MENENTUKAN LAPISAN AKUIFER DAS (DAERAH ALIRAN SUNGAI) SIAK DENGAN MEMBANDINGKAN HASIL UKUR METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI WENNER DAN KONFIGURASI SCHLUMBERGER

Riad Syech, Juandi,M, M .Edizar
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Pekanbaru 18193

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk menentukan akuifer dan lapisan litologi bawah permukaan di Jembatan Siak 1, 2, dan 3 Pekanbaru dengan menggunakan metode geolistrik dalam konfigurasi elektroda Wenner dan konfigurasi Schlumberger. Data tersebut diproses menggunakan excel untuk memperoleh resistivitas semu. Pengolahan data menggunakan perangkat lunak Res2Dinv 3.56 dan VES, hasil pengolahan data diperoleh nilai resistivitas batuan dan litologi lapisan batuan bawah permukaan tanah. Interpretasi dari software Res2Dinv 3.56 dan VES menunjukkan bahwa di Jembatan Siak 1, Jembatan Siak 2, dan Jembatan Siak 3 Pekanbaru litologinya berupa pasir berlempung, pasir, pasir kerikil, dan batuan keras seperti granit, gamping. Akuifer tertekan teridenfikasi di Jembatan Siak 1 dan 3 Pekanbaru dan Jembatan Siak 2 Pekanbaru diidentifikasi merupakan lapisan akuifer bebas. Kedalaman akuifer yang di peroleh dengan menggunakan perangkat lunak VES dan Res2Dinv memiliki perbedaan kedalaman hanya berkisar 4 m.

Kata Kunci : Akuifer, litologi, metode Schlumberger, metode Wenner

PENDAHULUAN

Kedalaman air tanah di suatu daerah tidak sama dengan daerah lain, tergantung dari ketebalan lapisan diatasnya dan kedudukan akuifer. Untuk mengetahui jenis lapisan batuan yang dilalui oleh air tanah, maka dilakukan penelitian dengan mencari nilai resistivitas suatu batuan di bawah permukaan tanah menggunakan metode geolistrik tahanan jenis. Penelitian ini dilakukan di DAS (Daearah Aliran Sungai Siak menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi wenner dan konfigurasi schlumberger dengan membandingkan hasil pengukurannya.

TINJAUAN PUSTAKA

Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi Kota Pekanbaru terdiri atas Formasi Minas yang dikelilingi oleh aluvium muda sepanjang aliran Sungai Siak dan Aluvium tua yang berawa-rawa. Formasi Minas ini terdiri dari kerikil, sebaran kerakal, pasir dan lempung yang juga merupakan alluvium namun relatif lebih terkonsolidasi.

Adanya sebaran kerakal, kerikil dan pasir menyebabkan daya dukung pada

Formasi Minas lebih baik jika dibandingkan dengan alluvium tua dan alluvium muda. Pada umumnya Formasi Minas merupakan formasi terbaik bagi pengembangan kawasan perkotaan. Namun untuk mendelineasi tingkat kesesuaian lahan dari Formasi Minas yang disusun oleh berbagai jenis ukuran batuan di atas masih memerlukan penelitian baik pemetaan geologi permukaan maupun penelitian geologi bawah permukaan.

Daerah yang tinggi sebagian besar tanahnya berjenis podzolik merah kuning sedangkan di daerah yang lebih rendah berawa dan gambut berjenis tanah organosol/glei humus. Umumnya tanah di Kota Pekanbaru terdiri dari jenis tanah alluvial *hydromorf* yang berasal dari endapan tanah liat dan asosiasi aluvial dengan pasir. Tanah jenis ini memiliki sifat sedikit menahan/kedap air. Hal ini menyebabkan peresapan air berjalan lambat.

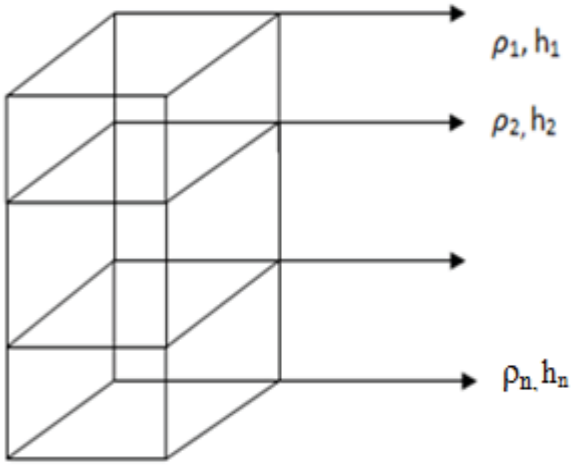
Metode Geolistrik

Metode geolistrik merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Pendeteksian ini meliputi pengukuran potensial, arus dan medan elektromagnetik yang terjadi baik itu oleh injeksi arus maupun secara alamiah. Salah satu metode geolistrik yang sering digunakan dalam pengukuran aliran listrik dan untuk mempelajari keadaan geologi bawah permukaan adalah dengan metode tahanan jenis (*resistivitas*).

Metode Pengukuran Tahanan Jenis, dengan mengalirkan arus DC dengan frekuensi rendah kedalam tanah melalui dua elektroda arus dan beda potensialnya diukur pada titik tertentu pada permukaan tanah.

Penampang Geolistrik

Penampang geolistrik yang ideal adalah susunan lapisan yang tersusun secara horizontal dengan ketebalan yang dianggap sama di semua bagian.



Gambar 1. Ilustrasi penampang geolistrik bawah permukaan bumi **(Telford, 1990)**

Gambar diatas menujukkan bahwa penampang geolistrik terdiri dari beberapa lapisan tanah sebanyak n, yaitu dengan ketebalan tanah masing-masing

$h_1, h_2, h_3 \ldots, h_n$ dan resistivitas tanah ditunjukkan oleh $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \ldots\ldots, \rho_n$.

Sifat Listrik Batuan

Batuan kerak bumi terbentuk dari mineral-mineral, dan mineral itu sendiri terdiri dari atom-atom sejenis atau berbeda jenis. Suatu kelompok atom atau molekul tersebut bergabung membentuk zat yang akan mempengaruhi sifat kelistrikan zat tersebut, sebagai konduktor atau sebaliknya bersifat isolator.

Batuan mempunyai sifat-sifat kelistrikan karena batuan merupakan suatu jenis materi. Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan bila dialirkan arus listrik ke dalamnya. Arus listrik ini dapat berasal dari alam itu sendiri, atau arus listrik yang sengaja dimasukkan kedalamnya. Arus listrik yang dialirkan melalui suatu bahan didefenisikan sebagai jumlah muatan yang mengalir pada bahan tersebut persatuan waktu.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.1)$$

Batuan dalam bumi juga memiliki sifat resistansi yang berbeda-beda antara satu jenis batuan dengan batuan yang lainnya, walaupun masih dalam lapisan yang sama. Resistansi merupakan besarnya hambatan listrik pada suatu medium yang besarnya merupakan perbandingan beda potensial dengan kuat arus.

$$R = \frac{V}{I} \qquad (1.2)$$

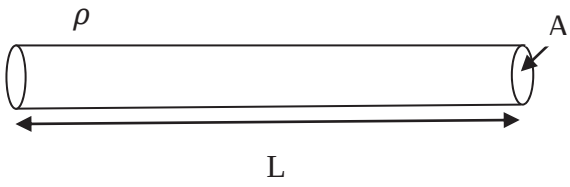
Resistivitas Batuan

Resistivitas suatu bahan adalah kemampuan suatu bahan untuk menghambat arus listrik yang mengalir. Nilai resistivitas batuan ditentukan oleh komposisi unsur pembentuknya. Resistivitas suatu batuan berbanding terbalik dengan hantaran jenis (konduktivitas).

Hubungan tahanan jenis tanah dengan hantaran jenis tanah (konduktivitas) dapat ditulis dalam bentuk persamaan :

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \qquad (1.3)$$

Suatu silinder dengan panjang L, luas penampang A, dan resistivitas ρ :



Gambar 2. Sebuah silinder konduktor

(Srijatno, 1981)

Maka dapat di rumuskan :

$$R = \rho\frac{L}{A} \qquad (1.4)$$

Resistivitas memiliki banyak variasi, karena suatu resistivitas tergantung bendanya. Pada mineral-mineral logam, harganya berkisar pada 10^{-8} Ωm hingga 10^{7} Ωm. Begitu juga pada batuan-batuan lain,

dengan komposisi yang bermacam-macam akan menghasilkan rentang resistivitas yang bervariasi pula.

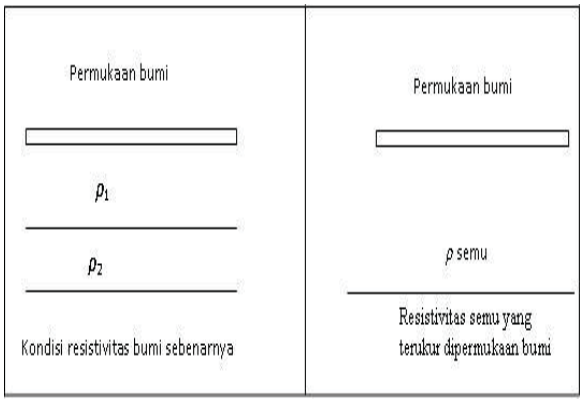
Konduktor biasanya didefenisikan sebagai bahan yang memiliki resistivitas kurang dari 10^{-8} Ωm, sedangkan isolator memiliki resistivitas lebih dari 10^{7} Ωm, dan diantara keduanya adalah bahan semikonduktor. Di dalam konduktor berisi banyak elektron bebas dengan mobilitas yang sangat tinggi. Sedangkan pada semikonduktor, jumlah elektron bebasnya lebih sedikit. Isolator dicirikan oleh ikatan ionik sehingga elektron-elektron valensi tidak bebas bergerak.

Secara umum berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu (**Telford, 1990)**

1. Konduktor baik : $10^{-8} < \rho < 1$ Ωm
2. Konduktor pertengahan : $1 \leq \rho < 10^{7}$ Ωm
3. Isolator : $\rho \geq 10^{7}$ Ωm

Konsep Relativitas Semu

Konsep ini bumi diasumsikan memiliki sifat homogen isotropis, dengan asumsi ini harga resistivitas yang diperoleh dari pengukuran merupakan harga resistivitas yang sebenarnya. Namun pada kenyataannya bumi merupakan lapisan-lapisan tanah dengan harga resistivitas yang bebeda-beda, sehingga harga potensial yang diperoleh adalah pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Resistivitas yang diperoleh dari pengukuran di permukaan bumi bukan harga resistivitas yang sebenarnya, melainkan resistivitas semu. Resistivitas semu yang terukur merupakan resistivitas gabungan dari beberapa lapisan tanah yang dianggap sebagai satu lapisan homogen.



Gambar 3. Lapisan bumi dengan resistivitas sebenarnya ($\rho_{1,2}$) dan resistivitas semu (ρsemu) (**Loke, 2004)**

Resistivitas semu ini di rumuskan dengan:

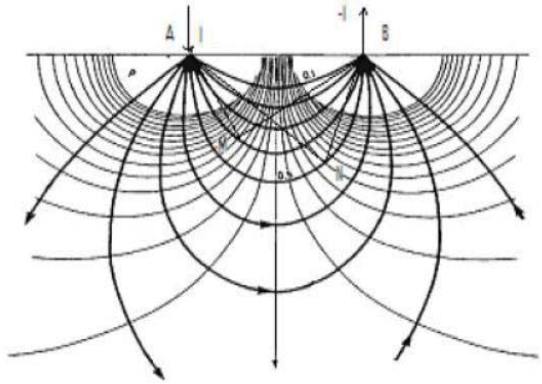
$$\rho_a = k\frac{\Delta V}{I} \qquad (1.5)$$

Metode Geolistrik Resistivitas

Metode Geolistrik resistivitas dilakukan dengan cara menginjeksikan arus listrik kedalam permukaan bumi yang kemudian diukur beda potensial diantara dua buah elektroda potensial. Keadaan tertentu, pengukuran bawah permukaan dengan arus

yang tetap akan diperoleh suatu variasi beda tegangan, yang berakibat akan terdapat variasi resistansi yang akan membawa suatu informasi tentang struktur dan material yang dilewatinya. Prinsip ini sama halnya dengan menganggap bahwa material bumi memiliki sifat resistif atau seperti perilaku resistor, dimana material-materialnya memiliki kemampuan yang berbeda dalam menghantarkan arus listrik.

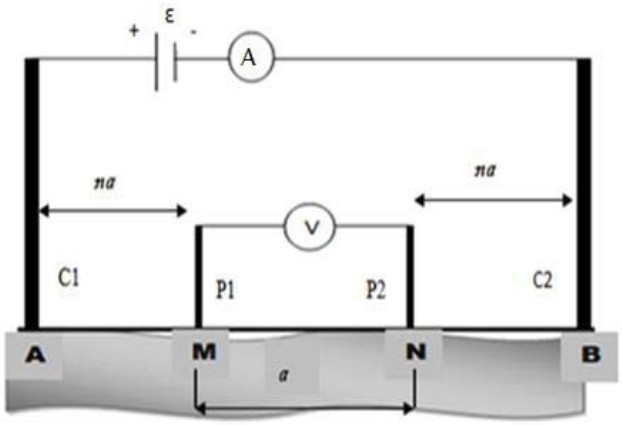
Ilustrasi garis eqipotensial yang terjadi akibat injeksi arus ditunjukkan pada dua titik arus yang berlawanan di permukaan bumi dapat dilihat pada Gambar 2.6. Semakin besar jarak antar elektroda menyebabkan makin dalam tanah yang dapat diukur.



Gambar 4. Pola garis-garis gaya bidang eqipotensial

Konfigurasi Elektroda Wenner

Konfigurasi yang digunakan untuk melakukan akuisisi data salah satunya adalah dengan menggunakan konfigurasi Wenner. Konfigurasi Wenner merupakan salah satu konfigurasi yang dapat memberikan gambaran dua dimensi dibawah permukaan bumi. Konfigurasi Wenner diambil dari nama Frank Wenner yang mempelopori penggunaannya di Amerika Serikat. Konfigurasi Wenner ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 5. Susunan Elektroda Konfigurasi Wenner

Dua buah elektroda potensial (P_1 dan P_2) dihubungkan dengan peralatan Resistivitas meter yang berfungsi untuk mengukur beda potensial yang ada di permukaan bumi. Beda potensial yang terukur (ΔV) akibat adanya perbedaan nilai resistivitas medium batuan bawah permukaan dapat digunakan untuk menghitung nilai resistivitas semu dari batuan (ρ_a) dengan persamaan berikut

$$\rho_a = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \left[\frac{1}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB}\right)} \right] \text{.....(1.6)}$$

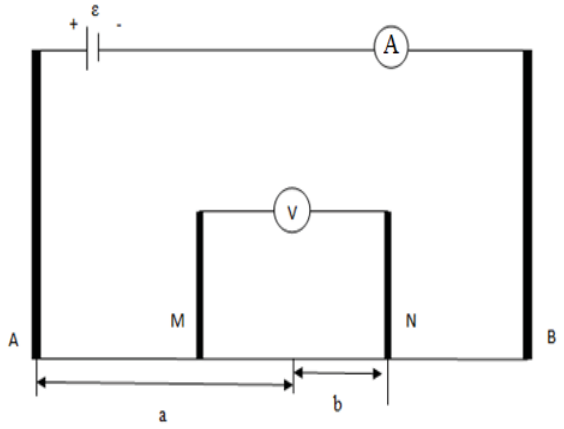
$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \qquad (1.7)$$

Sehingga faktor geometri konfigurasi Wenner dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$k = 2\pi a \qquad (1.8)$$

Konfigurasi Elektroda Schlumberger

Berdasarkan letak (konfigurasi) elektroda-elektroda arus dan potensialnya, dikenal beberapa jenis metode geolistrik tahanan jenis, antara lain metode Schlumberger, metode Wenner dan metode Dipole Sounding. Pengukuran dengan konfigurasi Schlumberger seperti tampak pada Gambar 2.8, menggunakan 4 elektroda, masing-masing 2 elektroda arus (A dan B) dan 2 elektroda potensial (M dan N).



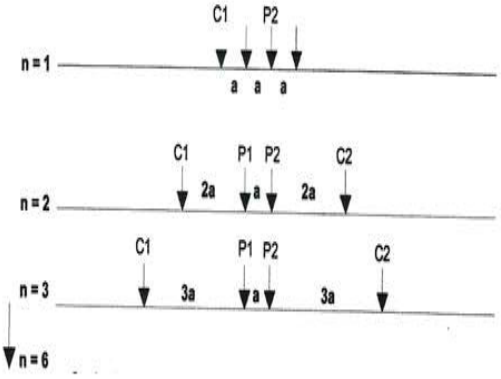
Gambar 6. Susunan Elektroda Konfigurasi Schlumberger

Dua buah elektroda yang digunakan MN adalah elektroda potensial, AB adalah elektroda arus, C_1C_2 adalah arus yang terukur pada elektroda arus AB, P_1P_2 adalah potesial yang terukur pada elektroda potensial MN.

Tahanan jenis semu medium yang terukur dihitung berdasarkan persamaan (2.5) dengan ρ merupakan tahanan terukur (*apparent resistivity*), ΔV merupakan potensial yang terukur antara elektroda P_1 dan P_2, I merupakan arus listrik yang terukur antara elektroda C_1 dan C_2 dan K merupakan faktor geometri konfigurasi elektroda.

Tahanan jenis semu medium yang terukur dihitung berdasarkan persamaan:

$$k = 2\pi \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB}\right)\right]^{-1} \quad ..(1.9)$$



Gambar 7. Susunan Elektroda Konfigurasi Schlumberger

Konfigurasi Schlumberger harga K dapat dihitung dengan persamaan :

$$K = \pi\left(\frac{a^2 - b^2}{2b}\right) \qquad (1.10)$$

Sehingga untuk menghitung resistivitas semu dari batuan (ρ_a) digunakan persamaan berikut :

$$\rho_a = \pi\left(\frac{a^2 - b^2}{2b}\right)\frac{\Delta V}{\Delta I} \qquad (1.11)$$

Akuifer

Akuifer merupakan bahan yang dapat mengalirkan air di bawah permukaan tanah. Berdasarkan litologinya, akuifer dapat dibedakan menjadi 4 macam, yaitu:

1. Akuifer bebas atau akuifer tidak tertekan (*Unconfined Aquifer*)

   Akuifer bebas atau akuifer tak tertekan adalah suatu akuifer dimana air tanah tertutup lapisan *impermeable,* dan merupakan akuifer yang mempunyai muka air tanah. *Unconfined Aquifer* adalah akuifer jenuh air (*satured*). Lapisan pembatasnya yang merupakan *aquitard,* hanya pada bagian bawahnya dan tidak ada pembatas *aquitard* di lapisan atasnya, batas di lapisan atas berupa muka air tanah. Permukaan air tanah di sumur dan air tanah bebas adalah permukaan air bebas, jadi permukaan air tanah bebas adalah batas antara zone yang jenuh dengan air tanah dan zone yang aerosi (tak jenuh) di atas zone yang jenuh. Akuifer jenuh disebut juga sebagai *phriatic aquifer, non artesian aquifer* atau *free aquifer* **(Wuryantoro, 2007).**

2. Akuifer tertekan (*Confined Aquifer*)

   Akuifer tertekan adalah suatu akuifer dimana air tanah terletak di bawah lapisan kedap air (*impermeable*) dan mempunyai tekanan lebih besar daripada tekanan atmosfer. Air yang mengalir (*no flux*) pada lapisan pembatasnya, karena *confined aquifer* merupakan akuifer yang jenuh air yang dibatasi oleh lapisan atas dan bawahnya.

3. Akuifer bocor (*Leakage Aquifer*)

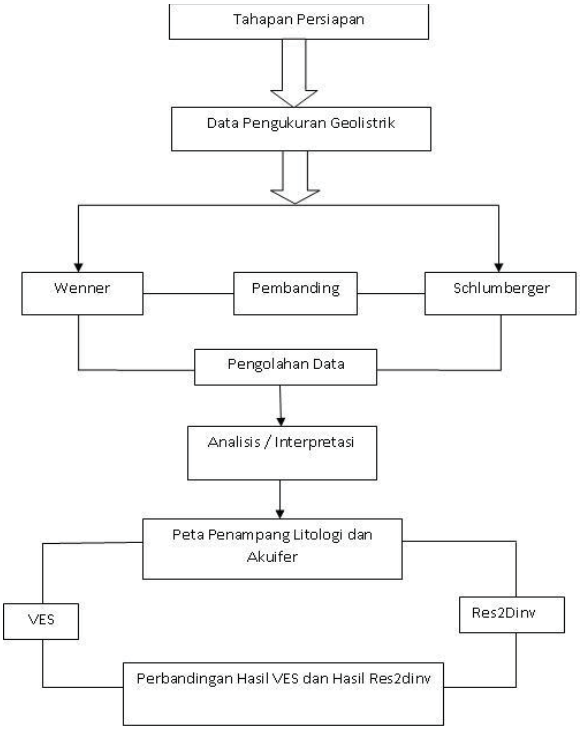
   Akuifer bocor dapat didefinisikan suatu akuifer dimana air tanah terkekang di bawah lapisan yang setengah kedap air sehingga akuifer di sini terletak antara akuifer bebas dan akuifer terkekang.

4. Akuifer melayang (*Perched Aquifer*)

   Akuifer disebut akuifer melayang jika di dalam zone aerosi terbentuk sebuah akuifer yang terbentuk di atas lapisan *impermeable*. Akuifer melayang ini tidak dapat dijadikan sebagai suatu usaha pengembangan air tanah, karena mempunyai variasi permukaan air dan volumenya yang besar.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode survei lapangan dengan peralatan dan bahan serta prosedur penelitian sebagai berikut dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Bagan Alir Metode Penelitian

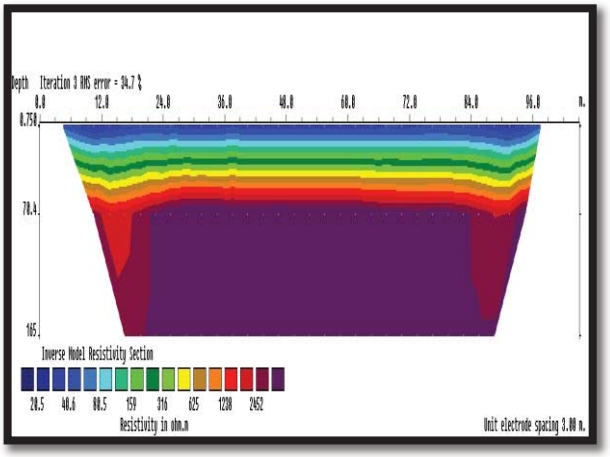
.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil data yang diperoleh dari lokasi penelitian selanjutnya diolah dengan menggunakan software Res2Dinv untuk metode Wenner dan software VES untuk metode Schlumberger.

1. Hasil Interpretasi dan Pembahasan Menggunakan Software RES2DINV

Hasil perhitungan dan pengolahan data dengan software Res2Dinv untuk pengambilan data menggunakan metode Wenner dengan kedalaman 165 meter dan pemodelan distribusi nilai tahanan jenis material di bawah permukaan bumi di sepanjang lintasan pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Data tersebut memiliki jarak elektroda terkecil 3 meter, data diambil mulai dari titik awal pengukuran (titik referensi) dengan panjang lintasan 100 meter. Ketika jarak setiap elektroda diubah, maka dilakukan pengukuran ulang dari titik awal.



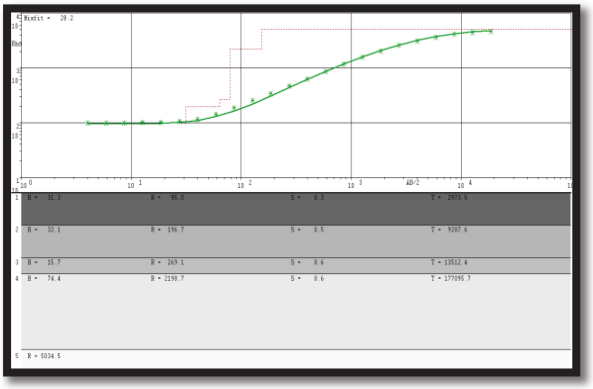
Gambar 9. Tampilan 2D software Res2Dinv Jembatan Siak 1 di Pekanbaru

Hasil inversi dari Gambar 9, dapat dilihat dengan jelas pada lapisan pertama yang merupakan lapisan penutup dengan nilai resistivitas 10,25–119,75 Ωm yang berada sampai kedalaman 31 m. Lapisan pertama ini diinterpretasikan sebagai lapisan terdapat pasir berlempung yang mengandung air payau. Lapisan kedua ini diinterpretasikan sebagai lapisan yang terdapat pasir mengandung air tanah. Lapisan ketiga memiliki kedalaman yang mencapai 165 m dengan nilai resistivitas yang berbeda yaitu pada Jembatan Siak 1 dengan nilai resistivitas 1238 – 3680 Ωm. Lapisan keempat ini materialnya berupa

pasir dan kerikil. Lapisan selanjutnya merupakan lapisan batuan keras dengan nilai resistivitas >5000 Ωm, seperti granit dan gamping.

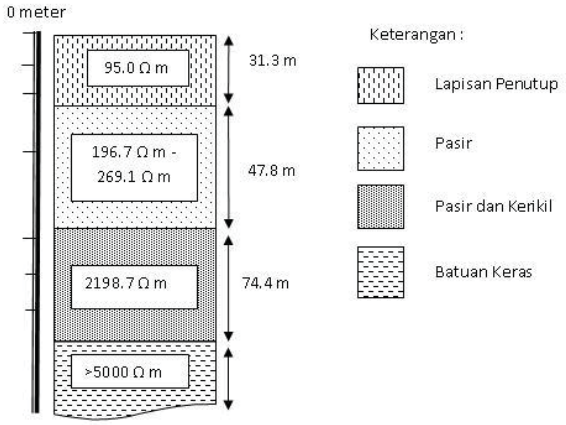
2. Hasil Interpretasi dan Pembahasan Menggunakan Software VES

Hasil survei dan pengukuran geolistrik di Jembatan Siak 1 Pekanbaru, maka didapatkan grafik hasil pengolahan data seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik data geolistrik Jembatan Siak 1 di Pekanbaru

Berdasarkan grafik hasil pengolahan diperoleh penampang interpretasi litologinya seperti diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Interpretasi Litologi data Geolistrik di Jembatan Siak 1 Pekanbaru

Hasil pengolahan data menunjukkan secara umum terdapat 4 lapisan batuan. Gambar 11, menunjukkan lokasi disekitar Jembatan Siak 1 lapisan pertama nilai resistivitas material yang terbaca 95,0 Ωm dengan ketebalan lapisan 31,3 m. Berdasarkan nilai resistivitasnya lapisan pertama ini merupakan pasir berlempung yang mengandung air payau, dimana lapisan tersebut merupakan lapisan permeabilitas.

Lapisan kedua nilai resistivitasnya 196,7 Ωm sampai 269,1 Ωm dengan ketebalan lapisan 47,8 m untuk Jembatan Siak 1. Lapisan kedua ini diinterpretasikan sebagai lapisan pasir yang mengandung banyak air karena merupakan lapisan akuifer utama jenuh. Lapisan ketiga untuk Jembatan Siak 1 dengan nilai resistivitas 2198,7 Ωm memiliki ketebalan 74,4 m. Lapisan ketiga ini diinterpretasikan sebagai lapisan pasir dan kerikil. Lapisan keempat dengan nilai

resistivitas material >5000 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan batuan keras seperti batu gamping, granit.

3. Perbandingan Hasil VES dan Hasil Res2Dinv

Perbandingan hasil pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil pengolahan menggunakan software VES dan hasil pengolahan menggunakan software Res2Dinv untuk Jembatan Siak 1 di Pekanbaru seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Perbandingan Kedalaman Akuifer

Kedalaman Akuifer		
Lokasi / Metode	VES (Schlumberger)	Res2Dinv (Wenner)
Jembatan Siak 1 Pekanbaru	15.7 m	12 m
Jembatan Siak 2 Pekanbaru	16.4 m	16 m
Jembatan Siak 3 Pekanbaru	17.2 m	21 m

Berdasarkan Tabel 1 terdapat perbedaan kedalaman yang diperoleh antara menggunakan Wenner dan Schlumberger. Hal ini dikarenakan Keunggulan dari konfigurasi Wenner ini adalah ketelitian pembacaan tegangan pada elektroda MN lebih baik dengan angka yang relatif besar karena elektroda MN yang relatif dekat dengan elektroda AB. Konfigurasi Schlumberger idealnya jarak MN dibuat sekecil-kecilnya, sehingga jarak MN secara teoritis tidak berubah, tetapi karena keterbatasan kepekaan alat ukur, maka ketika jarak AB sudah relatif besar maka jarak MN hendaknya dirubah.

Kelemahan metode Wenner adalah tidak bisa mendeteksi homogenitas batuan di dekat permukaan yang bisa berpengaruh terhadap hasil perhitungan. Data yang didapat dari cara konfigurasi Wenner, sangat sulit untuk menghilangkan faktor non homogenitas batuan, sehingga hasil perhitungan menjadi kurang akurat.

KESIMPULAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

a. Litologi batuan bawah permukaan di Jembatan Siak 1 Pekanbaru sama bentuk lapisannya yaitu merupakan pasir berlempung, pasir, pasir dan kerikil, dan batuan keras seperti granit, gamping.
b. Lapisan akuifer diantara ketiga Jembatan ini memiliki kedalaman akuifer yang berbeda. Jembatan Siak 1 Pekanbaru memiliki kedalaman lapisan akuifer 31,3 meter hingga 79,1 meter.

c. Lapisan pasir Jembatan Siak 1 Pekanbaru diidentifikasi sebagai akuifer tertekan dengan nilai resistivitas antara 196,7 Ωm hingga 296,1 Ωm dengan kedalaman 47,8 meter.
d. Berdasarkan hasil inversi data pengukuran VES dan Res2DINV diperoleh nilai selisih resistivitasnya. Jembatan Siak 1 Pekanbaru, lapisan pertama memiliki selisih nilai resistivitas 4,5 Ωm. Lapisan kedua memiliki selisih nilai resistivitas 7,65 Ωm. Lapisan ketiga memiliki selisih nilai resistivitas 253,3 Ωm.
e. Berdasarkan hasil inversi diperoleh perbedaan nilai kedalaman akuifernya, sehingga yang bagus digunakan untuk memperoleh akuifer menggunakan metode schlumberger.

2. Saran

1. Untuk mengetahui litologi batuan bawah permukaan tanah yang lebih dalam, maka panjang lintasan pengukuran perlu ditambah.
2. Hasil interpretasi yang didapat supaya lebih akurat, perlu menambah titik lintasan pengambilan data geolistriknya dan waktu pengambilan datanya harus bersamaan dalam satu lintasan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Ali, M.N., Za'ari, Supoyo, 2003. "*Eksplorasi, eksploitasi Sumber Daya Mineral Air Bawah Tanah : Studi Kasus Di Kawasan Industri Pasuruan Jawa Timur"*. ***Proceedings*** *of Joint The 32 nd IAGI dan The 28 th HAGI Annual Convention and Exhibition.*

[2] Anita, Nur Setyawati. 2005. *DAS SUNGAI SIAK PROVINSI RIAU*. http://staff.blog.ui.ac.id/tarsoen.waryono/files/2009/12/das_siak_nuranitasetyawati_0706265705.pdf diakses tanggal 7 Agustus 2012

[3] Loke, M.H. 1997, *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies*, Cangkat Minden Lorong 6, Minden Heights, Penang, Malaysia.

[4] Telford, W.M, Geldart, L.P, Sheriff, R.E, 1990, *Applied Geophysics*, New York: Cambridge University Press.

[5] Wuryantoro. 2007. *Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Untuk Menentukan Letak dan Kedalaman Aquifer Air Tanah (Studi Kasus di Desa Temperak Kecamatan Sarang Kabupaten Rembang Jawa Tengah)*. http://digilib.unnes.ac.id/gsdl/collect/skripsi/index/assoc/HASH0174/3ff6be90.dir/doc.pdf diakses tanggal 22 September 2012.