

PENGOLAHAN DATA GEOLISTRIK PADA EKSPLOKASI SUMBER AIR TANAH DI KECAMATAN KONGBENG KABUPATEN KUTAI TIMUR DENGAN PERANGKAT LUNAK RES2DINV

Nataniel Dengen

Program Studi Ilmu Komputer FMIPA Universitas Mulawarman
Email : natanieldengen@yahoo.co.id

ABSTRAK

Telah dilakukan *survey* tentang keberadaan sumber air bersih di Kecamatan Kongbeng. Dilokasi tersebut diketahui adanya indikasi keberadaan sumber airtanah di desa Sukamaju. Untuk mengetahui keberadaan dari sumber air tersebut dilakukan *survey* eksplorasi air tanah dengan menggunakan Metode Geolistrik. Data hasil pengukuran tersebut dengan model Schlumberge di oleh dengan menggunakan perangkat lunak atau *software* res2dinv. Berdasarkan hasil Eksplorasi geolistrik dan perhitungan-perhitungannya menunjukkan keberadaan airtanah dengan rata-rata volume airtanah sebesar $1,90 \text{ M}^3/\text{M}^2$ dengan sumberdaya sebesar $1.040.393,42 \text{ M}^3 - 8.334.330,33 \text{ M}^3$ pada kisaran luasan area sebesar $547.575,49 \text{ M}^2 - 4.386.489,65 \text{ M}^2$. Dengan demikian disimpulkan bahwa sumberdaya airtanah yang ada di desa Sukamaju dinilai sangat prospek.

Kata Kunci: *Air tanah, Geolistrik, res2dinv.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Air merupakan komponen yang sangat penting bagi kehidupan di muka bumi. Jumlah air di bumi sangat besar, kira-kira 1,36 milyar km³. Dari jumlah tersebut sekitar 97,2% merupakan air yang berada di laut, 2,15% berupa es dan salju, sedang sisanya 0,65% merupakan air yang terdapat di danau, sungai, atmosfer dan air tanah. Meskipun persentase dari bagian yang terakhir ini sangat kecil, tetapi jumlahnya sangat besar. Mengingat pentingnya air untuk kehidupan di muka bumi dan meningkatnya kebutuhan akan air tersebut, maka perlu diadakannya penelitian yang lebih mendalam terhadap keberadaan air.

Seiring dengan bertambahnya penduduk, keperluan kehidupan akan air semakin meningkat baik untuk kehidupan sehari-hari manusia, peternakan, maupun pertanian. Masalah ini memerlukan pemecahan berupa pencarian sumber-sumber air untuk memenuhi kebutuhan kecukupan air tersebut.

Untuk memenuhi kebutuhan air di berbagai sektor serta untuk memperkecil resiko berkaitan dengan kebijakan pengelolaan sumber daya air terpadu maka Pemerintah mengaturnya dalam Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan kualitas dan pengendalian pencemaran air, dan Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 2008 tentang Air Tanah.

Pengelolaan sumber daya air terpadu sebagai pijakan dalam pengelolaan sumber daya air yang selaras, serasi seimbang, berwawasan lingkungan dan berkesinambungan di Kecamatan Kongbeng. Kajian kelayakan sumber air di Kecamatan Kongbeng dimaksudkan untuk menyusun alat bantu dalam menerapkan kebijakan sehingga kegiatan pengelolaan termasuk pengembangannya mempunyai arahan yang pasti sehingga setiap langkah yang diambil diharapkan sudah memperhatikan segala aspek terkait.

Selanjutnya rencana pengelolaan sumber air disusun secara terkoordinasi dengan rencana pengelolaan sumber daya air yang berbasis wilayah sungai dan menjadi dasar dalam penyusunan program pengelolaan air tanah serta dijabarkan lebih lanjut dalam rencana kegiatan pengelolaan air tanah yang memuat rencana pelaksanaan konstruksi, operasi dan pemeliharaan prasarana pada cekungan air tanah.

Tujuan dari penelitian

1. Mengidentifikasi sumber airtanah dengan menggunakan metode Geolistrik di kecamatan Kongbeng kabupaten Kutai Timur.
2. Untuk dijadikan acuan dasar permodelan dalam pengelolaan sumber daya air terpadu di Wilayah Kecamatan Kongbeng.

LANDASAN TEORI

Geologi Airtanah

Jika ditinjau dari kemampuan batuan untuk menyimpan dan mengalirkan air, maka terdapat 4

jenis batuan, yaitu: Aquifer, Aquiclude, Aquifuge dan Aquitard. Berdasarkan sifat fisik batuan, terdapat 2 jenis media penyusun aquifer, yaitu sistem media pori dan sistem media rekahan. Kedua sistem ini memiliki karakter airtanah yang berbeda. Pada sistem media berpori, airtanah mengalir melalui rongga antar butir yang terdapat dalam suatu batuan misalnya batupasir dan batuan aluvial. Sistem media rekahan, air mengalir melalui rekahan-rekahan yang terdapat pada batuan yang terkena tektonik kuat, pada batugamping, batuan metamorf, dan lava.

Sifat Listrik Lapisan Aquifer

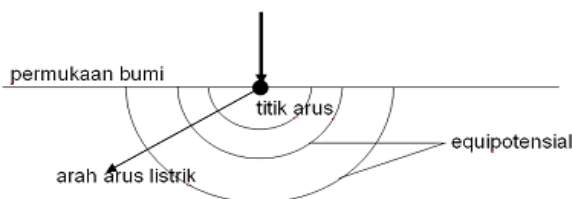
Batuan yang menjadi akifer merupakan kumpulan material-material yang umumnya tersusun oleh unsur-unsur utama. Adapun unsur-unsur utama tersebut terdiri dari ion-ion Magnesium (Mg^{2+}), Kalsium (Ca^{2+}), Natrium (Na^+), Kalium (K^+), Klorida (Cl^-), Sulfat (SO_4^{2-}) dan Bikarbonat (HCO_3^-). Apabila lapisan akifer dialiri arus listrik, maka atom-atom yang terkandung di dalamnya saling berinteraksi sehingga memungkinkan untuk mengalirkan arus listrik. Arus listrik yang mengalir akan mengalami hambatan yang menunjukkan sifat tahanan jenis (resistivitas) batuan. Adapun nilai tahanan jenis (resistivitas) lapisan akuifer adalah $1 \Omega.m - 100 \Omega$.

Metode Geolistrik

Potensial di sekitar Titik Arus

Berdasarkan solusi persamaan (15), maka dapat ditentukan potensial listrik serta resistivitasnya pada titik-titik arus yang diinjeksikan ke dalam bumi. Pemecahan permasalahan ini dilakukan dengan masih menganggap bumi sebagai medium homogen.

Titik Arus di Permukaan Bumi



Gambar 1. Titik arus listrik di permukaan bumi

Gambar 1. memperlihatkan bahwa jika arus listrik I diinjeksikan melalui sebuah elektroda arus pada titik arus di permukaan bumi homogen, maka arus yang menembus setiap bidang equipotensial berbentuk permukaan setengah bola dengan jari-jari r adalah :

$$I = 2\pi r^2 \hat{r} \cdot \vec{J}$$

$$= 2\pi r^2 \left[-\sigma \vec{E} \right]$$

dengan $\vec{E} = \frac{dV}{dr}$, maka :

$$I = 2\pi r^2 \left[-\sigma \frac{dV}{dr} \right],$$

dimana $V(r) = \frac{C_1}{r}$ sehingga :

$$I = 2\pi\sigma C_1 \tag{1}$$

atau

$$C_1 = \frac{I}{2\pi\sigma} \tag{2}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (1) ke persamaan (15) didapatkan potensial listrik di sekitar titik arus di dalam bumi :

$$V(r) = \frac{C_1}{r}$$

$$V(r) = \frac{1}{r} \frac{I}{2\pi\sigma}$$

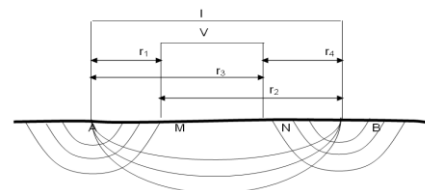
dimana $\sigma = \frac{1}{\rho}$, sehingga :

$$V(r) = \frac{1}{r} \frac{I\rho}{2\pi} \tag{3}$$

dan dari persamaan (3) diperoleh persamaan resistivitas :

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \tag{4}$$

Dua Titik Arus Berlawanan Polaritas di Permukaan Bumi



Gambar 2. Titik arus listrik pada dua titik arus berlawanan polaritas di permukaan bumi

Gambar 2. memperlihatkan bahwa jika terdapat dua elektroda arus listrik berlawanan polaritas dan dua elektroda potensial listrik yang diinjeksikan pada dua titik arus di permukaan bumi homogen, maka potensial listriknya didapatkan dari beda potensial listrik antara V_M dan V_N . Berdasarkan persamaan (4), maka diperoleh :

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] \tag{5}$$

dan

$$V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right] \tag{6}$$

Sehingga didapatkan beda potensial :

$$\Delta V = V_M - V_N$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right\} - \left\{ \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right\} \right] \tag{7}$$

Dari persamaan (7), dapat dituliskan persamaan resistivitas sebagai berikut :

$$\rho = 2\pi \left[\left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right\} - \left\{ \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right\} \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} \tag{8a}$$

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \tag{8b}$$

dengan

$$K = 2\pi \left[\left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right\} - \left\{ \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right\} \right]^{-1}$$

adalah faktor geometri yang nilainya tergantung pada letak (konfigurasi) elektroda arus listrik dan elektroda potensial listrik.

Konsep Resistivitas Semu

Dari uraian di atas, permasalahan bumi yang bersifat tak homogen dipecahkan dengan asumsi bumi bersifat homogen. Kenyataannya, bumi tersusun oleh material yang berbeda pada setiap lapisannya. Material penyusun lapisan bumi tentunya memiliki sifat kelistrikan yang berbeda satu dengan yang lainnya. Hal ini berarti potensial listrik yang terukur merupakan harga potensial listrik total dari semua jenis lapisan yang dilewati arus listrik. Dengan demikian, harga resistivitas yang terukur juga merupakan harga resistivitas total atau disebut resistivitas semu (apparent resistivity).

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \tag{9}$$

dimana :

ρ_a = resistivitas semu (apparent resistivity)

Persamaan Resistivitas Metode Wenner dan Schlumberger

Pada metode geolistrik resistivitas, arus listrik dialirkan ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus dan besarnya beda potensial listrik yang disebabkan oleh arus listrik diukur di permukaan bumi melalui dua buah elektroda potensial. Besarnya beda potensial listrik tidak hanya bergantung pada kuat arus listrik yang dialirkan namun juga bergantung pada letak kedua elektroda potensial terhadap kedua elektroda arus. Pengaturan letak elektroda-elektroda tersebut dinamakan *konfigurasi elektroda*.

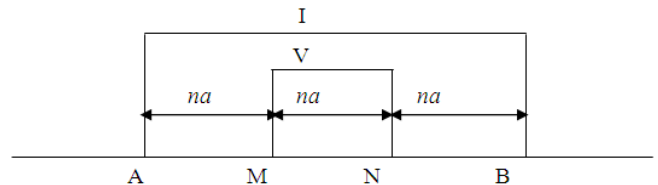
Dalam metode geolistrik resistivitas dikenal beberapa konfigurasi elektroda, antara lain :

1. Konfigurasi *Wenner*
2. Konfigurasi *Schlumberger*
3. Konfigurasi *Tripol*
4. Konfigurasi *Dipol-dipol*

Namun pada umumnya konfigurasi yang dipakai dalam survey geolistrik adalah konfigurasi *Wenner* dan *Schlumberger*. (Pada penelitian ini menggunakan konfigurasi *Wenner*)

Konfigurasi Wenner

Konfigurasi *Wenner* merupakan metode geolistrik yang menerapkan spasi (*a*) yang sama besar antar titik sounding dan biasanya hanya diterapkan pada permukaan bumi yang relatif datar. Spasi elektroda diperbesar secara gradual mulai dari *n* faktor terkecil atau sebaliknya.



Gambar 3. Konfigurasi Wenner

Dari gambar 2.5 terlihat bahwa AM = MN = NB = *na*, sehingga berdasarkan persamaan (23a) didapatkan persamaan resistivitas semu untuk konfigurasi *Wenner* sebagai berikut :

$$\rho_{aw} = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \tag{10a}$$

atau

$$\rho_{aw} = K_w \frac{\Delta V}{I} \tag{10b}$$

dimana :

ρ_{aw} = resistivitas semu konfigurasi *Wenner*

K_w = faktor koreksi konfigurasi Wenner

Pemodelan Inversi

Pemodelan inversi merupakan suatu metode yang digunakan dalam interpretasi komputer untuk memodelkan suatu data yang dimasukkan ke dalamnya. Proses pemodelan akan dilakukan secara otomatis untuk mendapatkan suatu model atau suatu nilai yang dicari. Salah satu program komputer yang menggunakan metode inversi untuk memodelkan data adalah program RES2DINV.

Program RES2DINV merupakan program yang dilengkapi dengan metode iteratif smoothness-constrained dan least-squares (Loke, 1999b) dalam melakukan pemodelan inversi untuk menghasilkan sebuah gambaran (peta) formasi lapisan batuan 2-D (dua dimensi) dan nilai resistivitas (ρ) tiap lapisan batuan berdasarkan data resistivitas semu (ρ_a) batuan.

Metode iteratif smoothness-constrained dalam pemodelan inversi program RES2DINV secara matematik memiliki persamaan sebagai berikut :

$$(J^T J + uF)d = J^T g \tag{11}$$

dengan :

$$F = f_x f_x^T + f_z f_z^T$$

dimana :

- f_x = filter kerataan horisontal
- f_z = filter kerataan vertikal
- J = matriks derivative parsial Jacobian
- J^T = pengubah urutan J
- u = faktor redaman
- d = model vektor gangguan
- g = vektor pertentangan

Dasar dari metode iteratif smoothness-constrained seperti yang ditunjukkan pada persamaan (11) dapat dimodifikasi dengan beberapa cara untuk memberikan hasil yang lebih baik.

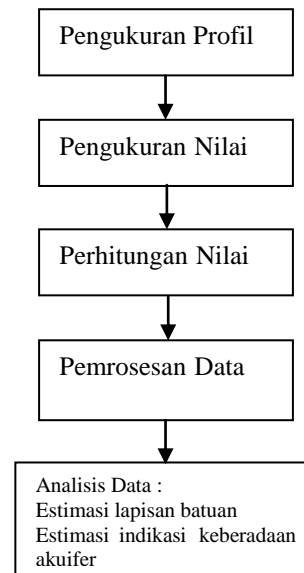
Pemodelan inversi dari program RES2DINV dipilih untuk menganalisa data karena memiliki beberapa kelebihan, yakni :

1. Mendukung survei-survei di permukaan tanah dan di bawah air.
2. Dapat digunakan untuk berbagai konfigurasi seperti konfigurasi Wenner, Wenner-Schlumberger, pole-pole, pole-dipole, dipole-dipole, dipole-dipole equatorial dan non-konvensional.
3. Mendukung optimalisasi ketepatan dan perkiraan persegi terkecil.
4. Mendukung kehalusan dan ketajaman kontras inversi.
5. Mendukung lebih dari 2000 elektroda.

Dari uraian di atas, dikatakan bahwa setiap batuan memiliki sifat kelistrikan berupa potensial diri (potensial alam), sifat hantaran arus listrik (konduktivitas) dan sifat tahanan jenis arus listrik (resistivitas). Berdasarkan kerangka pemikiran yang dibuat, fenomena arus listrik dalam lapisan batuan yang heterogen dapat ditelaah dengan penerapan konsep resistivitas semu dengan metode Schlumberger. Dengan demikian, jika arus listrik diinjeksikan ke dalam lapisan batuan untuk mencari keluaran berupa nilai-nilai resistivitas semu maka fenomena resistivitas semu dapat dianalisa menggunakan pemodelan inversi untuk memperkirakan gambaran (peta) lapisan batuan.

METODELOGI

Rancangan Penelitian



Gambar 4. Diagram rancangan penelitian

Eksplorasi dilakukan dalam bentuk pengukuran nilai potensial dan kuat arus listrik lapisan batuan dengan metode geolistrik . Pengukuran ini menggunakan alat geolistrik (komutator dan potensiometer) yang dilengkapi dengan 4 elektroda; 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial. Pengukuran dilakukan di setiap titik sounding dengan spasi elektroda $5n$.

Setelah hasil pengukuran (potensial dan kuat arus listrik batuan) diperoleh, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai resistivitas semu untuk tiap garis pengukuran dengan persamaan (10a). Kemudian, nilai resistivitas semu hasil perhitungan diproses menggunakan program res2dinv (Loke 1999b) untuk mendapatkan gambaran (peta) tentang lapisan batuan dalam tampilan 2-D (dua dimensi).

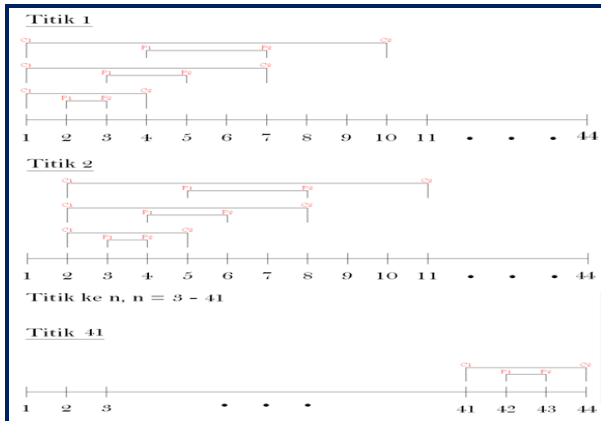
**Teknik Pengambilan Data
Kebutuhan Peralatan**

Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Resistivity meter (Type MGG 020520 Serial 9963A)
2. Sumber arus DC (YUASA 50 A 12 V)
3. 2 elektroda arus (stain lees steel)
4. 2 elektroda potensial (tembaga)
5. 2 roll kabel penghubung elektroda potensial
6. 2 roll kabel penghubung elektroda arus
7. 3 buah HT
8. 1 roll meter 100 M
9. 1 buah meter 5 M
10. 1 pasang alat ukur sunto klino
11. 1 buah kompas geologi



Gambar 5. Alat-alat yang digunakan dalam eksplorasi geolistrik



Gambar 6. Model lintasan pengukuran konfigurasi Wenner

**Teknik Analisis Data
Pemodelan Inversi**

Teknik analisis data yang digunakan dalam eksplorasi ini adalah pemodelan inversi. Untuk memperoleh gambaran (peta) formasi lapisan batuan dan nilai-nilai resistivitas tiap lapisan, pemodelan inversi dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

1. Nilai – nilai resistivitas semu (ρ_a) lapisan batuan diformat pada program notpad sesuai

konfigurasi Wenner, kemudian disimpan dengan file yang berekstensi dat (.dat)

1. Setelah data diformat dan disimpan, file dibuka pada program res2dinv.
2. Pemodelan inversi dijalankan untuk mendapatkan gambaran (peta) formasi lapisan batuan 2-D (dua dimensi) dan nilai-nilai resistivitas (ρ) tiap lapisan.

Analisis Jenis Lapisan Batuan

Teknik analisa data yang digunakan untuk memperkirakan jenis lapisan batuan adalah:

1. Mengkonfirmasi jenis lapisan batuan hasil pengolahan dengan data geologi hasil studi literatur dan peninjauan lapangan. Hal ini dimaksudkan agar interpretasi jenis lapisan tidak menyimpang dari formasi batuan berdasarkan tinjauan geologi.
2. Melakukan pencocokan nilai resistivitas tabel dengan nilai resistivitas tiap lapisan.

Jika dalam analisis ini ditemukan adanya indikasi akuifer, maka dapat dilakukan analisis lebih lanjut untuk memperkirakan kedalaman dan ketebalan akuifer serta sumber daya air tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

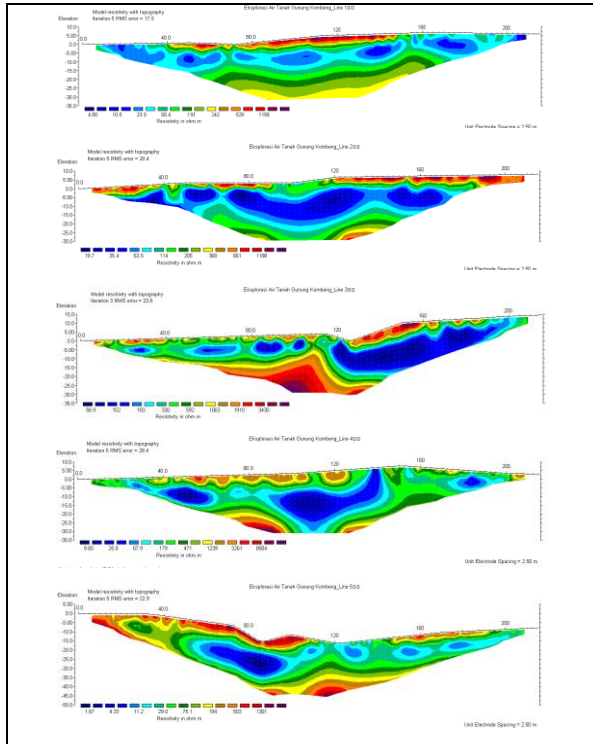
Apengukuran dilakukan pada 5 lintasan (Line). nalisis data resistivitas semu lapisan batuan yang digunakan adalah pemodelan inversi dengan program res2dinv. Setelah data resistivitas semu lapisan batuan diformat dan selanjutnya diolah, maka diperoleh hasil dengan interpretasi masing-masing lintasan sebagai berikut :

Tabel 1. Nilai Resistivitas Batuan Hasil Pemodelan Inversi

NO	LINTASAN	NILAI RESISTIVITAS
1.	Line 1	4,80 $\Omega.m$ – 1.158,00 $\Omega.m$
2.	Line 2	19,70 $\Omega.m$ – 1.188,00 $\Omega.m$
3.	Line 3	56,90 $\Omega.m$ – 3.430,00 $\Omega.m$
4.	Line 4	9,80 $\Omega.m$ – 8.584,00 $\Omega.m$
5.	Line 5	1,67 $\Omega.m$ – 1.301,00 $\Omega.m$

Analisis Jenis Lapisan Batuan

Konfirmasi dengan Data Geologi



Gambar 7. Konfirmasi jenis lapisan batuan dengan data geologi setempat.

Keterangan:

- Berdasarkan hasil studi literatur, lokasi eksplorasi masuk dalam formasi Muara Wahau (Tomw) yang umumnya tersusun oleh batupasir kuarsa, batulempung, batu pasir lempungan dan lignit.
- Lapisan batupasir memiliki butiran halus – sedang dan terpilah baik.
- Berdasarkan hasil peninjauan lapangan, lapisan permukaan lokasi eksplorasi tersusun oleh tanah pasiran dan tanah lempungan.

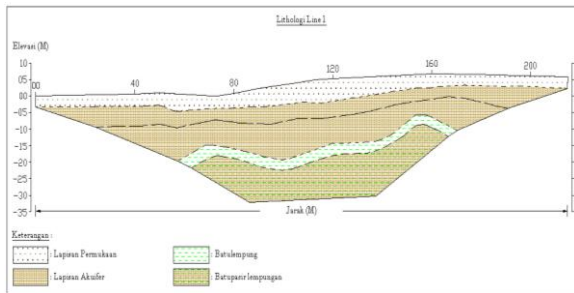
Pencocokkan dengan Nilai Tabel

Hasil konfirmasi dengan data geologi menunjukkan bahwa dugaan jenis lapisan batuan yang mungkin terdapat pada lokasi tersebut adalah batupasir kuarsa (sandstones), batulempung (claystones), batupasir lempungan (sandy clay) serta tanah pasiran (sandy soil) dan tanah lempungan (clayey soil) sebagai lapisan penutup. Mengacu pada hasil konfirmasi dengan data geologi lapangan, maka dilakukan pencocokkan nilai tabel (Contoh line 1) sebagai berikut :

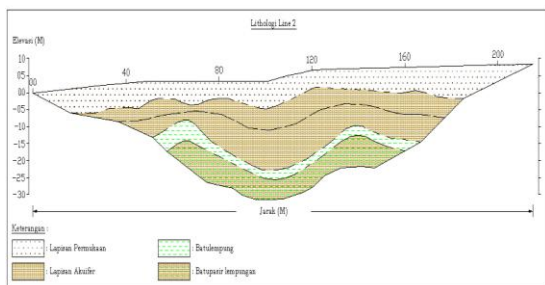
Tabel 2. Contoh Pencocokkan nilai resistivitas lapisan batuan hasil pengolahan Line 1 dengan nilai resistivitas tabel

Nilai Tabel		Resistivitas Hasil Pemodelan (Ω.m)	Estimasi Jenis Lapisan			
Lapisan	Resistivitas (Ω.m)		Interpolasi	Pencocokan	Nilai Resistivitas (Ω.m)	Satuan Lapisan
Lapisan Permukaan:		4,80-1.158,00				
Tanah Pasiran (sandy soil)	500-3.000		529 1158		529-1.158	Tanah Pasiran (sandy soil)
Tanah lempungan (clayey soil)	100-300		110 242		110-242	Tanah lempungan (clayey soil)
Lapisan Batuan						
Batupasir kuarsa (sandstones)	100-10.000		110 242 529 1158		110-1.158	Satuan lapisan Batuan pasir-lempung
Batulempung (claystones)	10-100		10,5 23,0 50,4		10,5-50,4	
Batupasir lempungan (sandy clay)	50-300		50,4 110 242		50,4-242	
Lignit	9-200	10,5 23,0 50,4 110	x	10,5-110		
Batupasir mengandung Airtanah	1-100	4,80 10,5 23,0 50,4		4,80-50,4	Batupasir mengandung Airtanah	

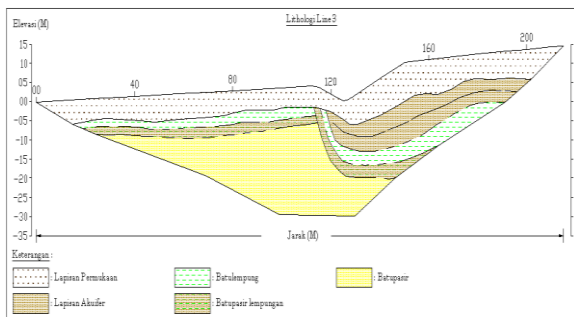
Dengan cara yang sama juga dilakukan terhadap Line 2, 3, 4 dan 5. Dari analisis tersebut dilakukan interpretasi litologi masing-masing lintasan sebagai berikut :



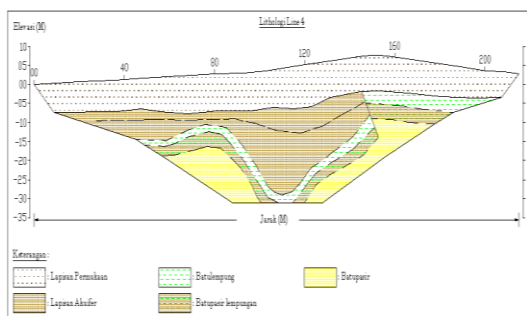
Gambar 8. Interpretasi Litologi Line 1



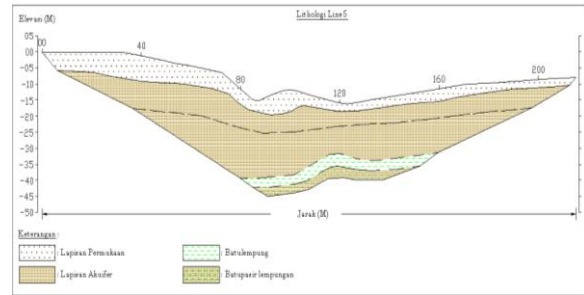
Gambar 9. Interpretasi Litologi Line 2



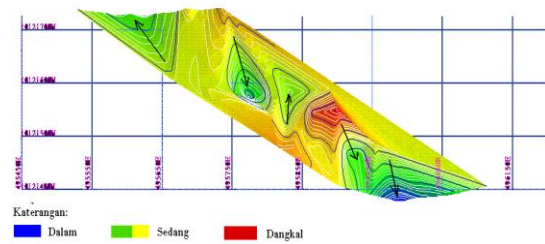
Gambar 10. Interpretasi Litologi Line 3



Gambar 11. Interpretasi Litologi Line 4



Gambar 12. Interpretasi Litologi Line 5



Gambar 13. Interpretasi arah aliran air tanah

Dari hasil perhitungan didapatkan sumberdaya airtanah sebagai berikut.

Tabel 2. Sumberdaya airtanah

NO	JARAK	VOLUME	LUAS AREA	SUMBER DAYA
	PENGARUH	RERATA		
	(M)	(M ³ /M ²)	(M ²)	(M ³)
1	250	1,9	547.575,49	1.040.393,42
2	500	1,9	1.435.039,26	2.726.574,60
3	750	1,9	2.714.552,95	5.157.650,61
4	1.000	1,9	4.386.489,65	8.334.330,33

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari hasil pemodelan program res2dinv dan hasil analisis data diperoleh gambaran formasi batuan yang tersusun oleh lapisan batupasir, lapisan batulempung, lapisan batupasir lempungan.
2. Ditemukan adanya lapisan batupasir sebagai indikasi lapisan akuifer.
3. Dari hasil pemodelan program res2dinv dan hasil analisis data diperoleh indikasi lapisan akuifer dengan kedalaman lantai (floor) 11,50 M – 33,55 M dengan ketebalan sekitar 1,20 M – 16,84 M.
4. Hasil perhitungan sumberdaya menunjukkan lokasi eksplorasi memiliki volume airtanah rerata 1,90 M³/M² dan sumber daya sebesar 1.040.393,42 M³ -

8.334.330,33 M³ pada kisaran luasan area sebesar 547.575,49 M² - 4.386.489,65 M².

5. Lokasi survei Air tanah berdasarkan data eksplorasi dinilai prospek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Advanced Geosciences, Inc. 2002 – 2008. Instruction Manual for Earth Imager 2D Version 1.9.5, 2D Resistivity and IP Inversion Software. Advanced Geosciences, Inc. Texas : Austin.
- [2] Dobrin, 1976. Introduction To Geophysical Prospecting, New York : Mc. Graw Hill Book Company INC.
- [3] Handayani, Gunawan, 1997. Kursus Lanjut Metode Geolistrik dan Seismik Bias. Bandung : Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika ITB.