

PEMODELAN GEOSTATISTIKA DATA *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* UNTUK MENENTUKAN DISTRIBUSI AKUIFER AIR TANAH (STUDI KASUS: INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA)

Aviv Alansyah¹, Dr. Ahmad Zaenudin², Rizka¹

¹Program Studi Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Jati Agung, 35365

²Program Studi Teknik Geofisika Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35141

*Email korespondensi: avivalnsyah@gmail.com

ABSTRAK

Pemodelan geostatistika dilakukan untuk mengetahui korelasi spasial distribusi akuifer dengan data *Vertical Electrical Sounding*. Pemodelan geostatistika yang dilakukan yaitu dengan menggunakan analisis variogram. Data *Vertical Electrical Sounding* yang digunakan sebanyak 24 titik *sounding* dengan menggunakan konfigurasi Schlumberger. Panjang bentangan pengukuran VES dibuat bervariasi, dengan AB/2 minimum yaitu 2 m dan AB/2 maksimum 150 m dan perubahan MN/2 dilakukan sebanyak tiga kali (0.5, 2, 10 m). Hasil pengolahan data VES dikorelasikan dengan data pengikat berupa *Well Logging* (*log* resistivitas dan *log* SP). Berdasarkan hasil pengolahan data VES dan *Well Logging*, diperoleh bahwa kampus ITERA memiliki 2 lapisan akuifer, yaitu akuifer bebas (*unconfined aquifer*) dengan nilai resistivitas >80 Ω m yang diduga sebagai batu pasir tuffa dan akuifer tertekan (*confined aquifer*) dengan nilai resistivitas 20–80 Ω m yang diduga sebagai batu pasir tuffaan. Pada pemodelan geostatistika diperoleh model yang cocok dengan persebaran data VES yaitu berupa model variogram *spherical* dengan *lag* 500 m. Hasil tersebut digunakan untuk *gridding* peta iso resistivitas dengan kriging variogram yang dikorelasikan dengan model 3D diperoleh persebaran akuifer pada bagian Barat berada dekat dengan permukaan (dangkal) dengan lapisan yang cukup tebal yaitu berkisar $\pm 48,865$ m dan semakin ke arah Timur lapisan akuifer semakin dalam dan cenderung menipis.

Kata kunci: Akuifer, VES, Geostatistika, *Well Logging*, ITERA

ABSTRACT

Geostatistical modeling is carried out to determine the spatial correlation of aquifer distribution with Vertical Electrical Sounding data. Geostatistical modeling is done using variogram analysis. Data Vertical Electrical Sounding used 24 point soundings using the Schlumberger configuration. The length of the VES measurement range is varied, with a minimum AB/2 of 2 m and a maximum AB/2 of 150 m and MN/2 changes made three times (0.5, 2, 10 m). VES data processing results are correlated with binding data in the form of Well Logging (resistivity log and SP logs). Based on the results of VES data processing and Well Logging, it was found that the ITERA campus has 2 aquifer layers, namely unconfined aquifers with resistivity values >80 Ω m which are suspected as tuff and confined aquifers with resistivity values of 20-80 Ω m which is thought to be the tuffaceous sandstone. In the geostatistical modeling, a model that is suitable for the distribution of VES data is obtained, which is a spherical variogram model with a 500 m lag. The results are used for gridding the iso resistivity map with kriging variogram correlated with the 3D model, it is obtained that the aquifer distribution in the western part is close to the surface (shallow) with a fairly thick layer that is around $\pm 48,865$ m and increasingly towards the east the aquifer layer gets deeper and tend to thin out.

Keyword: Akuifer, VES, Geostatistics, *Well Logging*, ITERA

PENDAHULUAN

Air memiliki peranan yang strategis dalam kehidupan manusia baik untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga sehari-hari, kegiatan industri, pertanian, perikanan, jasa, termasuk diantaranya kegiatan pariwisata. Kebutuhan air akan meningkat seiring dengan bertambahnya penduduk serta tingkat ekonominya. Untuk menjamin pola hidup sehat maka air harus tercukupi dalam jumlah yang sesuai kebutuhan dan aman untuk digunakan. Permasalahan lain yang erat kaitannya dengan bertambahnya jumlah penduduk adalah tingkat laju pembangunan

infrastruktur seperti jalan, pusat studi, perkantoran, rumah ibadah, perumahan dan infrastruktur lainnya yang akan berdampak pada meningkatnya pelepasan atau pengeluaran air (*discharge*) dan penurunan akan pengisian air tanah (*recharge*). Dalam perkembangan pembangunan infrastruktur, air berperan sangat penting untuk menunjang kegiatan tersebut seperti halnya dalam pembangunan sebuah pusat institusi pendidikan tinggi baru yaitu Institut Teknologi Sumatera (ITERA). ITERA terus melakukan percepatan pembangunan belajar mengajar agar berjalan dengan lancar.

Pembangunan yang terus menerus ini diharapkan dapat mengimbangi laju mahasiswa yang terus bertambah setiap tahunnya. Penerimaan mahasiswa dan pembangunan infrastruktur yang terus bertambah akan sebanding dengan bertambahnya kebutuhan air bersih di kampus. Secara geologis menurut peta geologi regional Tanjung Karang (Gambar 1) ITERA berada dalam tatanan geologi formasi Lampung yang terdiri atas lapisan batuan piroklastik (Mangga, 1993). Batuan ini memiliki karakteristik semipermeabel, sehingga air permukaan sukar diteruskan ke bawah permukaan menuju lapisan akuifer. Hal ini akan berdampak pada cadangan air di dalam akuifer. Selain itu, berdasarkan pengeboran sumur yang sudah dilakukan, akuifer air tanah di kampus ITERA termasuk akuifer dalam. Kedalaman pengeboran rata-rata >70 m di bawah permukaan tanah. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa potensi sumber air ditemukan berada pada kedalaman >25 meter dengan rentang nilai resistivitas antara $2-10 \Omega\text{m}$ dan termasuk ke dalam akuifer tertekan (Setiawan dkk., 2017).

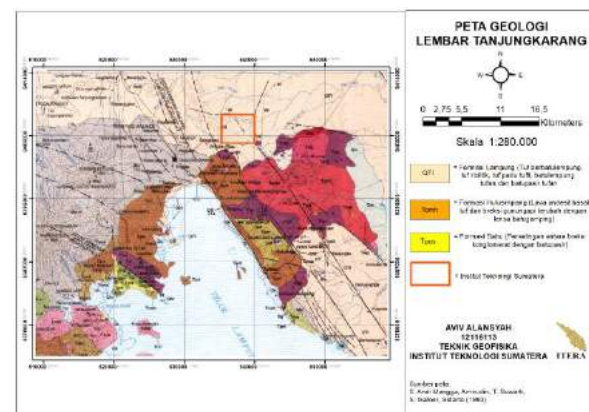
Berdasarkan penelitian sebelumnya daerah ITERA memiliki potensi akuifer bebas (*unconfined aquifer*) dan akuifer tertekan (*confined aquifer*). Akuifer bebas diduga merupakan batuan tuff dengan nilai resistivitas tinggi ($>80 \Omega\text{m}$) yang ditemukan pada kedalaman dangkal (<5 m dari permukaan). Akuifer tertekan diduga merupakan pasir tuffaan dengan nilai resistivitas menengah ($20 - 80 \Omega\text{m}$) ditemukan pada kedalaman dalam (>75 m dari permukaan) (Satiawan dan Rizka, 2019). Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah pendekatan geofisika untuk mengetahui zona cadangan air bersih yaitu menggunakan metode geolistrik resistivitas *sounding* yang merupakan upaya lanjutan dari penelitian-penelitian sebelumnya sehingga dapat diketahui distribusi persebaran akuifer di kampus ITERA melalui pemodelan geostatistika.

Metode geolistrik resistivitas adalah salah satu metode geofisika yang sering digunakan dalam penentuan zona air tanah dengan hasil yang maksimal serta memakan biaya yang murah dibanding metode lainnya (Metwaly et al., 2015). Hasil pengukuran dari geolistrik resistivitas akan dikorelasikan dengan hasil pengukuran *well logging*. Dalam eksplorasi dan penaksiran air tanah metode *well logging* dapat digunakan untuk menentukan akuifer dan zona produksi (Chopra et al., 2005). Dengan mengkorelasikan hasil dari kedua metode baik geolistrik resistivitas maupun *well logging* diharapkan dapat memetakan distribusi persebaran akuifer yang ada di ITERA.

LOKASI PENELITIAN

Daerah penelitian ini terletak di kampus ITERA (Gambar 1) dimana secara administratif terletak di Jl. Terusan Ryacudu Way Huwi, Kecamatan Jatiagung, Lampung yang terletak di antara wilayah Kabupaten

Lampung Selatan dengan Kota Bandar Lampung. Secara geografis lokasi penelitian terletak pada koordinat $5^{\circ}21'24.96''$ Lintang Selatan dan $105^{\circ}18'52.11''$ Bujur Timur.



Gambar 1. Peta geologi lembar Tanjungkarang (Mangga, 1993)

METODE PENELITIAN

Vertical Electrical Sounding (VES)

Geolistrik resistivitas *Vertical Electrical Sounding* (VES) merupakan salah satu metode Geofisika untuk mengetahui perubahan tahanan jenis lapisan batuan bawah permukaan tanah dengan cara mengalirkan arus listrik DC yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Injeksi arus listrik ini menggunakan 2 elektroda arus A dan B yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu. Tegangan listrik yang terjadi di permukaan tanah diukur dengan menggunakan 2 buah elektroda potensial M dan N (Reinhard, 2006).

Dat yang digunakan merupakan data sekunder yaitu data geolistrik resistivitas *Vertical Electrical Sounding* (VES) dengan menggunakan konfigurasi Schlumberger. Metoda pengukuran ini cukup baik untuk menentukan zona basah (akuifer) bawah permukaan secara akurat dan murah. Lapisan akuifer dicirikan dengan adanya pori-pori dan permeabilitas (hubungan antar pori) yang besar pada batuan, sehingga air tertampung dan dapat mengalir di dalamnya. Adanya kandungan air pada lapisan akuifer menjadikan lapisan ini sebagai zona basah dan konduktif sehingga membedakan dengan lapisan lainnya. Lapisan tanah (konduktif) seperti ini biasanya memiliki harga hambatan jenis/resistivitas tertentu. Dengan mengetahui nilai hambatan jenis lapisan bumi bawah permukaan, maka dapat diprediksikan lapisan-lapisan tanah atau batuan yang tersaturasi air. Hal ini cukup bermanfaat untuk memprediksi lokasi dan kedalaman dalam mengeksploitasi airtanah.

Pada data VES terdapat 24 titik pengukuran dengan panjang bentangan AB/2 yang bervariasi dimulai dengan panjang bentangan minimum 2 m dan panjang bentangan maksimum 150 m, sedangkan perubahan MN/2 yang relatif stabil yaitu berpindah sebanyak tiga

kali (0.5, 2, dan 10 m). Data lapangan yang diperoleh berupa kuat arus (I) dan beda potensial (ΔV), dari kedua data tersebut digunakan untuk memperoleh nilai resistivitas semu untuk mengidentifikasi resistivitas batuan pada lokasi penelitian. Nilai resistivitas semu dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\rho_A = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

variabel k merupakan faktor geometri dari elektroda dalam konfigurasi elektroda. Karena konfigurasi elektroda yang digunakan adalah konfigurasi Schlumberger, maka persamaan faktor geometri yang digunakan adalah:

$$K = \pi \left(\frac{a^2 - b^2}{2b} \right) \quad (2)$$

Dalam proses pengolahan data VES yaitu dititik beratkan pada nilai *error* yang seminimal mungkin guna mendapatkan hasil yang sesuai dengan kondisi bawah permukaan yang sesungguhnya. Pengolahan data VES ini dilakukan dengan analisis *curve matching*, teknik ini merupakan suatu bagian dari proses penginterpretasian secara *Vertical Electrical Sounding* (VES) yang diperoleh data berupa horizontal.

Well Logging

Well Logging merupakan rekaman analog atau digital secara kontinyu yang dapat digunakan untuk menginterpretasikan litologi, ketebalan lapisan, lapisan potensial akuifer, permeabilitas, porositas, *bulk density*, dan kadar air (Hudson, 1996). Metode *Well Logging* yang digunakan adalah data sekunder berupa *resistivity log* dan *SP log*. Data *log* memiliki tingkat akurasi yang tinggi sehingga sangat baik untuk menentukan lapisan batuan pada bawah permukaan sehingga nilai tahanan jenis setiap lapisan dapat teridentifikasi dengan baik terutama lapisan batuan yang dianggap sebagai pembawa air terbaik (Todd dan Mays, 2005).

Geostatistika

Geostatistik pada awalnya berkembang di bidang industri pertambangan dengan teorinya tentang variabel regional, adalah metode interpolasi yang memprediksi nilai yang tidak diketahui dari data yang diamati di lokasi yang diketahui, dan meminimalkan kesalahan dari nilai prediksi yang diperkirakan oleh distribusi spasial dari nilai prediksi. Karena variabel dianggap memiliki pengaruh satu sama lain, konsep pertama terkait dengan variogram nilai yang ingin kita perkirakan. Ini menghubungkan kesamaan atau perbedaan, dinyatakan sebagai semi-variants, antara nilai-nilai di tempat yang berbeda dengan jarak pemisahan (*lag*) dan arahnya. Jarak bahwa variabel memiliki pengaruh satu sama lain disebut rentang variogram dan merupakan konsep penting karena

setelah jarak itu, variabel tidak berpengaruh satu sama lain (Baba et al., 2014).

Plot semi-variants dengan *lag h* disebut dengan variogram. Variogram adalah metode analisis keragaman data spasial yang didasarkan pada pengukuran jarak (Wackernagel, 1994). Analisis ini didasarkan pada suatu prinsip bahwa dua titik yang berdekatan akan lebih memiliki kemungkinan untuk mempunyai nilai parameter yang mirip dibandingkan dengan dua titik yang berjauhan (Aisha et al., 2018). Variogram digunakan untuk membantu memprediksi variabel dalam interpolasi spasial dari teknik kriging (Oliver dan Webster, 2015). Terdapat beberapa model variogram yang sering digunakan, yaitu:

$$\text{Nugget: } \gamma(h) = \begin{cases} 0 & \text{if } h=0 \\ c & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{Spherical: } \gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left((1.5 \frac{h}{a}) - 0.5 (\frac{h}{a})^3 \right) & \text{for } h < a \\ c & \text{for } h \geq a \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Exponential: } \gamma(h) = c_0 + c (1 - \exp(-\frac{h}{a})) \quad (5)$$

$$\text{Gaussian: } \gamma(h) = c_0 + c (1 - \exp(-\frac{3h^2}{a^2})) \quad (6)$$

$$\text{Power: } \gamma(h) = c_0 h^w \text{ (with } 0 < w < 2) \quad (7)$$

dimana a adalah *range* dari titik simpangan antara garis tangensial variogram dan *sill* (c).

Untuk membantu dalam penentuan model terbaik maka dilakukan validasi silang (M. A. Oliver dan Webster, 2014). Teknik validasi silang ini adalah dengan cara membandingkan nilai yang diestimasi dengan nilai observasi pada lokasi penelitian (Mert dan Dag, 2018). Dalam tahapan prediksi tiga model diplot agar mendapat model yang terbaik. Nilai *mean error* (ME), *mean square error* (MSE), dan *root mean square error* (RMSE) adalah parameter validasi silang untuk menguji model yang dikembangkan. Jika prediksi tanpa bias, ME seharusnya nol. ME pada umumnya distandarisasi oleh MSE, karena idealnya nol (Arétouyap et al., 2016).

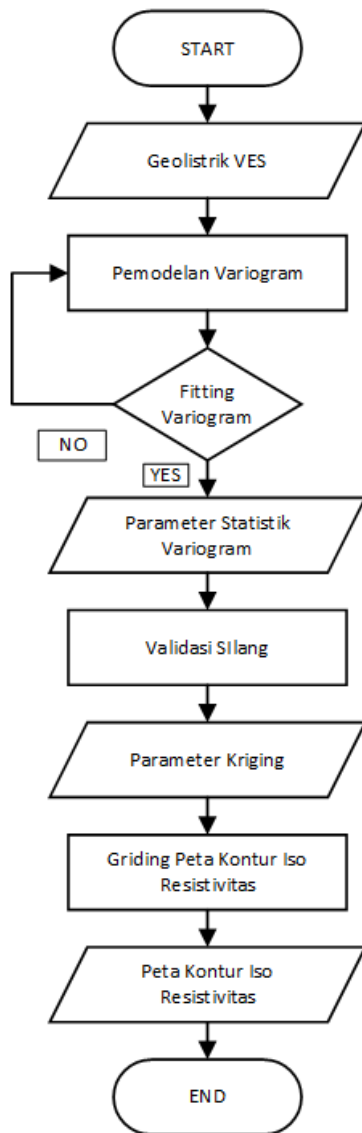
Nilai RMSE harus dihitung agar menunjukkan kesalahan prediksi dinilai benar ketika jarak mereka dekat. Jika nilai RMSE kurang dari satu, maka variabilitas prediksi ditaksir terlalu tinggi, dan jika RMSE lebih besar dari satu, maka variabilitasnya dari prediksi yang diremehkan. Setelah model terbaik dipilih, itu digunakan untuk *gridding* peta tematik yang menyediakan distribusi spasial dari parameter yang akan diperkirakan (Arétouyap et al., 2016). Berikut ini merupakan beberapa persamaan yang digunakan untuk melakukan validasi silang:

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z * (x_i) - Z(x_i)] \quad (8)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{Z^*(x_i) - Z(x_i)}{\sigma^2(x_i)} \right] \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2} \quad (10)$$

dimana $\sigma^2(x_i)$ adalah variansi kriging pada lokasi x_i , $Z^*(x_i)$ dan $Z(x_i)$ adalah nilai estimasi dan nilai observasi pada masing-masing lokasi x_i . Teknik analisis variogram dan persamaan estimasi kriging diolah menggunakan *golden software surfer 16*, yang mana pengolahannya dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir pengolahan variogram

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Lithologi Berdasarkan Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES)

Hasil pengolahan nilai resistivitas untuk masing-masing titik VES dengan menggunakan metode curve matching dan hasil interpretasi batuan yang

mengindikasikan lapisan akuifer berdasarkan hasil nilai resistivitas yang dikorelasikan dengan data-data geologi yang ada di kampus ITERA dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Analisis Data *Well Logging*

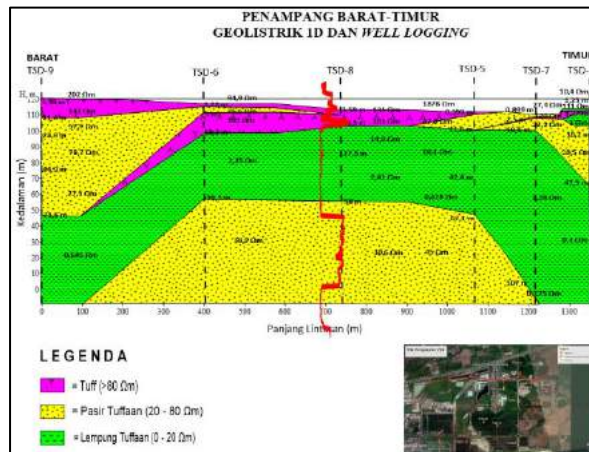
Posisi sumur bor pengukuran well logging terletak pada titik sounding TSD-8. Kedalaman sumur bor adalah 150 m. Data sumur well logging yang digunakan adalah data log resistivitas dan data log *Spontaneous Potential* (SP). Berdasarkan data sumur well logging dapat diinterpretasikan litologi yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Korelasi Titik *Sounding* dan Data *Electrical Logging*

Korelasi titik *sounding* dilakukan berdasarkan pemodelan inversi 1-D. Pemodelan 1-D berupa *apparent resistivity pseudosection* yaitu penampang melintang yang menggambarkan distribusi nilai resistivitas antara titik VES yang satu dengan lainnya. Titik *sounding* yang digunakan saat pemodelan inversi 1-D adalah titik *sounding* yang berarah dari Barat-Timur dan arah Utara-Selatan. Titik-titik *sounding* lintasan 1 dan lintasan 2 memiliki arah Barat-Timur. Korelasi titik *sounding* pada lintasan 1 (Gambar 5.5) meliputi titik TSD-9, TSD-6, TSD-8, TSD-5, TSD7, dan TSD-4. Pemilihan titik-titik tersebut karena terdapat titik *well logging* pada titik TSD-8 (Gambar 2). Titik TSD-8 dijadikan acuan dalam penentuan lapisan akuifer di daerah penelitian. Karena kualitas data yang baik dan posisinya yang sama dengan titik sumur *well logging* merupakan faktor utama yang menjadikan TSD-8 menjadi titik acuan. Hasil pemodelan inversi 1-D titik *sounding* TSD-8 yang dikorelasikan dengan data sumur log resistivitas ditemukan nilai resistivitas rendah ($<20 \Omega m$) diduga memiliki litologi lempung tuffan yang ditunjukkan warna hijau, nilai resistivitas menengah ($20-80 \Omega m$) diduga memiliki litologi pasir tuffaan yang ditunjukkan dengan warna kuning dan nilai resistivitas tinggi ($>80 \Omega m$) diduga memiliki litologi tuff yang ditunjukkan dengan warna merah muda.

Berdasarkan korelasi dari pemodelan inversi 1D pada titik *sounding* TSD-9, TSD-6, TSD-8, TSD-5, TSD-7, dan TSD-4 ditemukan batuan yang berlapis-lapis. Lapisan atas pada lintasan 1 ini ditemukan litologi berupa batuan tuff yang memiliki nilai resistivitas tinggi ($>80 \Omega m$) yang ditunjukkan dengan warna merah muda dengan ketebalan yang bervariasi antara $\pm 0,4-13$ m serta memiliki kemenerusan dari titik TSD-9 kemudian menebal di TSD-8 yang berkorelasi dengan lapisan ketiga TSD-6 namun lapisan batuan tersebut semakin menipis hingga titik TSD-7 dan pada titik TSD-4 lapisan atasnya berupa batuan lempung tuffaan ($0-20 \Omega m$) yang ditunjukkan dengan warna hijau dan memiliki tebal ± 1 m. Lapisan kedua pada TSD-9 dan TSD-6 diidentifikasi berupa batuan pasir tuffan yang memiliki nilai resistivitas sedang ($20-80 \Omega m$)

yang berundulasi dengan ketebalan yang bervariasi ($\pm 5\text{--}40$ m). Selanjutnya pada lapisan ketiga pada titik TSD-9, berkorelasi dengan lapisan keempat TSD-6, berkorelasi dengan lapisan kedua TSD-8, lapisan ketiga TSD-5, lapisan keempat TSD-7, dan lapisan paling bawah TSD-4 yaitu berupa batuan lempung tuffaan yang memiliki nilai resistivitas rendah ($0\text{--}20\ \Omega\text{m}$) yang ditunjukkan dengan warna hijau. Lapisan batuan lempung tuffaan ini memiliki kemenerusan ke arah Timur yang semakin menebal pada titik TSD-4 dengan ketebalan yang bervariasi ($\pm 40\text{--}96$ m). Selanjutnya pada TSD-6 ditemukan lapisan batupasir tuffaan yang berkorelasi dengan lapisan paling bawah dari titik TSD-8 dan TSD-5 yang memiliki ketebalan yang hampir seragam ($\pm 50\text{--}60$ m). Pada lapisan paling bawah pada TSD-9, TSD-7, dan TSD-4 yaitu berupa batuan lempung tuffaan yang memiliki nilai resistivitas rendah ($0\text{--}20\ \Omega\text{m}$) yang ditunjukkan dengan warna hijau. Pada TSD-7 ini ditemukan lapisan batulempung tuffaan yang sangat tebal yaitu sekitar ± 96 m dan menipis ke arah Timur.



Gambar 2. Korelasi data log dengan lintasan 1

Berdasarkan korelasi hidrostratigrafi pada lintasan 1 diperoleh bahwa lapisan yang ada pada lintasan ini memiliki lapisan akuifer bebas (*unconfined aquifer*), lapisan akuifer tertekan (*unconfined aquifer*), dan akuitar/akuiklud. Pada lapisan pertama dan kedua memiliki litologi berupa batuan tuff dan batuan pasir tuffaan kedua batuan ini dapat dijadikan sebagai sumber akuifer. Pada batuan tuff memiliki sifat yang terbatas dalam menyimpan maupun mengalirkan air karena sifat dari tuff sendiri yang memiliki porositas kecil karena memiliki butir yang halus dan kecil sehingga menyebabkan permeabilitasnya rendah. Pada lapisan pertama dan kedua ini dapat dijadikan sebagai sumber akuifer dangkal ($0\text{--}40$ m) dan tergolong kedalam jenis akuifer bebas (*unconfined aquifer*) karena tidak ada lapisan impermeabel yang membatasi lapisan ini. Pada titik TSD-6, TSD-8, dan TSD-5 terdapat lapisan batuan pasir tuffaan yang sangat tebal yang di identifikasikan sebagai sumber akuifer yang berpotensi besar. Batuan pasir tuffaan ini adalah batuan yang memiliki nilai resistivitas sedang ($20\text{--}80\ \Omega\text{m}$).

Ketebalan lapisan akuifer berkisar antara $\pm 50\text{--}60$ m dengan kedalaman > 60 m (akuifer dalam). Namun di atas lapisan ini terdapat lapisan impermeabel berupa batuan lempung tuffaan pada titik TSD-6, TSD-8, TSD-5, TSD-7, dan TSD-4. Lapisan tersebut merupakan akuitar dan akuiklud yang memiliki nilai resistivitas rendah ($0\text{--}20\ \Omega\text{m}$). Lapisan akuiklud ini terletak pada kedalaman $\pm 13\text{--}120$ m yang menyekat lapisan di bawahnya sehingga menyebabkan sumber akuifer (batuan pasir tuffaan) menjadi terkekang (*confined aquifer*).

Analisis Variogram

Hasil pengolahan analisis variogram dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter statistika terutama nilai *nugget*, *sill*, dan *range*, selain itu parameter lain yang diperoleh berupa nilai maksimum, nilai minimum, *mean*, median, dan standar deviasi. tersebut diharapkan mampu memperlihatkan distribusi akuifer dari data VES tersebut. Dalam penentuan model variogram ini dilakukan analisis validasi silang untuk memperoleh model terbaik yang disajikan pada Tabel 4. Hasil validasi silang menunjukkan bahwa model *spherical* memiliki tingkat kesalahan yang rendah sehingga model ini dipilih dalam analisis variogram yang ditunjukkan pada tabel 5.

Berdasarkan hasil pengolahan variogram maka diperoleh parameter-parameter statistik yang digunakan untuk *gridding* pada peta kontur iso resistivitas (Gambar 7). Peta iso resistivitas digunakan untuk mengetahui persebaran nilai tahanan jenis/resistivitas secara lateral pada masing-masing kedalaman. Interpretasi dari kontur tahanan jenis pada beberapa kedalaman menunjukkan pengelompokan batuan berdasarkan keseragaman pola persebaran kontur tahanan jenis serta adanya hubungan persebaran lapisan-lapisan batuan yang cenderung menerus baik ke arah permukaan maupun ke bawah permukaan, sehingga lapisan batuan di bawah permukaan diduga tersusun oleh beberapa kelompok batuan. Dari hasil perbandingan *iso apparent resistivity map* zona akuifer pada daerah penelitian dibuat dengan distribusi resistivitas semu perkedalaman yaitu pada AB/2 60 m, AB/2 80 m, dan AB/2 100 m yang diperlihatkan pada Gambar 5.16. Hasil peta tersebut menunjukkan bahwa distribusi persebaran akuifer didominasi dengan nilai *apparent resistivity* rendah pada bagian tengah dan Timur kemudian nilai *apparent resistivity* yang sedang hingga tinggi di bagian Selatan dan di bagian Barat. Distribusi nilai *apparent resistivity* rendah ($<20\ \Omega\text{m}$) pada bagian tengah dan Timur yaitu diduga sebagai batuan batulempung tuffaan dan distribusi nilai *apparent resistivity* sedang ($20\text{--}80\ \Omega\text{m}$) diduga sebagai batuan batupasir tuffaan yang diindikasikan sebagai zona akuifer.

Hasil *iso true resistivity map* dengan spasi kedalaman yang bervariasi yaitu 60m, 80m, dan 100 m diperoleh seperti pada Gambar 8. Ketiga peta tersebut

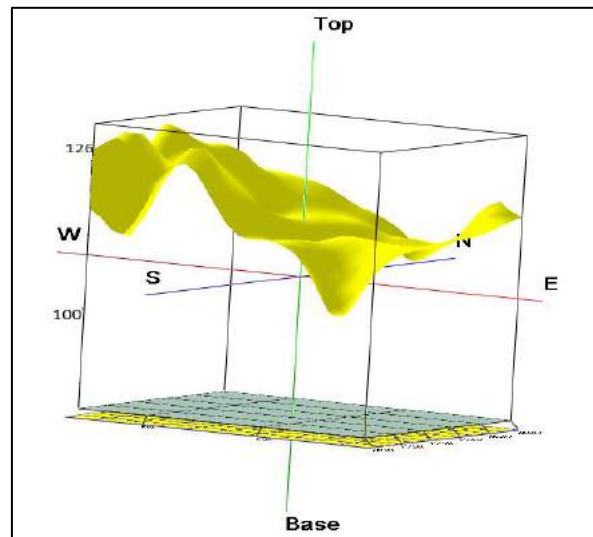
menunjukkan distribusi persebaran nilai *true resistivity* secara lateral yang didominasi oleh nilai *true resistivity* sedang namun dapat kita temukan beberapa zona dengan nilai *true resistivity* rendah di bagian Tenggara, Timur Laut dan sedikit di bagian Barat. Nilai *true resistivity* sedang (20-80 Ωm) di beberapa titik diduga sebagai litologi batuan pasir tuffaan yang terdistribusi semakin dalam ke arah Selatan dan Barat Daya. Dari hasil *iso true resistivity map* ini, zona akuifer dalam dengan kedalaman 60 m terdapat pada bagian Utara, kedalaman 80 pada bagian Utara dan bagian Barat Daya, dan pada kedalaman 100 m yaitu hampir semua titik merupakan zona akuifer (*true resistivity* sedang hingga tinggi) hanya saja ditemukan sedikit zona dengan *true resistivity* rendah pada bagian tengah, Timur Laut, dan sedikit pada bagian Barat yang diduga tersusun atas litologi batulempung tuffaan.

Kemudian dari hasil interpretasi *top* akuifer (Gambar 4) dan ketebalan akuifer diperoleh seperti pada Gambar 8. Peta ketebalan akuifer memiliki ketebalan yang berundulasi dengan tebal minimum yaitu 6,7 m, tebal maksimum sebesar 90,4 m dan tebal rata-rata dari semua titik VES sebesar 48,865 m. Ketebalan maksimum yaitu berada pada arah Selatan, bagian tengah dan sedikit di bagian Barat. Untuk ketebalan minimum terdapat di beberapa titik di sekitar TSD-3 dibagian Utara, TSD 11 dibagian Timur, dan TSD-16, TSD-17 dan TSD-20 di bagian Barat. Selanjutnya pada peta *top* akuifer dalam diperoleh kedalaman akuifer yang berundulasi. Zona akuifer tersebut dapat ditemukan pada kedalaman yang dangkal dan dalam. Pada bagian Utara kedalaman akuifer berada pada kedalaman sedang diantara 50–85 m. Kemudian pada bagian Barat Daya dan tengah keberadaan akuifer ditemukan cukup dalam dan jika dilihat pada peta ketebalan akuifer daerah ini cenderung memiliki ketebalan yang tipis. Kemudian terdapat anomali pada bagian Barat dari kedua peta baik peta kedalaman maupun ketebalan, yang mana menunjukkan bahwa pada bagian Barat peta terdapat ketebalan akuifer yang tebal yaitu sekitar 65–95 m dengan kedalaman yang dangkal antara 25–40 m.

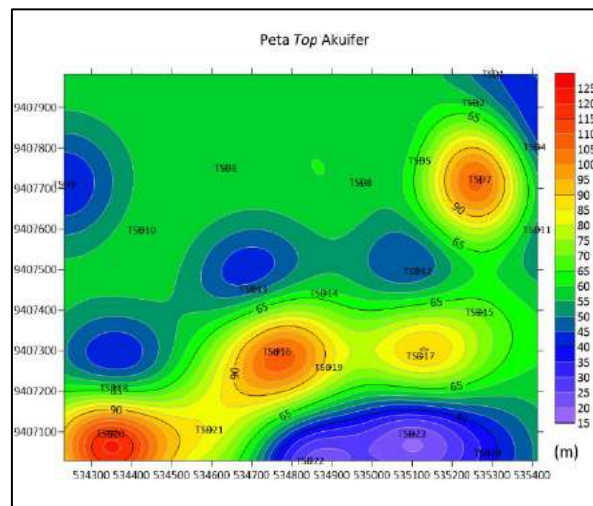
Korelasi Pengolahan dan Interpretasi Variogram dan Penampang Akuifer 3D

Korelasi antara model 3D persebaran akuifer pada Gambar 3 dengan peta *top* akuifer dalam pada Gambar 4 menunjukkan distribusi akuifer pada lokasi penelitian yang menunjukkan *trend* kemiripan yang sama. Jika ditinjau dari peta *top* akuifer dalam titik-titik anomali berada pada bagian Barat yang menunjukkan kedalaman akuifer yang relatif dangkal yaitu sekitar 15–40 m yang ditunjukkan dengan anomali berwarna ungu hingga biru tua dan pada model 3D menunjukkan kedalaman sekitar 21–37 m. Kemudian pada titik anomali dengan kedalaman yang lebih dalam terdapat satu titik pada bagian Barat Daya, dua titik di bagian tengah dan satu titik di bagian Timur. Jika ditinjau dari hasil peta *top* akuifer dalam kedalamannya sekitar 80-

125 m yang ditunjukkan dengan warna kuning hingga merah kemudian pada model 3D persebaran akuifer anomali pada *top* akuifer ditunjukkan dengan cekungan yang dalam di masing-masing titik tadi dengan kedalaman berkisar antara 89–117 m.



Gambar 3. Model 3D persebaran akuifer



Gambar 4. Peta *top* akuifer dalam

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian tugas akhir mengenai distribusi akuifer di kampus ITERA dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil korelasi pengolahan data VES dan interpretasi data well logging, pada daerah penelitian memiliki litologi batuan tuff (nilai resistivitas $>80 \Omega\text{m}$), batu pasir tuffaan (nilai resistivitas 20-80 Ωm), dan batu lempung tuffaan ($< 20 \Omega\text{m}$).
2. Berdasarkan hasil pemodelan statistika model variogram yang digunakan adalah model spherical dengan input lag yaitu sebesar 500 m. Berdasarkan peta *iso apparent resistivity* dan peta *iso true resistivity*, zona persebaran akuifer

ditunjukkan dengan nilai rentang resistivitas yaitu 20–80 Ωm yang diduga sebagai batuan pasir tuffaan. Persebaran zona akuifer pada peta iso apparent resistivity ini cenderung tersebar secara tidak merata pada lokasi penelitian kemudian pada peta iso true resistivity persebaran akuifer terlihat merata seiring dengan bertambahnya kedalaman. Kemudian pada peta ketebalan dan peta top akuifer menunjukkan ketebalan dan kedalaman akuifer yang berundulasi dengan tebal minimum yaitu 6,7 m, tebal maksimum sebesar 90,4 m kemudian kedalaman akuifer dangkal yaitu sekitar 21 m dan kedalaman dalam sekitar 117. Zona potensi akuifer yang potensial yaitu pada bagian barat yang mana terdapat ketebalan akuifer yang tebal yaitu sekitar 65–95 m dengan kedalaman yang dangkal antara 25–40 m.

3. Berdasarkan pemodelan 2D bawah permukaan hasil korelasi VES menunjukkan pada lokasi penelitian memiliki 2 lapisan akuifer, yaitu akuifer bebas (unconfined aquifer) dan akuifer tertekan (confined aquifer). Akuifer bebas diduga merupakan batuan tuff ($>80 \Omega\text{m}$) dan pasir tuffaan (20–80 Ωm) yang ditemukan pada kedalaman dangkal (<40 m dari permukaan). Akuifer tertekan diduga merupakan pasir tuffan dengan nilai resistivitas menengah (20–80 Ωm) ditemukan pada kedalaman dalam (>60 m dari permukaan).
4. Berdasarkan hasil korelasi pemodelan 3D persebaran akuifer dengan peta top akuifer dalam menunjukkan dominasi dari litologi batupasir tuffaan yang ditunjukkan dengan warna kuning dengan rentang nilai resistivitas 20–80 Ωm . Persebaran akuifer pada bagian Barat berada dekat dengan permukaan (dangkal) kemudian semakin ke arah Timur lapisan akuifer semakin dalam. Ketebalan lapisan akuifer ini berkisar antara 48,865 m.

UCAPAN TERIMAKASIH

Mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T., Rizka, S.T., M.T., dosen-dosen Institut Teknologi Sumatera (ITERA) yang membimbing dan membantu dalam penulisan ini.

REFERENSI

- Aisha, F. Y., Warnana, D. D., & Ariyanti, N. (2018). *Pemodelan Geostatistik 3d Pada Sebaran Batuan Karbonat Menggunakan Metode Kriging Berdasarkan Data Resistivitas 2D dan N-SPT*. 4(3), 95–102.
- Arétouyap, Z., Njandjock Nouck, P., Nouayou, R., Ghomsi Kemgang, F. E., Piépi Toko, A. D., & Asfahani, J. (2016). Lessening the adverse effect of the semivariogram model selection on an interpolative survey using kriging technique. *SpringerPlus*, 5(1), <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2142-4>
- Baba, K., Bahi, L., & Ouadif, L. (2014). *Geostatistical analysis for delineating sterile inclusions in sidi chennane' phosphatic series, morrocco*. *Earth Sciences Research Journal*, 18(2), 143–148. <https://doi.org/10.15446/esrj.v18n2.41173>
- Chopra, P., Papp, E., & Gibson, D. (2005). *Geophysical Well Logging. Part 5* (January 2005), 105–115. [https://doi.org/10.1016/S0076-695X\(08\)60604-3](https://doi.org/10.1016/S0076-695X(08)60604-3)
- Hudson, J. D. (1996). *Use Of Geophysical Logs To Estimate The Quality Of Ground Water And The Permeability Of Aquifers* (G. P. Eaton (ed.)). US Geological Survey.
- Mangga, A. (1993). *Peta Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatera*.
- Mert, B. A., & Dag, A. (2018). *A Computer Program for Practical Semivariogram Modeling and Ordinary Kriging: A Case Study of Porosity Distribution in an Oil Field*. *Open Geosciences*, 9(1), 663–674. <https://doi.org/10.1515/geo-2017-0050>
- Metwaly, M., Alfay, M. El, Eawad, E., Ismail, A., & El-qady, G. (2015). *Estimating aquifer hydraulic parameters from electrical resistivity measurements ; a case study at Khuff Formation Aquifer , Al Quwy ' ya Area , Central of Saudi Arabia*. *ICEG*, 212–215.
- Oliver, A. M., & Webster, R. (2015). *Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15865-5>
- Oliver, M. A., & Webster, R. (2014). A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*, 113, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.09.006>
- Reinhard, K. (2006). *Groundwater Geophysics A Tool for Hydrogeology* (R. Kirsch (ed.); 2nd ed.). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Satiawan, S., & Rizka. (2019). *Investigasi Lapisan Akuifer Berdasarkan Data Vertical Electrical Sounding (Ves) Dan Data Electrical Logging; Studi Kasus Kampus ITERA*. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, 17, 91–100.
- Setiawan, M. R., Badri, R. M., & Singarimbun, A. (2017). *Kajian awal pendugaan akuifer air tanah di kampus ITERA dengan metode geolistrik konfigurasi schlumberger*. *Journal of Science and Applicative Technology*, 40–46.
- Todd, D., & Mays, L. (2005). *Groundwater Hydrology* (pp. 1–652). John Wiley & Sons, Inc.

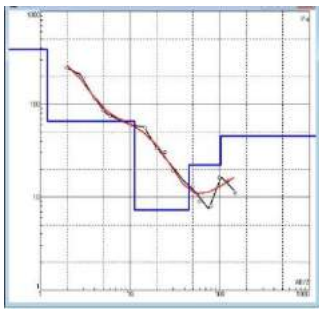
Wackernagel, H. (1994). *Cokriging versus kriging in regionalized multivariate data analysis*. *Geoderma*, 62, 83–92. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0016-7061(94)90029-9)

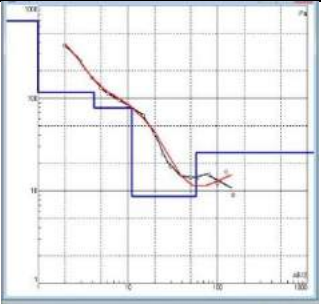
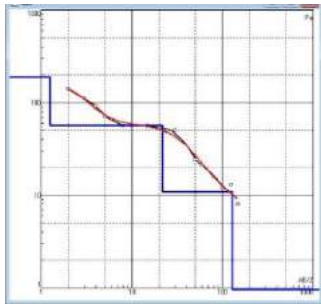
LAMPIRAN

Tabel 1. Rentang resistivitas dari litologi batuan ITERA

Nilai Resistivitas	Litologi
<20 Ωm	<i>Tuffaceous claystone</i> (Lempung tuffaan) Batuan tuff berbutir halus yang memiliki kandungan <i>clay</i> . Sifatnya <i>impermeable</i> dan tidak dapat menjadi akuifer.
20–80 Ωm	<i>Tuffaceous sandstones</i> (Pasir tuffaan) Batuan tuff yang memiliki kandungan pasir dengan ukuran butir menengah – kasar. Sifatnya permeabel dengan porositas baik dan dapat menjadi akuifer tertekan.
80-150 Ωm	Tuff Batuan tuff dengan ukuran butir kasar, terletak pada bagian yang relatif dangkal dari permukaan/pada bagian bawah tanah penutup. Batuan ini juga dapat berperan menjadi akuifer.
>150 Ωm	Tuff Batuan tuff dengan ukuran butir halus dan kompak.

Tabel 2. Interpretasi litologi bawah permukaan

Sta-VES	Lapisan	Resistivitas (Ωm)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Kurva	Estimasi Litologi	Representasi <i>Sounding</i>
TSD-1	1	391	1,2	1,2	QHK	Tuff	
	2	65,7	9,97	11,2		Pasir tuffaan	
	3	7,28	34,4	45,6		Lempung tuffaan	
	4	22,2	57,2	103		Pasir tuffaan	
	5	45,6		103-~		Pasir tuffaan	
TSD-2	1	689	1	1	QHK	Tuff	

	2	116	3,2	4,2		Tuff	
	3	79,1	6,82	11		Pasir tuffaan	
	4	8,71	46,6	57,6		Lempung tuffaan	
	5	25,9		57,6~		Pasir tuffaan	
TSD-3	1	190	1,24	1.24	KQ	Tuff	
	2	57	20,3	21,5		Pasir tuffaan	
	3	10,9	106	127		Lempung tuffaan	
	4	0,966		127-~		Lempung tuffaan	

Tabel 3. Interpretasi data *logging*

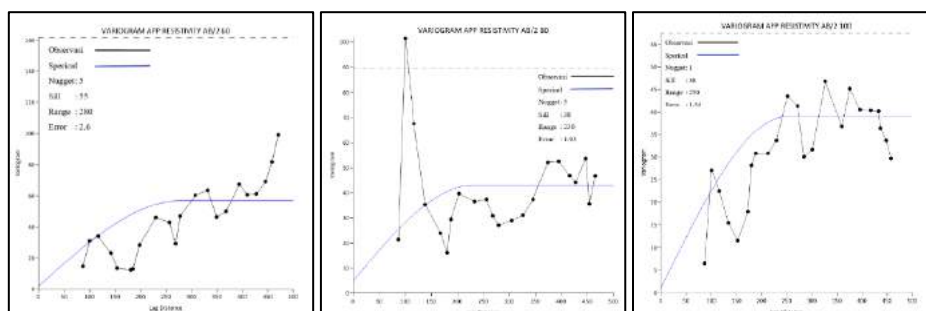
	Kedalaman (meter)	Hasil Pengamatan		Perkiraan Litologi	Perkiraan Akuifer
		Resistivitas (Ω m)	SP (mVolt)		
1	0 – 6	--	--	Top soil	
2	6 – 25	20 – 78	2 – 12	Batupasir tuffaan	Akuifer
3	25 -30	100 – 131	10 – 11	Tuff	Akuifer
4	30 -81	5 – 19	2 – 12	Batulempung tuffaan	Akuitar/akuiklud
5	81 – 121	80 – 112	3 – 50	Tuff	Akuifer
6	121 – 145	6 – 20	3 – 9	Batulempung tuffaan	Akuitar/akuiklud
7	145 – 150	44 - 51	9 - 11	Batupasir tuffaan	Akuifer

Tabel 4. Validasi silang variogram

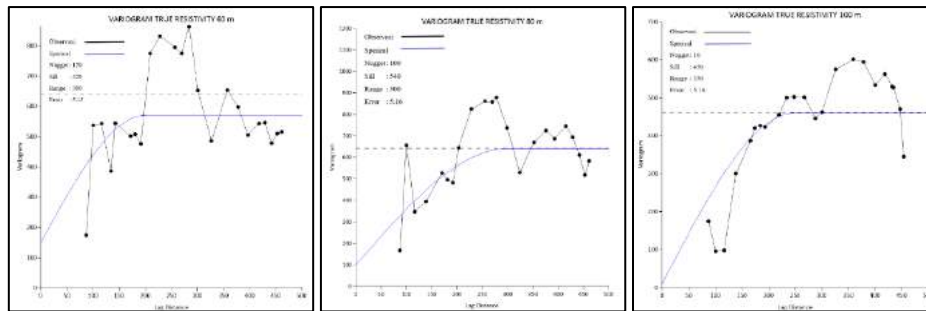
No.	Peta	Model	ME	RMSE	MSE
1.	Iso resistivity 60	<i>Spherical</i>	0.254	4.795	0.142
		<i>Gaussian</i>	1.051	7.010	0.551
		<i>Exponential</i>	0.566	7.747	0.370
2.	Iso resistivity 80	<i>Spherical</i>	0.023	8.755	0.856
		<i>Gaussian</i>	0.512	9.041	0.913
		<i>Exponential</i>	0.339	9.613	1.032
3.	Iso resistivity 100	<i>Spherical</i>	0.029	7.0355	0.859
		<i>Gaussian</i>	0.538	7.193	0.898
		<i>Exponential</i>	0.347	7.529	0.984
4.	Iso resistivity 60 m	<i>Spherical</i>	0.154	26.083	1.066
		<i>Gaussian</i>	1.194	29.597	1.372
		<i>Exponential</i>	0.660	29.006	1.318
5.	Iso resistivity 80 m	<i>Spherical</i>	0.025	26.739	1.116
		<i>Gaussian</i>	0.073	32.683	1.668
		<i>Exponential</i>	0.280	29.433	1.352
6.	Iso resistivity 100 m	<i>Spherical</i>	0.163	20.591	0.919
		<i>Gaussian</i>	0.422	21.560	1.007
		<i>Exponential</i>	0.409	21.106	0.965
7.	Top akuifer	<i>Spherical</i>	0.529	25.112	0.985
		<i>Gaussian</i>	2.858	29.390	1.350
		<i>Exponential</i>	1.284	25.845	1.044
8.	Ketebalan akuifer	<i>Spherical</i>	0.050	24.611	1.004
		<i>Gaussian</i>	0.355	26.236	1.142
		<i>Exponential</i>	0.276	26.706	1.183

Tabel 5. Parameter-parameter statistika model variogram spherical

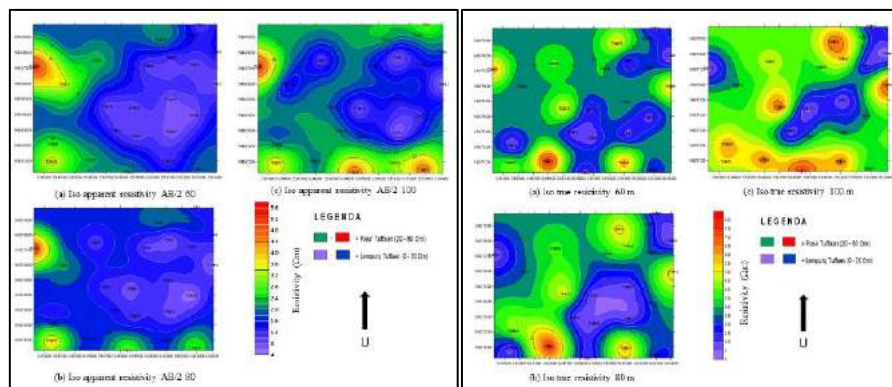
1.	AB/2 60	<i>Spherical</i>	24	5	55	280	57,55	5,34	16,81	10,64	12,2 7
2.	AB/2 80	<i>Spherical</i>	24	5	38	230	43	3,53	12,9	9,65	9,46
3.	AB/2 100	<i>Spherical</i>	24	1	38	250	30,54	3,11	11,95	10,17	7,58
4.	60 m	<i>Spherical</i>	24	150	420	200	87,5	0,31	28,25 7	23,3	25,2 6
5.	80 m	<i>Spherical</i>	24	100	540	300	87,5	0,31	26,5	22,6	25,3
6.	100 m	<i>Spherical</i>	24	10	450	250	65,3	0,31	30,17	25,8	21,4 7
7.	Top akuifer	<i>Spherical</i>	24	10	550	250	117	21,6	62,8	58,3	25,2 9
8.	Ketebalan n akuifer	<i>Spherical</i>	24	50	550	150	90,4	6,7	48,86	51	24,5 5



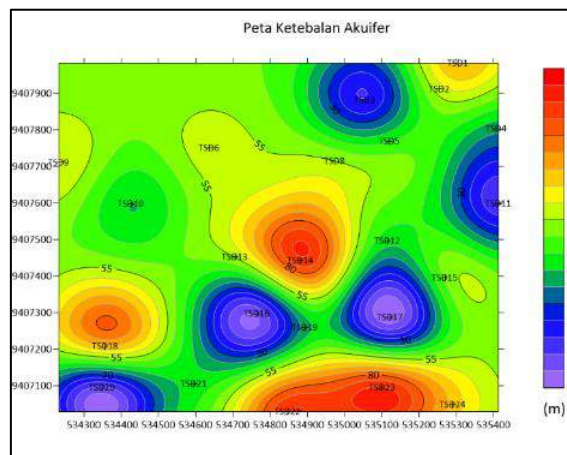
Gambar 5. Variogram iso resistivitas semu



Gambar 6. Variogram iso resistivitas sesungguhnya



Gambar 7. Peta iso resistivitas



Gambar 8. Peta ketebalan akuifer