

¹INTERPRETASI SEBARAN AIRTANAH-DALAM BERDASARKAN DATA GEOLISTRIK TAHANAN JENIS DI KABUPATEN JEPARA JAWA TENGAH

Arif Ismul Hadi⁽¹⁾, Reni Mulyasari⁽²⁾, Refrizon⁽¹⁾, M. Nurdin⁽³⁾ & Fredrixus Diansastro⁽³⁾

(1) Jurusan Fisika FMIPA Universitas Bengkulu, (2) Dinas ESDM Prov. Bengkulu, (3) PPGN-BATAN, Pasar Jum'at, Jakarta Selatan

ABSTRAK

Penyelidikan resistivitas bawah permukaan telah dilakukan dengan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumberger* di Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah oleh Tim Eksplorasi Balai ATENAT PPGN-BATAN Jakarta. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi akuifer airtanah-dalam dari gambaran geologi bawah permukaan yang diperkirakan potensial mengandung airtanah berdasarkan nilai variasi tahanan jenis bawah permukaan. Keadaan bawah permukaan yang mengandung airtanah dicerminkan oleh kecenderungan bentuk grafik resistivitas vs kedalaman. Pengambilan data dilakukan pada daerah seluas 3.812 m×1.982 m dengan 37 titik *sounding*. Masing-masing titik *sounding* berjarak 150 m sampai dengan 350 m, data lapangan merupakan data sekunder yang diperoleh dari PPGN-BATAN, proses pengolahan dengan menggunakan inversi 1D *Software Interpex 1D (IX1D)* dan dikorelasikan menjadi penampang resistivitas 2D dan 3D menggunakan *Software Grafis CorelDraw 10*. Interpretasi dilakukan dengan mengkorelasikan hasil dari program geolistrik dan *logging* sumur bor. Hasil yang diperoleh menunjukkan resistivitas bawah permukaan dengan nilai 16 Ω m sampai dengan 34 Ω m pada kedalaman lebih dari 109 m yang merupakan lapisan batupasir tufan 1 sebagai lapisan batuan pembawa air (*aquifer*) yang sangat potensial.

Kata kunci: *Sebaran Airtanah-dalam, Data Geolistrik dan Tahanan Jenis.*

INTERPRETATION OF GROUNDWATER AQUIFER DISTRIBUTION BASED ON RESISTIVITY GEO-ELECTRIC DATA IN JEPARA COUNTY CENTRAL JAVA PROVINCE

Arif Ismul Hadi⁽¹⁾, Reni Mulyasari⁽²⁾, Refrizon⁽¹⁾, M. Nurdin⁽³⁾ & Fredrixus Diansastro⁽³⁾

(1) Dept. of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Bengkulu, (2) Dinas ESDM, Province of Bengkulu, (3) PPGN-BATAN, Pasar Jum'at, Jakarta Selatan

ABSTRACT

The investigation of subsurface resistivity has been done in Jepara County, Central Java Provinces by using geo-electric method with Schlumberger configuration by Exploration Team of ATENAT PPGN-BATAN Institute in Jakarta. The purpose of this investigation is to determine of groundwater aquifer location from the subsurface geology picture aqueous potential of land based on variation of resistivity value. Existence of groundwater had tendency from graph of resistivity vs deepness. The acquisition data has been done around 3,812 m×1,982 m area with 37 sounding site. Sounding site distanced 150 m up to 350 m, field data as secondary data is obtained PPGN-BATAN Institute, processing of the data by using Interpex 1D (IX1D) Software with 1D inversion and then correlation in to 2D and 3D resistivity profile by using CorelDraw 10 Graph Software. The analysis does with correlation result of resistivity program and logging well drill. The result showed subsurface resistivity

about 16 Ω m up to 34 Ω m, with deepness more than 109 m that is tuff sandstone 1 layer as very potential rock aquifer layer.

Keywords: *Groundwater Aquifer Distribution, Geo-electric Data and Resistivity.*

PENDAHULUAN

Kabupaten Jepara, Jawa Tengah merupakan salah satu daerah yang mengalami kesulitan air bersih. Hal ini disebabkan oleh kondisi airtanah permukaannya payau sampai asin, sehingga kedapatan air tawar sulit diperoleh terutama pada daerah yang berada pada singkapan (*outcrop*) batupasir tufan (Tim Eksplorasi Balai ATENAT PPGN-BATAN, 2006). Berdasarkan kajian geohidrologi, daerah penelitian merupakan daerah dengan keterdapatannya akuifer produktif sampai dengan produktif tinggi dengan penyebaran luas (Said, 1998), sehingga untuk memperoleh air bersih di Kabupaten Jepara perlu dicari sumber air yang dapat dikembangkan di daerah ini adalah airtanah-dalam yang terdapat pada sebaran batupasir tufan tersingkap mempunyai porositas yang cukup baik dan berfungsi sebagai lapisan permeabel (*aquifer*). Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk menentukan keberadaan air tanah bawah permukaan adalah metode geofisika tahanan jenis. Tahanan jenis merupakan parameter penting untuk mengetahui karakteristik keadaan fisis bawah permukaan yang diasosiasikan dengan material dan kondisi bawah permukaan. Parameter-parameter tersebut bergantung pada litologi, porositas, densitas, suhu dan fluida yang mengisi batuan (Sutarno, 1993). Untuk memperkuat hasil penelitian ini, telah dilaksanakan penyelidikan pelacakan airtanah-dalam yang dilaksanakan dengan metode *logging* geofisika oleh Tim Eksplorasi PPGN-BATAN, sehingga hasil penelitian tersebut dapat digunakan sebagai pembandingan untuk analisis metode geolistrik.

Pada metode geolistrik tahanan jenis, jika sebuah rangkaian terdiri dari sumber arus yang terhubung seri dengan sebuah tahanan, maka arus yang mengalir akan terhambat oleh keberadaan tahanan tersebut. Pada ujung-ujung tahanan dapat diukur beda potensialnya. Beda potensial besarnya dirumuskan (Tipler, 1996):

$$v = ir, \quad (1)$$

dengan v = beda potensial terukur (V), i = arus yang dilewatkan (A) dan r = hambatan (Ω).

Tahanan dengan luas penampang A , panjang l dan hambatan r , memberikan parameter baru yakni tahanan jenis (resistivitas) (Sharma, 1997),

$$\rho = \frac{rA}{l}. \quad (2)$$

Pendekatan sederhana untuk mendapatkan resistivitas setiap batuan di bawah permukaan dilakukan dengan mengasumsikan bahwa bumi merupakan suatu medium yang

homogen isotropis (resistivitas semu). Pada medium batuan, nilai resistivitas di setiap titik berbeda dan bidang ekuipotensial yang terbentuk dapat tidak beraturan, sehingga nilai resistivitas semu yang terukur di lapangan dapat dihitung (Telford, dkk., 1998),

$$\rho_a = k \frac{\Delta v}{i}, \quad (3)$$

dengan k merupakan faktor geometri yang bergantung dari konfigurasi elektroda yang digunakan. Pada penelitian ini konfigurasi elektroda yang digunakan adalah konfigurasi Schlumberger yang nilainya (Telford, dkk., 1998):

$$k = \frac{\pi(s^2 - a^2 / 4)}{a}. \quad (4)$$

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi akuifer airtanah-dalam dari gambaran geologi bawah permukaan yang diperkirakan potensial mengandung airtanah berdasarkan nilai variasi resistivitas bawah permukaan yang dicerminkan oleh kecenderungan bentuk grafik resistivitas vs kedalaman.

METODE PENELITIAN

Pengambilan data sebaran airtanah-dalam dilakukan oleh Tim Eksplorasi Balai Aplikasi Teknik Nuklir pada Manajemen Airtanah Pusat Pengembangan Geologi Nuklir-Badan Tenaga Atom Nasional (ATENAT PPGN-BATAN) Pasar Jum'at, Jakarta Selatan. Penelitian ini menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumberger* di Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Posisi pengukuran terletak sekitar 4 km memanjang arah selatan-utara Laut Jawa. Data tahanan jenis yang didapat di lapangan berjumlah 37 data titik *sounding* dengan jarak bentangan 150 m-350 m. Pengolahan data difokuskan pada pemodelan 1D menggunakan *Software Interpex 1D* (IX1D) dan divisualisasikan menjadi korelasi penampang tahanan jenis 2D dan 3D menggunakan *Software Grafis CorelDraw 10*.

Data sekunder geolistrik tahanan jenis yang berupa nilai posisi X, Y titik *sounding* dan jarak $\frac{1}{2}AB$ ($\frac{1}{2}$ jarak elektroda arus A dan B), jarak elektroda potensial MN , nilai resistivitas semu merupakan data *input* pada program inversi *Interpex 1D* (IX1D) dengan parameter *sounding Schlumberger Array* dan tipe data *Apparent Resistivity*. Selanjutnya dilakukan proses *running* untuk melihat *output* pemodelan dari data yang diinputkan. Proses *running* ini dilakukan sebagai tahapan dari proses *estimated layered model* pada *Software IX1D*.

Output program inversi IX1D berupa; kurva titik-titik pengukuran dan kurva pemodelan awal 1D pada grafik bilog fungsi resistivitas semu dan jarak $\frac{1}{2}AB$, resistivitas model yang memiliki informasi berupa: banyak lapisan, ketebalan, kedalaman dan elevasi. Proses selanjutnya adalah melakukan inversi IX1D baik menggunakan *single iteration* atau

multiple iteration. Hasil inversi IX1D akan baik dan diterima jika kualitas kedalaman lapisan $\leq 1/3$ bentangan yang ditandai dengan semakin minimalnya *error* pada batas toleransi *error* sekitar 10% serta kurva pemodelan tahanan jenis merupakan kurva pemodelan yang dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan.

Pada tahapan proses inversi, nilai resistivitas dan ketebalan lapisan dapat ditentukan dari nilai resistivitas semu yang diperoleh di lapangan menggunakan teknik inversi penyelesaian problem mundur (*reversed problem*) dengan membuat model perlapisan awal yang kira-kira sesuai dengan data lapangan. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai resistivitas semu teoritis berdasarkan model perlapisan awal tersebut (*forward problem solution*). Setelah itu dilakukan pencocokan antara kurva resistivitas semu terhitung dengan kurva resistivitas lapangan. Jika kedua kurva tersebut belum cocok (berdasarkan kriteria tertentu), model awal diubah dan dilakukan iterasi sampai kurva resistivitas teoritis sama/hampir sama dengan kurva resistivitas di lapangan dan model yang terakhir merupakan hasil penyelesaian problem inversi.

Hasil inversi IX1D kemudian digunakan sebagai *input* data penampang tahanan jenis sebenarnya dalam 2D dan 3D sebagai sebaran nilai tahanan jenis sebenarnya secara lateral dan vertikal dengan menggunakan *Software Grafis CorelDraw 10*, selanjutnya dibuat visualisasi penampang tahanan jenis 2D yang dilakukan dengan korelasi nilai resistivitas sebenarnya dari beberapa titik *sounding* dengan arah *x* sebagai jarak antar titik *sounding* satu dengan titik *sounding* lainnya dan arah *z* sebagai kedalaman. Adapun visualisasi penampang resistivitas 3D sebenarnya sebagai sebaran lateral dan vertikal dilakukan dengan mengkorelasi nilai resistivitas sebenarnya pada beberapa titik *sounding* yang ditentukan dari visualisasi penampang resistivitas 2D dengan arah *x* dan *y* sebagai jarak antar titik *sounding* satu dengan titik *sounding* lainnya dan arah *z* sebagai kedalaman.

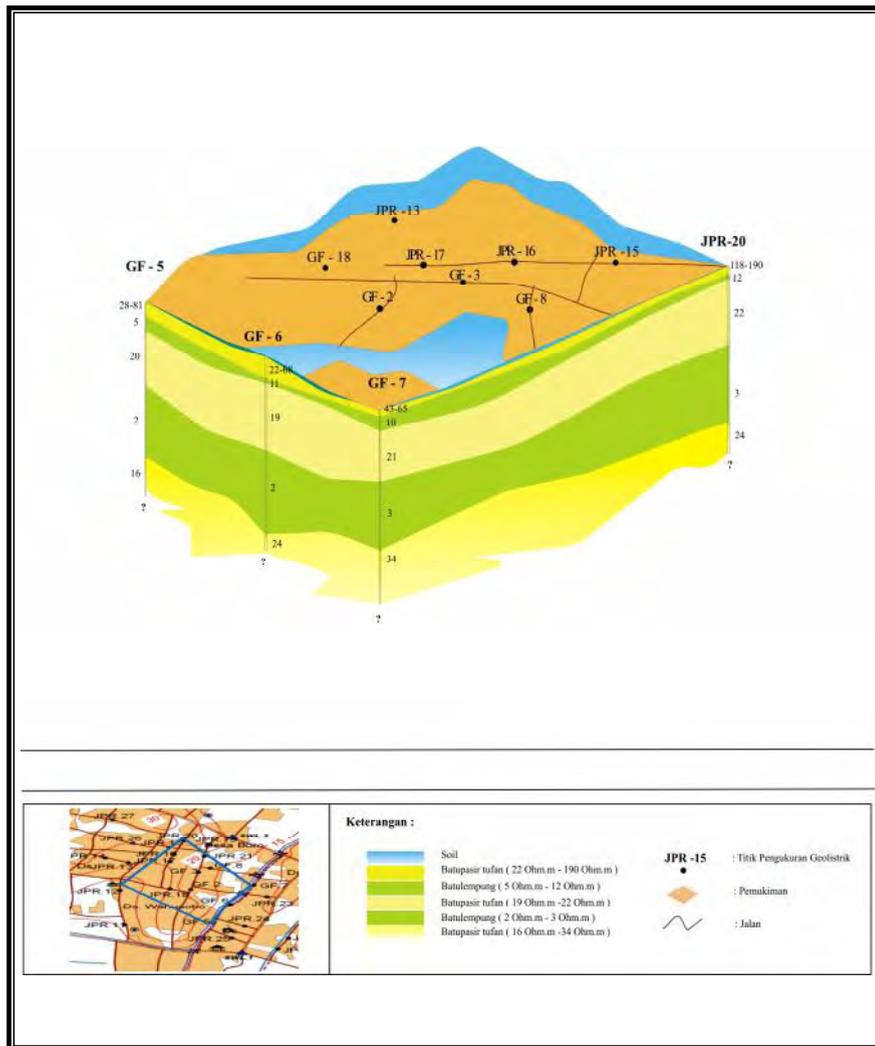
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data sekunder yang diolah menggunakan *Software IX1D* berjumlah 37 data titik *sounding*, 12 diantaranya adalah data titik *sounding* terseleksi sebagai hasil pemodelan yang diperkirakan adalah daerah-daerah bawah permukaan yang berpotensi sebagai daerah akuifer produktif sampai dengan produktif tinggi. Adapun 12 data terseleksi tersebut adalah: titik *sounding* GF-4, GF-5, GF-6, GF-7, JPR-1, JPR-2, JPR-7, JPR-11, JPR-12, JPR-20, JPR-26 dan JPR-27. Data yang terseleksi adalah data yang menjadi fokus untuk dianalisis sebaran nilai resistivitas bawah permukaan sebenarnya baik ke arah lateral maupun ke arah vertikal dalam penampang resistivitas 1D, 2D dan 3D. Hasil-hasil penampang 1D dan 2D (gambar A, B, C dan D) yang merupakan nilai resistivitas sebenarnya selanjutnya dikorelasikan sehingga

dapat divisualisasikan ke dalam bentuk penampang 3D resistivitas sebenarnya seperti terlihat pada gambar 1.

Sebaran resistivitas sebenarnya secara lateral dan vertikal dari korelasi titik *sounding* GF-5, GF-6, GF-7 dan JPR-20 pada arah selatan-utara dan utara-timur dengan GF-7 sebagai titik *sounding* perpotongan penampang resistivitas 3D daerah penelitian yang memberikan nilai resistivitas untuk $\rho = 22 \Omega\text{m}-190 \Omega\text{m}$ sebagai lapisan ke-1, $\rho = 5 \Omega\text{m}-12 \Omega\text{m}$ sebagai lapisan ke-2, $\rho = 19 \Omega\text{m}-22 \Omega\text{m}$ sebagai lapisan ke-3, $\rho = 2 \Omega\text{m}-3 \Omega\text{m}$ sebagai lapisan ke-4 dan $\rho = 16 \Omega\text{m}-34 \Omega\text{m}$ sebagai lapisan ke-5 yang hanya terdeteksi di bagian atas. Secara lateral, nilai resistivitas yang berada dalam *range* lapisan tertentu dikorelasikan antara titik *sounding* satu dengan titik *sounding* yang lainnya, sehingga tampak pada penampang resistivitas 3D lapisan bawah permukaan secara lateral relatif horizontal. Kedalaman maksimum dari penampang resistivitas ini terletak pada titik *sounding* GF-6 pada kedalaman mencapai 150 m di bawah permukaan tanah.

Analisis airtanah didasarkan pada sifat kekonduktivitas batuanannya, batuan pembawa air (*aquifer*) umumnya untuk batupasir yang *porous* mempunyai resistivitas $15 \Omega\text{m}-30 \Omega\text{m}$ tergantung dari komposisi dan macam batuan (Santoso, 2004). Berdasarkan hasil di atas, tampak bahwa daerah dengan resistivitas relatif rendah atau konduktivitas tinggi yaitu daerah dengan titik *sounding* yang memiliki kisaran $\rho < 15 \Omega\text{m}$, diperkirakan merupakan daerah sebaran lapisan sedimen batulempung sebagai lapisan yang bersifat *impermeable* yang terdapat pada zona tidak jenuh air atau *unsaturated zone*. Daerah dengan resistivitas relatif tinggi atau konduktivitas rendah yaitu daerah dengan titik *sounding* yang memiliki kisaran $\rho > 15 \Omega\text{m}$, diperkirakan merupakan daerah sebaran lapisan sedimen batupasir bercampur tufa, tufa merupakan material batuan hasil letusan atau *explosive* dari aktivitas gunungapi yang masih aktif di sekitar daerah penelitian. Campuran batupasir dan tufa didominasi oleh batupasir (batupasir tufan). Berdasarkan *test* resistivitas oleh Tim Eksplorasi Balai ATENAT PPGN-BATAN (2006) untuk daerah penelitian diperkirakan batupasir tufan adalah sebagai lapisan pembawa air (*aquifer*) yang bersifat *permeable* yang terdapat pada zona jenuh air atau *saturated zone* dengan kisaran nilai ρ di atas kisaran ρ lapisan batulempung dan mendekati kisaran ρ airtanah. Secara umum daerah lapisan batupasir tufan tersebut mempunyai porositas yang cukup baik dan diharapkan mampu menjadi lapisan akuifer yang cukup produktif untuk daerah penelitian.



Gambar 1. Penampang 3D resistivitas sebenarnya pada beberapa titik *sounding*

Interpretasi data *logging* (rekaman) sinar gamma (*Gamma-Ray logging*) dan *logging* SP (*Self Potential logging*) yang dilakukan pada titik bor eksplorasi RB 2 dengan koordinat $X = 464835,65$ mT, $Y = 9262274,8$ mU, dan $Z = 20,2$ m di sekitar titik *sounding* JPR-2 dengan kedalaman *top* akuifer adalah 118 m yang mencatat bahwa adanya perubahan material pada setiap lapisan batuan di sekitar daerah titik *sounding*. Perubahan radiasi sinar gamma akan menunjukkan aktivitas radiasi yang semakin cepat atau menaik saat melalui daerah lapisan batu lempung yang diikuti dengan semakin berkurangnya nilai resistivitas yang dicatat oleh *logging* SP. Demikian sebaliknya, perubahan radiasi sinar gamma akan menunjukkan aktivitas radiasi yang semakin lambat atau menurun saat melalui daerah lapisan batupasir tufan yang diikuti dengan semakin bertambahnya nilai resistivitas yang dicatat oleh *logging* SP (Jhonson dalam Suharyadi, 1984).

Kedua *logging* listrik tersebut merupakan *logging* geofisika yang prinsip dasarnya adalah untuk *log* sinar gamma mencatat perubahan radiasi aktivitas dari sinar gamma pada material yang mengandung elemen-elemen radioaktif dan *logging* SP mencatat perubahan *spontaneous potential* (SP) material sepanjang lubang bor (Tods dalam Suharyadi, 1984).

Pada rekaman *logging* sinar gamma dan *logging* SP tampak pada kedalaman sekitar 10 m -15 m aktivitas sinar gamma cenderung semakin membesar dan aktivitas dari *self potential resistivity* cenderung lebih memiliki nilai resistivitas yang lebih kecil, hal ini diperkirakan merupakan daerah litologi batuan yang tersusun dari lapisan batulempung. Selanjutnya untuk kedalaman sekitar 15 m-25 m aktivitas sinar gamma akan cenderung semakin mengecil dan aktivitas dari *self potential resistivity* cenderung lebih memiliki nilai resistivitas yang lebih besar, hal ini diperkirakan merupakan daerah litologi batuan yang tersusun dari lapisan batupasir bercampur dengan material batuan lainnya seperti batu tufa. Pada kedalaman dalam *range* 25 m-50 m terdeteksi adanya perselingan antara lapisan batulempung dan campuran batupasir. Pada kedalaman 50 m-60 m kembali terdeteksi sebagai lapisan campuran batupasir. Pada kedalaman 60 m-85 m kembali terdeteksi adanya perselingan antara lapisan batulempung dan campuran batupasir. Pada kedalaman > 90 m diperkirakan adalah lapisan batuan lempung. Kedalaman *logging* titik bor eksplorasi RB 2 yang terdeteksi adalah sekitar sampai pada kedalaman 150 m. Untuk daerah dekat permukaan tanah (dangkal) dapat dianggap sebagai daerah *overburden* atau sebagai *casing* dari litologi bawah permukaan (Telford, dkk., 1998).

Berdasarkan hasil interpretasi data geolistrik, data *logging* geofisika dan informasi geologi dapat dikenali bahwa sekitar daerah penelitian airtanah tersusun atas perulangan satuan batuan yang *permeabel* berupa batupasir tufan dan batulempung sebagai satuan batuan yang *impermeabel*, dimana dua satuan batuan tersebut tersusun sebagai lapisan batuan yang relative horizontal. Analisis terpadu dari hasil interpretasi bawah permukaan pada daerah penelitian diperkirakan bahwa batupasir tufan merupakan lapisan akuifer atau lapisan pembawa air. Berdasarkan sifat kelistrikan batupasir tufan, dapat dibedakan menjadi 3 lapisan, berturut-turut dari bawah ke atas adalah sebagai berikut: (a) Batupasir tufan 1, nilai ρ sekitar 16 Ω m-34 Ω m dengan kedalaman sekitar lebih dari 109 m (b) Batupasir tufan 2, nilai ρ sekitar 19 Ω m-22 Ω m dengan kedalaman sekitar lebih dari 17 m-93 m dan (c) Batupasir tufan 3, nilai ρ sekitar 22 Ω m-190 Ω m dengan kedalaman sekitar 0 m-17 m. Sedangkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan *Software W-Geosoft* atau *Winsev*: (a) Batupasir tufan 1, nilai ρ sekitar 16 Ω m-46 Ω m dengan kedalaman sekitar lebih dari > 110 m (b) Batupasir tufan 2, nilai ρ sekitar 20 Ω m-28 Ω m dengan kedalaman sekitar lebih

dari 17 m-62 m dan (c) Batupasir tufan 3, nilai ρ sekitar 19 Ω m-190 Ω m dengan kedalaman sekitar 0 m-18 m. Batupasir tufan 3 kurang potensial karena tipis, tersingkap di permukaan dan pemukiman penduduk pada umumnya penduduk memanfaatkan sumber air untuk keperluan sehari-hari dari lapisan ini. Batupasir tufan 2 dijumpai pada bagian tengah dan di bawahnya adalah batupasir tufan 3 yang dipisahkan oleh batu lempung yang cukup tebal sebagai lapisan *impermeabel*. Batupasir tufan 2 relatif cukup tebal dan potensial untuk dimanfaatkan sebagai sumber air baku akan tetapi batulempung di atasnya sebagai *caprock* diperkirakan sangat tipis dan diperkirakan dapat berubah litologinya, sehingga dikhawatirkan akan mengganggu sumur-sumur penduduk yang ada di sekitarnya apabila dimanfaatkan sebagai sumber air baku (Tim Eksplorasi Balai ATENAT PPGN-BATAN, 2006).

Batupasir tufan 1 berada di bagian bawah dan diinterpretasikan cukup tebal. Pada bagian atas batupasir tufan 1 ini dibatasi oleh batulempung dengan ketebalan berkisar antara 50 m-71 m yang memisahkan antara lapisan batupasir tufan 1 dengan lapisan batupasir tufan 2 pada bagian atasnya. Akuifer pada lapisan batupasir tufan 1 diyakini tidak akan mengganggu sumur-sumur penduduk yang berada disekitarnya, apabila dimanfaatkan sebagai sumber air baku. Keberadaan batupasir tufan 1 terdapat pada kedalaman sekitar 109 m sampai dengan kedalaman sekitar 164 diduga relatif dalam dan hanya terdeteksi pada bagian atasnya dengan penyebaran lateral yang cukup merata. Lapisan batupasir tufan 1 ini diharapkan mampu memenuhi sebagian kebutuhan air baku di Kabupaten Jepara dan sekitarnya.

SIMPULAN

1. Berdasarkan hasil korelasi data tahanan jenis dari program geolistrik dan *logging* sumur bor dibantu dengan informasi geologi, diketahui ada 3 lapisan akuifer potensial, yaitu: (a) lapisan batupasir tufan 1, nilai ρ sekitar 16 Ω m-34 Ω m dengan kedalaman sekitar lebih dari 109 m, (b) lapisan batupasir tufan 2, nilai ρ sekitar 19 Ω m-22 Ω m dengan kedalaman sekitar lebih dari 17 m-93 m dan (c) lapisan batupasir tufan 3, nilai ρ sekitar 22 Ω m-190 Ω m dengan kedalaman sekitar 0 m-17 m.
2. Batupasir tufan 1 merupakan lapisan akuifer yang paling potensial dan termasuk akuifer semi tertekan atau akuifer tertekan. Keberadaan lapisan batupasir tufan 1 ini relatif dalam dengan kemiringan relatif horizontal, dipisahkan oleh lapisan batulempung sebagai lapisan impermeabel terhadap lapisan akuifer batupasir tufan 2 di atasnya sehingga diharapkan pemanfaatan sumber air baku pada lapisan akuifer 1 ini tidak akan mengganggu sumur-sumur penduduk yang berada di sekitarnya.

SARAN

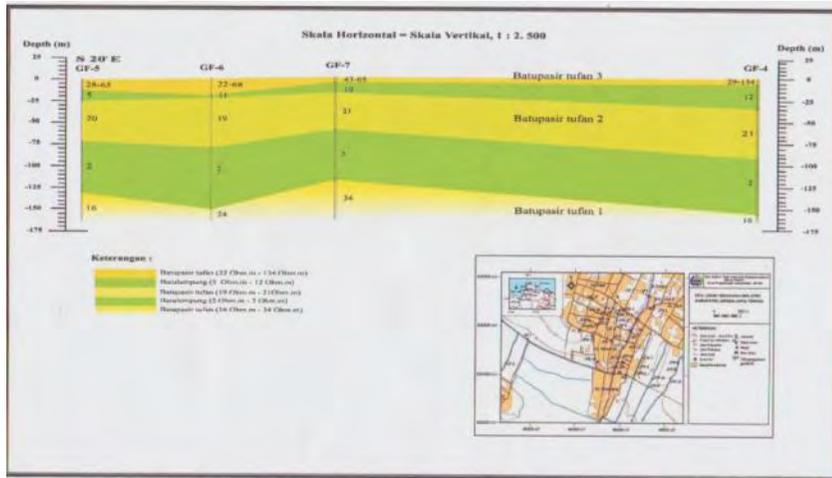
Untuk mengetahui keberadaan akuifer (airtanah-dalam) secara lengkap, perlu dilakukan pengambilan data pembanding yang lain dengan metode yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

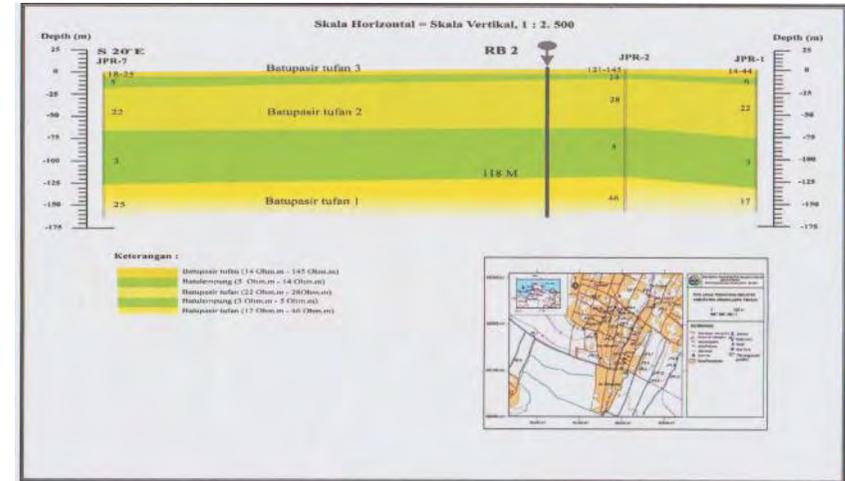
Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada PPGN-BATAN, Pasar Jum'at, Jakarta Selatan yang telah memberikan izin menggunakan data lapangan (sekunder).

DAFTAR PUSTAKA

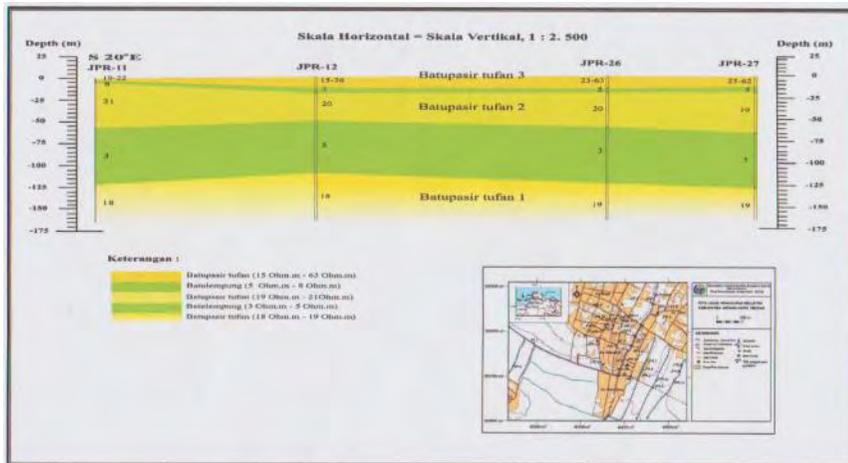
- Said. 1998. *Peta Hidrologi Indonesia Lembar Semarang*. Direktorat Jenderal Geologi Tata Lingkungan, Bandung.
- Santoso, A. 2004. *Penentuan Kedalaman Antara Metode Geolistrik (Schlumberger) dengan Logging dalam Interpretasi Keberadaan Air Bawah Tanah*. UPN Veteran, Yogyakarta.
- Sharma, P.V. 1997. *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Suharyadi. 1984. *Diktat Kuliah Geohidrologi (Ilmu Airtanah)*. Teknik Geologi, UGM, Yogyakarta.
- Sutarno, D. 1993. Metoda Magnetotellurik, Teori, dan Aplikasinya. *J. Kontribusi Fisika*. **4**, 333-352.
- Telford, W.M., L.P. Geldart and R.E. Sheriff. 1998. *Applied Geophysics*. 2nd ed. Cambridge University Press, New York.
- Tim Eksplorasi Balai ATENAT PPGN-BATAN. 2006. *Pemanfaatan Teknik Nuklir untuk Pelacakan Airtanah Dalam, Kabupaten Jepara*. PPGN BATAN, Jakarta.
- Tipler, P.A. 1996. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jilid 2. Edisi Ketiga. Erlangga, Jakarta.



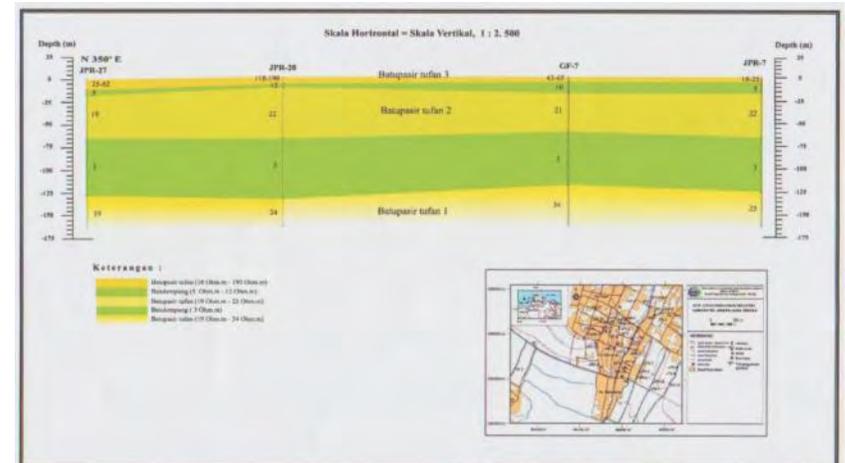
Gambar A. Penampang 2D tahanan jenis sebenarnya titik sounding GF-5, GF-6, GF-7 dan GF-4



Gambar B. Penampang 2D tahanan jenis sebenarnya titik sounding JPR-7, JPR-2 dan JPR-1



Gambar C. Penampang 2D tahanan jenis sebenarnya titik sounding JPR-11, JPR-12 dan JPR-27



Gambar D. Penampang 2D tahanan jenis sebenarnya titik sounding JPR-27, JPR-20 dan JPR-7