

**INTERPRETASI TAHANAN JENIS BAWAH PERMUKAAN DAERAH
MOROTAI MENGGUNAKAN GEOLISTRIK *SCHLUMBERGER*
*CONFIGURATION VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING 1D***

Wawan A.K Conoras¹, Julhija Rasai², Husaen Salahu³

¹Program Studi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Maluku Utara,
Ternate, Indonesia.

E-mail : wawanmine01@gmail.com dan julhija_rasai@gmail.com

ABSTRAK

Air merupakan salah satu sumber kebutuhan manusia sehari-hari. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan ketersediaan air tanah pada lapisan batuan atau tanah dibawah permukaan, pada beberapa desa di daerah Pulau Morotai Provinsi Maluku Utara. Pada penelitian ini menggunakan metoda Geofisika aktif tahanan Jenis / Geolistrik dengan Konfigurasi Schlumberger VES 1D, kemudian dari hasil pengukuran di lakukan perhitungan analisa data tahanan jenis, kemudian menginterpretasi nilai hasil tahanan jenis sebenarnya pada tiap lapisan serta interpretasi atau pendugaan posisi airtanah. Hasil analisa dan interpretasi data tahanan jenis pada penelitian ini menampilkan pada Desa Waya bula, lapisan pembawa air tanah kualitas bagus (akuifer) terdapat pada kedalaman AB/2= 8 m Pasir, pasir kasar, kerikil tidak berlempung dengan nilai tahanan jenis >70 Ωm. Pada Desa Buo-buo, lapisan pembawa air tanah kualitas rendah sampai menengah terdapat pada kedalaman AB/2= 3 - 4 m Pasir, kerikil sedikit lempung dengan nilai tahanan jenis 16.17 - 45.80 Ωm. Pada Desa Cendana, lapisan pembawa air tanah terdapat pada kedalaman AB/2= 12 m, hasil interpretasi pada lapisan ini, diduga terdapatnya batugamping dan pasir kasar dengan nilai tahanan jenis 440.03 Ωm. Pada Desa Sangowo, lapisan pembawa air tanah (akuifer) kualitas menengah sampai sangat bagus terdapat pada kedalaman AB/2= 4 - 10m dengan jenis lapisan Pasir kasar, kerikil sedikit lempung dengan nilai tahanan jenis 36.02 - 306.87Ωm. Pada Desa Saleh, lapisan pembawa air tanah kualitas menengah sampai sangat rendah terdapat pada kedalaman AB/2= 8 - 10m. Pada lapisan ini terdapat Pasir kasar, kerikil sedikit lempung dengan nilai tahanan jenis 20.15 - 51.65Ωm.

Kata Kunci: Interpretasi Tahanan Jenis, Schlumberger VES 1D, lapisan pembawa air tanah, daerah Morotai

I. PENDAHULUAN

Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang dipakai untuk mengetahui parameter-parameter tahanan jenis batuan atau tanah yang berada pada lapisan-lapisan bersifat sebagai akuifer (Tubuh batuan yang dapat menyimpan air/meluluskan air) atau tubuh batuan yang kedap air (sebaliknya).

Secara administratif Lokasi penelitian terletak di Pulau morotai dan merupakan bagian dari Provinsi Maluku Utara.

Lokasi pengambilan data di pulau Morotai berada di limah titik yang berbeda-beda, hal tersebut di sesuaikan dengan kebutuhan penyelidikan atau identifikasi awal dalam pencarian airtanah, yaitu berada di Desa Sangowo, Desa Buo-Buo, Desa Tanjung Sale, Desa Cendana dan Desa Wayabula (Gambar 1).

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data dan informasi awal terkait identifikasi akuifer dari suatu

tubuh batuan atau lapisan batuan/tanah yang dapat menyimpan atau meluluskan air. Sehingga dapat di prediksi keberadaan airtanah sebagai rujukan kegiatan selanjutnya yaitu, kegiatan Pemboran airtanah.

Geologi daerah penelitian terdapat beberapa formasi batuan diantaranya Endapan Aluvium, Batu gamping Terumbu/koral, Formasi Weda dan formasi Tutuli. Dari beberapa formasi batuan pada daerah penelitian, terdapat formasi batu gamping terumbu/koral dan endapan aluvium yang dominan pada lima titik lokasi pengukuran, dimana formasi tersebut terdiri dari batu gamping terumbu, napal dan batu gamping pasiran serta endapan aluvium seperti kerikil, pasir, lumpur dan bongkahan (Gambar.



Gambar 1. Peta Geologi pulau Morotai (didigitasi dari Supriatna Sam, 1990) Daerah Pengukuran Geolistrik

II. METODE

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa pendekatan teori dan metode yang digunakan yaitu:

2.1 Akifer.

Keberadaan dan potensi airtanah tergantung dari sifat fisik akuifer khususnya dalam meluluskan air. Berdasarkan pada nilai permeabilitas lapisan batuan yang melingkupi akuifer dan lapisan kedap, menurut (Todd, 2005) akuifer dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu :

- 1) *Akuifer Tidak Tertekan (Unconfined Aquifer)*. Akuifer jenis ini adalah akuifer yang bagian atasnya tidak tertutup lapisan yang kedap air atau mempunyai nilai permeabilitas kecil.
- 2) *Akuifer Tertekan (Confined Aquifer)*. Akuifer tertekan adalah akuifer yang dibagian atas dan bawahnya dibatasi oleh lapisan kedap air (*impermeable*) atau bagian lapisan yang mempunyai permeabilitas sangat kecil.
- 3) *Akuifer Setengah Tertekan/ Bocor (Leaky Aquifer/Semi Confined Aquifer)*. Akuifer setengah tertekan adalah akuifer yang bagian atas dan bawahnya dibatasi oleh lapisan yang tidak begitu kedap air dengan permeabilitas jauh lebih kecil daripada permeabilitas akuifer itu sendiri.

2.2. Geolistrik.

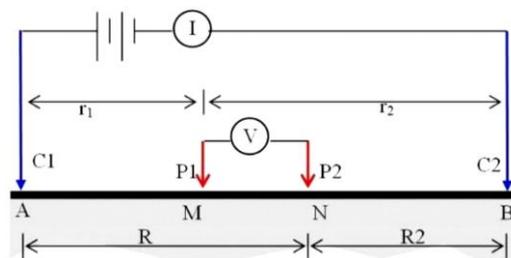
Metode geolistrik resistivitas digunakan untuk penyelidikan bawah permukaan (Sjodahl, 2006). Penyelidikan geolistrik resistivitas dilakukan atas dasar sifat fisika batuan/tanah terhadap arus listrik, dimana setiap batuan yang berbeda akan mempunyai harga tahanan jenis yang berbeda pula (Slamet, 1981). Metode ini digunakan secara luas dalam mencari ketersediaan sumber daya airtanah (Reynold, 1998).

Pengukuran geolistrik dapat dilakukan untuk tujuan yang berbeda, disesuaikan dengan informasi yang ingin diperoleh dari pengukuran geolistrik. Terdapat tiga teknik pengukuran yaitu mapping, sounding dan imaging. Namun pada Penelitian ini hanya akan dibahas mengenai teknik Sounding *Vertical Electrical Sounding (VES) 1D*.

2.2.1 Metode Konfigurasi Schlumberger.

Pengukuran dengan menggunakan geolistrik dapat digunakan beberapa macam konfigurasi. Konfigurasi yang umum dipakai adalah metode geolistrik konfigurasi *Wenner*, konfigurasi *Schlumberger* dan konfigurasi *Dipole-Dipole*. Semua konfigurasi tersebut di atas didasarkan pada konfigurasi dasar pengukuran geolistrik, seperti pada (Gambar. 2). Pengukuran dilakukan dengan menancapkan empat elektroda, yaitu elektroda potensial (M/N) dan elektroda arus (A/B) ke dalam tanah. Arus listrik (mA) dari *power supply*

dialirkan ke dalam tanah melalui elektroda arus A dan B. Hasil dari perbedaan tegangan/beda potensial antara dua elektroda potensial (M/N) yang dihasilkan, dibaca pada alat *resistivity meter*. Jika jarak antara dua elektroda arus terbatas, potensial pada titik data (*datum point*) akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut.



Gambar 2. Prinsip *Schlumberger*

2.2.2. Pengolahan Data dan Analisis.

Pengolahan data dapat digunakan persamaan dibawah ini dan analisis data dapat menggunakan aplikasi *Martil Resistivity Meter 1D*.

Rumus:

$$\rho\alpha = R \cdot K$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$K = \frac{\pi(AB^2) - (MN^2)}{(2 \cdot MN)}$$

$$\rho\alpha = \frac{\pi(AB^2) - (MN^2)}{(2 \cdot MN)} \cdot \frac{V}{I}$$

Dimana:

ρ_a = resistivitas semu (Ωm)

K = Faktor Geometri

R = Resistansi (Ωm)

V = beda potensial (mV)

I = Kuat arus (mA)

MN = panjang bentangan elektroda potensial (meter)

AB = panjang bentangan elektroda arus (meter)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran *Vertical Electrical Sounding (VES)* dengan konfigurasi *Schlumberger* di lapangan dan Pengolahan data tahanan jenis bawah

permukaan pada lima lokasi dengan metoda Tahanan Jenis (Geolistrik) 1D, memperlihatkan Nilai tahanan jenis sebagai berikut:

3.1 Lokasi Desa Wayabula.

Lokasi Titik pengukuran Tahanan Jenis pertama terletak di Desa Wayabula dengan posisi koordinat UTM WGS 84 N 0411374/ E 0251822. Pada daerah ini memiliki topografi sangat landai dengan elevasi 3 m dpl. Jarak titik pengukuran dari tepi pantai $\pm 70-80$ m. Pada pengukuran di lokasi ini hanya menggunakan jarak bentangan maksimal 30 m $AB/2 = 15$ m, hal ini disebabkan pada lokasi tersebut terdapat pemukiman padat penduduk (Gambar. 3).



Gambar 3. Proses pengambilan data lapangan di lokasi Desa Wayabula

Dari hasil pengukuran dan pengolahan data tahanan jenis pada daerah Desa Wayabula memperlihatkan pendugaan nilai tahanan jenis dengan zona perlapisan. Pada lapisan pertama dari meter ke 1 – 6 m memiliki nilai tahanan jenis $1.89 \Omega\text{m}$, pada lapisan kedua 6- 7 m memiliki nilai tahanan jenis $0.49 \Omega\text{m}$. Tanah dengan butiran sedikit

atau lempung, diduga daerah rawa dengan sedikit intrusi air laut. Sedangkan hasil pendugaan tahanan jenis pada kedalaman 7-15 m memiliki nilai tahanan jenis $>70 \Omega\text{m}$ terdapat pasir kasar, kerikil tidak berlempung dan diduga pada zona lapisan ini merupakan lapisan akuifer (air tanah) (Tabel. 1.a & 1.b).

Tabel 1.a. Data Pengukuran Awal Geolistrik dengan Nilai tahanan Jenis Semu

NO	AB/2	MN/2	K	V (mV)	I (mA)	ρ_a
1	2	0.5	11.78	18.106	128	1.67
2	4	0.5	49.46	9.489	411	1.14
3	4	1	23.55	7.773	113	1.62
4	6	1	54.95	3.413	310	0.60
5	8	1	98.91	272	291	92.45
6	10	1	155.43	229.5	241	148.01
7	10	2	75.4	261.9	244	80.89
8	14	2	150.72	255.1	394	97.59
9	15	2	173.5	216.8	336	111.94

Tabel 1.b. Hasil Interpretasi Nilai Tahanan Jenis Sebenarnya

No	Resistivity (Ωm)	Depth (Meter)	Sedimen	Keterangan
1	1.89	4.44	Tanah dengan butiran sedikit atau lempung.	Air laut.
2	0.49	6.09	Tanah dengan butiran sedikit atau lempung.	Air laut.
3	164.53	7.18	Pasir kasar, kerikil tidak berlempung.	Air tanah kualitas sangat bagus.
4	167.86	11.45	Pasir kasar, kerikil tidak berlempung.	Air tanah kualitas sangat bagus.
5	83.29	14.35	Pasir, kerikil tidak lempung.	Air tanah kualitas bagus.
6	80.02		Pasir, kerikil tidak lempung.	Air tanah kualitas bagus.

3.2 Lokasi Desa Buo-Buo.

Lokasi Titik pengukuran Tahanan Jenis kedua terletak di Desa Buo-buo dengan posisi koordinat UTM WGS 84 N 0456088/ E 0242813. Dengan kondisi topografi sangat landai dengan jarak ± 70 m dari tepi pantai dengan elevasi 3 m dpl. Pada pengukuran di lokasi ini hanya menggunakan jarak bentangan maksimal $AB/2 = 8$ m, disebabkan pada lokasi tersebut terdapat pemukiman padat penduduk (Gambar 4).



Gambar 4. Proses pengambilan data lapangan di lokasi Desa Buo-buo

Dari hasil pengukuran dan pengolahan data tahanan jenis pada daerah Desa Buo-buo memperlihatkan nilai tahanan jenis dengan empat zona perlapasan. Pada lapisan pertama dari meter ke 1 – 4 m memiliki nilai tahanan jenis $16.17 \Omega m$, pada lapisan ini di tempati pasir, kerikil dengan sedikit lempung memiliki air tanah kualitas rendah. Kemudian pada kedalaman 4-6 meter di tempati lapisan pasir, kerikil sangat sedikit lempung memiliki kualitas air tanah menengah. Sedangkan pada kedalaman >6.76 m memiliki nilai tahanan jenis antara $4.5 - 15 \Omega m$ di tempati lapisan lempung berpasir dengan kondisi air payau (Tabel 2.a & 2.b).

Tabel 2.a. Data Pengukuran Awal Geolistrik dengan Nilai tahanan Jenis Semu

NO	AB/2	MN/2	K	V (mV)	I (mA)	ρ_a
1	2	0.5	11.78	2.586	1.66	18.34

2	4	0.5	49.46	0.885	1.078	40.60
3	4	1	23.55	1.528	1.09	33.01
4	6	1	54.95	0.604	5.2	6.38
5	8	1	98.91	0.461	5.05	9.03

Tabel 2.b. Hasil Interpretasi Nilai Tahanan Jenis Sebenarnya Lokasi Desa Buo-buo

No	Resistivity (Ω m)	Depth (Meter)	Sedimen	Keterangan
1	16.17	3.54	Pasir, kerikil sedikit lempung	Air tanah berkualitas rendah
2	45.80	4.57	Pasir, kerikil sangat sedikit lempung	Air tanah berkualitas menengah
3	5.38	6.76	Lempung berpasir	Air payau keasian
4	10.83		Pasir, kerikil terdapat lempung	Air payau.

3.3. Lokasi Desa Cendana.

Lokasi Titik pengukuran Tahanan Jenis kedua terletak di Desa Cendana dengan posisi koordinat UTM WGS 84 N 0450634/ E 0291109. Dengan kondisi topografi sangat landai dengan jarak ± 500 m dari tepi pantai dengan elevasi 3 m dpl. Pada pengukuran di lokasi ini hanya menggunakan jarak bentangan maksimal $AB/2 = 15$ m, disebabkan pada lokasi tersebut terdapat pemukiman padat penduduk (Gambar 5).

**Gambar. 5.** Proses pengambilan data lapangan di lokasi Desa Cendana

Dari hasil pengukuran dan pengolahan data tahanan jenis pada daerah Desa Cendana memperlihatkan nilai tahanan jenis dengan tiga perlapisan. Pada lapisan pertama dari meter ke 1 – 12 m memiliki nilai tahanan jenis $> 0.6 \Omega$ m. Pada lapisan ini terdapat tanah dengan butiran sedikit atau lempung. Pada zona ini diduga terjadi intrusi air laut (Air Asin), sedangkan pada kedalaman > 12 m, memiliki nilai tahanan jenis 440.03Ω m. Hasil interpretasi pada lapisan ini, diduga terdapatnya batugamping dan pasir kasar, pada zona lapisan ini diduga merupakan lapisan keterdapatan air tanah bawah permukaan (Akuifer) (Tabel. 3.a & 3.b).

Tabel 3.a. Data Pengukuran Awal Geolistrik dengan Nilai tahanan Jenis Semu lokasi Desa Cendana

NO	AB/2	MN/2	K	V (mV)	I (mA)	ρ_a
----	------	------	---	--------	--------	----------

1	2	0.5	11.78	9.07	186	0.57
2	4	0.5	49.46	1.493	158	0.47
3	4	1	23.55	2.869	159	0.42
4	6	1	54.95	1.278	191	0.37
5	8	1	98.91	0.713	205	0.34
6	10	1	155.43	0.461	195	0.37
7	10	2	75.4	0.846	189	0.34
8	14	2	150.72	355.2	138	387.94
9	15	2	173.5	282.9	138	355.64

Tabel 3.b. Hasil Interpretasi Nilai Tahanan Jenis Sebenarnya Lokasi Desa Cendana

No	Resistivity (Ω m)	Depth (Meter)	Sedimen	Keterangan
1	0.56	4.31	Tanah dengan butiran sedikit atau lempung	Air laut atau asin yang sangat asin
2	0.31	10.78	Tanah dengan butiran sedikit atau lempung	Air laut atau asin yang sangat asin
3	440.03	14.00	Batu gamping dan pasir kasar	Memiliki pori dengan air tanah

3.4. Lokasi pengukuran Desa Sangowo.

Lokasi Titik pengukuran Tahanan Jenis kedua terletak di Desa Sangowo dengan posisi koordinat UTM WGS 84 N 0450952/ E 0232782. Dengan kondisi topografi sangat landai dengan jarak ± 50 m dari tepi pantai dengan elevasi 3 m dpl. Pada pengukuran di lokasi ini hanya menggunakan jarak bentangan maksimal 30 m $AB/2 = 15$ m, disebabkan pada lokasi tersebut terdapat pemukiman padat penduduk (Gambar.6).



Gambar 6. Proses pengambilan data lapangan di lokasi Desa Sangowo

Dari hasil pengukuran dan pengolahan data tahanan jenis pada daerah Desa Sangowo memperlihatkan nilai tahanan jenis dengan empat per lapisan. Pada lapisan pertama dari meter ke 1 – 3 m memiliki nilai tahanan jenis 0.10 Ω m. Pada lapisan ini diduga terdapat tanah dengan butiran sedikit lempung memiliki intrusi air laut (air Asin). Sedangkan pada tiga lapisan berikutnya pada kedalaman > 4 m dengan nilai tahanan jenis 36.02 - 306.87 Ω m, dari hasil interpretasi diduga pada lapisan ini terdapat Pasir kasar, kerikil tidak ber lempung memiliki Air tanah kualitas sangat bagus (akuifer) (Tabel. 4.a & 4.b).

Tabel 4.a. Data Pengukuran Awal Geolistrik dengan Nilai tahanan Jenis Semu lokasi Desa Sangowo

NO	AB/2	MN/2	K	V (mV)	I (mA)	ρ_a
1	2	0.5	11.78	0.637	72	0.10
2	4	0.5	49.46	275.1	50	272.10
3	4	1	23.55	194.2	50	91.47
4	6	1	54.95	243	282	47.35
5	8	1	98.91	188.2	462	40.29
6	10	1	155.43	257.8	258	155.31
7	10	2	75.4	268.2	247	81.83

Tabel 4.b. Hasil Interpretasi Nilai Tahanan Jenis Sebenarnya Lokasi Desa Sangowo

No	Resistivity (Ω -m)	Depth (Meter)	Sedimen	Keterangan
1	0.10	2.22	Tanah dengan butiran sedikit atau lempung	Air laut atau asin yang sangat asin
2	306.87	4.37	Pasir kasar, kerikil tidak berlempung	Air tanah kualitas sangat bagus
3	36.02	9.00	Pasir, kerikil sangat sedikit lempung	Air tanah berkualitas menengah
4	201.53	10.00	Pasir kasar, kerikil tidak berlempung	Air tanah kualitas sangat bagus

3.5. Lokasi Desa Tanjung Saleh.

Lokasi Titik pengukuran Tahanan Jenis kedua terletak di Desa Saleh dengan posisi koordinat UTM WGS 84 N 0462770/ E 0263281. Dengan kondisi topografi sangat landai dengan jarak ± 90 m dari tepi pantai dengan elevasi 3 m dpl. Pada pengukuran di lokasi ini hanya menggunakan jarak bentangan maksimal 20 m AB/2= 10m, disebabkan pada lokasi tersebut terdapat pemukiman padat penduduk (Gambar 7).

**Gambar 7.** Proses pengambilan data lapangan di lokasi Desa Tanjung Sale

Dari hasil pengukuran dan pengolahan data tahanan jenis pada daerah Desa Saleh memperlihatkan nilai tahanan jenis dengan lima perlapisan. Pada lapisan pertama dan kedua dari meter ke 1 – 8m memiliki nilai tahanan jenis $< 0.5 \Omega$ m. Hasil interpretasi pada zona ini terdapat lapisan tanah dengan butiran sedikit atau lempung, pada lapisan ini diduga terdapat intrusi air laut (Air Asin). Sedangkan pada lapisan berikutnya pada kedalaman > 8 meter dengan nilai tahanan jenis 20.15 – 51.65 Ω m. Hasil interpretasi pada lapisan ini memperlihatkan lapisan pasir, kerikil sedikit lempung. Dari hasil

pendugan pada lapisan ini juga mengindikasikan ketersediaan air tanah dengan kualitas sedang sampai menengah (Tabel 5.a & 5.b).

Tabel 5.a. Data Pengukuran Awal Geolistrik Dengan Nilai Tahanan Jenis Semu lokasi Desa Saleh

NO	AB/2	MN/2	K	V (mV)	I (mA)	ρ_a
1	2	0.5	11.78	2.136	187	0.13
2	4	0.5	49.46	1.709	217	0.39
3	4	1	23.55	1.207	134	0.21
4	6	1	54.95	381.1	691	30.31
5	8	1	98.91	236	524	44.55
6	10	1	155.43	203.6	718	44.07
7	10	2	75.4	277.8	767	27.29

Tabel 5.b. Hasil Interpretasi Nilai Tahanan Jenis Sebenarnya Pada Lokasi Desa Saleh

No	Resistivity (Ω -m)	Depth (Meter)	Sedimen	Keterangan
1	0.11	2.39	Tanah dengan butiran sedikit atau lempung.	Air laut atau asin yang sangat asin.
2	0.45	4.64	Tanah dengan butiran sedikit atau lempung.	Air laut atau asin yang sangat asin.
3	51.65	8.73	Pasir, kerikil sangat sedikit lempung.	Air tanah berkualitas menengah.
4	22.28	10.00	Pasir, kerikil sedikit lempung.	Air tanah berkualitas rendah.
5	20.15		Pasir, kerikil sedikit lempung.	Air tanah berkualitas rendah.

IV. KESIMPULAN.

Dari hasil pengukuran tahanan jenis (Geolistrik) dan pengolahan data lapangan dapat di simpulkan :

1. Pada Desa waya bula, dari hasil interpretasi data, lapisan pembawa air tanah kualitas bagus (akuifer) terdapat pada kedalaman AB/2 = 8 m Pasir, pasir kasar, kerikil tidak berlempung dengan nilai tahanan jenis $> 70 \Omega$ m.
2. Pada Desa Buo-buo, dari hasil interpretasi data, lapisan pembawa air

tanah kualitas rendah sampai menengah terdapat pada kedalaman AB/2 = 3 - 4 m Pasir, kerikil sedikit lempung dengan nilai tahanan jenis 16.17 - 45.80 Ω m.

3. Pada Desa Cendana, dari hasil interpretasi data, lapisan pembawa air tanah terdapat pada kedalaman AB/2 = 12 m, hasil interpretasi pada lapisan ini, diduga terdapatnya batugamping dan pasir kasar dengan nilai tahanan jenis 440.03 Ω m.

4. Pada Desa Sangowo, dari hasil interpretasi data, lapisan pembawa air tanah (akuifer) kualitas menengah sampai sangat bagus terdapat pada kedalaman $AB/2 = 4 - 10m$ dengan jenis lapisan Pasir kasar, kerikil sedikit lempung dengan nilai tahanan jenis $36.02 - 306.87\Omega m$.
5. Pada Desa Saleh, dari hasil interpretasi data, lapisan pembawa air tanah kualitas menengah sampai sangat rendah terdapat pada kedalaman $AB/2 = 8 - 10m$. Pada lapisan ini terdapat Pasir kasar, kerikil sedikit lempung dengan nilai tahanan jenis $20.15 - 51.65\Omega m$.

DAFTAR PUSTAKA

- Reynold, John M. (1998). An introduction to applied and environmental geophysics. *New York: John Wiley & Sons, Inc.*
- Slamet, R.H. (1981). Geofisika Eksplorasi Terbatas dalam Pendidikan dan Pelatihan Geofisika Eksplorasi Terbatas. *Bandung:Lembaga Fisika Nasional-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.*
- Sjodahl, Pontus. (2006). Resistivity Investigation And Monitoring For Detection Of Internal Erosion And Anomalous Seepage In Embankment Dams. Disertasi. *Faculty of Engineering, Lund University.*
- Supriatna, Sam. (1990). Peta Geologi Lembar Morotai, Maluku Utara. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.*
- Telford, W.M., Geldart, L.P. & Sheriff, R.E. (1990). Applied geophysics. *New York:Cambridge University Press.*
- Todd, D.K. (2005). Ground Water Hydrology. 2nd ed. *New York : John Wiley & Sons, Inc.*