

PREDIKSI CADANGAN AIR TANAH DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) CISADANE

(Prediction of Groundwater Storage in Cisadane Watershed)

Dimas Ardi Prasetya^{1*}, Roh Santoso Budi Waspodo², Satyanto Krido Saptomo³

^{1,2,3} Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, PO BOX 220, Bogor, Jawa Barat Indonesia

Penulis korespondensi: Dimas Ardi Prasetya. Email: dimas.arpras@gmail.com

Diterima: 1 Februari 2016

Disetujui: 15 Juli 2016

ABSTRACT

Water is very important for human beings. Sources of fresh water that can be used are only 3% of the total water availability on earth, and 12% from that quantity are sources of groundwater. Groundwater is one of the water resources that is very important serve human needs, such as domestic, agriculture or industry. Geo-electric is one of methods for groundwater investigation. The purposes of this research are to identify lithology of soil layer and thickness of aquifer position on research location, to determine hydraulic soil conductivity value, and to predict the groundwater reserve potential in Cisadane Watershed. This research was conducted in several steps, such as collected and analysis data. The processed data was the secondary geo-electrical data with schlumberger method. Calculation of groundwater storage was performed by using geo-electric and Darcy's law approach. Aquifer thickness layer was obtained from the average content of aquifer layer on research location, so it might represent the thickness of the aquifer. From the calculation result, it was obtained that the predicted groundwater storage was about 2.46 m³/second and 8.64 m³/second confined aquifer respectively.

Key words: aquifer, Cisadane watershed, geo-electric, groundwater, hydraulic conductivity

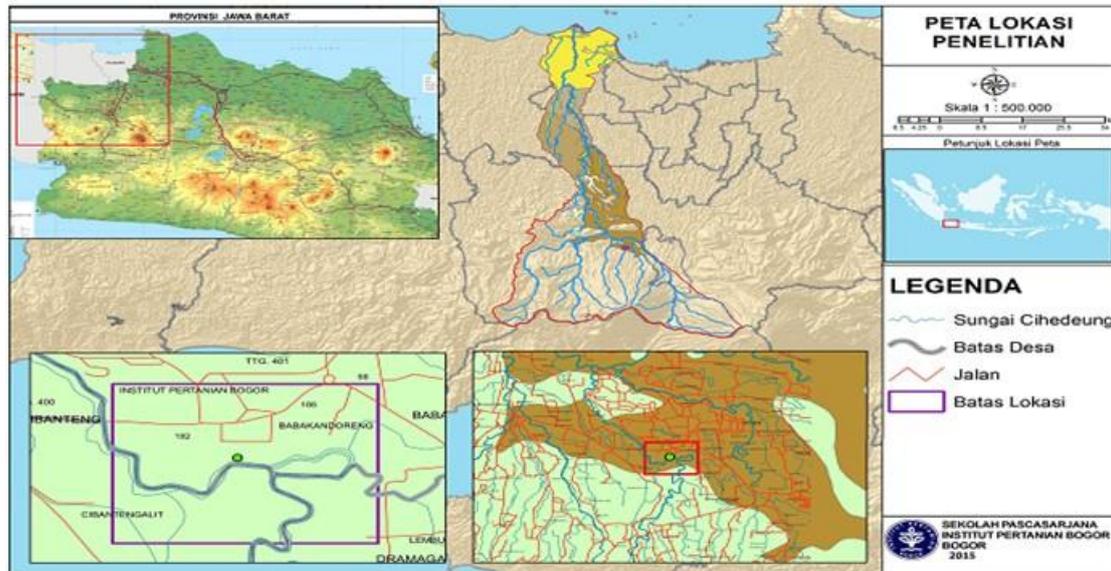
PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan pokok manusia untuk melangsungkan kehidupan dan kesejahteraan. Jumlah air bersih yang bersumber dari air tanah maupun mata air khususnya di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cisadane terus meningkat. Untuk itu diperlukan kajian geologi-hidrogeologi sumber air tanah untuk menunjang berbagai kegiatan sesuai kondisi lingkungan setempat. Kebutuhan air bersih merupakan kebutuhan pokok yang tidak dapat diganti dan ditinggalkan oleh sebab itu pengolahan dan pelestarian air merupakan hal yang mutlak diperlukan (Putranto dan Kusuma, 2009).

Air bersih merupakan kebutuhan dasar bagi hajat hidup manusia. Jenis air yang paling aman dikonsumsi manusia

adalah air tanah. Air tanah merupakan salah satu sumber daya air yang sangat penting dalam mencukupi kebutuhan manusia, baik untuk kebutuhan domestik maupun industri (Kirsch, 2009 dalam Waspodo, 2002). Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, maka kebutuhan air minum juga semakin meningkat. Peningkatan kebutuhan air tersebut tidak diiringi dengan ketersediaan air baku yang memadai, sehingga diperlukan perhitungan ketersediaan sumberdaya air.

Kota di kawasan Daerah Aliran Sungai Cisadane adalah kota yang saat ini menuju pada profile kota metropolitan, dikarenakan lokasi yang dekat dengan Ibukota Indonesia Jakarta, maka pertumbuhan jasa dan perdagangan di kawasan kota ini menunjukkan trend positif



Gambar 1 Lokasi Penelitian

maka pembangunan gedung-gedung perkantoran, perhotelan, apartemen, dan property semakin meningkat sehingga kebutuhan air tanah juga akan meningkat. Dengan memperhatikan dinamika pertumbuhan pembangunan dewasa ini, maka dipandang perlu untuk melakukan kajian hidrogeologi untuk mengetahui potensi cadangan air tanah di Bogor. Untuk menentukan potensi cadangan air tanah, salah satunya adalah dengan menggunakan geolistrik.

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk: (1) Mengetahui kondisi hidrogeologi dan karakteristik akuifer di DAS Cisadane. (2) Mengetahui kondisi Geologi DAS Cisadane secara umum dan (3) Menghitung potensi cadangan air tanah di DAS Cisadane.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan di DAS Cisadane dari hulu sampai hilir. Lokasi penelitian meliputi wilayah Tangerang, Bogor dan Jakarta. Penelitian dilakukan dari September sampai November 2014. Gambar 1 merupakan salah satu pengambilan data di lokasi pengukuran

Perlengkapan yang diperlukan terdiri atas :Geolistrik Earth Resitivity

meter type SAZ 3000 G100, seperangkat komputer beserta perlengkapannya berupa software Progress Version 3.0, GIS 10.0, surfer 10.0., kabel sepanjang 500 m sebanyak empat unit untuk elektroda arus, kabel sepanjang 300 m sebanyak empat unit untuk elektroda potensial, elektoda arus sebanyak dua unit elektroda arus dan dua elektroda potensial, palu sebanyak empat unit untuk menancapkan elektroda ketanah, AVO meter empat unit, alat komunikasi sebanyak 3 unit dan GPS

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain Peta topografi, geologi, hidrogeologi, dan peta DAS Cisadane.

Penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahapan. Tahapan yang dilakukan terdiri atas tahapan pengumpulan data sekunder dan pengumpulan data primer.

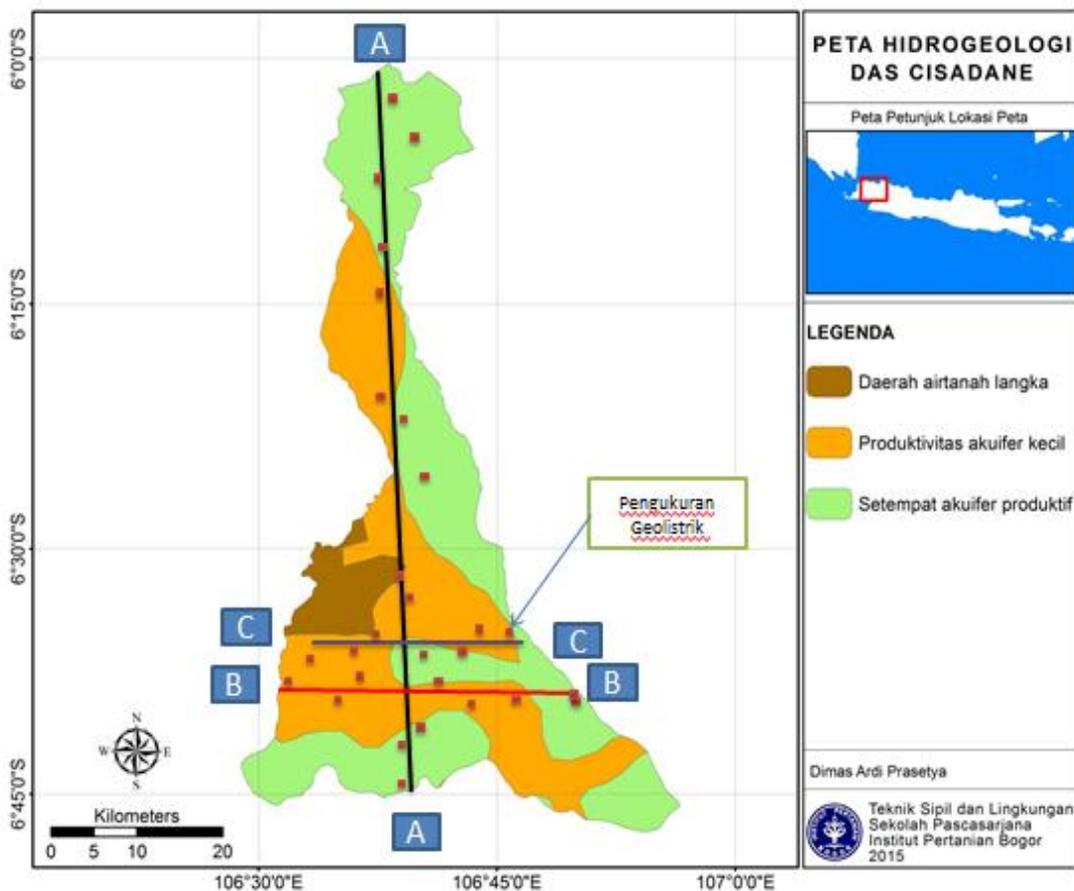
Pengumpulan data sekunder umumnya berupa peta-peta yang dibutuhkan. Peta topografi, geologi, hidrogeologi, dan peta DAS Cisadane di overlay dengan peta geologi sehingga dapat diketahui batas DAS Cilwung secara geologi, hidrogeologi. Selain itu digunakan juga data-data dari kajian borlog (penafsiran litologi) yang sudah ada.

Pengumpulan data primer merupakan data pengukuran geolistrik dengan seperangkat perlengkapannya, data geolistrik berupa borlog DAS Cisadane, kurva vertical electrical sounding (VES), serta nilai resistivitas. Borlog DAS Cisadane berisi data litologi lapisan tanah yang dapat digunakan dalam mengetahui keberadaan akuifer pada suatu lapisan tanah dan dapat mengetahui ketebalan akuifer pada tiap titik penelitian. Gambar 2 merupakan titik lokasi pengukuran geolistrik. Titik pengukuran yang dilakukan sebanyak 31 titik untuk

3.0. Melalui pengolahan tersebut, maka akan didapatkan ketebalan akuifer di lokasi penyelidikan. Ketebalan akuifer dapat dilihat berdasarkan besarnya tahanan jenis setelah tahap pengolahan diatas.

Setelah tahanan jenis dihitung, maka dapat diketahui jenis tanah penyusun lapisan tersebut. Akuifer pada suatu lapisan terdapat pada lapisan berpasir atau *porous*. Dengan mengetahui ketebalan akuifer, maka dapat diketahui pola sebaran akuifer di DAS Cisadane.

Analisis data meliputi analisis penentuan faktor geometri dengan



Gambar 2 Titik Pengukuran Geolistrik

menentukan ketebalan akuifer yang mewakili kondisi hidrogeologi DAS Cisadane.

Analisis data meliputi analisis penentuan faktor geometri untuk mendapatkan tahanan semu (*apparent resistivity*) yang nantinya akan diolah menggunakan *software progress version*

menggunakan persamaan berikut :

$$\Omega_a = \left\{ (AB/2)^2 - (MN/2)^2 \right\} / MN \times \Delta V / I \quad (1)$$

dimana :

Ω_a = Tahanan jenis semu dalam satuan Ohm- meter.

AB = Jarak antara dua elektrode arus dalam satuan meter.

- MN = Jarak antara dua elektrode potensial dalam satuan meter.
 V = Perbedaan potensial dalam satuan volt atau milivolt.
 I = Kuat arus yang dialirkan dalam satuan ampere atau mA.

Setelah nilai resistivitas dihitung, maka dapat diketahui lapisan batuan tersebut. Akuisisi data geolistrik pada penelitian ini menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software (progress version 3.0)*. Hasil pengolahan akan dipadukan dengan peta geologi dan hidrogeologi.

Dengan mengetahui litologi lapisan tanah maka dapat diduga sebaran dan ketebalan lapisan akuifer di lokasi penelitian. Air tanah biasanya terdapat pada lapisan akuifer yang memiliki ciri-ciri tersusun atas batuan pasir.

Analisis air tanah dalam akuifer berasal dari air infiltrasi. Aliran air tanah dari akuifer berasal dari bagian hulu ke hilir. Setiap batuan memiliki kemampuan yang berbeda-beda untuk meloloskan air sehingga pergerakan air tanah juga dipengaruhi oleh kondisi batuan yang ada di dalam tanah. Salah satu parameter yang digunakan dalam perhitungan debit air dengan persamaan *Darcy (Pers. 2)* adalah konduktivitas hidrolik. Konduktivitas hidrolik (K) sering disebut juga sebagai permeabilitas atau koefisien permeabilitas. Konduktivitas hidrolik merupakan tingkat dimana air tanah mengalir melalui satuan luas akuifer atau akuitar di bawah gradien unit hidrolik.

Pola sebaran air tanah dianalisis menggunakan *software Surfer 10* dengan menggunakan metode *kriging* sehingga didapatkan kontur tanah dan *flownet* (aliran air tanah). Aliran air tanah berfungsi untuk menunjukkan arah air mengalir. Penentuan batasan DAS dianalisis dengan bantuan *software GIS 10.0* dan dikombinasikan dengan peta hidrogeologi dan geologi

untuk mendapatkan gambaran peta cakupan DAS dalam penentuan prediksi cadangan air tanah di DAS Cisadane.

Persamaan Darcy (Pers. 2) digunakan dalam proses analisis data untuk menduga cadangan air tanah baik pada akuifer bebas maupun akuifer tertekan. Parameter yang digunakan untuk mengisi persamaan tersebut adalah konduktivitas hidrolik, gradien hidrolik serta luas penampang akuifer. Luas penampang akuifer dihitung dengan persamaan 4 dengan mengalikan nilai panjang penampang akuifer (W) dengan ketebalan akuifer (b). Gradien hidrolik dapat diperoleh dengan membagi beda kedalaman muka air tanah dengan panjang lintasan air tanah. Berdasarkan Todd dan Mays (2005) nilai debit dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = K \times A \times \frac{\delta h}{\delta L} \quad (2)$$

dimana :

$$i = \frac{\delta h}{\delta L} \quad (3)$$

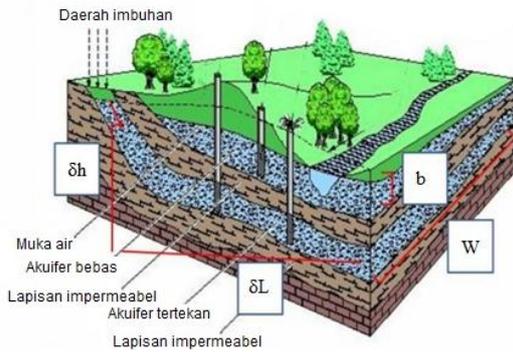
$$A = W \times b_{\text{akuifer}} \quad (4)$$

sehingga,

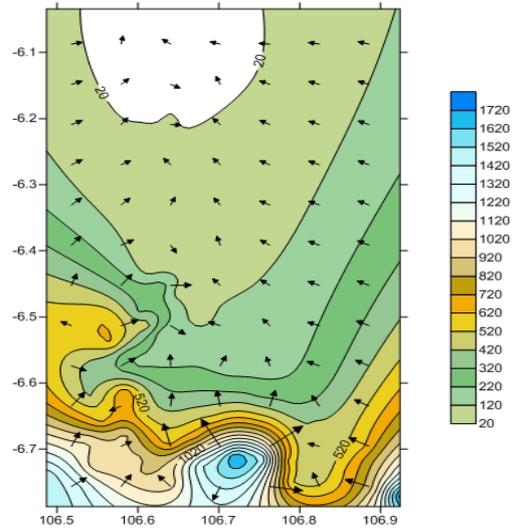
$$Q = K \times W \times b_{\text{akuifer}} \times \frac{\delta h}{\delta L} \quad (5)$$

dimana:

- Q = Debit, m³/hari
 A = Luas penampang akuifer, m²
 W = Panjang penampang akuifer, m
 b_{akuifer} = ketebalan akuifer, m
 K = Konduktivitas Hidrolik, m/hari
 i = Gradien hidrolik
 δh = Beda kedalaman muka air tanah, m
 δL = Panjang lintasan air tanah, m



Gambar 3 Aplikasi persamaan Darcy di lapangan (Kusnandar, 2012)

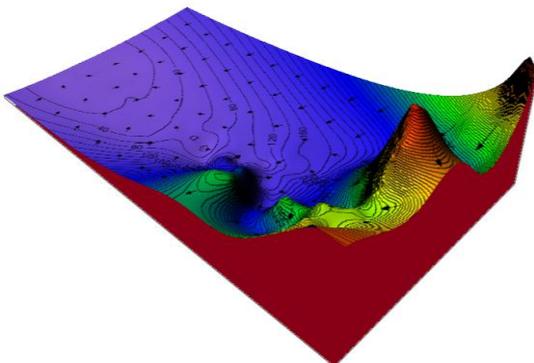


Gambar 5 Flownet 3 dimensi pada DAS Cisadane

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendugaan flownet

Garis aliran (*flownet*) ditujukan untuk mengetahui arah pergerakan air tanah. Dengan mengetahui pergerakan air tanah, maka area penampang akuifer dari pergerakan air tanah tersebut dapat diketahui. Penampang akuifer (W) adalah salah satu parameter yang diperlukan dalam pengukuran cadangan air tanah dengan menggunakan persamaan Darcy (*Pers. 2*). Data berupa koordinat dan elevasi merupakan data yang diperlukan untuk membuat *flownet* dengan bantuan *software surfer version 10*. Hasil pengolahan program disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4 Flownet 2 dimensi pada DAS Cisadane

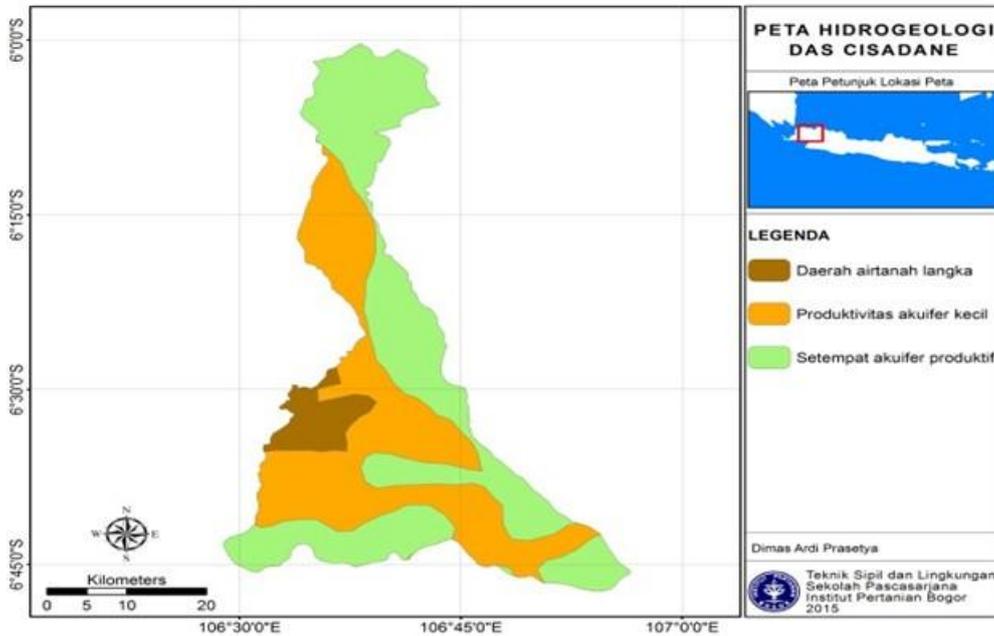
Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa aliran air tanah diprediksi mengalir dari arah Selatan ke Utara. Bagian Selatan merupakan daerah resapan air (*recharge area*) yang berfungsi sebagai daerah tangkapan hujan, sedangkan daerah utara merupakan daerah tangkapan air (*discharge area*). Hal ini ditunjukkan pada arah aliran air yang mengalir dari elevasi tinggi ke elevasi yang lebih rendah.

Terdapat cekungan pada beberapa bagian, cekungan itu merupakan wadah atau tempat berkumpulnya air tanah yang dikenal dengan Cekungan Air tanah. Cekungan air tanah di lokasi penelitian merupakan kondisi akuifer setempat yang cukup tebal dan memungkinkan terjadinya berkumpulnya air tanah. Daerah Aliran Sungai lebih dikenal sebagai daerah yang memanfaatkan potensi air tanah karena daerahnya relatif banyak yang tidak bertopografi tinggi.

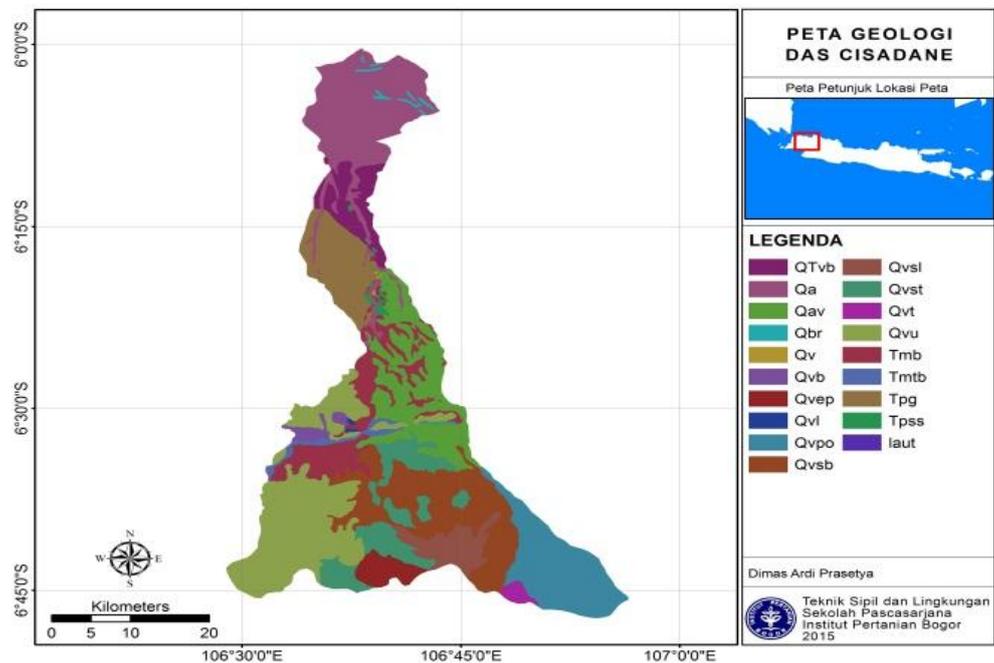
Analisis geologi dan hidrogeologi

Peta geologi dan hidrogeologi yang diolah menggunakan *software GIS 10.0* menunjukkan gambaran kondisi jenis isi batuan di lokasi penelitian. Peta geologi

dan hidrogeologi hasil pengolahan dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. didominasi dengan struktur batuan dengan kondisi akuifer produktif kecil di beberapa



Gambar 6 Peta Hidrogeologi



Gambar 7 Peta Geologi

Pada Gambar 6 terlihat hanya sedikit luasan dari cakupan DAS yang tergolong dalam daerah yang memiliki air tanah langka. Secara umum DAS Cisadane

wilayah dan struktur batuan cukup besar didominasi oleh akuifer produktif untuk kawasan Tangerang dan Bogor.

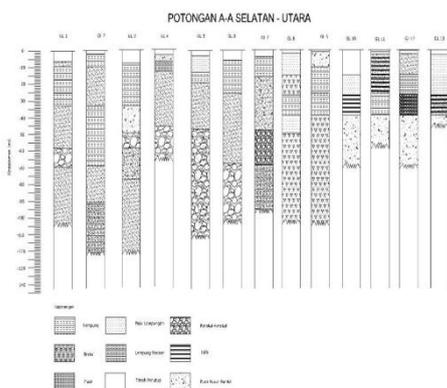
Berdasarkan peta hidrogeologi akuifer di DAS Cisadane terdiri dari komposisi pasir lempungan dan lempung pasiran.

Gambar 7 menunjukkan bahwa formasi geologi yang terdapat di DAS Cisadane didominasi dari Qa, Qav, Tmb, Tpg, Tpss, QTvb, Qv, Qvas yang pada umumnya mengandung pasir dan tufa. Kondisi tersebut memungkinkan terjadinya pergerakan air di dalam tanah. Qa merupakan alluvium yang terdiri dari lempung, kerikil, terutama endapan sungai termasuk pasir dan kerikil endapan pantai sepanjang Teluk Pelabuhanratu. Qav merupakan kipas aluvial yang terdiri dari endapan batu pasir, kerikil dan kerakal dari batuan gunung api kuartar yang diendapkan kembali sebagai kipas aluvium. Tmb merupakan tufa dan breksi yang terdiri dari breksi, lempung dan batu pasir. Tpg merupakan formasi genteng yang didominasi oleh pasir tufaan, batu pasir dan batu lempung tufaan. Tpss merupakan formasi serpong yang terdiri dari tufa, batu pasir, breksi andesit dan batu lempung. QTvb merupakan Tufa Banten yang banyak didominasi oleh tufa dan batu pasir. Qv merupakan batu gunung api muda yang terdiri dari breksi, lahar, tufa. Qvas merupakan andesit gunung sudamanik yang banyak didominasi oleh pasir.

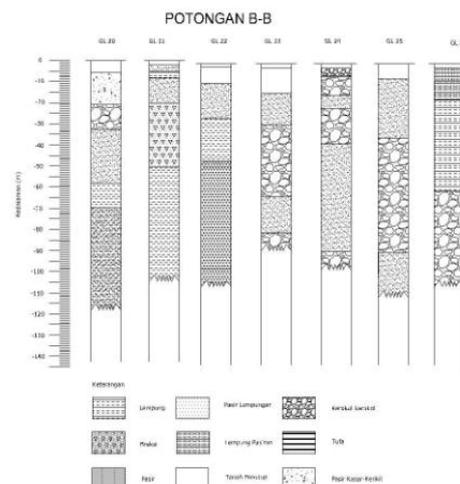
Karakteristik akuifer di lokasi penelitian

Interpretasi data geolistrik dilakukan untuk mengetahui penampang vertikal lapisan tanah. Penampang vertikal lapisan tanah sering disebut sebagai *borlog* atau diagram pagar. *Borlog* dapat mengukur ketebalan akuifer dan kedalaman akuifer di daerah pengukuran. Berdasarkan data kedalaman akuifer, ketebalan akuifer, dan data *borlog*, maka akuifer bebas dan akuifer tertekan dapat diketahui sebagai berikut:

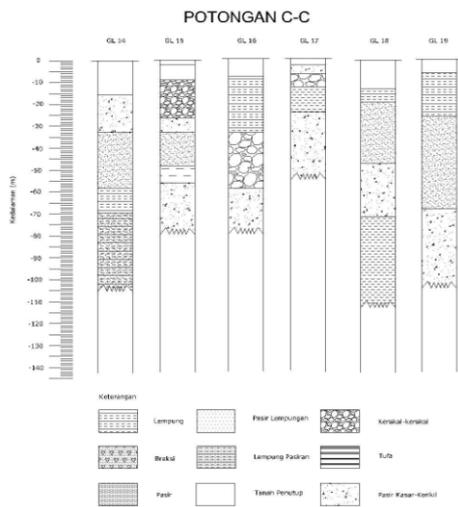
1. **Akuifer bebas (*unconfined aquifer*)**
 Akuifer bebas didominasi oleh pasir, pasir kasar. Batas atas lapisan tersebut dapat ditemui pada kedalaman kisaran antara 2 - 9.2 meter bmt. Lapisan ketebalan akuifer berkisar 6–71 meter. Nilai konduktivitas hidrolis pada akuifer bebas bernilai 2.5–45 m/hari.
2. **Akuifer tertekan (*confined aquifer*)**
 Akuifer didominasi oleh pasir, lempung pasiran dan pasir kasar. Batas atas lapisan tersebut dapat ditemui pada kedalaman antara 30.2–68.83 meter bmt. Lapisan ketebalan akuifer berkisar 11–70 meter. Nilai konduktivitas hidrolis pada akuifer tertekan bernilai



Gambar 8 *Borlog* Selatan-Utara



Gambar 9 *Borlog* penampang B-B



Gambar 10 Borlog Penampang C-C

2.5–150 meter/hari. Beberapa tempat tidak memiliki akuifer produktif sehingga tidak banyak dijumpai air tanah dalam.

Prediksi Cadangan Air tanah

Akuifer merupakan suatu lapisan yang dapat meloloskan air yang berada

dari lapisan kedap air (biasanya tanah liat atau batuan keras).

Hasil dari data geolistrik yang diolah menggunakan *software progress version 3.0* didapatkan gambar borlog sebagai berikut yang disajikan pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10. Sedangkan gambar perkiraan arah letak air tanah pada penampang melintang dari selatan ke utara, ditunjukkan pada Gambar 11.

Tabel 1 merupakan nilai parameter persamaan Darcy. Panjang lintasan air tanah dan panjang penampang akuifer diperoleh dengan menggunakan Gambar 6. Ketebalan lapisan akuifer diperoleh dari hasil rata-rata kandungan lapisan akuifer di titik lokasi penelitian, sehingga dapat mewakili ketebalan akuifer yang ada. Untuk memperoleh nilai debit dengan menggunakan persamaan Darcy dibutuhkan nilai luas penampang akuifer, dimana luas akuifer diperoleh dengan mengalikan ketebalan lapisan akuifer dengan panjang penampang akuifer.

Tabel 1 Nilai parameter persamaan Darcy

Parameter	Akuifer Dangkal	Akuifer Dalam	Satuan
Konduktivitas hidrolik (<i>K</i>)	19	52	m/hari
Ketebalan lapisan (<i>b</i>)	30	38	m
Panjang penampang akuifer (<i>W</i>)	30 470	43 800	m
Beda kedalaman muka air tanah (δh)	1252	880	m
Panjang lintasan air tanah (δL)	102 800	102 800	m

pada tanah (Kodoatie & Sjarief, 2008 & 2012). Akuifer dibedakan menjadi akuifer bebas (*unconfined aquifer*), akuifer tertekan (*confined aquifer*). Akuifer bebas merupakan akuifer air tanah dangkal yang mempunyai lapisan dasar kedap air, tetapi bagian atas muka air tidak kedap air, sehingga kandungan air tanah bertekanan sama dengan tekanan udara bebas/atmosfir. Akuifer tertekan adalah akuifer yang memiliki tekanan air tanah yang lebih besar dari tekanan udara bebas/tekanan atmosfir, karena bagian bawah dan atas dari akuifer ini tersusun

Tabel 2 merupakan pengukuran potensi cadangan air tanah dengan menggunakan persamaan Darcy, diperoleh nilai cadangan air tanah pada DAS Cisadane untuk air tanah dangkal sebesar 2.46 m³/detik dan air tanah dalam sebesar 8.64 m³/detik. Penggunaan air tanah secara berlebihan dapat menyebabkan berbagai dampak negatif. Penggunaan air tanah menurut pemantauan Balai Pengelolaan Sumber Daya Air DAS Cisadane tergolong dalam zona kritis karena memanfaatkan potensi air tanah secara berlebihan.

Tabel 2 Nilai prediksi cadangan air tanah

Jenis Akuifer	Prediksi Potensi Cadangan Air Tanah (m ³ /hari)	Prediksi Potensi Cadangan Air Tanah (m ³ /detik)
Akuifer Dangkal	212 265.64	2.46
Akuifer Dalam	746 227.59	8.64

Dampak negatif yang dapat muncul akibat eksploitasi air tanah ialah penurunan muka air, tanah, intrusi air laut di wilayah pantai, dan menurunnya kualitas air tanah. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan terdapat ketidakseimbangan antara daerah imbuhan dengan daerah lepasan, bertambahnya zona air tanah kritis, dan banyaknya sumur tak berizin (Saputra, 2015).

Ketidakseimbangan antara daerah imbuhan dengan daerah lepasan terjadi karena kebutuhan air tanah semakin besar dan air permukaan belum dapat memainkan peran sebagai sumber utama suplai air, terjadinya perubahan fungsi daerah imbuhan, dan maraknya pencurian air tanah menyebabkan volume air yang masuk dan keluar tidak seimbang.

KESIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil adalah (1) formasi geologi yang terdapat di DAS Cisadane didominasi oleh Qa, Qav, Tmb, Tpg, Tps, QTvb, Qv, Qvas yang pada umumnya mengandung pasir dan tufa. (2) Kondisi hidrogeologi banyak didominasi akuifer produktif kecil.

Lapisan ketebalan akuifer dangkal berkisar 6–71 meter dan lapisan ketebalan akuifer dalam berkisar 11–70 meter. (3) Prediksi cadangan air tanah dangkal dan dalam didapatkan menggunakan *persamaan Darcy* sebesar 2.46 m³/detik dan 8.64 m³/detik.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Salamah, I.S., Ghazw, Y.M., Ghumam, A.R., 2011. Groundwater Modeling of Sag Aquifer Buraydah Al

Qassim for Better Water Management Strategis. Environ Monit Assess. 173, 851-860.
 Anomohanran, O. 2013. Geophysical Investigation of Groundwater Potensial in Ukelegbe, Nigeria. Journal of Applied Sciences. 119-125.
 Asra A. 2012. Penentuan Sebaran Akuifer dengan Metode Tahanan Jenis (Resistivity Method) di Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten. Skripsi. IPB.
 Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W.1988. *Applied Hydrology*. Mc Graw-Hill, New York, 175 – 198.
 Djijono. 2002. *Intrusi Air Laut pada Airbumi Dangkal di Wilayah DKI Jakarta*. Tesis. Program Pascasarjana, IPB, Bogor.
 Kusnandar, H.2011.Prediksi Potensi Cadangan Air tanah Menggunakan *Persamaan Darcy* di Kota Tangerang Selatan, Propinsi Banten. Skripsi,IPB.,Bogor.
 Fetter, C. W., 1994. *Applied Hydrogeology*. 3rd ed. Prentice Hall, Englewood Cliffd, New Jersey.
 Irawan P. 2012. Potensi Cadangan Air tanah di DAS Ciliwung.Tesis. IPB
 Kirsch R. 2009. Groundwater Geophysics a Tool for Hydrogeology. 3th Ed. Berlin (DE). Springer
 Kodoatie, R.J. dan Sjarief, R. 2008. Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu. Edisi Revisi. Penerbit Andi, Yogyakarta.

- Kodoatie, R.J. 2012. Tata Ruang Air tanah. Yogyakarta. Andi Offset
- Leonard. I. N., Anthony S.E., Cyril N.N., 2013. Geoelectric Survey for Mapping Groundwater Flow Pattern in Okigwe District, Southeastern Nigeria. *British Journal of Applied Science & Technology*. 482-500.
- Mays, L.W., 2001. Storm Water Collection Systems Design Handbook. Editor in Chief. McGraw Hill.
- Mutowal W. 2008. Penentuan Sebaran Akuifer dan Pola Aliran Air tanah Dengan Metode Tahanan Jenis (Resitivity Method) Di Desa Cisalak, Kecamatan Sukmajaya Kota Depok, Provinsi Jawa Barat [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Prasetya D.A., 2013. Prediksi Potensi Cadangan Air tanah Di Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten. Skripsi. IPB
- Putranto, T.T., Kusuma, K.I. 2009. Permasalahan Air tanah pada Daerah Urban. *Jurnal Teknik* 30(1): 48-57
- Saputra, R. 2015. Prediksi Cadangan Air tanah Pada Cekungan Air tanah Bogor, Jawa Barat. Skripsi., IPB
- Todd, D.K., 1959. *Groundwater Hydrology*. 1st ed., New York, John Wiley.
- Todd, D.K., 1980. *Groundwater Hydrology*. 2nd . John Wiley & Sons, New York.
- Todd, D.K., 2005. *Groundwater Hydrology*. 3rd . John Wiley & Sons, New York
- Todd, D.K. and Mays, L.W., 2005. *Groundwater Hydrology*. 3rd edition. John Wiley & Sons, Inc
- UU No. 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang.
- UU No. 7 Tahun 2004 Tentang Sumber Daya Air.
- Wasposito R.S.B., 2002. Investigasi Air tanah Melalui Geolistrik di Darmaga, Bogor. *Buletin Keteknikan Pertanian*. 16(1)
- Wasposito R.S.B., 2002. Permodelan Aliran Air tanah pada Akuifer Tertekan dengan Menggunakan Metode Beda Hingga (*Finite Differnce Method*) di Kecamatan Kertajati, Kabupaten Majalengka, Bogor. *Buletin Keteknikan Pertanian*. 16(2):61-68