



KA-10 IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT DI DAERAH PESISIR PANTAI MERTASARI-SANUR DENGAN METODE *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* (VES)

Putu Doddy H. Ardana^{1*}, I K. Soriarta², Tri H. Pamungkas³ dan I Made D. Kasuya⁴

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ngurah Rai, Denpasar.

e-mail: doddyhekaardana@unr.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ngurah Rai, Denpasar.

e-mail: soriarta88@gmail.com

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ngurah Rai, Denpasar.

e-mail: tri.hayatining@unr.ac.id

⁴Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ngurah Rai, Denpasar.

e-mail: dwikasuya99@gmail.com

ABSTRAK

Pantai Mertasari merupakan pantai yang terletak di sisi selatan Desa Sanur Kauh dengan keragaman daya tarik wisata pantainya yang berpotensi memunculkan peningkatan permintaan terhadap air bersih dan air baku. Permasalahan yang sering terjadi pada daerah pesisir pantai adalah penyusupan air laut kedalam akuifer yang disebut intrusi air laut. Intrusi air laut merupakan proses masuknya air laut di bawah permukaan tanah melalui akuifer di daratan daerah pantai. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui dugaan intrusi air laut adalah metode VES (*Vertical Electrical Sounding*) dan data dikaitkan dengan pengujian kualitas air tanah yang meliputi uji TDS (*Total Dissolved Solid*), pH (*Power Of Hydrogen*), salinitas dan EC (*Electrical Conductivity*). VES (*Vertical Electrical Sounding*) merupakan salah satu metode geolistrik yang menggunakan konfigurasi schlumberger dimana arus listrik (I) di injeksikan ke permukaan bumi menggunakan elektroda yang menghasilkan beda potensial (V) dan dapat diketahui resistensinya (R) yang disesuaikan dengan faktor pendekatan geometrik (K), selanjutnya akan menghasilkan resistivitas semu (ρ_a) dan diolah dengan *software* IP2Win. Dari hasil penelitian dapat diketahui formasi penyusun lapisan permukaan daerah pesisir pantai Mertasari adalah aluvial (Qa). Intrusi air laut diduga sudah masuk sejauh > 800 meter dari garis pantai dengan nilai resistivitas 2 sampai 30 ohm.m dan kedalaman yang bervariasi. Hal ini diperkuat oleh hasil pengujian kualitas air yang meliputi uji TDS, pH, salinitas dan EC di 32 titik sumur bor dengan jarak 200 – 1800 m dari garis pantai. Ada beberapa titik sumur dengan jarak > 800 dari garis pantai memiliki kualitas air yang rendah dan payau.

Kata kunci: *vertical electrical sounding*, resistivitas, intrusi, geolistrik, kualitas air tanah.

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini, air telah dimanfaatkan tidak saja untuk keperluan konsumsi, pertanian dan transportasi tetapi telah meluas ke sektor rekreasi dan industri. Meskipun air merupakan komposisi terbesar di bumi (berkisar 70 %), namun yang dapat dipergunakan oleh manusia hanyalah 0,7 %, baik berupa air tanah dan air permukaan. Sedangkan sisanya 97,2 % adalah lautan dan 2,1 % berupa es di kutub (Hendrayana, 2004). Permasalahan yang sering terjadi di kota-kota besar adalah ketersediaan air bersih termasuk yang di alami Kota Denpasar. Jumlah penduduk Kota Denpasar pada pendapatan bulan Februari tahun 2020 sebesar 949.732 jiwa dan hanya 54,73% penduduk yang terlayani jaringan (PDAM Tirtha Sewakadarma, 2020). Kota Denpasar di bagi menjadi 4 wilayah yaitu Denpasar Utara, Denpasar Barat, Denpasar Selatan dan Denpasar Timur. Denpasar Selatan adalah wilayah yang memiliki penduduk yang paling banyak yaitu 304.047 jiwa dan penduduk terlayani oleh PDAM sebesar 46,28% (PDAM Tirtha Sewakadarma, 2020). Kemudian 53,72% sisanya diperkirakan menggunakan sumber air lainnya seperti sumur bor dan sumur gali. Pantai Mertasari adalah salah satu pantai yang terletak di sisi selatan Desa Sanur Kauh, Kecamatan Denpasar Selatan dengan keragaman daya tarik wisata pantainya juga berpotensi memunculkan peningkatan permintaan terhadap air bersih dan air baku. Pada umumnya air dimanfaatkan untuk dikonsumsi maupun sebagai penunjang daerah tujuan wisata di daerah pesisir pantai Mertasari. Permasalahan yang sering terjadi pada daerah pesisir pantai adalah penyusupan air laut kedalam akuifer sering disebut intrusi air laut. Intrusi air laut merupakan proses masuknya air laut di bawah permukaan tanah melalui akuifer di daratan daerah pantai. Akibat pengambilan air tanah yang berlebihan di wilayah pantai untuk memenuhi kebutuhan hidup dapat menimbulkan permasalahan intrusi air laut dikawasan pantai dan Secara alamiah air laut tidak dapat masuk jauh ke daratan sebab air tanah memiliki piezometric yang menekan lebih kuat dari pada air laut sehingga terbentuk interface sebagai batas antara air tanah dengan air laut. Keadaan tersebut merupakan keadaan keseimbangan hidrostatik antara air laut dan air tanah (Hendrayana, 2002).

Dari hasil wawancara pada survey pendahuluan sangat jarang rumah tinggal di daerah pesisir pantai Mertasari menggunakan air sumur untuk masak dan mandi karena dari pengakuan masyarakat setempat airnya berbau, licin,

berkapur dan rasanya agak asin. Hal ini juga dibuktikan ketika mengambil sampel air sumur di beberapa tempat memang benar airnya agak keruh berkapur, warnanya ada yang kekuningan dan ada beberapa titik sumur yang airnya berasa agak payau. Berdasarkan permasalahan tersebut diduga daerah pesisir pantai Mertasari mengalami intrusi air laut. Karena belum adanya penelitian terkait intrusi air laut di daerah pesisir pantai Mertasari, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian terkait intrusi air laut menggunakan metode VES (*Vertical Electrical Sounding*) yang dikaitkan dengan pengujian kualitas air tanah ini meliputi uji TDS, PH, salinitas dan EC pada beberapa titik sumur bor di daerah pesisir pantai Mertasari yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana kualitas air tanah, keadaan lithologi dan sejauh mana daerah pantai Mertasari mengalami intrusi air laut.

2. METODE DAN MODELING

Gambaran umum lokasi penelitian

Destinasi pariwisata Sanur memiliki luas wilayah 1.548,27 Ha secara geografis terletak pada 8° 42' 30.47" LS dan 115° 15' 6.62" LS yang merupakan bagian wilayah dari kecamatan Denpasar Timur, Kota Denpasar, membentang dari Utara mulai dari pantai Padanggalak, Matahari Terbit, Sindu, pantai Karang, Duyung, Semawang sampai ke Selatan, kemudian belok ke arah Barat menuju pantai Mertasari dan pantai Pengembak. Lokasi penelitian ini adalah di daerah pesisir pantai Mertasari. Lokasi pantai Mertasari terletak di jalan tirta empul, Sanur, Kecamatan Denpasar Timur, Denpasar, Bali. Pada peta geologi lembar Bali dapat diketahui struktur organisasi permukaan tanah daerah pesisir pantai Mertasari. Daerah pesisir pantai Mertasari, pantai Semawang dan pantai Duyung dengan jarak kurang lebih 800 sampai 1500 meter dari garis pantainya didominasi oleh lapisan Qa yang artinya aluvial (*alluvium*). Dimana aluvial (Qa) terdiri dari krakal, krikil, lanau dan lempung sebagai endapan sungai, danau atau pantai. Dari lapisan aluvial ini juga dapat di duga bahwa sumber air tanahnya merata karena aluvial memiliki tingkat porositas yang tinggi. Ini juga terlihat pada peta hidrogeologi bahwa sumber air tanahnya merata dengan debit yang beragam kurang lebih 10 sampai 100 liter / detik dan pada peta di informasikan bahwa air tanahnya mengandung klorida yang sangat tinggi lebih dari 600 mg/l atau ppm. Pada peta hidrogeologi ini juga dapat diketahui bahwa daerah pesisir pantai Mertasari sudah beririgasi.

Prosedur penelitian

- Survei pendahuluan dilakukan pada saat awal rencana penelitian di daerah lokasi studi.
- Studi literatur dan pengumpulan data, yaitu mencari jurnal penelitian sejenis, menentukan metode yang digunakan, alat yang diperlukan dan data yang digunakan memecahkan permasalahan yang terjadi.
- Pengambilan beberapa sampel air sumur di daerah lokasi studi untuk di uji lebih lanjut kualitas air sumurnya dengan 4 parameter pengujian yaitu uji TDS, pH, Salinitas dan EC.
- Persiapan alat yang akan digunakan dalam pengambilan data atau pengukuran dilapangan yakni satu set alat geolistik Martiel MG-1260.
- Pengambilan data dilapangan.
- Analisa data lapangan menggunakan *software* IP2WIN.

Interpretasi data

Menginterpretasi dan menyimpulkan data. Ini adalah prosedur terakhir pada penelitian ini dimana data VES berupa nilai resistivitas lapisan batuan akan di sesuaikan dengan nilai resistivitas tahanan jenis batuan. Data VES juga akan dikorelasikan dengan kondisi hidrogeologi dan hasil uji kualitas air sumur di daerah lokasi studi agar dapat menyimpulkan dugaan kondisi lapisan batuan serta dugaan penyebaran intrusi air laut yang lebih akurat.

Akuifer dan karakteristik akuifer

Akuifer secara umum digambarkan dengan ruang penyimpanan air raksasa yang berada di bawah permukaan tanah. Akuifer dibagi ke dalam dua jenis yaitu akuifer tertekan dan akuifer bebas. Karakteristik akuifer yang dibahas pada penelitian kali ini mencakup permeabilitas, porositas, dan ketebalan akuifer. Pemilihan karakteristik ini didasari pertimbangan ketiganya dapat diketahui melalui analisis hasil geolistrik. Permeabilitas dan porositas akuifer mewakili nilai keterusan dan nilai kelulusan hidraulis dari material penyusun akuifer. Ketebalan akuifer sendiri menyatakan kapasitas airtanah maksimal yang mampu disimpan akuifer (Darmawan, P. 2014).

Intrusi air laut

Dalam keadaan statis, air tawar akan mengapung di atas air asin di daerah pantai karena air asin mempunyai densitas yang lebih tinggi dari air tawar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Hal ini memenuhi persamaan hidrostatik fluida dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 PA &= PB \\
 \rho_s \cdot g \cdot h_s &= \rho_f \cdot g \cdot h_f \\
 h_s &= \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \cdot h_f
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

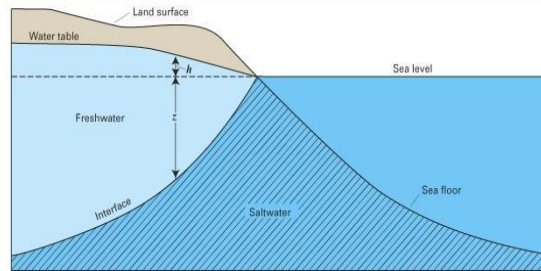
dimana :

h : kerapatan (berat jenis) air laut (gr/cm^3)

f : kerapatan (berat jenis) air bawah tanah tawar (gr/cm^3)

g : percepatan gravitasi

hs : kedalaman muka air laut dari titik A (40hf). Ini berarti bahwa kedalaman batas (interface) air tawar dan air asin sekitar 40 kali ketinggian muka air tanah dari muka air laut.
hf : kedalaman muka air bawah tanah dari muka laut.



Gambar 1. Hubungan air tawar dengan air asin (Silvia, 2013)

Konduktivitas atau daya hantar listrik adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Untuk kasus intrusi air laut, yang dijadikan parameter adalah air. Semakin banyak garam yang terlarut dalam cairan, maka nilai konduktivitasnya akan semakin tinggi dan nilai resistivitasnya akan semakin kecil (Barus, 2015) . Klasifikasi daya hantar listrik (EC) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Air Tanah Berdasarkan Daya Hantar Listrik (EC)

No	EC ($\mu\text{S/cm}$)	Jenis Air
1	<1500	Tawar
2	1500 – 5000	Tawar – Payau
3	5000 – 15000	Payau
4	15000 – 50000	Asin

Salinitas adalah konsentrasi total ion yang terdapat di perairan. Salinitas menggambarkan padatan total dalam air. Setelah semua karbonat dikonversi menjadi oksida, semua bromide dan ionida diganti menjadi klorida, dan semua bahan organik dioksidasi (Barus, 2015).

Tabel 2. Klasifikasi Air Tanah Berdasarkan Salinitas (Salt)

No	Salinitas (mg/L)	Jenis Air
1	<1000	Tawar
2	1000 – 3000	Payau
3	3000 – 35000	Asin
4	>35000	Sangat asin

Pada umumnya keasaman air disebabkan karena adanya gas karbon dioksida yang larut dalam air dan menjadi asam karbonat. Semakin tinggi nilai PH, semakin tinggi pula nilai alkalinitas dan semakin rendah kadar karbondioksida bebas (Barus, 2015). Klasifikasi air tanah berdasarkan pH yang berhubungan dengan intrusi air laut ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Air Tanah Berdasarkan pH

No	PH	Jenis Air
1	0 - 7	Asam
2	7	Netral
3	7-9	Basa

Geolistrik

Geolistrik merupakan alat yang dapat diterapkan untuk beberapa metode geofisika, prinsip kerja metode ini adalah mempelajari aliran listrik di dalam bumi dan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Metode geofisika tersebut di antaranya adalah metode potensial diri, metode arus telurik, magnetotelurik, elektromagnetik, IP (*Induced Polarization*), dan resistivitas (tahanan jenis) (Wuryantoro, 2007). Berdasarkan letak (konfigurasi) elektroda-elektroda arus dan potensialnya, dikenal beberapa jenis metode geolistrik tahanan jenis, antara lain metode Schlumberger, metode Wenner dan metode Dipole Sounding. Metode ini lebih efektif dan cocok digunakan untuk eksplorasi yang sifatnya dangkal, karena jarang memberikan informasi lapisan di kedalaman lebih dari 1000 kaki atau 1500 kaki. Pada metode tahanan jenis konfigurasi Schlumberger, bumi diasumsikan sebagai bola padat yang mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, maka seharusnya resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak bergantung atas spasi elektroda, namun pada kenyataannya bumi terdiri atas lapisan-lapisan dengan ρ yang berbeda-beda sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Maka harga resistivitas yang terukur bukan merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja, tetapi beberapa lapisan. Hal ini

terutama untuk spasi elektroda yang lebar.

Teori dasar resistivity

Prinsip dalam metode resistivitas adalah menginjeksikan arus listrik (sekitar 1-10 mA) ke dalam bumi melalui elektroda arus (sepasang elektroda) dan respon yang diterima berupa beda potensial yang diukur melalui dua elektroda potensial. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial listrik, dapat diperoleh variasi harga resistivitas listrik pada lapisan di bawah titik ukur berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga macam (Simpem, 2015) yaitu:

1. Konduktor baik : $10^{-8} < \rho < 1 \Omega m$
2. Konduktor pertengahan : $1 < \rho < 10^7 \Omega m$
3. Isolator : $\rho > 10^7 \Omega m$

Hukum fisika yang mendasari resistivitas adalah hukum Ohm dengan perumusan pada persamaan :

$$V = I \cdot R \quad (2)$$

Arus yang mengalir (I) pada suatu medium sebanding dengan tegangan atau beda potensial (V) yang terukur pada suatu nilai resistansi (R) medium.

Tabel 4. Harga Resistivitas Spesifikasi Batuan dan Uji TDS (Simpem, Pujianiki. (2018)

Resistivitas (Ohm.m)	Dugaan Lapisan	Keterangan
0.5 - 2.0	Tanah dengan butiran sedikit atau lempung	Air laut atau asin yang sangat asin. TDS berkisar 20000 mg/l
2.0 - 4.5	Butiran Pasir atau lempung jenuh	Air Asin. TDS berkisar 10000 mg/l
4.5 - 10	Lempung Berpasir	Air Payau keasinan. TDS berkisar 10000 - 5000 mg/l
10.0 - 15.0	Pasir, kerikil dan terdapat lempung	Air Payau. TDS berkisar 5000 - 1500 mg/l
15.0 - 30.0	Pasir, kerikil dan sedikit lempung	Air tanah berkualitas rendah. TDS berkisar 1500 - 700 mg/l
30.0 - 70.0	Pasir, kerikil dan sangat sedikit lempung	Air tanah berkualitas sedang. TDS berkisar 700-100 mg/l
70.0 - 100.0	Pasir, kerikil tanpa lempung	Air tanah berkualitas bagus. TDS dibawah 100mg/l
100.0 < n	Pasir kasar, Kerikil tidak berlempung	Air tanah berkualitas sangat bagus. TDS dibawah 100mg/l

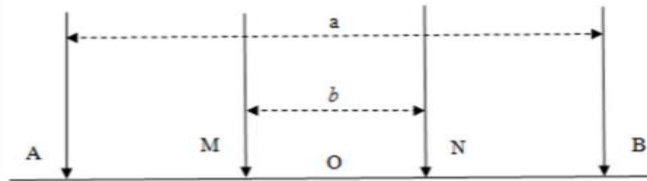
Tabel 5. Harga Resistivitas Spesifikasi Batuan Loke (2006) dimodifikasi oleh Roni, S. (2017)

Resistivitas (Ohm.m)	Dugaan Lapisan
10 - 30	Air dalam lapisan alluvial
50 - 100	Air sumber
1000 - 10000	Pasir dan kerikil
50 - 500	Pasir dan kerikil yang mengandung air tawar
0.5 - 5	Pasir dan kerikil yang mengandung air asin
2 - 20	Lempung
20 - 200	Napal
300 - 10000	Batu Gamping
50 - 300	Pasir berbutir sedang lempungan
300 - 10000	Batu pasir kwarsa
20 - 100	Tufa Gunung api
300 - 10000	Lava
0.5 - 5	Serpih mengandung grafit
100 - 300	Serpih mengandung selingan
300 - 3000	Serpih

Konfigurasi Schlumberger

Prinsip konfigurasi Schlumberger idealnya jarak MN dibuat sekecil- kecilnya, sehingga jarak MN secara teoritis tidak berubah tetapi karena keterbatasan kepekaan alat ukur, maka ketika jarak AB sudah relative besar maka jarak MN hendaknya dirubah. Perubahan jarak MN hendaknya tidak lebih besar dari 1/5 jarak AB). Adapun kelemahan dari konfigurasi schlumberger adalah pembacaan tegangan pada elektroda MN lebih kecil terutama ketika AB yang relative jauh, sehingga diperlukan alat ukur multimeter yang mempunyai karakteristik High Impedance dengan mengatur

tegangan minimal 4 digit atau 2 digit dibelakang koma atau dengan cara lain diperlukan peralatan pengirim arus yang mempunyai tegangan DC yang sangat tinggi (Wuryantoro, 2007).



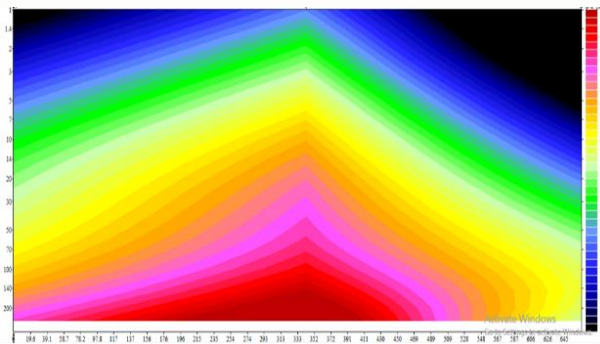
Gambar 2. Susunan Elektroda Konfigurasi Schlumberger (Wuryantoro, 2007)

Data yang diperoleh dari pengukuran dilapangan adalah besarnya arus dan beda potensial pada susunan elektroda dengan AB/2 dan MN/2 tertentu. Perumusan untuk menghitung besarnya nilai tahanan jenis semu (ρ_a) menurut aturan Schlumberger adalah:

$$\begin{aligned} \rho_a &= K (\Delta V / I) \\ K &= \pi((AB - MN)/2)^2/2 \end{aligned} \quad (3)$$

Software IP2WIN

Penggunaan IP2WIN mencakup beberapa tahap. Tahapan dalam penggunaan software IP2WIN adalah input data, koreksi error data, penambahan data dan pembuatan cross section. Input data dapat dilakukan dari data langsung lapangan (masih berupa data AB/2, V, I dan K) atau data tak langsung (berupa data AB/2 dan ρ_{a}). Data hasil olahan IP2WIN berupa data resistivity layer, grafik log resistivity terhadap AB/2, resistivity cross section, serta pseudo cross section. Data hasil olahan dapat diexport dalam berbagai macam pilihan data. Kelemahan yang paling mendasar dalam IP2WIN adalah bahwa software ini banyak terdapat bug atau error kecil sehingga dalam tahapan pengolahan tertentu, program harus direstart (mengeluarkan program kemudian menjalankan program kembali (Alva, 2009).



Gambar 3. Contoh Pengolahan Data Pseudo Cross Section

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

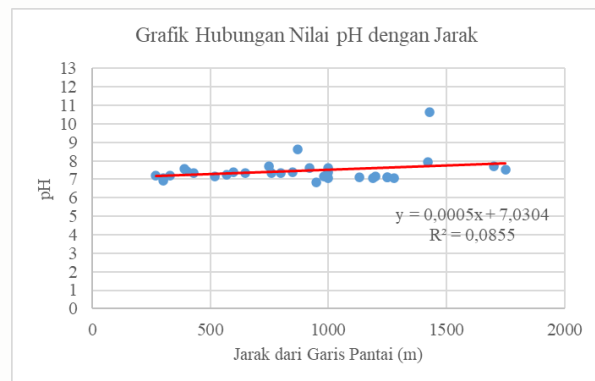
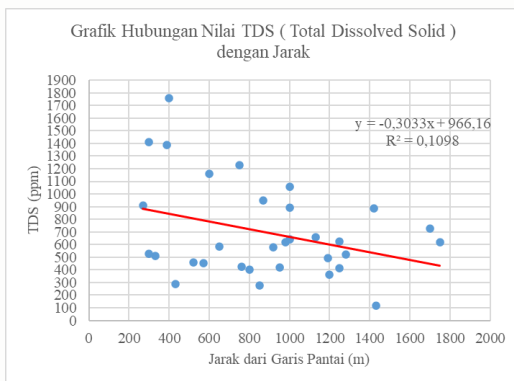
Pantai Mertasari adalah salah satu pantai yang terletak di sisi selatan Desa Sanur Kauh dengan keragaman daya tarik wisata pantainya juga berpotensi memunculkan peningkatan permintaan terhadap air bersih dan air baku yang pada umumnya dimanfaatkan untuk di konsumsi maupun sebagai penunjang daerah tujuan wisata di daerah pesisir pantai Mertasari.

Pada pengujian kualitas air pada 32 titik sumur di daerah pesisir pantai Mertasari, ada 4 parameter hasil didapatkan dalam pengujian kualitas air sumur yang meliputi uji TDS, pH, salinitas dan EC. Jarak lokasi pengujian antara 200 - 1800 meter dari garis pantai dengan kedalaman sumur 12 sampai 60 meter dengan titik kordinat sumur seperti berikut:

Tabel 6. Titik Koordinat Sumur

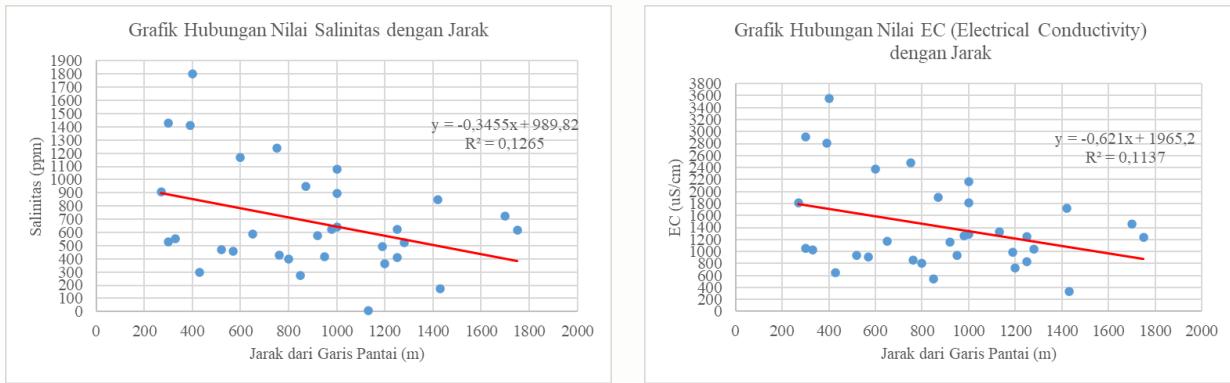
No	Titik Sumur	Koordinat		No	Titik Sumur	Koordinat	
		S	E			S	E
1	Warung Bambu Lulu	08°42'21,3"	115°14'08"	17	Rumah tinggal	08°42'07.0"	115°14'33.9"
2	Atta Kamaya Resort	08°42'33,0"	115°14'48,8"	18	Warung Ibu Agus	08°42'12.8"	115°14'45.4"
3	Pink Private Hotel	08°42'26,9"	115°14'52,4"	19	Rumah tinggal	08°42'13.3"	115°14'46.8"
4	Bengkel Wayan	08°42'17.5"	115°14'53,9"	20	Warung Linda Sembako	08°42'06.6"	115°14'44.8"
5	Rumah tinggal	08°42'20.6"	115°14'58.5"	21	Warung Kubu	08°42'00.8"	115°14'47.0"

No	Titik Sumur	Koordinat		No	Titik Sumur	Koordinat	
		S	E			S	E
Kaja							
6	The Kanjeng Suites	08°42'22.5"	115°14'58.0"	22	CCI Bussines & Legal Service	08°42'9.4"	115°15'1.8"
7	The Monster Villa	08°42'29.6"	115°14'56.0"	23	Rumah tinggal	08°42'05.4"	115°14'58.6"
8	Private Villa	08°42'37.1"	115°14'54.0"	24	Enang Jaya Dynamo	08°42'13.2"	115°14'50.9"
9	Mercure Hotels 1	08°42'32.5"	115°15'14.3"	25	Penginapan	08°42'12.3"	115°15'14.9"
10	Mercure Hotels 2	08°42'32.5"	115°15'14.3"	26	Sanur Laundry	08°42'11.6"	115°15'10.6"
11	Warung Odah Lanus	08°42'30.0"	115°15'21.3"	27	Rumah Toko	08°42'10.4"	115°15'21.0"
12	Sudamala Suites & Villa	08°42'26.7"	115°15'22.3"	28	Villa Kubu	08°42'04.7"	115°15'20.2"
13	Diamon Fair	08°42'20.3"	115°15'16.7"	29	Meubel Surabaya	08°42'11.2"	115°15'04.2"
14	Rumah Tinggal	08°42'22.7"	115°15'11.6"	30	Rumah Kos-Kosan	08°41'53,3"	115°15'11.7"
15	Guest House	08°42'19.1"	115°15'0.00"	31	Proyek DDAP Architech	08°41'54,9"	115°14'53.5"
16	Mini market Tiga Tri	08°42'15.5"	115°14'42.8"	32	Rumah Kos-Kosan	08°41'53,7"	115°15'18.9"



Gambar 4. Hubungan Nilai TDS dan pH dengan jarak

Berdasarkan Gambar 4 di atas, nilai TDS yang didapatkan dari pengujian 32 sampel air sumur adalah 117 ppm sampai 1760 ppm. ada 10 titik sumur diketahui kualitas airnya rendah dan ada 1 titik sumur kualitas airnya sudah payau. Grafik yang dihasilkan adalah grafik gradien negatif dan ditemukan nilai $R^2 = 0.1098$ atau $r = 0.331$ yang artinya memiliki tingkat hubungan yang rendah antara nilai TDS dengan jarak tetapi dapat menginformasikan semakin jauh jarak sumur dari garis pantai nilai TDSnya semakin kecil. Dari hasil uji pH pada 32 titik sumur bor nilainya relatif baik karena diketahui hanya ada 2 titik sumur yang kualitas airnya agak asam. Grafik yang dihasilkan adalah grafik gradien positif dan ditemukan nilai $R^2 = 0.0855$ atau $r = 0.292$ yang artinya memiliki tingkat hubungan yang rendah antara nilai pH dengan jarak tetapi dapat menginformasikan semakin jauh jarak sumur dari garis pantai nilai pHnya semakin besar.

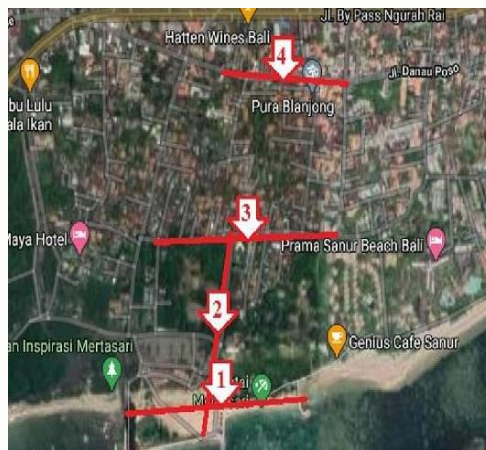


Gambar 5. Hubungan Nilai Salinitas dan EC dengan jarak

Berdasarkan Gambar 5 di atas, nilai Salinitas yang didapatkan dari pengujian 32 sampel air sumur adalah 1080 ppm sampai 1800 ppm dan ada 6 titik sumur diketahui kualitas airnya payau, ini terjadi pada jarak sumur ± 390 sampai 1000 meter dari garis pantai. Grafik yang dihasilkan adalah grafik gradien negatif dan ditemukan nilai $R^2 = 0.1265$ atau $r = 0.356$ yang artinya memiliki tingkat hubungan yang rendah antara nilai salinitas dengan jarak. tetapi dapat menginformasikan semakin jauh jarak sumur dari garis pantai nilai salinitasnya semakin kecil. Dilihat dari parameter daya hantar listrik atau EC (Electrical Conductivity) ada 10 titik dari 32 sumur yang di uji terdeteksi sudah mengalami tawar – payau dengan jarak sumur berkisar ± 270 sampai 1420 meter dari garis pantai. . Grafik yang dihasilkan adalah grafik gradien negatif dan ditemukan nilai $R^2 = 0.1137$ atau $r = 0.337$ yang artinya memiliki tingkat hubungan yang rendah antara nilai EC dengan jarak tetapi dapat menginformasikan semakin jauh jarak sumur dari garis pantai nilai ECnya semakin kecil.

Prosedur pengukuran VES konfigurasi Schlumberger di lapangan

- Mengukur dan menentukan panjang lintasan sebelum menentukan titik sounding yaitu 200 sampai 600 meter sesuai keadaan dilokasi.
- Memasang satu elektroda sebagai titik sounding sebagai tempat acuan memasang set alat geolistrik.
- Menentukan jarak spasi elektroda arus (AB) dimulai dari jarak 1.5 meter dan jarak spasi elektroda potensial (MN) dimulai dari 0,5 meter.
- Membentangkan kabel dan menghubungkan pada masing-masing elektroda arus maupun elektroda potensial.
- Memasang kabel konektor dari aki (accu) ke alat geolistrik.
- Melakukan proses pengambilan data dan menulis jarak AB, AB/2 (m), MN, MN/2 (m), I (mA) dan V (mV) ke dalam tabel.
- Melakukan kegiatan yang sama pada jarak pemibdahian elektroda selanjutnya. Misalkan sampai panjang lintasan 200 meter ke samping kiri dan 300 meter ke samping kanan atau panjang lintasannya secara total 600 meter. Semakin panjang lintasan yang didapatkan semakin dalam juga lapisan tanah yang terbaca.



Gambar 6. Peta Lintasan dan Lokasi Titik Pengukuran (Sumber : google/Earth)

Berdasarkan keempat lintasan yang diukur maka berikut titik koordinat dan arah lintasan bentangan yaitu:

- VES 1 (Titik 1) lokasi parkir motor pantai Mertasari, Sanur dengan panjang lintas 600 meter pada titik koordinat S 08°42'42.69" dan E 115°15'2.1"
- VES 2 (Titik 2) Jl. Tirta Empul, Sanur dengan panjang lintas 600 meter pada titik koordinat S 08°42'39.2" dan

- E 115°15'3.1"
3. VES 3 (Titik 3) Jl. Mertasari, Sanur dengan panjang lintas 600 meter pada titik koordinat S 08°42'32.0" dan E 115°14'6.1"
 4. VES 4 (Titik 4) Jl. Danau Poso, Sanur dengan panjang lintas 250 meter pada titik koordinat S 8°42'32.9" dan E 115°14'54.9"

Interpretasi data Vertical Electrical Sounding (VES)

Batuan yang ada di daerah penelitian didominasi oleh Alluvium yang terdiri dari pasir, kerikil, lanau dan lempung dilihat dari interpretasi data VES dengan nilai resistivitas spesifikasi batuan yang dikorelasikan dengan peta geologi. Berdasarkan hasil interpretasi dan analisis data lapangan pada setiap lintasan di lokasi penelitian ditemukan adanya 4 lapisan (layer) batuan dengan ketebalan dan kedalaman yang bervariasi.

Tabel 7. Lithologi Titik Lintasan 1

No	Kedalaman(m)	ρ_a	Lithologi
1	0 s/d 10	7,53	Lapisan permukaan, pasir halus mengandung air asin.
2	10 s/d 31	53,2	Pasir berbutir sedikit lempung kualitas air payau (akuifer)
3	31 s/d 58	62	Pasir berbutir sedang sedikit lempung, kualitas air sedang (akuifer)
4	58 s/d 103	142	Kerikil pasiran mengandung air kualitas sangat baik (akuifer)

Tabel 8. Lithologi Titik Lintasan 2

No	Kedalaman (m)	ρ_a	Lithologi
1	1 s/d 2	1,6	Lapisan Permukaan.
2	2 s/d 30	19,2	Lempung pasiran mengandung kualitas air payau dan berkualitas rendah (akuifer)
3	30 s/d 54	39,8	Pasir lempungan mengandung air berkualitas sedang (akuifer)
4	54 s/d 111	33,7	Pasir lempungan mengandung air berkualitas sedang (akuifer)

Tabel 9. Lithologi Titik Lintasan 3

No	Kedalaman(m)	ρ_a	Lithologi
1	0.5 s/d 7,6	316	Lapisan permukaan bercampur batu pasir lempungan.
2	7.6 s/d 36	131	Pasir, kerikil kualitas air sangat bagus (akuifer)
3	36 s/d 71,3	346	Pasir dan Kerikil mengandung air sangat bagus (akuifer)
4	71.3 s/d 102	193	Pasir dan kerikil mengandung air sangat bagus (akuifer)

Tabel 10. Lithologi Titik Lintasan 4

No	Kedalaman (m)	ρ_a	Lithologi
1	0.5 s/d 15.2	94.7	Lapisan permukaan bercampur batu pasir lempungan kualitas air baik. (Akuifer)
2	15.2 s/d 32.5	144	Pasir kasar, kerikil air kualitas sangat baik (akuifer)
3	32.5 s/d 55	106	Pasir kasar, kerikil air kualitas sangat baik (akuifer)
4	55 s/d 88	124	Pasir kasar, kerikil air kualitas sangat baik (akuifer)

Interpretasi Data Pseudo Cross Section

Setelah menginterpretasikan lithologi dengan cara mencocokkan nilai resistivitas tahanan jenis batuan atau lapisan dengan nilai resistivitas yang didapat dari output pengukuran lapangan yang sudah diolah dengan software IP2WIN dan disebut data VES (*Vertical Electrical Sounding*). Untuk dapat memperkirakan tebal lapisan bawah permukaan yang terintrusi air laut secara visual pada daerah pesisir pantai Mertasari Sanur. Proses data yang dilakukan selanjutnya adalah melakukan penggabungan atau mengkombinasi data VES menjadi tampilan 2 dimensi (*pseudo cross section*) yang di korelasikan dengan keadaan geologi, hidrogeologi dan kualitas air sumur yang sudah diketahui melalui uji TDS, pH, Salinitas dan EC, sehingga dapat mengetahui sejauh mana daerah pesisir pantai Mertasari Sanur sudah

terintrusi air laut. Pendugaan intrusi air laut pada lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 7.

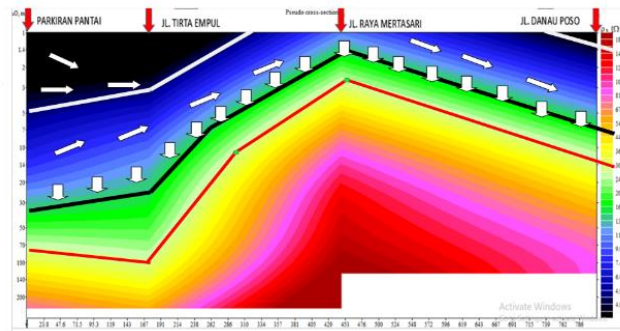
Dilihat dari tampilan visual 2 dimensi (pseudo cross section) dengan panjang kurang lebih 800 meter dari garis pantai sampai Jl. Danau Poso, maka dapat dilihat adanya lapisan (layer) yang mengandung air asin pada titik VES 1 yang mengarah ke titik VES 4. Ini dilihat dari lapisan yang berwarna biru tua sampai biru muda dengan nilai resistivitas 0 sampai 15 ohm.m dengan kedalaman yang bervariasi. Intrusi air laut yang terjadi pada titik VES 1 dan VES 2 ditemukan pada kedalaman 5 sampai 30 meter dan pada kedalaman 0 sampai 5 meter adalah lapisan penutup atau pasir pantai karena pengukuran titik VES 1 dilakukan pada pasir pantai parkir motor pantai Mertasari. Pada titik VES 3 lapisan (layer) yang mengalami intrusi air laut mulai dangkal dimana intrusi air laut diduga terjadi pada kedalaman tidak melebihi 2 meter dari permukaan tanah. Dari titik VES 3 ke arah titik VES 4 yang terletak di Jl. Danau Poso dengan jarak kurang lebih 800 meter dari titik VES 1 atau garis pantai, lapisan (layer) yang mengalami intrusi semakin dalam sampai kedalaman 7 meter dari permukaan tanah.

Pada pseudo cross section nilai resistivitas 15 sampai 30 ohm.m digambarkan dengan lapisan (layer) berwarna hijau. Lapisan (layer) yang berwarna hijau adalah akuifer yang dapat diketahui dari spesifikasi tahan jenis batuan. Lapisan (layer) yang berwarna hijau berada di bawah lapisan (layer) yang mengalami intrusi air laut dan tidak ada lapisan (layer) kedap air yang membatasinya, maka air asin di atasnya akan menekan akuifer di bawahnya dan lapisan (layer) yang berwarna hijau diduga mengalami payau. Pada titik VES 1 dan VES 2 diduga lapisan (layer) yang mengalami payau dari kedalaman 30 sampai 70 meter. Pada titik VES 3 lapisan (layer) yang diduga mengalami payau terjadi pada kedalaman 2 sampai 7 meter dan pada titik VES 4 lapisan (layer) yang mengalami payau diduga terjadi pada kedalaman 7 sampai 15 meter. Hal ini dapat dikarenakan lapisan penyusun tanah permukaan daerah pesisir pantai Mertasari adalah aluvial yang memiliki porositas tinggi dan menurut Simpen dan Pujianiki (2018) pada penelitian intrusi air laut di pantai Candidasa, Kabupaten Karangasem, Bali dengan menggunakan metode resistivitas konfigurasi wenner yang diolah dengan Res2divn, dapat diketahui intrusi air laut yang terjadi pada nilai resistivitas 0,5 – 30 ohm.m.

Pada uji TDS dapat diketahui ada 10 titik sumur yang terdeteksi kualitas airnya rendah dan ada 1 titik sumur bor yang kualitas airnya sudah payau, ini terjadi pada jarak sumur \pm 270 sampai 1700 meter dari garis pantai. Dari hasil uji salinitas dapat diketahui ada 6 titik sumur yang kualitas airnya sudah mengalami payau dengan rentan jarak sumur \pm 390 sampai 1000 meter dari garis pantai. Ditinjau dari parameter daya hantar listrik atau EC (Electrical Conductivity), ada 10 titik yang terdeteksi sudah mengalami tawar – payau dengan jarak sumur berkisar \pm 270 sampai 1420 meter dari garis pantai. Untuk uji pH air sumur nilai pHnya relatif baik karena hanya ada 2 titik sumur yang airnya agak asam dan ini terdeteksi pada titik sumur 8 dan titik sumur 26. Dilihat dari uji kualitas air ini dapat diketahui air asin sudah terdeteksi masuk \pm sampai 1700 meter dari garis pantai dan hal ini juga membuktikan memang benar yang terlihat pada pseudo cross section bawah air asin sudah masuk lebih dari 800 meter dari garis pantai Mertasari.

Parameter kualitas air yang paling berkaitan dengan resistivitas mengenai intrusi air laut adalah daya hantar listrik atau EC (Electrical Conductivity). Konduktivitas (σ) adalah kemampuan batuan/median/benda untuk menghantarkan arus listrik dan satuan output alat uji EC saat pengujian di lapangan adalah microseimen/cm atau uS/cm. Sedangkan resistivitas (ρ) adalah kemampuan batuan/median/benda untuk menahan arus listrik atau kebalikan dari konduktivitas (σ). Jadi semakin tinggi nilai konduktivitas (σ) batuan/median/benda maka semakin kecil nilai resistivitasnya (ρ). Pada uji kualitas air parameter EC ada 4 titik sumur yang mengalami tawar – payau yang jaraknya lebih dari 800 meter dari garis pantai. Titik sumur ini memiliki jarak \pm 870 sampai 1430 meter dan nilai EC antara 1719 uS/cm sampai 2160 uS/cm.

Intrusi air laut pada daerah pesisir pantai Mertasari juga dapat diduga terjadi karena keberadaan sungai di bagian barat dan utara titik VES 4. Karena saat terjadi air pasang, air laut naik mengisi sungai dan dapat mengkontaminasi lapisan akuifer dibawahnya. Hal ini juga dapat diduga karena lapisan bawah permukaan, dimana lapisan bawah permukaan daerah pesisir pantai Mertasari adalah aluvial di sepanjang \pm 2 km dari garis pantai. Lapisan aluvial ini juga berpengaruh karena permeabilitas yang tinggi dalam melalukan air laut kedaratan dan memiliki nilai porositas tinggi untuk menyimpan atau menahan air laut yang dapat mempengaruhi akuifer dibawahnya. Batuan yang ada di daerah penelitian didominasi oleh Alluvium yang terdiri dari pasir, kerikil, lanau dan lempung dilihat dari interpretasi data VES dengan nilai resistivitas spesifikasi batuan yang dikorelasikan dengan peta geologi. Berdasarkan hasil interpretasi dan analisis data lapangan pada setiap lintasan di lokasi penelitian ditemukan adanya 4 lapisan (layer) batuan dengan ketebalan dan kedalaman yang bervariasi.



Gambar 7. Pseudo Cross Section VES 1,2,3 dan 4

4. KESIMPULAN

Nilai Kualitas air tanah berdasarkan uji TDS, salinitas dan EC pada 32 titik sumur bor dengan jarak 200 – 1800 m dari garis pantai diketahui sudah terkontaminasi air laut tetapi berdasarkan uji pH kualitas air sumurnya relatif baik, dengan nilai kualitas air sumur antara 117 ppm sampai 1760 ppm, uji pH antara 6.83 sampai 10.63, uji salinitas antara 272 ppm sampai 1800 ppm dan uji EC antara 335 uS/cm sampai 3560 uS/cm. Lithologi lapisan bawah permukaan terdiri dari susunan formasi aluvial atau alluvium (Qa) berupa kerakal, kerikil, pasir, lanau dan lempung yang kemungkinan besar dari hasil endapan laut karena daerah yang di teliti adalah daerah pesisir pantai Mertasari.

Nilai resistivitas lapisan yang diduga mengalami intrusi air laut antara 2.0 sampai 30 ohm.m. Pada titik VES 1 intrusi diduga terjadi pada kedalaman ± 5 sampai 70 meter, titik VES 2 intrusi terjadi pada kedalaman ± 2 sampai 70 meter, titik VES 3 ± 1 sampai 7 meter dan pada titik VES 4 intrusi diduga terjadi pada kedalaman ± 1 sampai 15 meter. Intrusi air laut di daerah pesisir pantai Mertasari diduga sudah masuk > 800 meter dari garis pantai. Pada *pseudo cross section* terlihat panjang total bacaan ± 800 meter dari parkir motor pantai Mertasari (garis pantai) sampai jalan Danau Poso dimana sepanjang ± 800 meter terdeteksi adanya intrusi air laut dengan kedalaman yang bervariasi. Dugaan penyebaran Intrusi air laut juga dapat diketahui saat melakukan uji kualitas air yang meliputi uji TDS, pH, salinitas dan EC di 32 titik sumur bor dengan jarak 200 – 1800 m dari garis pantai. Ada beberapa titik sumur dengan jarak > 800 dari garis pantai memiliki kualitas air yang rendah dan payau.

Intrusi air laut pada daerah pesisir pantai Mertasari juga dapat diduga terjadi karena keberadaan saluran irigasi berupa sungai di bagian barat dan utara titik VES 4. Karena saat terjadi air pasang, air laut naik mengisi sungai dan dapat mengkontaminasi lapisan akuifer dibawahnya. Hal ini diduga disebabkan oleh lapisan bawah permukaan, dimana lapisan bawah permukaan daerah pesisir pantai Mertasari adalah aluvial di sepanjang ± 2 km dari garis pantai dimana lapisan aluvial ini memiliki nilai Lapisan aluvial ini juga berpengaruh karena permeabilitas yang tinggi dalam melakukan air laut kedaratan dan memiliki nilai porositas tinggi untuk menyimpan atau menahan air laut yang dapat mempengaruhi akuifer dibawahnya. Agar intrusi air laut tidak bertambah luas, para stakeholder disarankan perlu memberikan bimbingan teknis kepada para pelaku pariwisata dan pengguna air tanah lainnya di daerah pesisir pantai Mertasari tentang tatacara pencegahan intrusi air laut agar dapat menggunakan air tanah dengan bijak.

DAFTAR PUSTAKA

- Alva. (2009). Tutorial IP2Win. Principle of IP2Win, Hidrogeology Word.
- Anonim. (2020). Data Pengguna PDAM (Tirta Sewakadarma). PDAM Kota Denpasar.
- Barus, A. (2015). Identifikasi Sebaran Intrusi Air Laut di Desa Lambaro Neujid Kecamatan Peukan Banda Menggunakan Metode Resistivitas 2D. Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Syah Kuala, Banda Aceh.
- Hendrayana. (2004). Konsep Dasar Manajemen Cekungan Air Tanah. Teknik Geologi UGM, Yogyakarta.
- Hendrayana, H. (2002). Intrusi air asin ke dalam akuifer di daratan. Departemen Teknik Geologi, FT UGM, Yogyakarta.
- Darmawan, Puguh. (2014). “Analisis Karakteristik dan Potensi Akifer Kecamatan purworejo Kabupaten Purworejo Dengan Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES)”. Jurnal Teknik Sipil, UGM, Yogiakarta.
- S, Roni. (2017). Laporan Pengukuran Geolistrik Hyatt. Laporan Proyek, Sanur- Bali
- Silvia. (2013). Aplikasi Geolistrik Untuk Identifikasi Intrusi Air Laut Daerah Semarah Utara. Skripsi, Fakultas MIPA. UNES, Semarang.
- Simpn. (2015). Pedoman Pratikum Geolistrik. Fakultas MIPA, UNUD.
- Simpn, Pujianiki. (2018). “Aplikasi Geolistrik Untuk Pemetaan Intrusi Air Laut di Pantai Candidasa”. Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil, UNUD.
- Todd, D K. (1995). *Groundwater Hidrology Second Edition*. New York, Jhon Wiley & Sons.
- Triatmodjo, Bambang. (2008). Hidrologi Terapan. Yogyakarta : Beta Offset.
- Wuryantoro. (2007). Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk Menentukan Letak dan Kedalaman Aquifer Air Tanah. Skripsi, Unnes, Semarang.