

# **Uji Penerapan Metode Geolistrik *Time-Lapse* untuk Memonitoring Pergerakan Fluida Bawah Permukaan (Air Tanah) Di Lokasi Sumur Produksi Air Tanah Warga Kelurahan Tondo Kota Palu**

**Ahmad Imam Abdullah<sup>1</sup>, Badaruddin<sup>2</sup>, Moh. Dahlan Th. Musa<sup>2</sup>, Sahabuddin<sup>2</sup>, Abdullah<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

<sup>2</sup>Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Tadulako

## **ABSTRACT**

The case study was chosen at the area of Tondo Sub-District of Palu City, because there were many settlers using source of groundwater, and geographically it was near the beach. Based on the condition of the area, there might be the existence of the dynamic nature of subsurface fluid movement as the effect of the filling and production of groundwater and the existence of sea water. To detect the fluid movement, we applied geoelectrical method. This method was tested as the subsurface fluid movement (groundwater) monitoring technology on the geoelectrical time interval (time lapse). To describe the movement of the groundwater dynamic, we constructed one 2-D geoelectric measurement path where the people's groundwater located and conducted a survey on the physical condition of the well. The result obtained was that 3 wells of groundwater were found. The groundwater level is at a depth of 9 m. The groundwater's position was type of shallow groundwater layer at the semi-unconfined aquifer or aquitard. The layer had sand clay lithology and gravel. The local groundwater had a DHL value of 700 – 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , in which toward the sea, it became more brackish and sometimes salty. Based on the monitoring result derived from geoelectric data time lapse, groundwater movement vector would be greater (rapidly moved) toward high resistivity value of 40-100 Ohm-m, and found that the movement accumulated at a depth of over 9 m. The pattern of groundwater movement at the local aquitard layer was more dominant to be affected by gravitation, infiltration and percolation, well production activities, and the influence of sea water intrusion factors. In terms of sea water intrusion, the appearance was quite significant on the west side of the path (at the distance of 90-100 m). It was seen from time to time that the defined pattern of resistivity anomalies containing water in the sub-surface (especially around the well) did not experience significant change of pattern, it indicated that the volume of the water at the layer system tended to be constant or the filling and production of the locals' groundwater well factor still existed.

**Key Words:** *Geoelectric, Well, Groundwater, Resistivity*

## ABSTRAK

Studi kasus dipilih pada wilayah Kelurahan Tondo Kota Palu, karena banyak pemukim yang menggunakan sumber air tanah, serta secara geografis berdekatan dengan pantai. Berdasarkan kondisi wilayah tersebut, kemungkinan terdapat sifat dinamika pergerakan fluida bawah permukaan dari pengaruh pengisian dan produksi air tanah, serta keberadaan air laut. Untuk mendeteksi pergerakan fluida tersebut, kami menerapkan metode geolistrik. Metode ini diuji sebagai teknologi monitoring pergerakan fluida bawah permukaan (air tanah) pada selang waktu tertentu (*time lapse*). Untuk menggambarkan pergerakan dinamika air tanah tersebut, kami membuat 1 lintasan pengukuran geolistrik 2-D di sekitar lokasi sumur air tanah warga serta melakukan survei kondisi fisik sumur tersebut. Hasil yang diperoleh terdapat 3 buah sumur air tanah. Level muka air tanah berada di sekitar kedalaman 9 m. Kedudukan air tanah tersebut merupakan jenis lapisan air tanah dangkal pada sistem lapisan akuifer semi bebas atau akuitar. Lapisan tersebut memiliki litologi pasir lempungan dan kerikil. Air tanah setempat memiliki nilai DHL 700 – 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dimana semakin ke arah laut rasa air tanah telah payau atau terkadang asin. Berdasarkan hasil monitoring yang diturunkan dari data geolistrik *time lapse*, vektor pergerakan air tanah akan semakin besar (cepat bergerak) menuju nilai resistivitas tinggi 40-100 Ohm-m, dan ditemukan pergerakan tersebut berakumulasi pada kedalaman lebih dari 9 m. Pola pergerakan air tanah pada lapisan akuitar setempat, lebih dominan dipengaruhi oleh faktor gravitasi, infiltrasi dan perkolasi, aktivitas produksi sumur, serta pengaruh intrusi air laut. Untuk pengaruh intrusi air laut, ini cukup signifikan kenampakannya di sisi barat lintasan (jarak 90-100 m). Terlihat dari waktu ke waktu pola anomali resistivitas yang terdefinisi mengandung air di bawah permukaan (terutama di sekitar sumur) tidak mengalami perubahan pola secara signifikan, hal ini mengindikasikan volume air tanah pada sistem lapisan tersebut cenderung konstan atau tetap adanya dari faktor pengisian dan produksi sumur air tanah warga.

Kata Kunci : *Geolistrik, Sumur, Air Tanah, Resistivitas*

## I. PENDAHULUAN

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang umumnya diaplikasikan untuk keperluan eksplorasi sumber daya geologi. Akan tetapi, metode ini tergolong jarang diaplikasikan di Indonesia untuk kegiatan monitoring yang terkait dengan kondisi bawah permukaan (bumi). Di dunia eksplorasi, metode monitoring bawah permukaan yang umum digunakan di Indonesia, dengan menggunakan metode mikro gaya berat selang waktu (*time lapse*). Metode mikro gaya berat umumnya dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh proses produksi-injeksi fluida di reservoir minyak bumi dan panas bumi. Beberapa penelitian monitoring menggunakan mikro gaya berat *time lapse*, seperti yang dilakukan oleh Abdurrahman, dkk (2010) untuk memonitoring pergerakan fluida dari pengaruh produksi-injeksi di lapangan *geothermal* Kamojang, kemudian Supriyadi, dkk (2006) melakukan penelitian amblesan tanah di kawasan industri di sekitar Kota Semarang. Dengan analogi yang sama dari penerapan metode mikro gaya berat selang waktu, maka beberapa peneliti dan praktisi ilmu kebumihan yang merujuk pada metode geolistrik juga mengaplikasikan metode tersebut untuk melakukan kegiatan monitoring bawah permukaan. Di luar negeri, penerapan teknologi metode geolistrik selang waktu (*time lapse*) telah dilakukan oleh Radulescu, dkk (2007) untuk melihat pola anomali resistivitas dari adanya kontaminasi polutan bawah permukaan, Pellicer, dkk (2012) menerapkan metode geolistrik *time lapse* untuk menganalisis lapisan sedimen kuartar di Irlandia, Ranieri, dkk (2007) menerapkan metode geolistrik *time lapse* untuk mendelineasi struktur lempung di area prospek arkeologi, Leroux dan Dahlin (2006) menerapkan metode geolistrik *time lapse* untuk menggambarkan pergerakan

*saltwater* dalam endapan glasiofluvial, dan Yaramanci (2000) memonitoring batugaram untuk menduga adanya pembuangan limbah di bawah permukaan.

Berdasarkan hasil dan tujuan dari beberapa penelitian yang menerapkan teknologi metode geolistrik *time lapse* di atas, maka dalam penelitian ini akan dicoba menguji penerapan metode tersebut untuk memonitoring pergerakan fluida bawah permukaan pada sumur produksi air tanah warga di Kelurahan Tondo Kota Palu. Wilayah ini dipilih untuk dijadikan studi kasus penelitian, karena merupakan kawasan pengembangan pemukiman Kota Palu, yang memiliki daya tarik bagi masyarakat kota untuk bermukim di sekitar kawasan pusat pendidikan tinggi. Dalam memenuhi kebutuhan air setempat, masyarakat banyak membuat sumur bor air tanah. Maraknya pengambilan sumber air tanah ini karena tuntutan kebutuhan akan air yang terus meningkat dari tahun ke tahun, baik untuk memenuhi kebutuhan masyarakat maupun pelayanan umum di sekolah, kampus, permukiman, industri kecil dan lain sebagainya. Dengan begitu, akibat pengaruh terus diproduksinya dari waktu ke waktu sumber air tanah oleh warga, tentunya akan terjadi perubahan level atau muka air tanah (MAT). Selain itu faktor curah hujan (*input*) dan kedudukan geografis Kelurahan Tondo yang berada di wilayah pesisir atau berdekatan dengan pantai, juga akan mempengaruhi kuantitas air tanah setempat karena pengaruh infiltrasi dan kemungkinan adanya intrusi air laut.

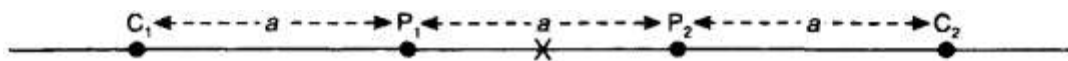
Berdasarkan permasalahan dan uraian kondisi lokasi penelitian, maka akan semakin kompleks fenomena dinamika pergerakan fluida di bawah permukaan dalam hal ini air tanah. Sehingga yang menjadi perhatian dan fokus penelitian untuk menguji penerapan metode geolistrik *time lapse* sebagai teknologi monitoring dinamika air tanah, melalui

tahapan pengukuran berulang, pemodelan, dan analisis.

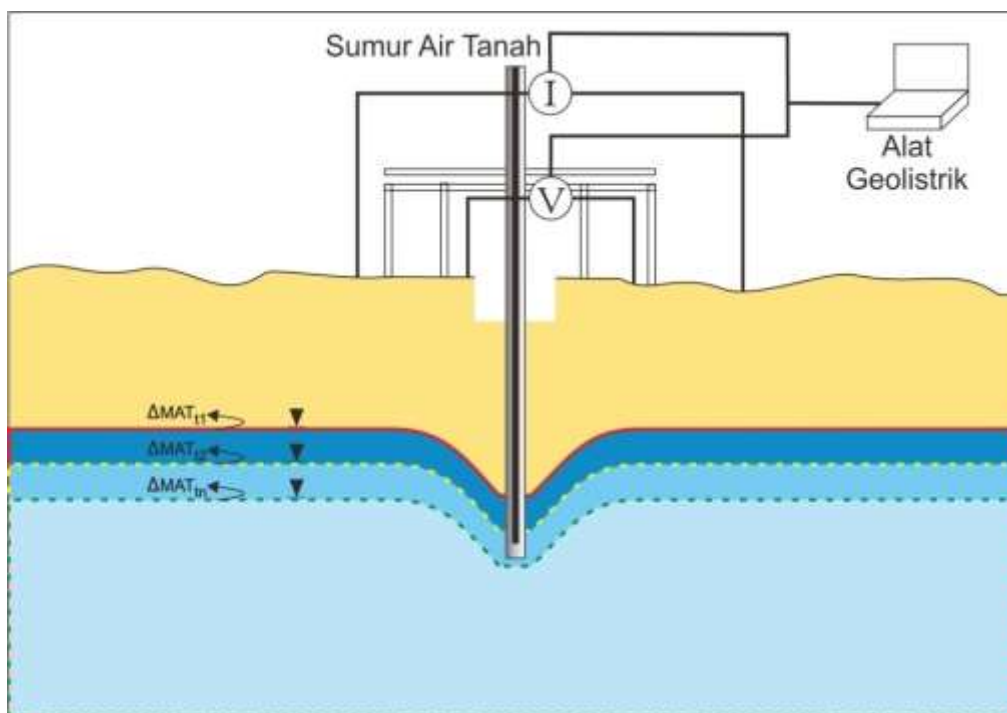
## II. METODE

Pengukuran resistivitas (hambatan jenis) batuan bawah permukaan dikenal dengan teknik atau metode geolistrik. Dalam rumpun ilmu kebumihan metode ini dikenal dengan *electrical resistivity tomography*

(ERT) atau *electrical resistivity imaging* (ERI). Pada umumnya pengukuran metode geolistrik dilakukan dengan cara menginjeksikan arus ke dalam tanah melalui 2 elektroda arus (C1 dan C2), dan mengukur hasil beda potensial yang ditimbulkannya pada 2 elektroda potensial (P1 dan P2) untuk setiap jarak elektroda tertentu. Dalam penelitian ini konfigurasi pengukuran yang digunakan yaitu konfigurasi Wenner (Gambar 1).



**Gambar 1:** Setup pengukuran konfigurasi Wenner (Reynolds, 1997).



**Gambar 2:** Skema pengukuran geolistrik time-lapse.

Konsep metode geolistrik *time lapse* pada dasarnya yaitu pengukuran berulang metode geolistrik selang waktu, kemudian data waktu awal dijadikan acuan untuk melihat perubahan pola anomali dari waktu ke waktu berikutnya. Dari Gambar (2) terlihat bahwa model penampang resistivitas hasil pengukuran metode geolistrik *time lapse* terdapat perubahan

pola anomali terhadap waktu. Tentunya yang mengalami perubahan di bawah permukaan disebabkan oleh adanya pergerakan fluida, karena dari segi waktu geologi pembentukan lapisan dan batuan memerlukan jutaan waktu lamanya, sehingga tidak memungkinkan geometri struktur bumi berubah dengan waktu yang singkat, terkecuali terjadi gempa tektonik

atau ada energi mendadak yang terjadi pada saat pengukuran berlangsung.

Hasil pengukuran dari metode geolistrik yaitu nilai resistivitas semu yang terukur merupakan respon sinyal kelistrikan yang bersumber dari semua kemungkinan di bawah permukaan, dalam hal ini bumi dianggap homogen atau satu lapis saja. Namun kenyataannya, model bumi bukanlah hanya satu lapis melainkan terdiri atas lapisan-lapisan tertentu dan berbeda-beda di bawah permukaan. Untuk memperoleh model resistivitas batuan bawah permukaan yang representatif dari pengukuran geolistrik, nilai resistivitas semu tadi diproses melalui metode model pembalikan data, istilah dalam ilmu

geofisika dikenal dengan teknik pemodelan kebelakang (*inverse modeling*).

Dalam penelitian ini proses pemodelan inversi menggunakan bantuan software EarthImager 2-D v.2.4.0. Software tersebut dikeluarkan oleh perusahaan Advanced Geosciences, Inc (AGI) dari Texas, Amerika Serikat yang dikhususkan untuk pemodelan inversi data resistivitas dan induksi polarisasi (IP). Teknik pemodelan inversi yang kami gunakan yaitu *smooth model inversion* atau dikenal dengan *Occam's inversion*. Teknik ini menambahkan faktor *constrains* pada model sebagai solusi optimum. Rumusan *smooth model inversion* dituliskan sebagai berikut (AGI Instruction Manual for EarthImager 2-D, 2009):

$$S(\mathbf{m}) = (\mathbf{d}_{obs} - g(\mathbf{m}))^T \mathbf{W}_d (\mathbf{d}_{obs} - g(\mathbf{m})) + \alpha \mathbf{m}^T \mathbf{R} \mathbf{m} \quad (1)$$

Dimana  $S(\mathbf{m})$  merupakan fungsi objektif yang ditentukan,  $\mathbf{m}$  parameter model,  $\mathbf{d}_{obs}$  data pengamatan,  $g(\mathbf{m})$  data terhitung,  $\mathbf{W}_d$  matriks pembobot,  $\alpha$  pengali Lagrange dan sebagai faktor yang mengstabilkan, serta  $\mathbf{R}$  merupakan operator kekasaran.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{a_i^{cal} - a_i^{obs}}{a_i^{obs}} \right)^2}{N}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana  $N$  merupakan jumlah data,  $a_i^{cal}$  data yang terhitung atau prediksi, dan  $a_i^{obs}$  data yang terukur.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara administratif lokasi penelitian berada di Kelurahan Tondo Kota Palu, dimana jarak lokasi pengukuran dengan garis pantai sekitar 150 m (Gambar 3). Secara geologi, lokasi penelitian berada di satuan aluvium dan endapan pantai yang terdiri atas kerikil, pasir, dengan sisipan lempung setempat (Sukamto, dkk., 1973). Todd dan Mays (2005) menyatakan kemungkinan 90 persen semua keberadaan

Prosedur pemodelan inversi di atas dilakukan pada masing-masing data resistivitas semu tiap waktu  $\rho_a(t_n)$ , yaitu  $\rho_a(t_1)$ ,  $\rho_a(t_2)$ , dan  $\rho_a(t_3)$ . Hasil pemodelan inversi terbaik dikarakterkan berdasarkan kecilnya tingkat *root mean square (RMS) error* dalam satuan persen yang didefinisikan pada persamaan berikut:

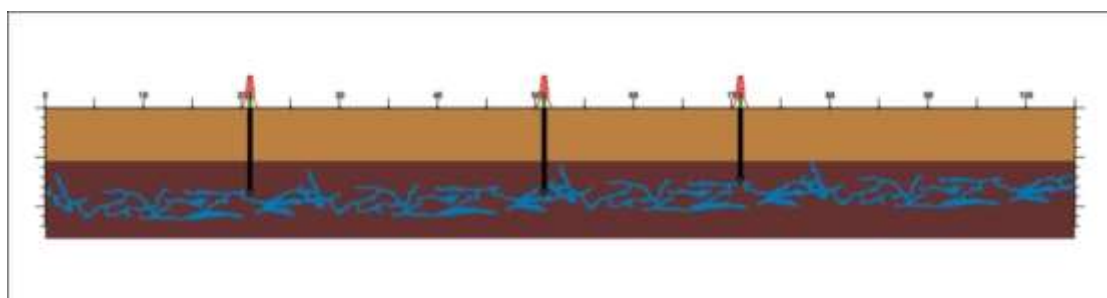
air tanah yang berkembang berada pada batuan yang tidak terkonsolidasi, seperti pasir dan kerikil. Jadi, satuan aluvium dan endapan pantai di lokasi penelitian, merupakan lapisan ideal tempat keterdapatan air tanah dangkal dalam zona saturasi, berdasarkan sifatnya yang *impermeable* yang dapat meluluskan atau menampung air tanah. Hal ini juga dapat dibuktikan di lapangan, terdapat 3 sumur air tanah warga yang memiliki kedalaman atau rata-rata level muka air tanah di kedalaman 9 m yang berada di sekitar lintasan pengukuran geolistrik yang diilustrasikan pada Gambar (4) dan data

Tabel (1). Selain pengambilan data kedalaman sumur air tanah warga, kami juga mengambil data daya hantr listrik

(DHL) atau konduktivitas listrik air tanah yang menunjukkan kisaran nilai 700 – 1000  $\mu\text{S/cm}$ .



Gambar 3: Peta lokasi penelitian.



Gambar 4: Ilustrasi pemanfaatan air tanah dangkal (sumur warga) yang berada di sekitar lokasi pengukuran, dengan rata-rata kedalaman 9 meter bawah permukaan tanah.

Pada sumur 2 dan 3, nilai DHL yang ditunjukkan 735  $\mu\text{S/cm}$  dengan rasa air tawar. Sedangkan pada sumur 1 nilai DHL yang ditunjukkan 1000  $\mu\text{S/cm}$  dengan rasa air payau/terkadang asin. Keberadaan rasa air payau/terkadang asin tersebut, kemungkinan karena pengaruh kedudukannya yang berdekatan dengan garis pantai. Artinya, di lokasi penelitian yang merupakan daerah pantai adalah

daratan yang terpengaruh oleh intrusi air laut. Intrusi adalah proses masuknya air laut ke daratan. Proses intrusi ini akan semakin panjang, bila dilakukan pengambilan air tanah dalam jumlah berlebihan. Dimana air laut tadi, sesaat akan mengisi ruang air tanah yang kosong dan dapat menyebabkan rasa air sumur menjadi asin.

Tabel 1: Parameter daya hantar listrik (DHL) dan kedalaman air sumur warga

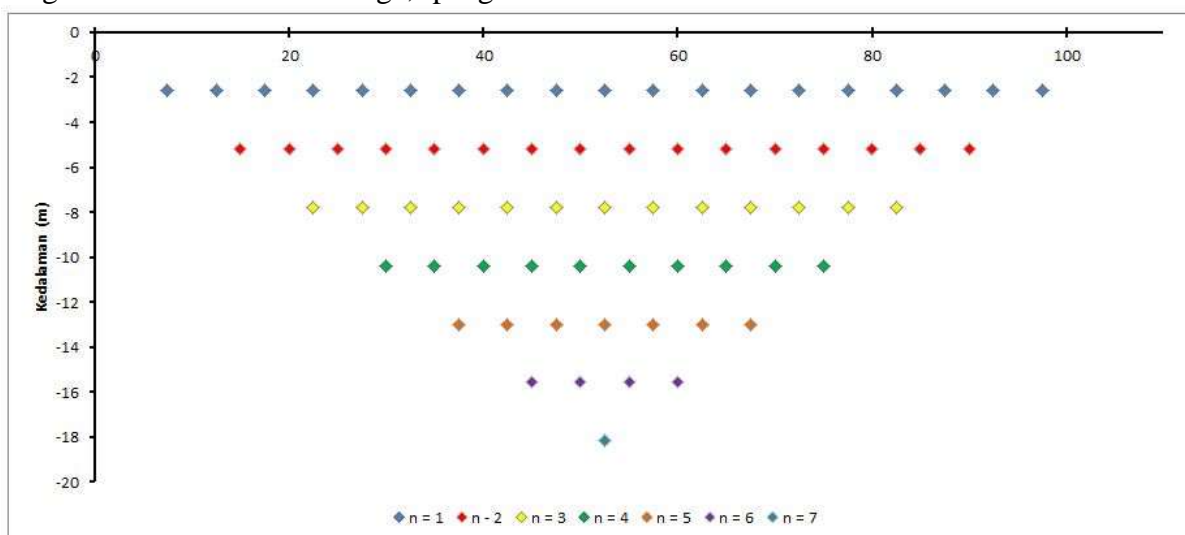
Kode	Koordinat	Berdekatan	DHL	Kedalaman	Rasa
------	-----------	------------	-----	-----------	------

Sumur	X	Y	Patok	( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Level Air Tanah (m)	
Sumur 1	119°52'51.87"E	0°50'41.34"S	15	100	9	Payau/terkadang asin
Sumur 2	119°52'52.61"E	0°50'41.22"S	6	735	9	Tawar
Sumur 3	119°52'53.49"E	0°50'41.10"S	11	735	9	Tawar

**Sumber:** Hasil pengamatan lapangan, Juli 2017

Pada penelitian ini, pengukuran geolistrik selang waktu (*time lapse*) bertujuan untuk memonitoring pergerakan fluida bawah permukaan (air tanah) dalam yang waktu pendek. Berdasarkan kondisi fisik lokasi yang diuraikan di atas, fenomena pergerakan fluida bawah permukaan (air tanah) disebabkan adanya kegiatan pemanfaatan atau eksploitasi air tanah dangkal melalui sumur warga, pengaruh

infiltrasi atau perkolasi secara vertikal dari hujan, serta kondisi *site* lokasi yang berdekatan dengan pantai yaitu pengaruh air laut terhadap air tanah setempat. Sehingga, hasil pengukuran geolistrik nantinya akan berkorelasi antara pergerakan fluida (air tanah) tersebut dengan perubahan nilai resistivitas batuan bawah permukaan yang terukur.



**Gambar 5:** Diagram titik datum (*stacking chart*) pengukuran geolistrik 2-D menggunakan konfigurasi Wenner  $a = 5$  m dengan 22 jumlah patok elektroda.

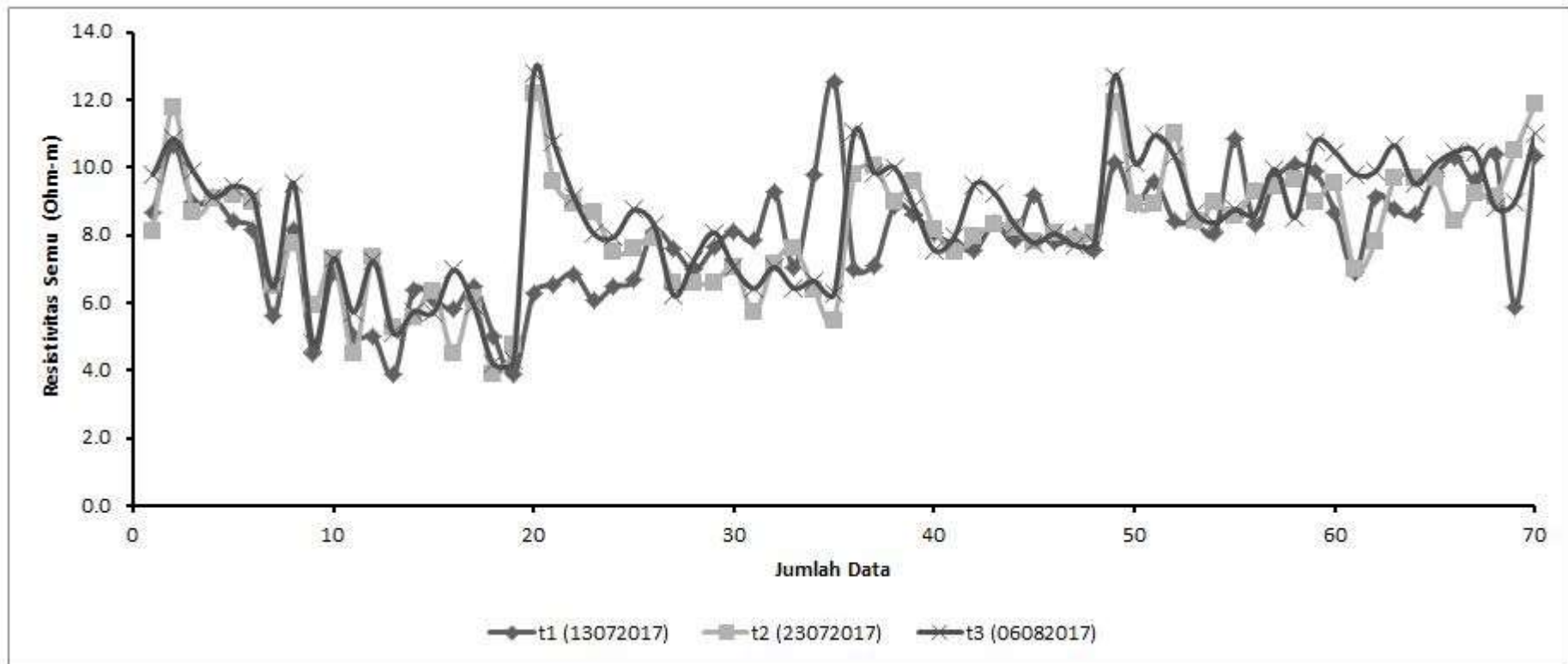
Pada pengukuran geolistrik *time lapse* ini, kami menggunakan konfigurasi Wenner dengan spasi  $a = 5$  m yang dilakukan selama 3 waktu. Untuk selang waktu pengukuran, kami menggunakan selang waktu sekitar 10 – 15 hari. Waktu pengukuran pertama ( $t_1$ ) dilakukan pada tanggal 13 Juli 2017, waktu pengukuran kedua ( $t_2$ ) dilakukan pada tanggal 23 Juli 2017, dan waktu pengukuran ketiga ( $t_3$ ) dilakukan pada tanggal 06 Agustus 2017. Skema titik datum pengukuran (*staking*

*chart*) konfigurasi Wenner yang digunakan dapat dilihat pada Gambar (5), dengan kedalaman target sekitar 20 meter bawah permukaan tanah setempat (m.bmt).

Konsep pengukuran geolistrik yaitu mengukur resistansi batuan yang terbaca dari beda potensial dan arus listrik yang diinjeksikan pada bumi yang mula-mula diasumsikan sebagai model bumi *homogen half-space*. Jadi, pembacaan resistansi batuan dengan perkalian faktor geometri

dari konfigurasi merupakan nilai resistivitas semu. Pada pengukuran waktu  $t_1$  diperoleh kisaran resistivitas semu 3,9 – 12,6 Ohm-m, kemudian pengukuran waktu  $t_2$  diperoleh kisaran resistivitas semu 3,9 – 12,2 Ohm-m, serta pengukuran pada waktu  $t_3$  diperoleh kisaran resistivitas semu 4,2 – 12,8 Ohm-m. Hasil *trend* atau kecenderungan data pengukuran dari waktu ke waktu ditunjukkan pada Gambar (6).





**Gambar 6:** Trend data (70 datum) pengamatan geolistrik time-lapse pada waktu  $t_1$ ,  $t_2$ , dan  $t_3$ .

Data resistivitas semu yang terukur pada Gambar (6) merupakan sinyal yang akan diproses melalui pemodelan inversi menurut algoritma *smooth model inversion* (AGI Instruction Manual for EarthImager 2-D, 2009). Tujuan pemodelan ini untuk memperoleh nilai resistivitas batuan bawah permukaan yang sesungguhnya. Dalam penelitian ini proses pemodelan inversi menggunakan bantuan software EarthImager 2-D v.2.4.0. Software tersebut dikeluarkan oleh perusahaan Advanced Geosciences, Inc (AGI) dari Texas, Amerika Serikat yang dikhususkan untuk pemodelan inversi data resistivitas dan induksi polarisasi (IP).

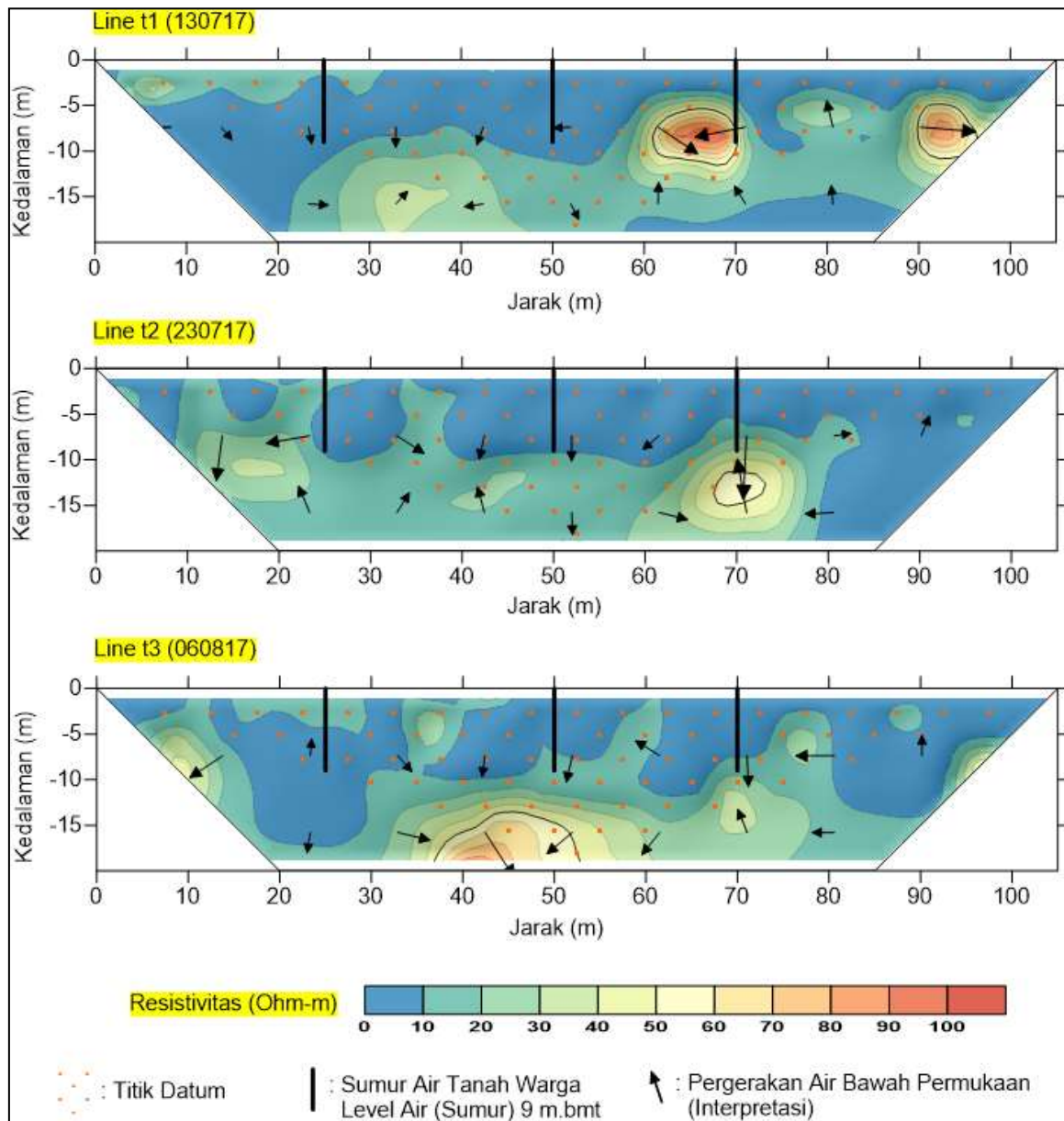
Dari hasil pemodelan inversi, diperoleh nilai resistivitas batuan bawah permukaan yang terdistribusi berada pada *range* 1,7 – 100 Ohm-m. Berdasarkan informasi geologi, singkapan di lapangan, serta nilai resistivitas, dan faktor formasi batuan, model litologi per lapisan bawah permukaan diinterpretasikan terdiri atas lempung pasir yang memiliki resistivitas 1,7 – 40 Ohm-m, kemudian lapisan berikutnya pasir lempungan dengan sisipan kerikil > 40 Ohm-m. Menurut Schoen (1996) dan Loke (2004) nilai potensial keberadaan air tanah berorde 10-100 Ohm-m, maka berdasarkan hasil pengukuran, kedalaman level sumur air tanah warga dan satuan batuan yang berada di sekitar lokasi litologi pasir lempungan dan kerikil merupakan lapisan keterdapat air tanah. Air tanah di kedalaman tersebut sifatnya dangkal, merupakan lapisan akuifer semi bebas (*unconfined*) atau disebut juga dengan akuitar. Berdasarkan pola anomali resistivitas dari pengukuran waktu ke waktu, pergerakan air di lapisan akuitar tersebut menuju ke zona resistivitas tinggi pada *range* nilai 40 – 100 Ohm-m (Gambar 7).

Dinamika pergerakan air tanah pada lapisan akuitar (akuifer dangkal semi

bebas) di lokasi penelitian, secara signifikan dipengaruhi oleh faktor input dan output ke dalam sistem lapisan tersebut. Faktor input vertikal dari proses infiltrasi curah hujan dan perkolasi, serta injeksi horizontal dipengaruhi oleh keberadaan air laut yang memungkinkan terjadinya intrusi air laut ke dalam air tanah. Kemudian faktor output dipengaruhi oleh produksi sumur air tanah oleh warga setempat, melihat banyaknya titik-titik pemboran sumur air tanah di sekitar lokasi pengukuran.

Hal yang menarik dari Gambar (7), terlihat bahwa kedudukan sumur air tanah warga yang memperoleh air di kedalaman 9 m berasosiasi dengan pola anomali resistivitas tinggi. Terlihat dari waktu ke waktu pola anomali resistivitas yang terdefinisi mengandung air di bawah permukaan (terutama di sekitar sumur) tidak mengalami perubahan pola secara signifikan, hal ini mengindikasikan volume air tanah pada sistem lapisan tersebut cenderung konstan atau tetap adanya dari faktor input dan output. Akan tetapi, tetap saja ditemukan adanya perubahan kecil pola anomali resistivitas, hal ini disebabkan dari sifat fluida air tanah yang dinamis, bergerak menuju ruang lapisan berpori yang mampu menampung ataupun meluluskan.

Pada Gambar (7) juga menerangkan bahwa vektor pergerakan air tanah akan semakin besar (cepat bergerak) menuju nilai resistivitas tinggi 40-100 Ohm-m, dan ditemukan pergerakan tersebut berakumulasi di sekitar kedalaman 9 m lebih di bawah permukaan. Pola pergerakan air tanah pada lapisan akuitar setempat, lebih dominan dipengaruhi oleh faktor gravitasi, infiltrasi, aktivitas produksi sumur, serta pengaruh intrusi air laut. Untuk pengaruh intrusi air laut, ini cukup signifikan kenampakannya di sisi barat lintasan (jarak 90-100 m).

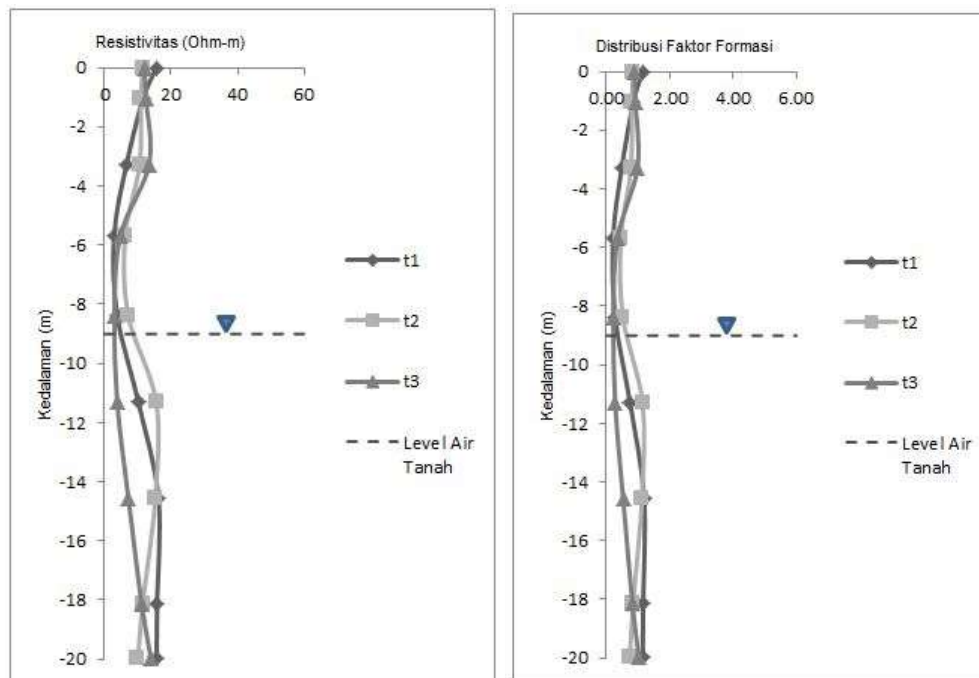


**Gambar 7:** Interpretasi pergerakan fluida bawah permukaan (lokal di zona saturasi akuitar/akuifer dangkal) berdasarkan nilai resistivitas batuan selang waktu.

Kemunculan anomali resistivitas tinggi pada waktu pengukuran pertama mengindikasikan pengaruh intrusi air laut masih kuat, namun pada waktu pengukuran kedua anomali tersebut menghilang, dan mulai muncul kembali pada saat pengukuran ketiga. Artinya, sifat intrusi air laut berfluktuatif untuk berkontaminasi dengan lapisan *freshwater* (Gambar 7). Fenomena tersebut tergambar seperti konsep zona transisi/dispersi yang diperoleh dari hasil penelitian Ranjan, dkk.

(2006) yang akan ditunjukkan pada Gambar (12).

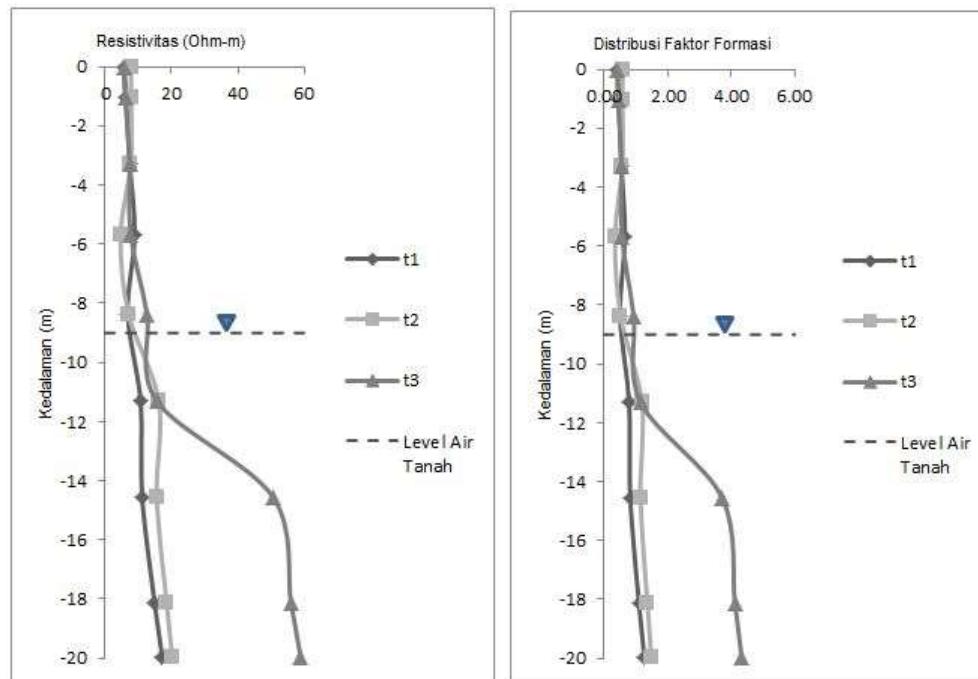
Secara lebih detail mengenai pola perubahan resistivitas dari waktu ke waktu terhadap posisi sumur air tanah, kami mencoba mengekstrak data log resistivitas (LogRes) 1-D yang berpasangan dengan posisi sumur air tanah warga dari data geolistrik 2-D hasil pemodelan inversi. Hasil ekstrak tersebut juga kami konversi kedalaman besaran faktor formasi resistivitas untuk memperhatikan jenis lapisan pembawa air yang ditunjukkan pada Gambar (8-10).



**Gambar 8:** Log resistivitas (kiri) dan faktor formasi (kanan) 1-D dari data geolistrik 2-D untuk patok elektroda 6 terhadap sumur 3.

Pada data LogRes1D sumur 3 patok 6, terlihat keberadaan air tanah di level kedalaman 9 m, membuat pola resistivitas mengalami perubahan yaitu turun dan mulai naik ketika melewati level kedalaman tersebut. Kemudian berdasarkan harga faktor formasi yang  $\leq 1$  cenderung didominasi oleh lempung

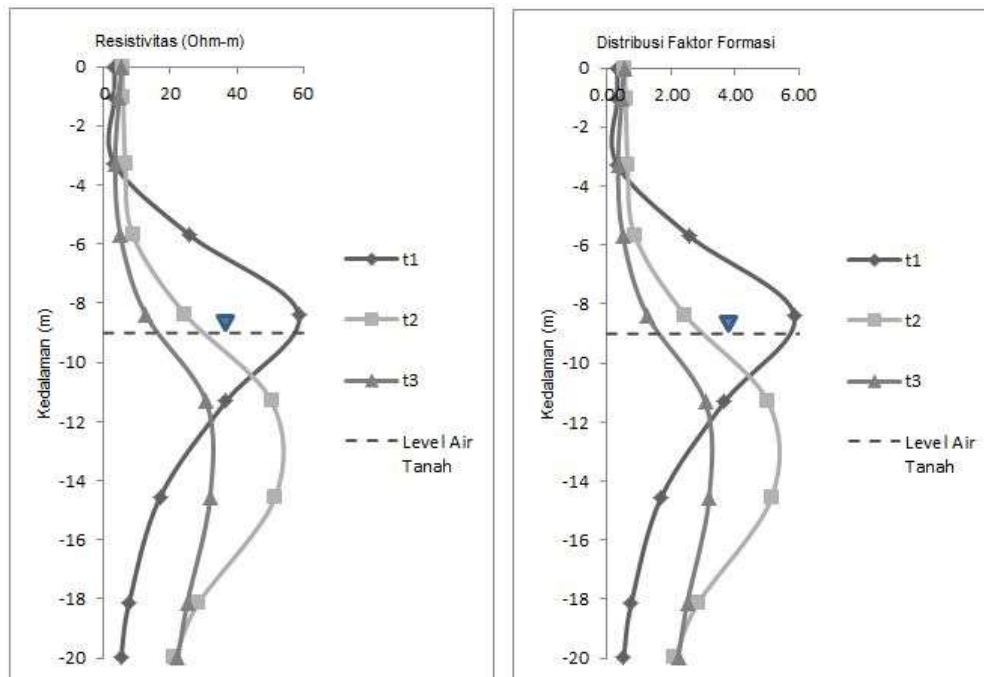
dengan sisipan pasir atau lempung pasiran. (Gambar 8). Menurut Taib (1999) harga faktor formasi  $\leq 1$  merupakan lapisan yang dapat menampung air tapi tidak ideal untuk meluluskan seperti karakter lapisan akuitar.



**Gambar 9:** Log resistivitas (kiri) dan faktor formasi (kanan) 1-D dari data geolistrik 2-D untuk patok elektroda 11 terhadap sumur 2.

Pada data LogRes1D sumur 2 patok 11, terlihat harga resistivitas  $> 40$  Ohm-m dan faktor formasi mencapai nilai 5 yang dimulai pada kedalaman 12 m (Gambar 9). Berdasarkan harga resistivitas, lapisan ini merupakan yang mengandung air tanah. Menurut Taib (1999) nilai faktor formasi tersebut merupakan lapisan akuifer yang produktif. Jenis lapisan akuifer yang dimaksud, didominasi oleh pasir kerikil dengan selingan lempung. Pada kedalaman lebih dari 12 m, ditemukan lapisan pembawa air tanah potensial namun karena kedudukannya dangkal dan tidak terpengaruh signifikan oleh tekanan maka lapisan akuifer ini tergolong akuifer semi bebas (*unconfined*) atau akuitar.

Pada data LogRes1D sumur 3 patok 15, nilai resistivitas mengalami perubahan yang cukup kontras dari waktu ke waktu pada level kedalaman air tanah (Gambar 10). Kemudian pada nilai faktor formasi juga berfluktuatif dari nilai 2 hingga 4. Menurut Taib (1999) tersebut termasuk jenis lapisan pembawa air yang medium maupun potensial. Kemungkinan adanya perubahan yang cukup kontras baik resistivitas maupun faktor formasi, disebabkan oleh pengaruh intrusi air laut, hasil ini cukup mendukung hasil survei parameter rasa sumur yang bersifat payau atau terkadang asin.



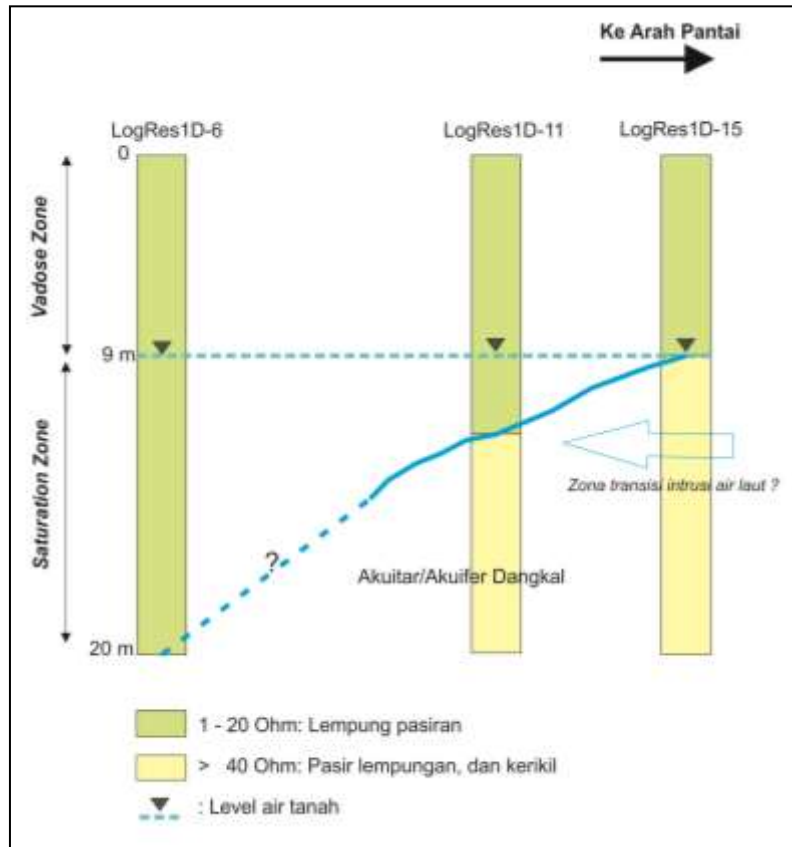
**Gambar 10:** Log resistivitas (kiri) dan faktor formasi (kanan) 1-D dari data geolistrik 2-D untuk patok elektroda 15 terhadap sumur 1.

Kesimpulan dari analisis per log resistivitas 1-D yang berpasangan dengan sumur air tanah warga kami korelasikan seperti model yang ditunjukkan pada Gambar (11). Hasil ini memberikan gambaran bahwa akuifer di sekitar lokasi yang merupakan dataran pantai adalah sumber air tanah yang baik, walaupun dengan resiko penyusupan/intrusi air laut jika posisi sumur semakin berdekatan dengan pantai atau ke arah laut, maka beresiko kualitas rasa air akan berubah menjadi payau atau asin. Air tawar dan air asin (air laut) adalah dua fluida dengan densitas (berat jenis) yang berbeda. Jika kedua jenis air ini kontak di dalam tanah, akan terbentuk suatu zona dengan densitas

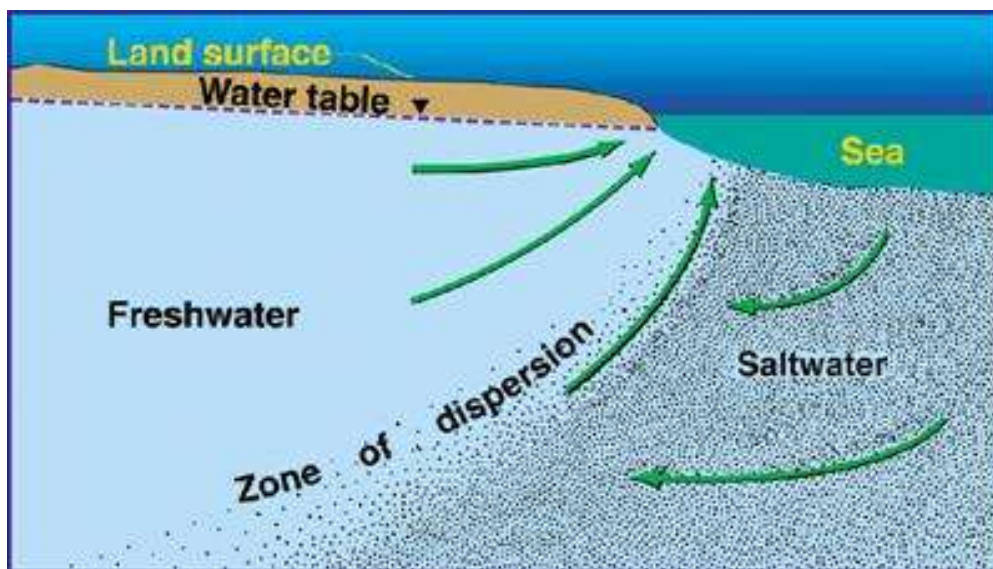
yang bercampur dan berubah secara bgeolistrikahap dari air tawar ke air asin. Walaupun begitu, pada kondisi tertentu zona ini relatif kecil (misalnya jika dibandingkan dengan tebal akuifer), sehingga dapat dianggap sebagai suatu bidang batas yang jelas seperti halnya dengan muka air tanah.

Zona kontak antara air tawar dan air asin ini selanjutnya disebut *Interface* seperti yang ditemukan dari hasil penelitian ini yang ditunjukkan pada Gambar (11) hasil korelasi data antar log resistivitas 1-D berdasarkan konsep penelitian Ranjan, dkk. (2006) yang ditunjukkan pada Gambar (12).





**Gambar 11:** Interpretasi pergerakan fluida bawah permukaan (lokal di zona saturasi akuitar/akuifer dangkal) berdasarkan nilai resistivitas batuan selang waktu.



**Gambar 12:** Konsep kedudukan muka air tanah, air tanah (freshwater), air tanah (saltwater), dan zona transisi (Modifikasi dari Ranjan, dkk., 2006).

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan tujuan dan hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat ditarik suatu kesimpulan yaitu:

1. Level muka air tanah di lokasi penelitian berada di kedalaman 9 m.bmt. Kedudukan air tanah tersebut merupakan jenis lapisan air tanah dangkal dalam sistem lapisan akuifer

semi bebas atau akuitar. Lapisan tersebut memiliki litologi pasir lempungan dan kerikil. Air tanah setempat memiliki nilai DHL 700 – 1000  $\mu\text{S/cm}$ , dimana semakin ke arah laut rasa air tanah telah payau atau terkadang asin.

2. Berdasarkan hasil monitoring yang diturunkan dari data geolistrik *time lapse*, vektor pergerakan air tanah akan semakin besar (cepat bergerak) menuju nilai resistivitas tinggi 40-100 Ohm-m, dan ditemukan pergerakan tersebut berakumulasi di sekitar kedalaman 9 m lebih di bawah permukaan. Pola pergerakan air tanah pada lapisan akuitar setempat, lebih dominan dipengaruhi oleh faktor gravitasi, infiltrasi dan perkolasi, aktivitas produksi sumur, serta pengaruh intrusi air laut. Untuk pengaruh intrusi air laut, ini cukup signifikan kenampakannya di sisi barat lintasan (jarak 90-100 m).
3. Terlihat dari waktu ke waktu pola anomali resistivitas yang terdefinisi mengandung air di bawah permukaan (terutama di sekitar sumur) tidak mengalami perubahan pola secara signifikan, hal ini mengindikasikan volume air tanah pada sistem lapisan tersebut cenderung konstan atau tetap adanya dari faktor *input* dan *output*. Akan tetapi, tetap saja ditemukan adanya perubahan kecil pola anomali resistivitas, hal ini disebabkan dari sifat fluida air tanah yang dinamis, bergerak menuju ruang lapisan berpori yang mampu menampung ataupun meluluskan.

Dalam menginterpretasi secara lebih detail mengenai gejala intrusi air laut kedalam sistem lapisan air tanah, maka perlu dilakukan pula monitoring data hidrogeokimia seperti parameter pH, TSS, TDS, NaCl, dan salinitas bersamaan dengan pengamatan data geolistrik *time lapse*.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada DRPM Kemenristekdikti melalui LPPM UNTAD yang telah memberikan bantuan dana penelitian skim Dosen Pemula Tahun 2017, serta Laboratorium Fisika Bumi dan Kelautan Jurusan Fisika FMIPA UNTAD yang telah mengizinkan kami untuk mengakses atau menggunakan alat ukur resistivitymeter dalam pengerjaan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, D., Dahrin, D., Zaenudin, A., dan Wahyudi, E.J., 2010, *Aplikasi Gayaberat Mikro Selang Waktu dalam Mengidentifikasi Pengaruh Injeksi-Produksi Fluida di Lapangan Geothermal Kamojang Jawa Barat*, Jurnal Teknologi Mineral Vol. XVII No.1: 41-53.
- Baharuddin, M.F.T., Taib, S., Hashim, R., Abidin, M.H.Z., dan Ishak, M.F., 2011, *Time-Lapse Resistivity Investigation of Salinity Changes at an Ex-Promontory Land: A Case Study of Carey Island Selangor Malaysia*, Environ Monit Assess 180: 345-369.
- Beff, L., Gunther, T., Vandoorne, B., Couvreur, V., dan Javaux, M., 2013, *Three-Dimensional Monitoring of Soil Water Content in a Maize Field using Electrical Resistivity Tomography*, Hydrology and Earth System Sciences, 17: 595-609.
- Castells, A.M., (2006) :*Magnetotelluric Investigation of Geoelectrical Dimensionality and Study of the Central Betic Crustal Structure*, Universitat de Barcelona.
- Hayley, K., Bentley, L.R., dan Gharibi, M., 2008, *Time-Lapse Electrical Resistivity Monitoring of Salt-Affected Soil and Groundwater*,



- Water Resources Research, Vol. 45, W07425.
- Mojica, A., Diaz, I., Ho, C.A., Ogden, F., Pinzon, R., Fabrega, J., Vega D., dan Hendrickx, J., 2013, *Study of Seasonal Rainfall Infiltration Via Time-Lapse Surface Electrical Resistivity Tomography: Case Study of Gamboa Area Panama Canal Watershed*, Air Soil and Water Research, 6: 131-139.
- Muchingami, I., Nel, J., Xu, Y., Stey, G., dan Reynolds, K., 2013, *On The Use of Electrical Resistivity Methods in Monitoring Infiltration of Salt Fluxes in Dry Coal Ash Dumps in Mpumalanga South Africa*, Water SA. Vol. 39 No. 4: 491-497.
- Leroux, V., dan Dahlin, T., 2006, *Time-lapse Resistivity Investigations for Imaging Saltwater Transport in Glaciofluvial Deposits*, Environ. Geol 49: 347-358.
- Loke, M.H., 2004, *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*.
- Loke, M.H., dan Barker, R.D., 1995, *Least-square Deconvolution of Apparent Resistivity Pseudosection*, Geophysics, Vol. 60 No. 6, pp. 1682-1960.
- Pellicer, X.M., Zarroca, M., dan Gibson, P., 2012, *Time-lapse Resistivity Analysis of Quaternary Sediments in The Midlands of Ireland*, Elsevier; Journal of Applied Geophysics 82: 46-58.
- Radulescu, M., Valerian, C., dan Yang, J., 2007, *Time-lapse Electrical Resistivity Anomalies Due to Contaminant Transport Around Landfills*, Annals of Geophysics Vol. 50 N. 3: 453-468.
- Ranieri, G., Sharpe, L., Trogu, A., dan Piga C., 2007, *Time-lapse Electrical Resistivity Tomography to Delineate Mud Structures in Archaeological Prospections, Near Surface Geophysics* 375-382.
- Ranjan, S.P., Kazama, S., dan Sawamoto, M., 2006, *Effects of Climate and Land Use Chages on Groundwater Resources in Coastal Aquifers*, Journal of Environmental Management, Volume 80, Issue 1, pp. 25-35.
- Reynolds, J.M., 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley & Sons.
- Sukamto, RAB., Sumadirdja, H., Suptandar, T., Hardjoprawiro, S., dan Sudana, D., 1973, *Peta Geologi Tinjau Lembar Palu Sulawesi*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Supriyadi, Santoso, D., Kadir, W.G.A., Sarkowi, M., dan Zaenudin, A., 2006, *Penelitian Amblesan Tanah di Kawasan Industri Kaligawe Semarang Menggunakan Metode Gayaberat Mikro 4-D*, J. Sains Tek. Vol 12, Hal 83-90.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R.E., 1990, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University Press.
- Todd, D.K., dan Mays, L.W., 2005, *Groundwater Hydrology "Third Edition"*, John Wiley & Sons, Inc.
- Wagner, F.M., Moller, M., Schmidt-Hattenberger, C., Kempka, T., dan Maurer, H., 2013, *Monitoring Freshwater Salinization in Analog Transport Models by Time-Lapse Electrical Resistivity Tomography*, Journal of Applied Geophysics, 89: 84 – 95.
- Wilkinson, P.B., Meldrum, P.I., Kuras, O., Chambers, J.E., Holyoake, S.J., dan

Ogilvy, R.D., 2010, *High-Resolution Electrical Resistivity Tomography Monitoring of a Tracer Test in a Confined Aquifer*, Elsevier; Journal of Applied Geophysics 70: 268-276.

Yaramanci, U., 2000, *Geoelectric Exploration and Monitoring in Rock Salt for The Safety Assessment of Underground Waste Disposal Sites*, Elsevier; Journal of Applied Geophysics 44: 181-196.