik akuifer bebas maupun akuifer tertutup. Parameter yang digunakan untuk memenuhi persamaan tersebut adalah konduktivitas hidrolik, head, dan penampang akuifer. Luas penampang akuifer dihitung dengan mengalikan nilai lebar penampang akuifer (W) dengan tebal akuifer (b). Gradien hidrolik diperoleh dengan membagi perbedaan kedalaman muka airtanah dengan panjang saluran airtanah. Tabel 2 adalah penentuan nilai konduktivitas hidrolik, dan Tabel 3 adalah nilai parameter persamaan Darcy. (Pers. 2) yang didapatkan dari perhitungan.



Gambar 8. Penampang 2D titik S1, S2 dan S3

Tabel 2 Konduktivitas Hidrolik akuifer daerah

Jenis Akuifer	Batuan Penyusun	Konduktivitas Hidrolik (m/hari)	Rata-rata (m/hari)
Akuifer dangkal	pasir halus	45	23,75
	pasir kasar	2,5	
Akuifer dalam	pasir halus	45	23,75
	pasir kasar	2,5	

Tabel 3 Nilai Parameter Persamaan Darcy

Parameter	Akuifer bebas	Akuifer tertekan	Satuan
Konduktivitas Hidrolik (K)	23,75	23,75	m/hari
Ketebalan Lapisan (b)	2,683	18,758	m
Lebar Penampang Akuifer (W)	2.835	2.835	m
Beda Kedalaman muka air tanah (δh)	21	8	m
Panjang Lintasan air tanah (δl)	2.828,9	2.828,9	m

Tabel 4 Hasil Perhitungan Potensi Air Tanah

Jenis Akuifer	Perhitungan potensi air tanah ($m^3/hari$)	Perhitungan potensi air tanah ($m^3/detik$)
Akuifer dangkal	1.264,54	0,014
Akuifer dalam	3.536,39	0,040

Ketebalan akuifer bebas dan akuifer bertekanan merupakan ketebalan akuifer yang ada, karena diperoleh dari hasil rata-rata ketebalanakuifer di titik-titik lokasi survei yang dapat dilakukan. Lebar penampang akuifer adalah jarak dari titik lokasi penelitian ke batas kecamatan. Perbedaan kedalaman airtanah ini disebabkan oleh elevasi daerah recharge dan panjang jalur dari jarak daerah recharge dengan lokasi penelitian. Berdasarkan nilai parameter dalam Tabel 3 maka dapat dihitung nilai gardien hidrolik akuifer bebas yaitu 0,007 dan nilai gradien hidrolik akuifer tertekan 0,0028, luas penampang akuifer bebas $7.606,305m^2$ dan akuifer tertekan $53.178,93 m^2$. Nilai tersebut digunakan untuk menghitung potensi air tanah di daerah penelitian (Tabel 4). Tabel 4 merupakan hasil perhitungan potensi cadangan air tanah yang diperoleh yaitu nilai cadangan air tanah bebas sebesar $1.264,54 m^3/hari$ atau $0,014 m^3/detik$ dan air tanah dalam sebesar $3.536,39 m^3/hari$ atau $0,040 m^3/detik$.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian bahwa pola aliran airtanah mengikuti bentuk topografi yaitu mengalir dari arah selatan, timur, dan barat ke utara. Karena elevasi bagian selatan, timur dan barat lebih tinggi dibandingkan elevasi di bagian utara. Karakteristik akuifer pada daerah penelitian dibedakan menjadi dua berdasarkan hasil interpretasi data geolistrik yaitu jenis akuifer dangkal dengan material pasir halus dan jenis akuifer dalam dengan material pasir dan kerikil. Potensi cadangan air tanah daerah penelitian yang diperoleh dari hasil interpretasi data geolistrik dan perhitungan muka airtanah. Sehingga diperoleh prediksi potensi air tanah untuk akuifer dangkal sebesar 1.264,54 m³/hari dan prediksi potensi air tanah untuk akuifer dalam sebesar 3.536,39 m³/hari.

5. REFERENSI

- Bachri, S. Sukido dan Ratman. (1993). Peta Geologi Lembar Tilamuta. Sulawesi Skala 1:250000. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2022). Kecamatan Kwandang. *Gorontalo Utara: Badan Pusat Statistik Kecamatan Kwandang*.
- Harjito, H. (2013). Metode Vertical Electrical Sounding (VES) untuk Menduga Potensi Sumberdaya Air. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 5(2), 127–140. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol5.iss2.art6>
- Irawan, Dasapta E, & Puradimaja, Deny J. (2015). Hidrogeologi Umum. Penerbit Ombak: Yogyakarta
- Permana, A. P. (2019). Analisis Kedalaman dan Kualitas Airtanah di Kecamatan Hulonthalangi Kota Gorontalo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 15. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.15-22>
- Permenkes RI. 1990. Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air. Peraturan Menteri Kesehatan No: 416/MEN.KES/PER/IX/1990.
- Raju, N. J., Shukla, U.K., & Ram, P. 2011. Hydrogeochemistry for the Assessment of Groundwater Quality in Varanasi: a fast-urbanizing center in Uttar Pradesh, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173, 279-300
- Telford, W. M. L.P. Geldart, R.E. Sheriff, D.A. dan Keys. (1990). Applied Geophysics. Edisi 1. Cambridge University Press. Cambridge.
- Treidel, H., Martin, B. J. J & Gurdak, J. J. 2012. Climate Change Effect on Groundwater Resources a Global Synthesis of Findings and Recommendation. *Internasional Association of Hydrogeologist (IAH)-Internasional Contribution to Hydrogeology*: Taylor & Francis Publishing, 414p.
- Wumu, R.W., Zainuri, A., Akase, N. (2022). Karakteristik Akuifer Menggunakan Metode Geolistrik Resistivity di Kecamatan Kota Tengah Kota Gorontalo. *Jambura Geoscience Review*. 4(1) 60-68. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i1.12752>