

# Gambaran Resistivitas Batuan Bawah Permukaan Daerah Intursi Air Laut (Studi Kasus Pulau Ternate)

<sup>1</sup>\*Ramdani Salam, <sup>2</sup>Nani Nagu, <sup>3</sup>Ridwan Lessy, <sup>4</sup>Rahim Achmad,

<sup>1</sup>Jurusan Geografi, Universitas Khairun

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Khairun

<sup>3</sup>Jurusan kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Khairun

<sup>4</sup>Jurusan Fisika, Universitas Khairun

\*Email: ramdani.salam@mail.ugm.ac.id

## ABSTRAK

The measurement of 2D geoelectrical using Wenner-Schlumberger configuration has been conducted, in order to know the distribution of seawater intrusion in each depth. The result inversion is showed the seawater intrusion untuil 20m depth. The measurement result of rock ressitivity ranging from 0-10  $\Omega$ m is salt water, for brackish water between 10  $\Omega$ m untill less than 30  $\Omega$ m and the value more than 30  $\Omega$ m is estimated as fresh water. Another measurements namely water quality of dug well also carried out to measure such as: Electrical Conductivity (mS/cm), Total Dissolved Solid (g/L) and Salinity (ppt). The dug wells which on a line with PDAM wells, have a high DHL, TDS and Salinity value. The value of water quality measured then presented as a map of sea water intrusion. The combination of methods reported here is very important to be applied at coast vurnarable to seawater intrusion.

**Kata kunci:** Geoelectrical imaging, sea water intrusion, water quality

## 1. PENDAHULUAN

Airtanah di wilayah pesisir memiliki hubungan hidrodinamis tersendiri dengan air laut secara alami. Wilayah pesisir suatu pulau kecil gunungapi umumnya berbentuk lahan endapan aluvial sebagai lapisan akuifer yang produktif (Falkland (1991, 1992, dan 1993), Bakti (2007), Fuentes et al., (2014)). Kestabilan hubungan hidrodinamis antara air asin dan airtanah di wilayah pesisir dapat terganggu oleh pengambilan airtanah yang berlebihan. Hukum Ghiben Herzberg (Michael (2005)) memastikan jika pengambilan airtanah dengan pemompaan yang tidak berimbang dengan kondisi fisik batuan, akan menyebabkan masuknya air asin ke daratan (intrusi).

Kejadian intrusi air asin disamping faktor *antropogenic* (akibat tindakan manusia), dapat juga terjadi akibat faktor alam. Kondisi batuan atau pasang surut air

laut dapat mengakibatkan airtanah dekat garis pantai menjadi payau. Achmad (2016), menunjukkan kerentanan intrusi air asin di bagian utara Pulau Ternate, yang terjadi secara alami. Kondisi batuanya sangat mudah meloloskan air laut, ditambah terjadi pengambilan airtanah berlebihan dan tidak terkendali, maka akan ada ancaman intrusi air asin. Khaki *et al.*, (2016), menunjukkan pentingnya menerapkan perpaduan metode antara geolistrik dan kimia airtanah untuk penyelidikan awal sebelum terjadinya intrusi air asin, sekaligus sebagai dasar pengelolaan airtanah dekat pesisir. Model DRASTIC untuk penilaian kerentanan intrusi dengan menerapkan indeks GALDIT juga akan membantu mencegah wilayah yang berpotensi terjadinya intrusi air asin (Recinos *et al.*, 2015).

Penelitian ini menggambarkan intrusi air asin yang terjadi akibat pengambilan

airtanah dekat garis pantai di Pulau Ternate. Pertumbuhan penduduk yang signifikan di Kota Ternate (212.997 jiwa, BPS Kota Ternate, 2016), berbanding lurus dengan tingginya permintaan kebutuhan air baku. Persahaan Air Minum Daerah (PDAM) sebagai satu satunya institusi resmi pemerintah yang menyediakan air baku untuk masyarakat, telah mengoperasikan beberapa titik pengambilan airtanah di Pulau Ternate. Salah satunya adalah di sekitar mata air Akegaale yang terletak di dekat garis pantai. Diduga pengambilan yang melebihi batas ketentuan debit, maka proses upconing yang menyertakan air laut dari bawah permukaan turut merembes dan tersebar mengikuti pola aliran airtanah disekitarnya.

Metode geolistrik sebagai salah satu metode dalam geofisika yang mampu memberikan informasi bawah permukaan bekerja berdasar sifat tahanan jenis batuan (Loke (2004), Reynolds (2011), Telford, dkk., (1990)). Metode ini telah banyak diterapkan dalam penelitian tentang hubungan airtanah dengan air laut dekat garis pantai, penentuan kedalaman *interface*, kasus terjadinya intrusi air asin, dan untuk keperluan penelitian hidrologi lainnya.

Penelitian ini menerapkan gabungan metode geolistrik di tiga lintasan dengan metode pengukuran fisik airtanah. Data kualitas fisik airtanah dalam dua tahun (2015 dan 2017). Digunakan untuk memantau situasi terakhir keadaan intrusi air asin di sekitar lokasi pengambilan airtanah oleh PDAM.

## 2. GEOLOGI PULAU TERNATE

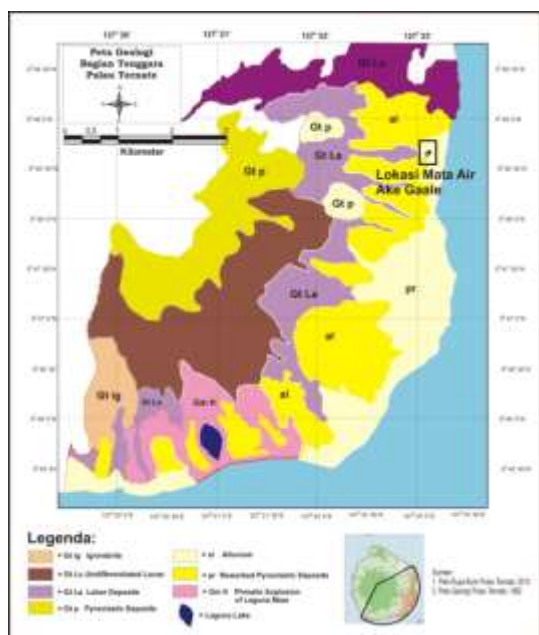
Situasi geologi Pulau Ternate didasarkan Peta Geologi Lembar Ternate (oleh Apandi dan Sudana) terbitan P3G Bandung, Tahun 1980 dengan Skala 1: 250.000. Informasi dari peta ini menyebutkan Pulau Ternate tersusun oleh satuan batuan Gunungapi Holosen ( $Q_{hv}$ ), berupa breksi andesit, lava andesit basal, dan tufa. Struktur geologi tidak banyak berkembang kecuali sebuah kelurusan yang

berarah timurlaut – baratdaya yang terdapat di sebelah timur puncak Gunung Gamalama.



Gambar 1. Lokasi penelitian dan pengambilan data  
(Sumber peta: Google Maps)

Informasi geologi Pulau Ternate juga diperoleh dari lembar peta geologi Pulau Ternate, Skala 1: 25.000, terbitan direktorat Vulkanologi Bandung tahun 1982. Bronto dkk. (1982), mengklasifikasikan batuan Pulau Ternate dalam tiga generasi, yaitu endapan Gamalama tua (Gt), endapan Gamalama dewasa (Gd) dan endapan Gamalama muda (Gm). Tiap generasi endapan ini masih terbagi dalam beberapa bagian. Sistemika pembagian endapan vulkanik ini didasarkan pada periodisasi erupsi Gunung Gamalama. Erupsi gunungapi yang berperiodik tak teratur dan produk erupsi yang tak sama volumenya, menyebabkan stratifikasi endapan vulkanik tidak merata. Stratifikasi endapan vulkanik ini pada akhirnya turut menjadi bagian dari sistem hidrologi pulau Ternate.



Gambar 2. Peta geologi bagian tenggara Pulau Ternate

Selain ketiga endapan Gamalama (tua, dewasa dan muda) masih terdapat dua satuan endapan yang merupakan endapan permukaan yaitu Aluvium (Al) dan endapan Piroklastika rombakan (Pr). Kedua satuan endapan ini sebagai hasil rombakan endapan Gamalama tua (Gt), Gamalama dewasa (Gd) dan Gamalama muda (Gm), yang tidak terpisahkan dan dijumpai di wilayah pesisir dan sekitarnya, di tenggara dan sedikit di selatan Pulau Ternate. Lokasi penelitian termasuk dalam endapan aluvial, yang merupakan batuan berporositas bagus dalam menyimpan airtanah. Secara struktur, mata air Akegaale termasuk dalam mata air kontak. Letak mata air dalam peta geologi, disajikan pada Gambar 2.

Masih terdapat dua lapisan endapan permukaan yakni endapan piroklastik rombakan dan endapan aluvial.

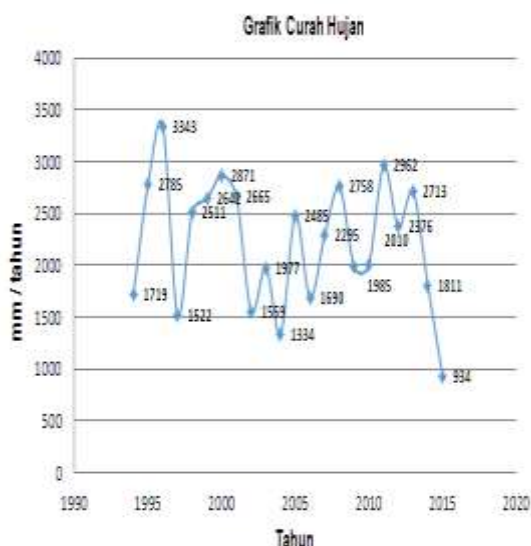
### 3. 1 Iklim dan Geohidrologi

Secara umum curah hujan di Indonesia sangat dipengaruhi oleh perbedaan iklim antara Benua Asia dengan Australia, walaupun demikian iklim dan hidrologi Pulau Ternate sangat dipengaruhi oleh keberadaan gunungapi ditengahnya. Gunungapi Gamalama (1715 m) yang berada

di tengah Pulau Ternate menyebabkan sering terjadinya hujan akibat faktor orografik. Hal ini sejalan dengan penjelasan Asdak (2004), yang mengatakan posisi Indonesia yang diapit kedua daratan besar ini, menyebabkan hujan yang terjadi adalah jenis konvektif dan orografik. Dari data curah hujan di Stasiun Metrologi Bandara Babullah Ternate dalam periode 22 tahun (1994 -2015) , dapat diketahui jumlah curah hujan rata-rata tahunan adalah 2.225 mm/tahun, dengan jumlah hari hujan pertahun rata-rata 202 hari. Curah hujan terbesar terjadi pada tahun 1996 dan paling sedikit ada pada tahun 2015. Gambar 3 memperlihatkan grafik curah hujan selama 22 tahun.

Menurut Schmidt-Ferguson (1951, dalam Bayong (2004) dan Lakitan (2002)), dengan membandingkan antara rata-rata banyaknya bulan kering (Md) dan rata-rata banyaknya bulan basah (Mw) dalam satu tahun, dapat ditentukan nilai Q ( $Q = 18,6\%$ ). sebagai indikator iklim. Dengan melihat data hujan pada Gambar 3, Pulau Ternate berada pada klasifikasi iklim B (hutan hujan tropika).

Kondisi hidrogeologi Pulau Ternate sangat dikontrol oleh keadaan morfologi dan geologinya. Tipe gunungapi stratos menyebabkan pola aliran airtanah mengalir secara radial, yakni dari puncak gunung mengalir secara menyebar ke tepi pulau secara bersamaan. Kualitas airtanah umumnya bagus, dengan produktivitas akuifer tinggi mulai dari tubuh hingga kaki gunung. Airtanah yang banyak dipergunakan adalah airtanah bebas, di daerah lepasan (*discharge area*). Air tanah bebas merupakan airtanah yang tersimpan dalam lapisan akuifer yang tidak terdapat lapisan kedap air di atasnya. Disamping itu terdapat juga sumber air permukaan seperti danau dan sungai, namun tidak dijadikan sebagai sumber air baku. Sumber utama air baku Pulau Ternate adalah air tanah bebas, air tanah dalam dan mata air.



Gambar 3. Grafik curah hujan tahunan

Todd dan Mays (2005), membagi sistem akuifer untuk pulau gunungapi terdiri atas, sistem rekahan batuan, ruang antar butir dan perpaduan antara keduanya. Lokasi penelitian disekitar mataair Akegaale, termasuk dalam sistem akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir, dengan jenis batuan endapan aluvial. Latief (2005), menjelaskan kemunculan mataair Akegaale, dicirikan dengan debit yang besar (60 L/det), dimana media yang dilaluinya berpori. Kemunculan mataair ini juga dikontrol oleh kondisi geologi lokal seperti kemiringan lereng dan lapisan, jenis batuan, *fracture* dan erosi permukaan.

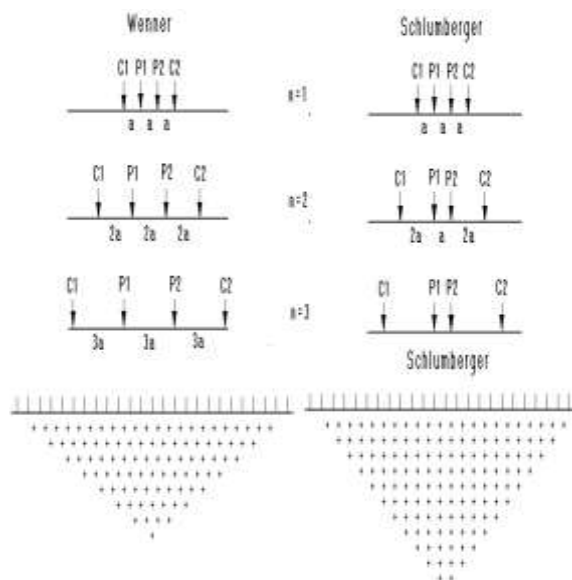
#### 4. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan dengan menerapkan pengukuran geolistrik 2D pada tiga lintasan dalam kantor PDAM. Metoda geoloistik merupakan salah satu metoda geofisika yang dapat memberikan gambaran susunan dan kedalaman lapisan batuan, dengan mengukur sifat kelistrikan batuan, (Loke (2004); Telford (1990); Reynold (2011)).

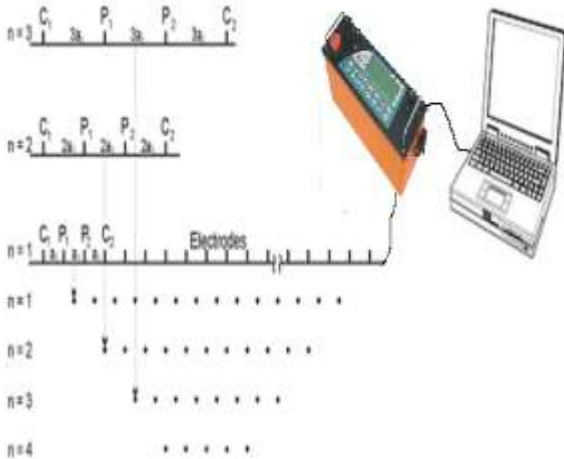
Prinsip kerja metode geofisika yang dapat memberikan informasi resistivitas dan konduktivitas batuan, menjadi dasar yang tepat untuk digunakan dalam menginvestigasi proses terjadinya intrusi air asin. Ebraheem, *et al.*, (2012), menyebutkan

kelebihan dalam menerapkan metode geolistrik untuk mendeleanasi wilayah yang terkontaminasi air laut yakni: 1. Metode ini relatif murah dan ekonomis sehingga dapat dijadikan metode cepat dalam daerah terkontaminasi yang luas, dan 2. Sifat kimia yakni, konduktivitas dan resistivitas dari air tanah yang terintrusi sangat mudah dikenali dari tingkat kontaminasinya.

Alat resistiviti meter yang digunakan adalah Ares multielektroda, dimana proses akuisisi data dengan menginjeksikan arus bergantian pada tiap elektroda secara otomatis. Penelitian ini menerapkan konfigurasi Wenner-Schlumberger dengan panjang lintasan 120 m dengan target kedalaman 20 m. Konfigurasi Wenner - Schlumberger merupakan metode gabungan antara konfigurasi wenner dan schlumberger. Konfigurasi Wenner memiliki sensitif terhadap perubahan vertikal dan kurang sensitif terhadap perubahan horizontal. Konfigurasi Schlumberger merupakan konfigurasi elektroda metode geolistrik yang sudah umum digunakan untuk sounding atau target kedalaman. Perbandingan konfigurasi antara Wenner dan Schlumberger diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan konfigurasi Wenner dan Schlumberger (Loke, 2004)



Gambar 5. Pengukuran dengan Ares multielektroda (modifikasi dari Kirsch, 2009)

Untuk dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan dari hasil pengukuran geolistrik, maka nilai resistivitas batuan dibagi menjadi tiga bagian. Nilai resistivitas yang sangat rendah merupakan batuan yang dipengaruhi air laut, nilai yang sedang menunjukkan air yang payau, sedangkan nilai yang tinggi merupakan air tawar yang sudah dipengaruhi air laut. Hasil inversi disajikan dalam bentuk penampang, sedangkan untuk menggambarkan keadaan sebaran air laut pada kedalaman tertentu, dikumpulkan nilai resistivitas dari tiap lintasan pada kedalaman yang sama, kemudian disajikan kontur nilai resistivitasnya.

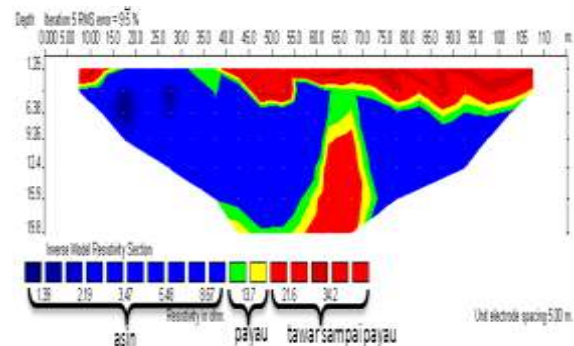
Disamping pengukuran nilai resistivitas batuan, dilakukan juga pengukuran fisik air sumur (DHL, TDS dan Salinitas) penduduk sebagai data pendukung dan sebagai indikator sebaran air asin. Pengukuran fisik air sumur menggunakan *Horiba Water Quality Checker*,

yang dapat mengukur 11 parameter kondisi fisik dan kimia air sumur. Hasil pengukuran di tahun 2015 dijadikan pembandingan untuk hasil pengukuran tahun 2017. Total pengukuran dilakukan di 37 sumur penduduk. Hasil pengukuran kemudian dibuatkan kontur sehingga dapat disajikan peta sebarannya.

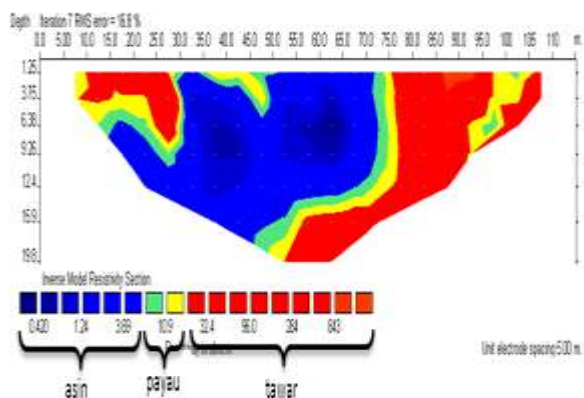
## 5. Hasil dan Pembahasan

### 5.1 Hasil Pengukuran Geolistrik

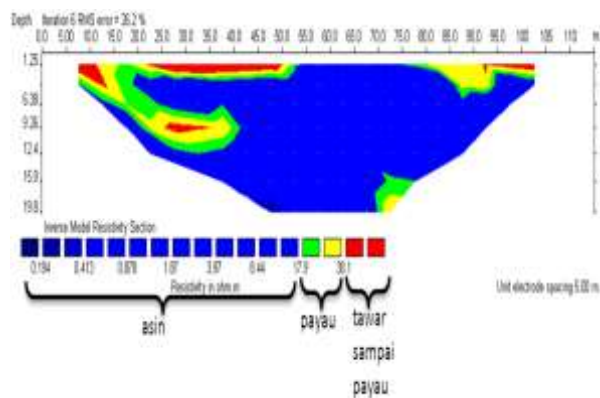
Pengukuran geolistrik di tiga lintasan memberikan gambaran bahwa lapisan akuifer yang tersaturasi airtanah, telah didominasi nilai resistivitas air asin. Nilai resistivitas air asin (biru) bervariasi dari rentang 0,1  $\Omega$ m sampai kurang dari 10  $\Omega$ m. Nilai resistivitas air payau (kuning - hijau) yang masih dipengaruhi air asin bervariasi dari rentang lebih 10  $\Omega$ m dan kurang dari 30  $\Omega$ m. Nilai resistivitas batuan yang lebih tinggi dari 100  $\Omega$ m diperkirakan masih menyimpan air tawar segar (merah). Sebaran nilai resistivitas dari ketiga lintasan disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 6. Hasil pengukuran geolistrik di lintasan 1



Gambar 7. Hasil pengukuran geolistrik di lintasan 2

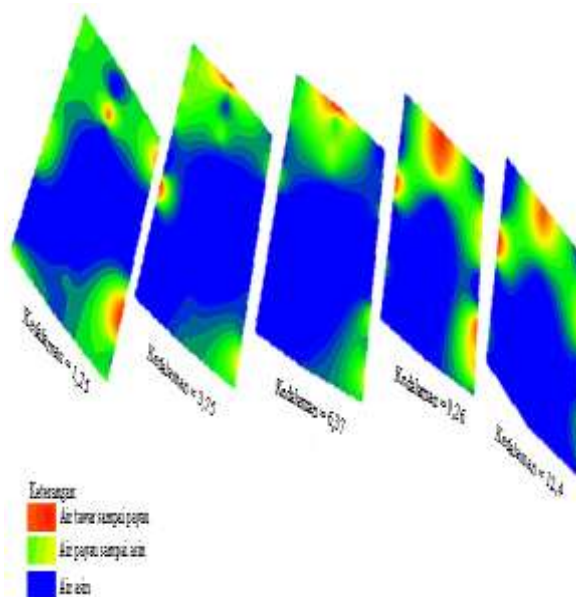


Gambar 8. Hasil pengukuran geolistrik di lintasan 3

Hasil pengukuran geolistrik di 3 lintasan menunjukkan kondisi bawah permukaan didominasi oleh nilai resistivitas air asin. Pada lintasan 1, air tawar masih terlihat pada bagian atas (hingga kedalaman 6 m, dan dibagian tengah antara elektroda ke 13 – 15, di kedalaman 9 – 20 m. pada lintasan ke 2, perbandingan air tawar dengan air asin hampir berimbang, sementara di lintasan ke 3, didominasi oleh air asin.

Sebaran air asin pada kedalaman-kedalaman tertentu, dapat digambarkan dengan mengumpulkan nilai resistivitas pada tiap kedalaman (1,25 m; 3,75 m; 6,37 m; 9,26 m dan 12,4 m) dari hasil inversinya. Nilai-nilai tersebut kemudian dibuatkan konturnya sehingga dapat menggambarkan situasi pada tiap kedalamannya Situasi sebaran air asin

pada tiap kedalamannya disajikan pada Gambar 9



Gambar 9. Sebaran air asin pada tiap kedalaman

## 5.2 Hasil Pengukuran Fisik airtanah

Pengukuran kualitas fisik airtanah disekitar wilayah intrusi air asin dilakukan pada tahun 2015 dan tahun 2017. Hasil pengukuran pada selang dua tahun ini, menunjukkan terjadinya penurunan nilai parameter fisik (DHL, TDS dan Salinitas). Pengukuran pada tahun 2015 di 13 titik sumur diperoleh rentang nilai terukur untuk DHL (1,73 – 26,3 mS/S), TDS (1,11 – 16,3 ) dan Salinitas (0,9 – 17,5 ppt). Hasil pengukuran lengkap disajikan pada tabel 1 dan 2.

Pengukuran pada tahun 2015 hanya terkonsentrasi pada sumur-sumur yang tepat berada sejajar sumur pompa PDAM. Pengukuran pada tahun 2017 ditambahkan jangkauan pengukuran untuk mengetahui sebaran air asinnya. Data hasil pengukuran seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2, kemudian diplotkan dalam peta, sehingga terlihat seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa konsentrasi air asin yang tinggi berada tepat pada sumur penduduk yang sejajar dengan sumur pompa PDAM. Adapun sumur penduduk yang tidak sejajar dengan sumur pompa PDAM tidak menunjukkan konsentrasi kandungan air asin yang tinggi.

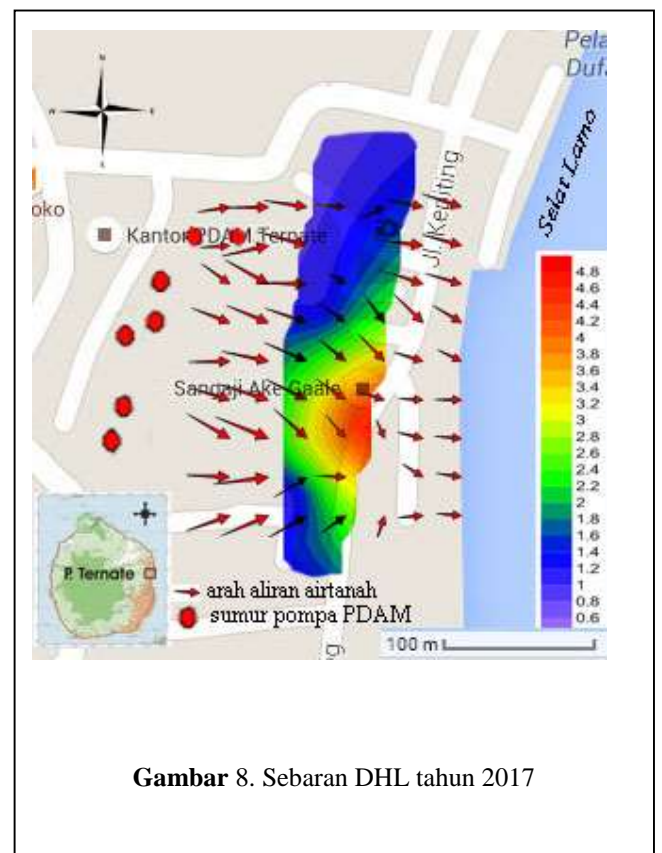
Terkumpulnya kandungan air asin di sumur penduduk yang sejajar sumur pompa PDAM, dapat dijelaskan dengan konsep “*upconing*” (Fertter (2004), Todd dan Mays (2005)). Diperkirakan debit pengambilan air dengan pompa berkapasitas tinggi, sehingga terangkatnya *interface*. Depresi kerucut (*upconing*) yang terjadi menyebabkan air asin turut tersebar mengikuti arah aliran airtanah. Posisi sumur pompa PDAM yang lebih tinggi dibanding sumur penduduk (sumur penduduk lebih dekat dengan garis pantai), sementara arah aliran airtanah menuju tempat rendah, menyebabkan sumur penduduk yang sejajar sumur pompa PDAM, lebih tinggi konsentrasi air asinnya.

Tabel 1. Pengukuran Fisik air sumur tahun 2017

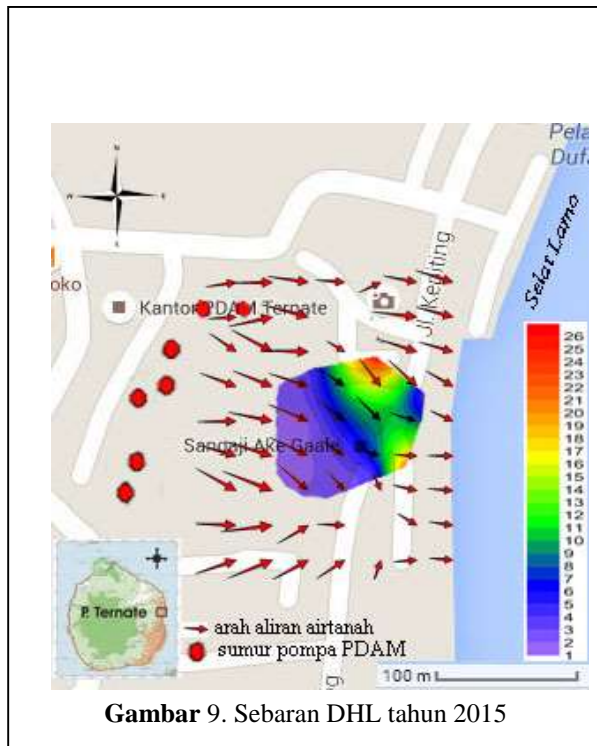
No.	Lintang	Bujur	DHL (mS/cm)	TDS (g/L)	Salinitas (ppt)
1	0.818684167	127.3893917	0.929	0.549	0.594
2	0.818778611	127.3892728	0.929	0.594	0.5
3	0.820168333	127.3897731	1.17	0.752	0.6
4	0.818219444	127.3896983	1.19	0.762	0.6
5	0.815697222	127.388965	1.32	0.846	0.7
6	0.814748056	127.3888697	1.09	0.7	0.5
7	0.814705278	127.3884617	0.981	0.628	0.5
8	0.8153625	127.3881967	0.982	0.628	0.5
9	0.813458611	127.3881239	1.19	0.759	0.6
10	0.813247222	127.3877575	1.62	1.04	0.8
11	0.812135278	127.387875	0.973	0.623	0.5
12	0.812471389	127.3879461	2.79	1.78	1.4
13	0.812655556	127.3884544	4.83	3.09	2.6
14	0.811318889	127.3882833	1.45	0.926	0.7
15	0.811772222	127.3878917	1.52	0.975	0.8
16	0.8112375	127.3879083	0.521	0.333	0.2
17	0.808688889	127.3875786	0.851	0.544	0.4

Tabel 2. Pengukuran Fisik air sumur tahun 2015

No.	Lintang	Bujur	DHL (mS/cm)	TDS (g/L)	Salinitas (ppt)
1	0.813416667	127.388083	26.3	16.3	17.5
2	0.813194444	127.388472	3.17	2.02	1.6
3	0.813277778	127.387667	4.62	2.95	2.5
4	0.813027778	127.387417	2.2	1.41	1.1
5	0.813222222	127.387389	1.81	1.61	0.9
6	0.812916667	127.387667	1.95	1.25	1
7	0.812583333	127.387472	1.73	1.11	0.9
8	0.812361111	127.387694	2.44	1.56	1.3
9	0.8125	127.387694	2.02	1.3	1
10	0.812583333	127.388139	3.33	2.13	1.7
11	0.812638889	127.388194	5.46	3.44	2.9
12	0.812694444	127.388389	21.5	13.3	13.65
13	0.813055556	127.388472	6.56	4.14	4.5



Gambar 8. Sebaran DHL tahun 2017



## 6. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan penerapan metode geolistrik untuk mengetahui terjadinya intrusi air asin kedalam tubuh air tawar. Nilai resistivitas batuan yang sangat konduktif (nilai resistivitas yang rendah) menunjukkan kandungan air asin. Menyebarnya air asin dikarenakan “upconing” yang terjadi akibat pengisian sumur yang melebihi kondisi fisik batuan. Air asin yang terhisap terikut oleh arah aliran airtanah, sehingga sumur yang sejajar dengan sumur pompa PDAM, lebih banyak konsentrasi air asinnya. Keadaan ini terlihat dari peta sebaran DHL. Selang dua tahun pengukuran kualitas fisik air, terlihat berkurang konsentrasi air asin yang terintrusi.

## 7. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Fakultas Perikanan dan Laboratorium MIPA FKIP Universitas Khairun untuk peminjaman alat Horiba dan Resistivimeter. Kepada asisten lapangan dari

Prodi Geografi dan Teknik Sipil juga diucapkan terima kasih.

## 8. Referensi

Asdak, C., (2004), Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Cetkan Ketiga, UGM Press, Jogjakarta

Apandi, T., dan Sudana, D., (1980), Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung

Bakti Hendra, (2007), Akuifer Rekahan Pulau Kecil, *Prosiding LIPI*, hal. 103 – 111, LIPI Press, Jakarta

Bronto, S, Hadisantono, and Lockwood, JP , Peta Geologi Gunungapi Gamalma, Ternate Maluku Utara, Direktorat Vulkanikologi, Bandung, 1982

Ebraheem, A. M, Sherif M.M, Al Mulla M.M., Akram S. F, and Shetty A. V., (2012), A geoelectrical and hydrogeological study for the assessment of groundwater resources in Wadi Al Bih, *Environ Earth Sci*, Vol. 67:845–857, DOI 10.1007/s12665-012-1527-0

Falkland, A. C., (1991), Hydrology And Water Resources of Small Islands, United Nation, ISBN: 92-3-102753-0, Printed in France

Falkland, A. C., (1992), Small Tropical Island, Canberra

Falkland, A.C, (1993), Hydrology and Water Management on Small Tropical Island, Proceeding of Yokohama symposium, IAHS 263-304



- Fetter, C.W, (2004), *Applied Hydrogeology*, 4<sup>th</sup> edition, Mac millan Publishing, New York
- Fuentes, C, Heredia J., Cabrera M. C., and Custodio E., (2014), Behaviour of a small sedimentary volcanic aquifer receiving irrigation return flows: La Aldea, Gran Canaria, Canary Islands (Spain), *Hydrogeology Journal*, Vol 22: 865–882, DOI 10.1007/s10040-013-1094-9
- Khaki, M, Ismail Y and Nur I, (2016), Electrical resistivity imaging and hydrochemical analysis for groundwater investigation in Kuala Langat, Malaysia, *Hydrological Sciences Journal*, VOL. 61, NO. 4, 751–762, doi.org/10.1080/02626667.2014.950578
- Kirsch, R, (2009), *Groundwater Geophysics A Tool for Hydrogeology*, 2<sup>nd</sup> Ed, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, DOI 10.1007/978-3-540-88405-7
- Lakitan, B. (2002), *Dasar-Dasar Klimatologi*. Cetakan ke-II, Raja Grafindo Persada, Jakarta
- Latif, (2005), *Kajian Airtanah Pulau Ternate*, Tesis Fak. Teknik Pertambangan ITB, Bandung
- Lowrie W, (2007), *Fundamentals of Geophysics*, 2<sup>nd</sup> Ed, Cambridge University Press, New York
- Loke, M. H., (2004), *Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method*, On land, underwater and cross-borehole surveys, Penang
- Michael, H., Mulligan, A.E., dan Harfe, C.F., (2005), Seasonal Oscillation in Water Exchange Between Aquifers and Coastal Ocean, *Journal of Nature*, Vol. 436, p.1145-1148. DOI:10.1038/nature03935
- Pedreira R, Kallioras A., Pliakas F., Gkioungkis I., and Schuth C., (2015), Groundwater vulnerability assessment of a coastal aquifer system at River Nestos eastern Delta, Greece, *Environ Earth Sci*, Vol. 73:6387–6415, DOI 10.1007/s12665-014-3864-7
- Reynolds, J. M., (2011), *An Introduction to Applied And Environmental Geophysics*, 2<sup>nd</sup> Ed, John Willey and Sons, London
- Recinos N., Kallioras A., Pliakas F. and Schuth C., (2015), Application of GALDIT Index to Assess the Intrinsic Vulnerability to Seawater Intrusion of Coastal Granular Aquifers, *Environ Earth Sci*. Vol. 73:1017–1032, DOI 10.1007/s12665-014-3452-x
- Telford, W. M., Sheriff, R. E., & Geldart, L. P., (1990), *Applied Geophysics*, 2nd Ed , Cambridge University Press, Cambridge, New York
- Todd, D. K and Mays L.W, (2005), *Groundwater Hydrology*, 3<sup>rd</sup> Ed, John Willey and Sons, New York
- Badan Pusat Statistik, 2016, Kota Ternate Dalam Angka, Katalog: 1102001.8271