



GROUND-WATER RESOURCES ASSESSMENT USING GEOPHYSICAL VLF METHOD: A CASE STUDY FROM COASTAL URBAN FOREST IN BANDA ACEH

Nazli Ismail

Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Syiah Kuala University
Kopelma Darussalam, Banda Aceh, 23111 Indonesia

Abstract. In urban areas, there is not only a heavy reliance on ground water as a primary drinking supply but is also as a supply of water for both agriculture and industrial uses. The reliance on ground water is necessary to ensure that there are significant quantities and high quality of water. Ground water resources at coastal urban forest in Banda Aceh were assessed by using VLF method. VLF techniques measured the perturbations in a plane wave radio signal (15-30 kHz) being emanated from one of several world-wide radio transmitters and was also used for submarine communications. Apparent resistivities and phases were measured along 340 m profile at the area. Two frequencies (27700 and 29000 Hz) were used in this measurement. The data were modeled by using 2D inversion code of Rebocc. The model showed clearly ground-water' map of the subsurface. Based on the model, aquifer layers were indicated by low resistivities zones (40 – 400 Ω -m). However, the ground-water resources in the area were dominated with high salinity water at depth under 140 m. Therefore, extended geophysical exploration methods were needed in order to find fresh ground-water aquifer in the area to watering the forest.

Keywords: Groundwater, VLF, Resistivity

I. PENDAHULUAN

Perubahan lapisan tanah di wilayah perkotaan sangat dinamis. Aktivitas pembangunan dan perubahan vegetasi dan tata guna lahan di perkotaan dapat mengubah keadaan tanah, geologis, dan hidrogeologi yang sangat tajam sehingga secara signifikan dapat mempengaruhi volume dan kedalaman air tanah [5,8]. Kebutuhan air di perkotaan sangat kompleks. Selain terbatasnya cadangan, kebutuhan air juga semakin meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk dan pembangunan di wilayah perkotaan. Oleh karena itu, pengetahuan tentang ketersediaan informasi struktur pelapisan tanah dan ketersediaan air tanah pada wilayah perkotaan sangat penting. Informasi yang diperlukan tersebut termasuk

stratifikasi sifat air tanah, impermeabilitas, lokasi sumber air masuk dan keluar, dan perkiraan kedalaman air tanah. Penyelidikan informasi hidrogeologi suatu wilayah secara konvensional seperti pengeboran dan penggalian biasanya bersifat merusak. Selain memerlukan biaya yang banyak, penyelidikan dengan cara tersebut juga sering tidak diizinkan pada wilayah perkotaan. Oleh karena itu metode penyelidikan air tanah yang murah, cepat, dan tidak merusak lingkungan sangat diperlukan.

Merujuk pada kebutuhan di atas, penyelidikan air tanah dengan metode geofisika sangat sesuai. Hampir semua metode geofisika dapat digunakan untuk keperluan penyelidikan air tanah. Metode magnetik dan gravity, meskipun tidak secara langsung dapat

mendeteksi air tanah, namun struktur yang berasosiasi dengan akuifer sangat jelas dipetakan dengan metode tersebut [1]. [7] menggunakan metode seismik untuk mendeteksi air tanah yang terkandung dalam rekahan bedrock batuan metamorf. Sedangkan Metode geolistrik dan metode elektromagnetik (EM) termasuk yang paling sering digunakan dalam eksplorasi air tanah karena sifat konduktivitasnya, sebagai contoh metode CSRMT [6], metode geolistrik [9], dan metode Very Low Frequency [10].

Metode EM dan metode geolistrik handal digunakan untuk menguji berbagai sifat konduktivitas atau resistivitas batuan, sehingga sesuai untuk diaplikasi pada daerah perkotaan. Pada tulisan ini akan dibahas aplikasi metode Very Low Frequency (VLF) untuk eksplorasi air tanah di Taman Kota BNI Banda Aceh.

Sebagai taman yang sedang dalam tahap pembangunan kebutuhan dan ketersediaan air tawar sangat penting untuk penyiraman. Selain itu, taman kota tersebut juga berlokasi dekat pantai yang lingkungan air permukaannya didominasi oleh air payau dan air asin sehingga perlu dilakukan pemetaan cadangan air tawar di bawah permukaan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari struktur pelapisan tanah dan lokalisasi akuifer air tawar pada Taman Kota BNI tersebut. Sebagai pengembangan dari metode VLF konvensional (*tilt angle*), dalam penelitian ini digunakan metode VLF-Resistivity untuk mendapatkan detail informasi resistivitas bawah permukaan yang berasosiasi dengan cadangan air tanah di bawah permukaan.

Konsep Dasar

Metode VLF

Metode VLF dikenal sebagai metode geofisika yang murah dan keluaran data akhir dari peralatan juga dapat mengindikasikan langsung anomali-anomali konduktor yang linear. Metode ini biasa dilakukan pada tahap awal eksplorasi karena dapat dilakukan secara cepat dalam area yang relatif luas. Penjelasan secara menyeluruh konsep metode VLF dapat dilihat dalam [10]. Aplikasinya secara terintegrasi dengan metode DC-Resistivity untuk pemetaan air tanah dapat disajikan dalam [2]. Penjelasan konsep dasar

metode VLF tersebut didasarkan pada kedua referensi tersebut.

Metode very low frequency (VLF) diaplikasikan dengan memanfaatkan pemancar-pemancar radio yang mentransmisikan gelombang elektromagnetik dalam range frekuensi radio yang sangat rendah secara kontinu ke seluruh penjuru dunia. Medan primer yang ditransmisikan oleh pemancar radio menyebabkan arus-arus eddy dan mengalami induksi dalam satuan struktur geologi yang bersifat konduktor.

Prinsip Faraday tentang induksi elektromagnetik menyebutkan bahwa medan magnetik yang beresiliasi dapat menghasilkan medan listrik. Medan listrik ini dapat memproduksi arus listrik di dalam medium yang konduktif. Arus-arus eddy yang terbentuk dalam kumparan kemudian menghasilkan medan magnet sekunder seperti yang terekam dalam instrument VLF. Medan sekunder medan yang telah mengalami pertubasi tersebut dapat bergeser fasenya dan berarah dalam arah yang berbeda dengan medan primer. Efek ini sangat bergantung pada bentuk atau geometri dari konduktor, arah konduktor, dan kontras konduktivitas dengan batuan induknya. Konduktor yang bergeometri tipis dan tegak secara khusus sangat sensitif dengan gelombang-gelombang tersebut.

Bentuk struktur geologi seperti sesar, dike, atau kekar merupakan jenis konduktor yang berbentuk tegak dan tipis tersebut. Struktur berupa sesar, dike, atau kekar tersebut sering diasosiasikan dengan struktur geologi yang dapat membantu aliran air tanah di bawah permukaan.

Fungsi transfer gelombang *plane wave*

Konsep dasar metode EM *plane wave*, termasuk metode VLF-R, berlandaskan pada Persamaan Maxwell. Dalam asumsi gelombang *plane wave* dan frekuensi konstan, komponen horisontal medan listrik (E_x , E_y) dapat dihubungkan dengan komponen horisontal medan magnet (H_x , H_y) melalui pernyataan [4],

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \mathbf{Z} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix}, \quad (1)$$

dimana \mathbf{Z} adalah fungsi transfer magnetotellurik berupa tensor impedans kompleks;

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

Resistivitas listrik bagian bawah permukaan bumi dapat diperkirakan dari unsur-unsur impedansi dengan menggunakan persamaan yang diperkenalkan oleh (Cagniard, 1953). Dalam asumsi gelombang datang yang tegak lurus, uniform, homogenous, dan plane wave terhadap medium model bumi isotropik n-lapisan. Serta asumsi gelombang merambat dalam arah z positif ke bawah, sumbu x merupakan arah pengukuran medan listrik dan sumbu y arah pengukuran medan magnet, maka resistivitas semu (ρ_{xy}) dan fase (ϕ_{xy}) dapat dihitung sebagai [12],

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\omega\mu_0} |Z_{xy}|^2 \quad (3)$$

dan

$$\phi_{xy} = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}(Z_{xy})}{\text{Re}(Z_{xy})} \right). \quad (4)$$

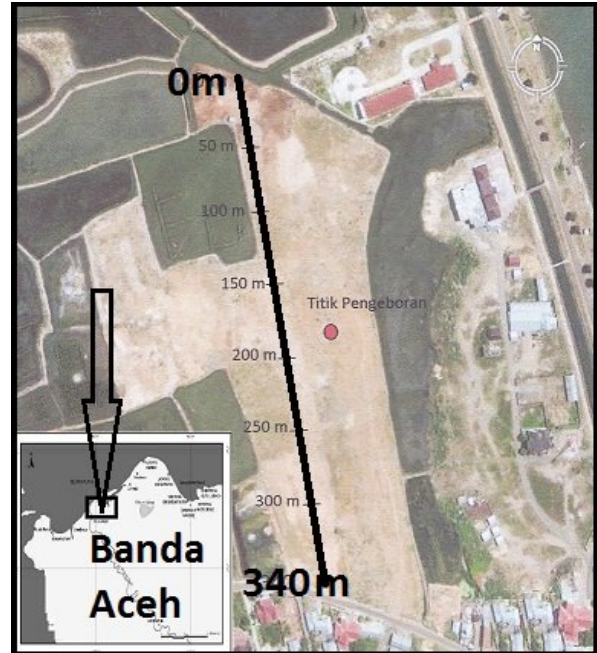
Tanda Im dan Re menunjukkan bagian real dan imajiner dari masing-masing elemen impedansi.

III. METODOLOGI

Peralatan VLF mengukur medan primer dan medan sekunder secara bersamaan. Pada metode VLF konvensional (*tilt mode*), hanya dua komponen medan magnetik yang diukur dimana menunjukkan *tilt angle* dan elliptisitas dari medan tersebut. Sedangkan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini juga mengukur medan magnetik yang ke tiga dan juga

medan listrik (*resistivity mode*). Medan listrik tersebut diukur dengan menancapkan dua elektroda ke dalam tanah dengan jarak sekitar 5 meter satu sama lain. Kedua elektroda ini dipakai untuk mengukur perbedaan tegangan pada setiap frekuensi pemancar. Medan listrik tersebut dapat memberikan informasi tambahan berupa ketebalan dan konduktivitas struktur yang dicari.

Satu lintasan, sepanjang 340 m, data *resistivity mode* (VLF-R) telah diakuisi pada Taman Kota BNI Tibang, Banda Aceh (Gambar 1). Arah lintasan pengukuran mendekati arah Utara-Selatan dengan jarak antar stasiun 10 meter untuk *resistivity mode*. Dua frekuensi transmitter digunakan dalam akuisisi data masing-masing *mode* pengukuran tersebut. Data *resistivity mode* berupa resistivitas semu dan phase direkam dari stasiun 3SA (27700 Hz) dan stasiun 3SB (29000 Hz) di Cina.



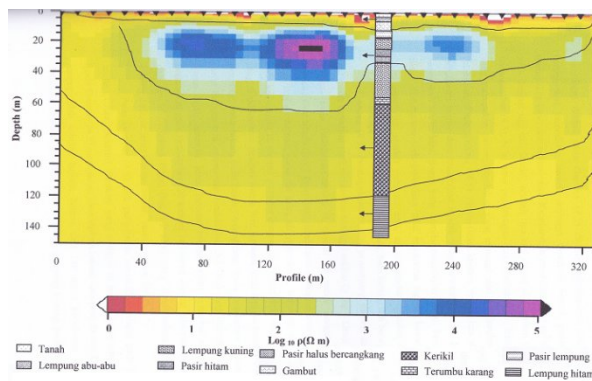
Gambar 1. Lokasi pengukuran data VLF. Tanda lingkaran pada bagian tengah gambar menunjukkan lokasi pengeboran.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti telah disebutkan sebelumnya, peralatan VLF *mode resistivity* (VLF-R) mengukur 3 komponen medan magnet (, ,) dan dua komponen

medan listrik (,). Berdasarkan data pengukuran tersebut nilai resistivitas semu dan fase pada masing-masing frekuensi dan stasiun dihitung dengan menggunakan Persamaan (3) dan Persamaan (4). Kualitas data pengukuran umumnya sangat baik, dimana terdapat hubungan yang signifikan antar-stasiun dan antar-frekuensi, sehingga layak untuk dilakukan pemodelan inversi.

Perhitungan model 2D dilakukan dengan *code* inversi *reduced basic occam's inversion* (Rebocc) yang dikembangkan [11]. Perhitungan inversi Rebocc berasaskan perhitungan yang mencari model paling sederhana dengan perbedaan data perhitungan dan pengukuran yang rendah.



Gambar 2. Prediksi model resistivitas bawah permukaan di Hutan Kota BNI Tibang Banda Aceh.

Gambar 2 menunjukkan prediksi model resistivitas hasil perhitungan inverse 2D Rebocc. Meskipun rata-rata *misfit* data perhitungan dan pengukuran untuk data resistivitas semu relatif besar, yaitu di atas 10%, realibilitas model yang dihasilkan sangat tinggi.

Secara umum pelapisan tanah dibawah permukaan Taman Kota BNI Tibang berdasarkan variasi resistivitas terbagi 4. Pelapisan tersebut umumnya berbentuk horizontal, dimana merupakan tipikal dari struktur pelapisan di daerah alluvial dekat pantai. Lapisan pertama dari kedalaman rata-rata 0 sampai 5 meter umumnya sangat konduktif (kurang dari 0,5 Ω -m dalam skala log) dan lapisan kedua sangat resistif dari kedalaman 5 sampai 40 m (resistivitas di atas 2,5 Ω -m dalam skala log). Lapisan ke tiga pada kedalaman 40 sampai 110 m memiliki resistivitas medium (rsistivitas sekitar 2 Ω -m dalam skala log) dan lapisan di bawahnya kembali bersifat lebih

konduktif dengan nilai resistivitas sekitar 1 Ω -m dalam skala log.

Untuk kalibrasi, model resistivitas yang diperoleh dari hasil inversi tersebut juga dibandingkan dengan data pengeboran yang dilakukan pada bagian tengah dekat dengan lokasi lintasan pengukuran (Gambar 2). Hasil perbandingan nilai resistivitas terhadap kedalaman dan jenis lapisan batuan dari data pengeboran ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data stratifikasi berdasarkan hasil pengeboran

No.	Kedalaman (m)	Data pengeboran	Resistivitas model (Ω -m)
1	0 - 3	Tanah	0 - 10
2	3 - 6	Lempung abu-abu	0 - 10
3	6 - 12	Gambut	10 - 40
4	12 - 17	Pasir lempung	40 - 400
5	17 - 23	Lempung kuning	40 - 400
6	23 - 29	Pasir hitam	400 - 10000
7	29 - 35	Pasir halus bercangkring	400 - 10000
8	35 - 50	Lempung kuning	40 - 100
9	50 - 55	Terumbu karang	40 - 100
10	55 - 125	Kerikil	40 - 100
11	125 - 140	Lempung hitam	10 - 40

Perbandingan antara data pengeboran dengan model resistivitas yang dihasilkan pada lokasi dekat titik pengeboran sangat berkorelasi. Lapisan tanah dan lempung pada permukaan berkorelasi dengan lapisan resistivitas rendah. Lapisan ini sangat konduktif karena pengaruh genangan air permukaan. Sedangkan di bawahnya terdapat lapisan akuifer pertama yang umumnya didominasi oleh lapisan pasir lempung dengan kedalaman sampai 20-an meter. Lapisan ini relatif konduktif karena didominasi oleh air tanah dalam lapisan pasir lempung yang berpori.

Pada kedalaman di atas 20 sampai 35 m terdapat lapisan impermeabel yang sangat resistif. Sedangkan di bawahnya kembali ditemukan lapisan akuifer pembawa air dengan konduktivitas tinggi. Berdasarkan data pelapisan geologi hasil pengeboran air asin terdapat dari kedalaman 2 m dan air tawar tidak ditemukan air tawar sampai dengan pengeboran pada kedalaman 140 m.

KESIMPULAN

Aplikasi metode VLF mampu memetakan sumber air tanah pada Taman Kota BNI Tibang Banda Aceh. Keberadaan akuifer berdasarkan model resistivitas yang dihasilkan dari data VLF ditandai oleh zona resistivitas rendah (40 – 400 Ω -m). Sifat permeabilitas pada akuifer terbuka menyebabkan cadangan air tanah di Taman Kota BNI Tibang didominasi oleh air asin sampai kedalaman 140 meter. Untuk itu perlu dilakukan usaha eksplorasi cadangan air tanah tawar yang lebih dalam untuk memenuhi kebutuhan suplai air penyiraman tanaman di lokasi hutan kota tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih yang tak terhingga kepada Masri Mauliani, Hasminar, dan Dedek yang telah melakukan akuisisi data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

1. H.V. Babu, N.K. Rao, V.V. Kumar, 1991, Bedrock topography from magnetic anomalies - An aid for groundwater exploration in hard-rock terrains (short note). *Geophysics* 56: 1051-1054.
2. A.K. Benson, K.L. Payne, M.A. Stubben, 1997, Mapping groundwater contamination using DC resistivity and VLF geophysical methods - A case study 62: 80-86.
3. L. Cagniard, 1953, Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting. *Geophysics*, 18: 605-653.
4. T. Cantwell, 1960, *Detection and analysis of low frequency magnetotelluric signals: Ph. D. thesis*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
5. M. Cox, J. Hillier, 1994, Impacts on ground-water resources by urban expansion: the Brisbane case. *Water down under* (pp. 267-270), Adelaide.
6. N. Ismail, G. Schwarz, L.B. Pedersen, 2011. Investigation of groundwater resources using controlled-source radio magnetotellurics (CSRMT) in glacial deposits in Heby, Sweden. *Journal of Applied Geophysics* 73: 74-83.
7. C. Juhlin, H. Palm, C.F. Mullern, B. Walberg, 2002. Imaging of groundwater resources in glacial deposits using high-resolution reflection seismics, Sweden. *Journal of Applied Geophysics* 51: 107-120.
8. D.N. Lerner, 1996, Urban groundwater - an asset for the sustainable city. *Journal of European Water Pollution Control* 6: 43-51.
9. O. Mazac, L. Benes, I. Landa, A. Maskova, 1990, Determination of the extent of oil contamination in groundwater by geoelectrical methods. In S. H. Ward, *Geotechnical and environmental geophysics 02* (pp. 107-112). Tulsa: Society Of Exploration Geophysicists.
10. J.D. McNeill, V.P. Labson, 1992, Geological Mapping using VLF Radio fields. In M. C. Nabighian, *Geotechnical and Environmental Geophysics, vol. 1, Review and Tutorial* (pp. 191-218). Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.
11. W. Siripunvaraporn, G. Egbert, 2000, An efficient data-subspace inversion method for 2D magnetotelluric data. *Geophysics* 65: 791-803.
12. S.H. Ward, G.W. Hohmann, 1987. Electromagnetic theory for geophysical applications. In M. N. Nabighian, *Electromagnetic methods in applied geophysics, Vol. 1 – Theory* (Vol. 3, pp. 131–311.). Tulsa: SEG.