



## Kajian Potensi Air Tanah pada Formasi Vulkanik di Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah

### Study of Groundwater Potential in Volcanic Formation in Prambanan District, Klaten Regency, Central Java

SEPTIAN VIENASTRA<sup>1</sup>, ERIK FEBRIARTA<sup>2,4\*</sup>, GILANG ARYA DIPAYANA<sup>2,3</sup>, ZULFAHMI SITOMPUL<sup>2</sup>, AJENG LARASATI<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta

<sup>2</sup>Magister Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

<sup>3</sup>Sinar Mas Agro Resources and Technology (SMART), Plaza Sinar Mas Land, Jakarta

<sup>4</sup>Palawa Karya, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

\*e.febriarta@gmail.com

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 8 February 2021

Accepted 24 June 2022

Published 31 July 2022

##### Keywords:

Aquifers  
Discharge  
Groundwater  
Permeability  
Resistivity  
Transmissivity

#### ABSTRACT

The presence of groundwater in volcanic rock formations is generally found in aquifer lithology in the form of loose deposits. The groundwater potential can be obtained by using the resistivity data approach. The purpose of this study was to determine the potential of aquifer parameters in volcanic formations on the middle slope of Mount Merapi in Prambanan District, Klaten Regency. The characteristics and thickness of the aquifer lithology can be determined by using the resistivity data approach which is correlated with rock material. Potential groundwater aquifer parameters were obtained from pump test measurements to determine the value of transmissivity (T) and value of permeability (K). The resistivity value is measured with a value range of 3 –75 ohm m which is interpreted by the aquifer lithology of loose material in the form of sand with fine to coarse grain sizes. The average thickness of the aquifer lithology is 80 m with free aquifer properties. Potential aquifer parameters in the form of transmissivity (T) of 330.6 m<sup>2</sup>/day and the value of permeability (K) of 8.03 m/day with an average aquifer thickness of 10 m. This value belongs to the category of high aquifer productivity potential

#### INFORMASI ARTIKEL

##### Histori artikel:

Diterima 8 Februari 2021

Disetujui 24 Juni 2022

Diterbitkan 31 Juli 2022

##### Kata kunci:

Air tanah  
Akuifer  
Permeabilitas  
Resistivitas  
Transmisivitas

#### ABSTRAK

Ketersediaan air tanah pada formasi vulkanik secara umum terdapat di litologi akuifer berupa endapan lepas-lepas. Potensi air tanah tersebut dapat diperoleh dengan pendekatan data resistivitas. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui potensi parameter akuifer pada formasi vulkanik di lereng tengah Gunung Merapi di Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten. Untuk mengetahui karakteristik dan tebal litologi akuifer menggunakan pendekatan data resistivitas yang dikorelasikan dengan material batuan. Potensi parameter akuifer air tanah diperoleh dari pengukuran uji pompa untuk mengetahui Nilai transmisivitas/keterusan (T) dan nilai permeabilitas/kelulusan (K). Nilai resistivitas terukur dengan rentang nilai 35–75 ohm m yang diinterpretasikan dengan litologi akuifer material lepas-lepas berupa pasir dengan ukuran butir halus hingga kasar. Ketebalan rata-rata litologi akuifer sebesar 80 m dengan sifat akuifer bebas. Potensi parameter akuifer berupa nilai transmisivitas/keterusan (T) sebesar 330,6 m<sup>2</sup>/hari dan nilai permeabilitas/kelulusan (K) sebesar 8,03 m/hari dengan ketebalan akuifer rata-rata 10 m. Nilai tersebut termasuk pada kategori potensi produktivitas akuifer tinggi.

## 1. PENDAHULUAN

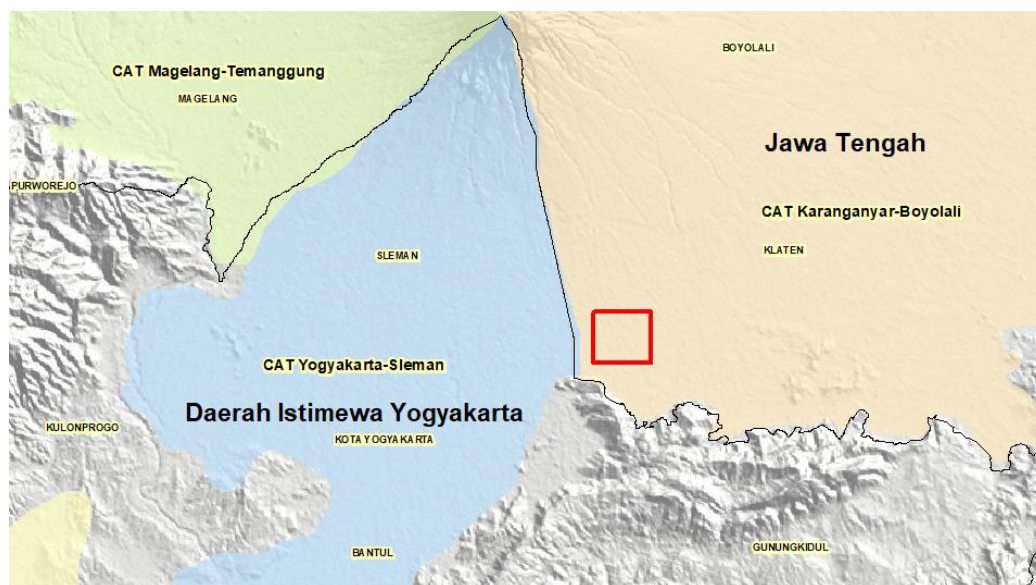
### 1.1 Latar Belakang

Air tanah merupakan seluruh air yang di bawah yang dibatasi oleh lapisan kedap atau lapisan tanah pada zona jenuh air (BSN, 2005). Keterdapatan air tanah berada pada media antar butir batuan (Fetter, 2014). Distribusi keterdapatan air tanah sangat dipengaruhi oleh media material atau batuan, di mana volume air yang mengalir dari suatu unit luas penampang atau disebut dengan porositas efektif atau *specific yield* (*Sy*) (Mimikou *et al.*, 2018). Potensi air tanah yang tinggi dipengaruhi oleh nilai porositas yang relatif besar (Todd & Mays, 2005). Material penyusun dengan rongga antar butir kecil atau halus seperti material pasir dengan ukuran butir halus mempunyai kemampuan menyimpan air yang relatif sedikit dibanding dengan ukuran butir yang semakin besar seperti pasir kasar hingga ukuran krakal (Febriarta & Purnama, 2020; Singhal & Gupta, 2010). Distribusi keterdapatan air tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi batuan dan potensi porositas (Ungureanu *et al.*, 2017).

Daerah yang mempunyai potensi air tanah yang tinggi terdapat pada penyusun batuan endapan lepas-lepas berupa pasiran (Acworth, 2019). Lereng kaki Gunung Merapi mempunyai kenampakan morfologi bergelombang dengan kondisi topografi landai hingga datar. Kondisi penyusun

formasi geologi merupakan bagian dari formasi batuan Gunung Merapi (Qvm) dengan umur batuan Holosen. Formasi batuan Gunung Merapi terdiri atas breksi gunung api, lava, tuf, dan terutama andesit. Formasi batuan tersebut termasuk material penyusun batuan padu/padat/pejal/utuh/kuat/kompak/sudah bercampur dan masif (PATGTL, 2015a).

Sifat penyusun batuan padu tersebut termasuk katagori dengan batuan gunung api tak terpisahkan (PATGTL, 2015a; PSG, 2018). Air yang bersumber dari daerah tangkapan bentukan vulkanik memiliki sumber daya yang besar, memiliki kuantitas dan kualitas yang baik. Berdasarkan sifat hidrogeologi tersebut, berada pada produktivitas akuifer dengan penyebaran luas dengan sifat keterusan akuifer keterusan sedang hingga tinggi, kondisi tinggi pisometri atau kedudukan (kedalaman) muka air tanah dangkal dari permukaan tanah dengan potensi debit berkisar 5-10 l/detik (Febriarta & Larasati, 2020; PATGTL, 2015b). Nilai rentang potensi debit tersebut termasuk ke dalam katagori debit sedang (PATGTL, 2015b). Secara geometri cekungan air tanah (CAT), lereng kaki Gunung Merapi berada di sebagian dari cekungan air tanah (CAT) Karanganyar-Boyolali dan CAT Yogyakarta-Sleman (Gambar 1) dengan potensi produktifitas tinggi (PATGTL, 2018).



Gambar 1. Lokasi kajian berada di CAT Karanganyar-Boyolali

Penyelidikan potensi air tanah dapat diketahui dari aplikasi terapan geofisika dari sifat fisika berupa elektrik dari pengukuran nilai resistivitas terhadap batuan (Telford *et al.*, 1990). Pendekatan nilai resistivitas dapat digunakan dalam penyelidikan eksplorasi air tanah, eksplorasi deposit mineral hingga jumlah besar, investigasi konstruksi hingga investigasi arkeologi (Milsom, 2003). Sifat fisika yang diterapkan dalam interpretasi air tanah adalah dari persamaan nilai resistivitas hasil pengukuran di lapangan kemudian dikorelasikan dengan persamaan nilai resistivitas batuan (Febriarta *et al.*, 2020; Lowrie & William, 2007). Berdasarkan sifat penyusun tersebut kemudian diinterpretasikan sifat keterdapatan air dari sifat porositas

batuan (Singhal & Gupta, 2010). Interpretasi geometri penyusun batuan dapat memberikan informasi karakteristik akuifer air tanah (Rathinasamy *et al.*, 2019). Informasi penyusun batuan hasil geolistrik atau pengukuran nilai resistivitas dengan pendekatan informasi hidrogeologi dapat memberikan kondisi potensi sumber daya air tanah (Febriarta & Shofarini, 2021; Wicaksono *et al.*, 2020). Berdasarkan latar belakang tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi air tanah (akuifer) pada formasi batuan Gunung Merapi (Qvm) atau formasi tidak terpisahkan pada sebagian lereng kaki Gunung Merapi yang terdiri atas geometri keterdapatan air tanah dan potensi parameter akuifer yaitu kedudukan air tanah dan

potensi debit air tanah di Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah.

**1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah identifikasi ketersediaan air tanah dengan menggunakan pendekatan resistivitas terhadap batuan dengan metode geolistrik *vertical electrical sounding* (VES) untuk mendapatkan informasi susunan batuan dengan kedalaman maksimal dan mengetahui potensi air tanah dengan pengukuran uji pompa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi dasar ketersediaan air tanah dan dapat digunakan sebagai dasar pengelolaan air tanah.

**2. METODE**

**2.1 Metode Interpretasi Air Tanah dengan Analisis Data Resistivitas (Geolistrik)**

Tahapan perhitungan potensi air tanah (akuifer) dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu: pengukuran geolistrik untuk mendapatkan nilai resistivitas, koreksi data pengukuran dengan *matching curve* dan interpretasi penyusun batuan di bawah permukaan tanah. Data resistivitas diperoleh dari pengukuran geolistrik dengan pendekatan rambatan atau mengalirkan listrik ke dalam bumi. Parameter yang diukur dari pengukuran ini adalah nilai resistivitas dari sifat fisika konduktivitas elektrik (Sharp, 2007). Metode pengukuran menggunakan pendekatan *vertical electrical sounding* (VES) dengan konfigurasi listrik yang di alirkan kedalam tanah adalah konfigurasi Schlumberger. Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) dengan konfigurasi Schlumberger dapat memberikan informasi komposisi penyusun lapisan batuan dan kedudukan kedalaman atau tebal material dari nilai resistivitas dan memiliki keunggulan penetrasi aliran elektrik paling baik untuk sifat batuan, sehingga dapat mendapatkan pengukuran yang dalam (Mepaiyeda et al., 2020).

Konfigurasi arus potensial untuk mengalirkan listrik ke dalam bumi, menggunakan bentangan (AB/2) dengan panjang 200 m. Metode pengukuran *vertical electrical sounding* (VES) menggunakan dua (2) pasang elektoda arus (AB) dan dua (2) pasang elektoda potensial (MN). Konfigurasi Schlumberger menggunakan elektoda arus (AB) untuk nilai daya voltase (V) dan menggunakan elektoda potensial (MN) untuk nilai arus yang diterima (I), secara logaritmik dan nilai elektoda potensial (MN) relatif tetap (BSN, 2012). Dengan pendekatan total bentangan (AB) sepanjang 200 m diasumsikan dapat mencitrakan (*sounding*) kedalaman penyusun batuan sedalam tiga perempat (3/4) dari panjang rentangan elektoda arus (AB), dengan estimasi kedalaman yang dapat diketahui sedalam 100-150 m (Milsom, 2003). Untuk mendapatkan nilai tersebut menggunakan pendekatan rumus resistivitas semu (BSN, 2012). Persamaan yang digunakan untuk nilai semu, menggunakan nilai faktor geometri untuk menentukan logaritmik faktor geometri, dengan pendekatan (BSN, 2012), sebagai berikut:

$$\rho a = k \frac{V}{I} \dots\dots (1)$$

di mana:

$\rho a$  : nilai resistivitas pengukuran lapangan

K : nilai faktor geometri (rumus 2)

V : nilai beda potensial (V/Voltase)

I : current/nilai arus listrik (A/amper)

Nilai faktor geometri (k) menggunakan persamaan, sebagai berikut:

$$k = \pi \frac{s^2 - (2b)^2}{2(2b)^2} \dots\dots (2)$$

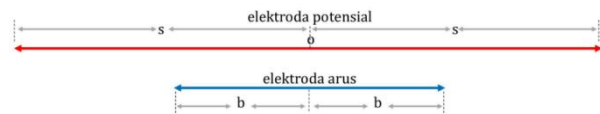
dimana:

k : nilai faktor geometri

$\pi$  : 3,14 atau 22/7

s : jarak elektoda arus ke pusat (Gambar 2)

2b : jarak elektoda ke potensial MN (Gambar 2)



Gambar 2. Susunan elektoda konfigurasi Schlumberger (BSN, 2012).

Untuk mendistribusikan nilai resistivitas secara spasial dengan perhitungan nilai resistivitas semu ( $\rho a$ ) dari pendekatan Rumus 1 dan nilai faktor geometri Rumus 2 dengan korelasi setiap antar lintasan pengukuran (Foppen et al., 2020; Rathinasamy et al., 2019). Analisis hasil perhitungan geolistrik diolah dengan perangkat lunak *progress* 3.1. Perhitungan nilai resistivitas (tahanan semu) ( $\rho a$ ) untuk menghasilkan nilai sebenarnya dengan pendekatan *matching curve* nilai ukur (hasil lapangan/ resistivitas semu) dan nilai duga dengan analisis log kedua nilai tersebut.

Berdasarkan nilai log resistivitas dikorelasikan dengan nilai resistivitas pada satuan jenis batuan sehingga dapat diketahui penyusun batuan hingga ke dalam lapisan bumi. Nilai resistivitas batuan mengacu pada korelasi terhadap batuan, sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai korelasi resistivitas terhadap batuan

Jenis Batuan	Nilai resistivitas (Ohm m)
Tanah penutup	50-100
Pasir lepas-lepas	500-5.000
Pasir halus	50-200
Krikil	100-600
Lempung	1-100
Lapukan batu induk	100-1.000
Pasir	200-8.000
Batugamping	500-10.000
Basalt/Granit	200-100.000
Batuan skis	10-500
Air tanah	10-100

Sumber: Lowrie & William (2007); Telford et al., (1990)

**2.2 Metode Analisis Uji Pompa (Slug Test)**

Uji pompa merupakan teknik yang digunakan untuk pemantauan dan pengukuran parameter akuifer yang terdiri atas nilai transmisivitas/keterusan (T) yang dinyatakan dalam satuan  $m^2$ /hari dan nilai permeabilitas/kelulusan (K), yang dinyatakan dalam satuan m/hari. Kelulusan (K) merupakan angka yang menunjukkan kemampuan batuan meloloskan air di dalam

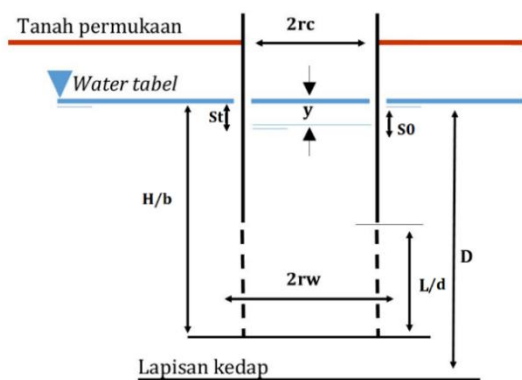
rongga-rongga batuan (BSN, 2005; Singhal & Gupta, 2010). Parameter akuifer diperoleh dari pengukuran pemompaan (Febriarta & Larasati, 2020; Lu et al., 2017). Metode yang digunakan adalah pendekatan uji pompa (*pumping test*) dengan debit konstan selama enam (6) jam dengan analisis data yang dipantau adalah data pulih atau data kenaikan tinggi muka air.

Pengukuran di lapangan dilakukan pada skala pendek, yaitu dengan pendekatan pada saat pemompaan mendapatkan nilai yang konstan nilai tinggi muka airnya. Metode yang digunakan untuk analisis adalah pendekatan *slug test*. Metode tersebut dipilih dikarenakan dimensi lubang sumur yang relatif kecil (enam inci) dan berada pada kondisi akuifer tidak tertekan seperti yang disajikan pada Gambar 3 (Bouwer & Rice, 1976). Untuk mendapatkan nilai konduktivitas hidrolik (K) dari parameter akuifer, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan metode (Bouwer & Rice, 1976), sebagai berikut:

$$K = \frac{r_c^2(R_e/r_w)}{2L} \frac{1}{t} \ln \frac{y^0}{y^t} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- K : konduktivitas hidrolik (m/hari)
- R<sub>e</sub> : radius efektif (m)
- r<sub>w</sub> : radius daerah perforasi dari pusat sumur hingga dinding akuifer (m)
- r<sub>c</sub> : radius sumur pada zona jenuh (m)
- L/d : tinggi daerah dinding sumur yang lurus air (m)
- y<sup>0</sup> : tinggi muka air setimbang dengan zona jenuh
- y<sup>t</sup> : tinggi muka air pada saat t (m)
- S<sub>t</sub> : beda tinggi muka freatik awal dan akhir pemompaan (m)
- S<sub>0</sub> : beda tinggi muka freatik awal dan muka freatik pada waktu t detik setelah pemompaan berhenti (m)
- t : waktu yang dibutuhkan hingga air kembali setimbang (menit)
- D : ketebalan akuifer bebas (m)
- H/b : kedalaman sumur (m)



Gambar 3. Penampang vertikal sumur uji (*slug test*) (Bouwer & Rice, 1976).

Persamaan nilai-nilai R disajikan (dinyatakan) dalam satuan logaritma natural (Re/rw), yang didasarkan dengan pengukuran radius tinggi muka air (TMA), nilai tekanan hidrolik dan ketebalan akuifer bebas. Nilai ln (Re/rw) diperoleh dari pendekatan (Bourdet, 2002; Bouwer & Rice, 1976), sebagai berikut:

$$\ln \frac{R_e}{r_w} = \left[ \frac{1,1}{\ln(H/r_w)} + \frac{A+B\ln|(D-H/r_w)|}{L/r_w} \right]^{-1} \text{ untuk nilai } D>H, \dots\dots(2)$$

atau

$$\ln \frac{R_e}{r_w} = \left[ \frac{1,1}{\ln(H/r_w)} + \frac{C}{L/r_w} \right]^{-1} \text{ untuk nilai } D = H, \dots\dots\dots(3)$$

keterangan:

- D : ketebalan akuifer bebas (m)
- H : kedalaman sumur (m)
- r<sub>w</sub> : radius daerah perforasi dari pusat sumur hingga dinding akuifer
- A,B,C : koefisien berdimensi fungsi dari L/rw

Nilai transmisivitas/keterusan (T) merupakan jumlah air yang dapat mengalir melalui suatu bidang vertikal setebal akuifer, selebar satu satuan panjang dengan landaian hidrolik sebesar 100%, yang dinyatakan dengan satuan m<sup>2</sup>/hari (BSN, 2005). Untuk mengetahui nilai transmisivitas/keterusan (T), menggunakan persamaan dari rumus Logan (Todd & Mays, 2005; Vienstra & Febriarta, 2018), sebagai berikut:

$$T = K \cdot D \dots\dots\dots (4)$$

keterangan:

- T : Transmisivitas/keterusan (m<sup>2</sup>/hari)
- K : Permeabilitas/kelulusan (m/hari)
- D : Tebal akuifer (tebal zona jenuh air) (m)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

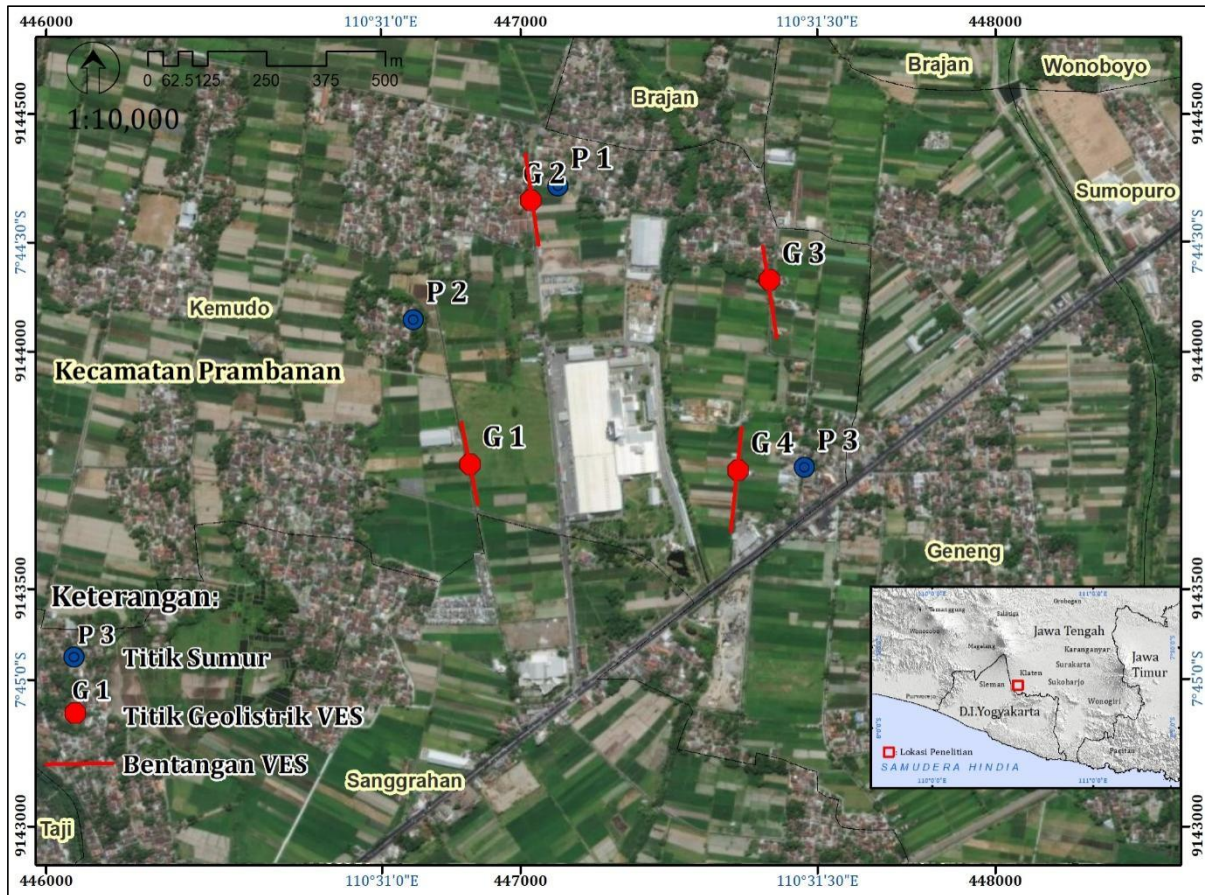
Lokasi penelitian berada di lereng kaki Gunung Merapi dengan kondisi morfologi bergelombang dengan kondisi topografi landai hingga datar. Secara geografi berada di wilayah 7°44'24,95"LS - 110°31'2,74" BT dan 7°44'46,28"LS - 110°31'24,51"BT. Lokasi tersebut secara administrasi berada di Desa Kemundo, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah.

Lokasi sebelah utara daerah penelitian berbatasan dengan Desa Brajan, sebelah timur berbatasan dengan Desa Tangkisan dan jalan provinsi Jogja-Solo km 19. Sebelah selatan berbatasan dengan Desa Geneng, Desa Sanggrahan dan jalan provinsi Jogja-Solo km 19, sedangkan sebelah barat daerah penelitian berbatasan dengan Desa Bugisan, Kebondalem Lor, dan Bugisan. Lokasi pengukuran disajikan pada Tabel 2 dan secara keruangan (*spasial*) disajikan pada koordinat *universal transverse mercator* (UTM) dengan zona 49S seperti yang disajikan pada Gambar 3. Pengukuran geolistrik sebanyak empat (4) titik dengan metode *vertical electrical sounding* (VES) dengan bentangan 200 m (Gambar 4).

Tabel 2. Lokasi pengukuran

Kode	X	Y	Z (mdpl)	Pengukuran	Metode
G 1	446894,7	9143763,2	156	Nilai resistivitas (Geolistrik)	Vertical Electrical Sounding (VES), konfigurasi Schlumberger
G 2	447022,1	9144318,4	164		
G 3	447525,7	9144150,5	163		
G 4	447459,4	9143750,5	157		
P 1	447079,6	9144349,1	164	Uji pompa, kedalaman uji 5 m dengan pompa air dangkal	Analisis kenaikan muka air ( <i>Slug test</i> )
P 2	446775,1	9144067,5	161		
P 3	447599,3	9143755,9	158		

Sumber: Pengukuran lapangan



Gambar 4. Lokasi geolistrik VES dengan bentangan 200 m dan lokasi uji pompa

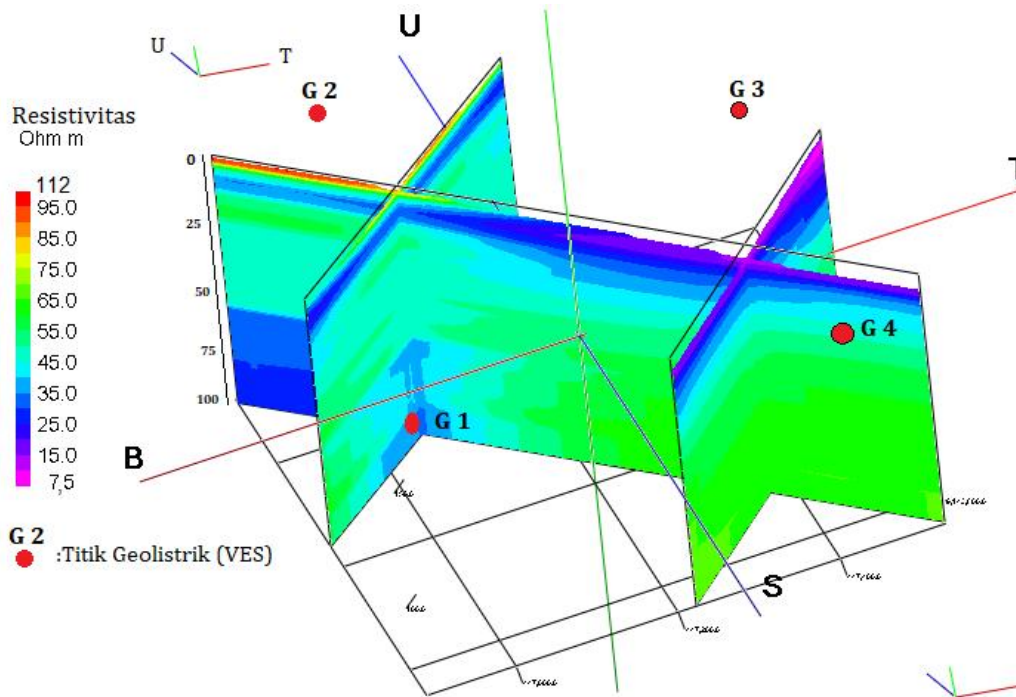
### 3.1 Interpretasi Penyusun Batuan

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa, hasil pengukuran nilai resistivitas pada material batuan daerah penelitian berkisar 7,02–112 Ohm m. Gambar 4 menunjukkan hasil interpolasi nilai resistivitas didominasi dengan nilai rentang resistivitas 35–75 ohm m. Nilai resistivitas secara umum dapat dibagi tiga (3) nilai rendah (7,5–35 ohm), nilai sedang (35–75 ohm m) dan nilai tinggi (75–112 ohm m). Secara umum hasil pengukuran menunjukkan nilai rendah hingga sedang hingga kedalaman 0–30 m dan kedalaman >30 m menunjukkan nilai resistivitas yang tinggi. Susunan nilai resistivitas yang bertingkat tersebut menunjukkan sortasi pengendapan yang terjadi secara berulang dari material Gunung Merapi (PATGTL, 2015b, 2015a). Nilai resistivitas rendah secara umum berkorelasi pasir dengan ukuran butir halus, nilai sedang berkorelasi dengan pasir ukuran butir sedang dan nilai tinggi berkorelasi dengan pasir ukuran butir kasar, kerikil, kerakal hingga bongkah.

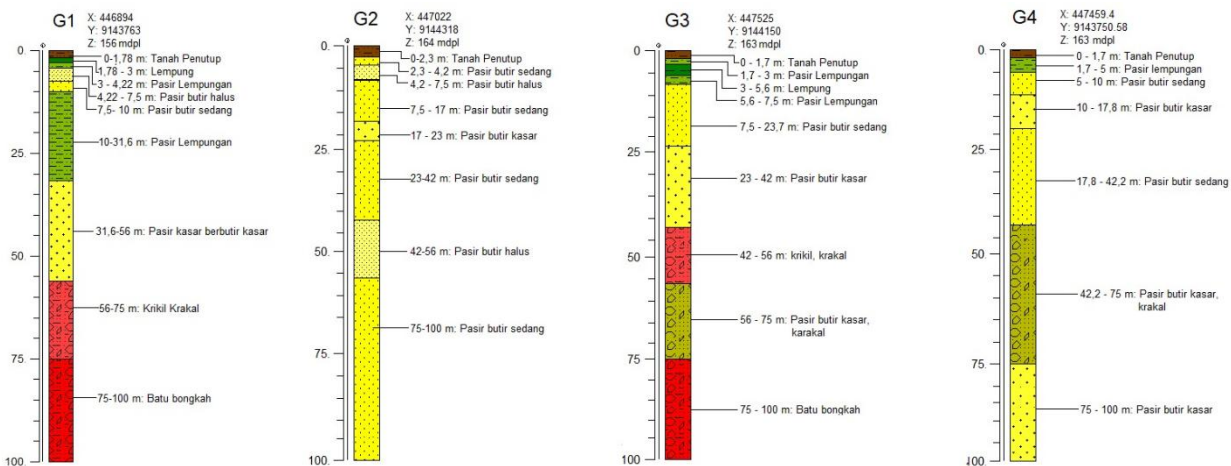
Nilai rentang hasil pengukuran tersebut secara umum termasuk pada endapan material lepas-lepas hingga kerakal hingga bongkah serupa dengan hasil pengukuran lereng kaki Gunung Merapi (Febriarta & Larasati, 2020). Material lepas-lepas dengan sifat keterdapatan air tanah ditunjukkan pada nilai rentang 10–60 Ohm m (Wicaksono *et al.*, 2020). Interpretasi keterdapatan air tanah pada lintasan G1, ditunjukkan pada rentang nilai 8,38–49,2 Ohm m hingga pada kedalaman 100 m (Gambar 6). Penyusun batuan, pada kedalaman 1,78–3,16 m merupakan material pasir dengan sisipan lempungan. Material sisipan lempungan, ditunjukkan pada nilai resistivitas yang relatif kecil. Nilai resistivitas kecil tersebut dimungkinkan dipengaruhi oleh penggunaan lahan, yaitu padi sawah yang terjadi pengolahan tanah dan genangan air. Kedalaman 3,16–5,62 m merupakan material pasir dengan ukuran butir halus, kedalaman 5,62–1 m menunjukkan penyusun batuan pasir sedang hingga kasar dengan kerikil, 10–42,6 m tersusun atas material pasir sedang dengan sisipan lempung dan pasir kerikil. Kedalaman 42,2–75 m tersusun atas material

kerikil perselingan pasir dan kedalaman >100 m tersusun

atas material bongkah batu kerikil, pasir sedang hingga kasar.



Gambar 5. Distribusi nilai resistivitas hasil geolistrik VES



Gambar 6. Interpretasi data resistivitas terhadap penyusun batuan

Berdasarkan interpretasi nilai resistivitas dengan sifat keterdapatan air tanah pada lintasan G2, berkisar 20,8–101 Ohm m (Gambar 5). Rentang nilai tersebut tersusun atas material pasir sedang hingga krikil. Pada lapisan permukaan hingga kedalaman 1,78 m tersusun atas rombakan atau tanah penutup atas, kedalaman 1,78–4,22 m tersusun atas material pasir kasar dengan kerikil. Kedalaman 4,22–7,5 m tersusun atas pasir halus, kedalaman 7,7–13,3 m tersusun atas material pasir halus hingga pasir sedang. Kedalaman 13,3–17,8 m tersusun atas material batuan pasir sedang dengan krikil. Kedalaman 17,8–31 m tersusun atas material pasir kasar. Kedalaman 31,6–56,2 m, tersusun atas material pasir sedang dengan kerikil. Kedalaman 56,2–75 m tersusun atas material pasir halus dengan sisipan lempung, kedalaman >75 m tersusun atas material pasir halus hingga kedalaman 100 m.

Pengukuran lintasan geolistrik G3, diketahui distribusi nilai resistivitas berkisar 7–60,2 Ohm m (Gambar 5). Kedalaman 0–3,16 m tersusun atas tanah penutup yang terdiri atas pasir sedang sampai dengan kerikil. Kedalaman 3,16–4,22 m tersusun atas material pasir halus dengan sisipan lempungan. Kedalaman 4,22–7,55 m tersusun atas material lempung dengan sisipan pasir bersifat basah, hal tersebut ditunjukkan dengan nilai resistivitas yang relatif kecil yang menunjukkan kemungkinan kelembaban tinggi yang berkorelasi dengan cekungan air tanah (CAT). Cekungan air Tanah Karanganyar-Boyolali tersusun atas batuan padu dengan sistem akuifer berupa celah dan antar butir, termasuk produktifitas tinggi dengan penyebaran luas, memiliki potensi keterusan rendah, potensi keterusan tinggi hingga rendah dengan potensi debit 5–10 l/detik (PATGTL, 2015b). Kedalaman 7,55–13,7 m tersusun atas material lempungan, lapisan tersebut merupakan lapisan

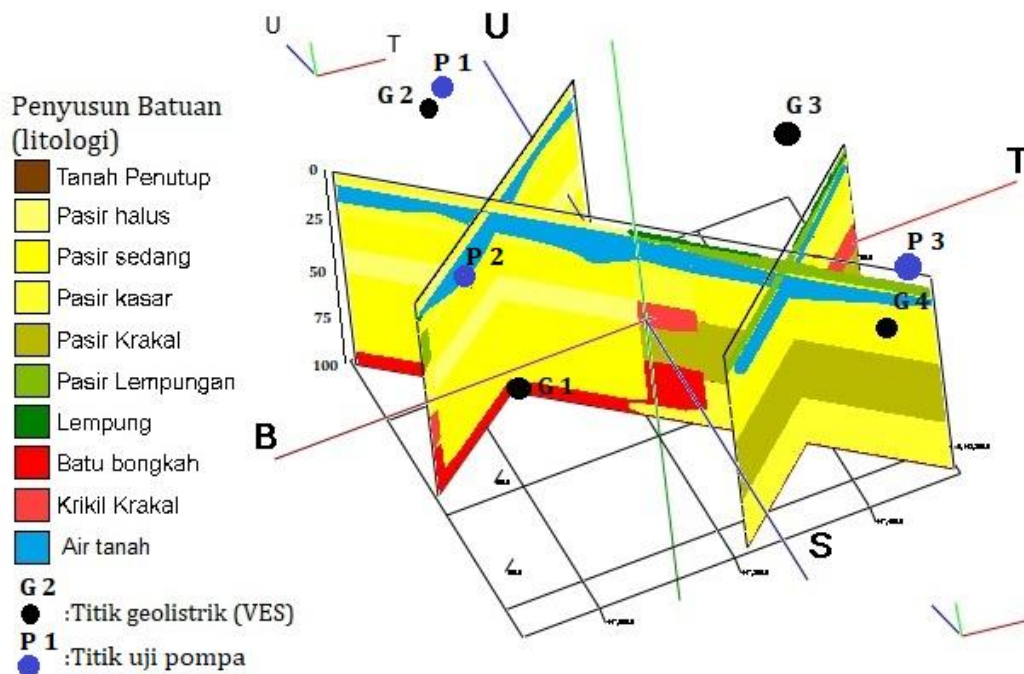
kedap air tanah yang merupakan bagian bawah dari lapisan akuifer. Kedalaman 13,7–31,6 m tersusun atas pasir sedang hingga kasar, kedalaman 31,6–56,2 m tersusun atas pasir kasar dengan kerikil. Kedalaman 56,2–100 m tersusun atas material pasir kasar, pasir sisipan lempung, dan bongkah.

Pengukuran nilai resistivitas pada lintasan G4 sepanjang 200 m dengan arah lintasan utara selatan. Berdasarkan hasil perhitungan nilai resistivitas aktual, diketahui pada kedalaman hingga 4,22 m tersusun atas material pasir lempungan, material tersebut dipengaruhi oleh penggunaan lahan di atasnya yang berupa padi sawah di mana terdapat pengolahan lahan, sehingga terjadi susunan material batuan yang tercampur dengan bukuran butir halus. Kedalaman 4,22–13,3 m tersusun atas material pasir halus, pasir sedang dengan sisipan lempung. Kedalaman 13,3–56,2 m tersusun atas material pasir sedang hingga kasar. Kedalaman 56–75 m tersusun atas material

pasir halus, kedalaman 75–100 m tersusun atas material pasir sedang hingga pasir kasar dan krikil.

### 3.2 Penyusun Litologi Akuifer

Keterdapatan air tanah diperoleh dari intepretasi dan pendugaan nilai resitivitas terhadap susunan batuan (litologi) atau akuifer, diperoleh sifat hidrogeologi dari potensi porositas efektif (sy) batuan. Analisis batuan atau litologi akuifer diperoleh dari perbandingan silang dengan nilai resistivitas dengan pendugaan batuan dengan pengukuran tinggi muka air (TMA) pada saat pengukuran uji parameter akuifer dengan uji pompa (*slug test*) di lokasi penelitian (Gambar 3). Berdasarkan interpretasi penyusun batuan (litologi) akuifer adalah material lepas-lepas yaitu pada batuan pasir halus hingga sedang. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa pada lintasan geolistrik G1, air tanah berada pada lapisan pasir berbutir sedang dengan nilai pengukuran hasil geolistrik 28–30 Ohm m (Gambar 7).



Gambar 7. Sebaran air tanah (akuifer) dangkal

Keterdapatan air tanah tersebut berada pada kedalaman 5–15 m di bawah permukaan tanah, dengan tebal akuifer 10 m. Litologi keterdapatan air tanah pada lintasan pengukuran G2 berada pada nilai resistivitas 30–38 Ohm m, dengan interpretasi pendugaan batuan berupa pasir berbutir sedang. Rentang nilai resistivitas tersebut termasuk material litologi pasir. Kedalaman air tanah berada pada kedudukan 6–13 m di bawah permukaan tanah, dengan ketebalan 7,3 m. Keterdapatan air tanah disekitar lintasan G3 memiliki nilai resistivitas 8–24 Ohm m

dengan material penyusun berupa pasir berbutir halus. Kedalaman litologi akuifer tersebut berada dikedalaman 4–16 m di bawah permukaan tanah dengan tebal akuifer 12 m. Litologi akuifer di sekitar lintasan G4 berupa pasir berbutir halus hingga sedang (Gambar 7). Secara umum litologi akuifer di daerah penelitian merupakan bagian dari batuan padu, yang didominasi oleh batuan bongkah dengan ukuran butir halus hingga kasar (Gambar 5). Litologi akuifer disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Keterdapatan air tanah perlapisan batuan

Kode	X	Y	Z (mdpl)	Resistivitas (Ohm m)	Litologi akuifer	Kedalaman akuifer (m)	Tebal akuifer (m)
G1	446894,7	9143763,2	156	28-30	Pasir berbutir sedang - kasar	5 - 15	10,0
G2	447022,1	9144318,4	164	30-38	Pasir berbutir sedang-kasar	6 - 13,3	7,3
G3	447525,7	9144150,5	163	8-24	Pasir berbutir halus	4 - 16	12,0
G4	447459,4	9143750,5	157	29-39	Pasir berbutir halus-sedang	5,6 - 15,3	9,7

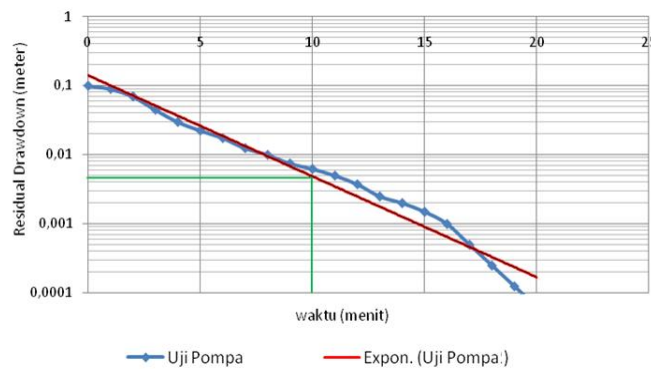
Sumber: Analisis, 2021

### 3.3 Potensi Akuifer Air Tanah

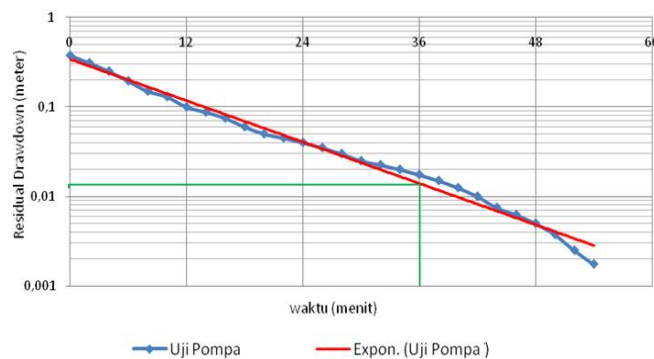
Berdasarkan interpretasi litologi akuifer lepas-lepas berupa pasiran memiliki potensi produktivitas sedang hingga tinggi. Untuk mengetahui potensi akuifer tersebut dilakukan pengukuran uji pompa di sumur penduduk. Uji pompa merupakan teknik pengukuran untuk mengetahui karakteristik akuifer dari sifat meloloskan air di dalam batuan, nilai transmisivitas/keterusan (T) dan nilai permeabilitas/kelulusan (K). Uji pompa diukur disekitar pengukuran lintasan geolistrik, sebanyak tiga (3) lokasi (Gambar 4). Nilai permeabilitas/kelulusan (K) air tanah dari pengukuran uji pompa di sumur titik P1 sebesar 16,07 m/hari berdasarkan interpretasi penyusun batuan di sekitar sumur P1 tersusun atas material pasir sedang hingga kasar.

Nilai tersebut termasuk ke dalam kelulusan cepat. Penurunan air tanah pada uji pompa P1 menunjukkan nilai yang sangat kecil yaitu 0,001 m, seperti yang disajikan pada Gambar 8. Debit dari uji pompa adalah sebesar 30 l/menit selama 6 jam.

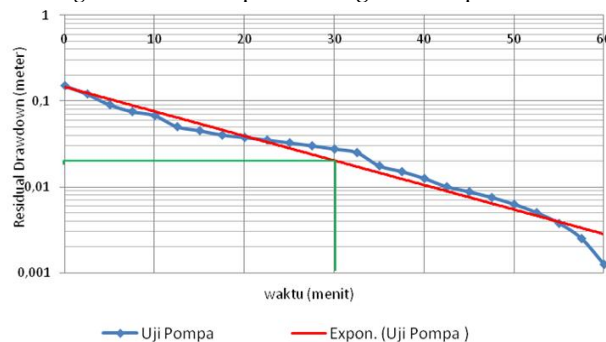
Nilai permeabilitas/kelulusan (K) pada pengukuran sumur P2 sebesar 4,16 m/hari, nilai tersebut relatif lebih kecil dipengaruhi oleh penyusun batuan di sekitar sumur P2 berupa pasiran sedang. Penurunan air tanah selama pemompaan sedalam 0,002 m, seperti pada Gambar 8. Hasil perhitungan pada pengukuran sumur P3 (Gambar 10) diketahui nilai permeabilitas/kelulusan (K) sebesar 4,75 m/hari. Penurunan tinggi muka air selama uji pompa adalah sebesar 0,001 m, seperti yang disajikan pada Gambar 9. Nilai parameter uji pompa *slug test* disajikan pada Tabel 4.



Gambar 8. Grafik *slug test* sumur P1 pada litologi akuifer pasir berbutir sedang-kasar



Gambar 9. Grafik *slug test* sumur P2 pada litologi akuifer pasir berbutir sedang-kasar



Gambar 10. Grafik *slug test* sumur P3 pada litologi akuifer pasir berbutir halus-sedang

Nilai transmisivitas/keterusan (T) atau jumlah air melalui suatu bidang vertikal diperoleh dari persamaan Logan, dengan perhitungan perbandingan tebal akuifer bebas (D) dengan nilai permeabilitas/kelulusan (K). Nilai ketebalan akuifer bebas dari pengukuran diketahui sebesar

40 m. Nilai tersebut termasuk ke dalam kategori akuifer tebal dengan potensi produktivitas tinggi (Todd & Mays, 2005; Ungureanu *et al.*, 2017). Hasil analisis nilai transmisivitas/keterusan (T) di sumur P1 sebesar 640 m<sup>2</sup>/hari. Nilai transmisivitas/keterusan (T) di sumur P2 dan

P3 menunjukkan nilai yang hampir serupa yaitu dengan kondisi rata-rata nilai permeabilitas/kelulusan (K) sebesar 4,45 m/hari, maka diketahui nilai transmisivitas/keterusan

(T) sebesar 176 m<sup>2</sup>/hari. Nilai karakteristik parameter akuifer disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Nilai parameter permeabilitas/kelulusan (K)

Kode	b	D	rc	rw	D	So	St	d/rw	A	B	t (hari)	ln Re/rw	K (m/hari)
P1	3,5	2,3	0,40	0,40	40	0,10	0,004	5,6	1,80	0,20	0,006	1,012	16,0
P2	3,7	3,8	0,45	0,45	40	0,37	0,014	8,4	1,75	0,20	0,025	1,200	4,16
P3	4,1	1,2	0,40	0,40	40	0,15	0,017	3,0	1,85	0,25	0,020	0,683	4,75

Sumber: Perhitungan dan analisis, 2021

Keterangan: rc=radius efektif, rw=radius daerah perforasi dari pusat sumur hingga dinding akuifer, rc=radius sumur pada water table, St=beda tinggi muka freatik awal dan akhir pemompaan (m), S0=beda tinggi muka freatik awal dan muka freatik pada waktu t detik setelah pemompaan berhenti (m), D=ketebalan akuifer bebas, dan H/b=kedalaman sumur

Tabel 5. Karakteristik akuifer hasil uji pompa

Kode	X	Y	Z (m dpal)	D (m)	Metode	T (m <sup>2</sup> /hari)	K (m/hari)
P 1	447079,6	9144349,1	164	40	Logan (T), Slug test (K)	640	16,0
P 2	446775,1	9144067,5	161	40		164	4,16
P 3	447599,3	9143755,9	158	40		188	4,75
Rata-rata						330,6	8,03

Sumber: Perhitungan dan analisis, 2021

Keterangan: D= tebal akuifer, T=Transmisivitas/keterusan, K=Permeabilitas/kelulusan

Berdasarkan hasil perhitungan secara umum keterdapatan air tanah berada pada kedalaman 5 m di bawah permukaan tanah, dengan litologi akuifer berupa endapan lepas berupa material pasiran dengan ukuran butir halus hingga kasar. Ketebalan akuifer geolistrik diketahui setebal 7–12 m dengan rata-rata ketebalan akuifer 9,75 m. karakteristik akuifer dari nilai permeabilitas/kelulusan (K) sebesar 8,03 m/hari dan nilai transmisivitas/keterusan (T) sebesar 330,6 m<sup>2</sup>/hari. Nilai parameter akuifer tersebut lebih kecil dibandingkan dengan formasi vulkanik di bagian utara (Febriarta & Larasati, 2020). Kondisi tersebut dipengaruhi oleh penyusun litologi akuifer di bagian utara lebih porous, mudah meloloskan air yaitu tersusun atas material pasir dengan ukuran butir sedang hingga kasar. Permeabilitas/kelulusan (K) sebesar 8,03 m/hari dan nilai transmisivitas/keterusan (T) sebesar 330,6 m<sup>2</sup>/hari termasuk pergerakan yang cepat (Todd & Mays, 2005). Berdasarkan penyusun batuan di daerah penelitian, sifat akuifer bersifat bebas, hal tersebut dicirikan oleh akuifer yang dibatasi oleh bagian atasnya oleh muka air tanah (TMA) bebas dan dibagian bawahnya oleh lapisan kedap air. Berdasarkan sifat tersebut, akuifer di lereng kaki pada formasi vulkanik tidak terpisahkan (Qvm) termasuk kedalam kategori produktif tinggi dengan penyebaran meluas.

**4. KESIMPULAN**

Metode geolistrik *vertical electrical sounding* (VES) dapat mengetahui keterdapatan air tanah berada pada posisi kedalaman 2–12 m di bawah permukaan tanah (bersifat dangkal). Air tanah berada pada formasi penyusun batuan lepas berupa pasir dengan ukuran butir sedang hingga dengan ukuran butir pasir kasar. Sifat akuifer di formasi vulkanik (Qvm) termasuk akuifer bebas dengan dapat menyimpan dan meneruskan air secara meluas. Potensi parameter akuifer air tanah dengan permeabilitas/kelulusan (K) yang tinggi, yaitu sebesar 8,03 m/hari dan nilai transmisivitas/keterusan (T) sebesar 330,6 m<sup>2</sup>/hari. Potensi air tanah tersebut termasuk kelas potensi tinggi.

Diharapkan dari hasil studi ini dapat digunakan sebagai informasi dasar (acuan) dalam pengembangan dan pengelolaan air tanah bebas di Kabupaten Klaten Jawa Tengah, sehingga dapat dimanfaatkan dengan berwawasan lingkungan dan berkelanjutan.

**PERSANTUNAN**

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Hidrometeorologi dan Kualitas Udara Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada yang telah mendukung dan memfasilitasi penelitian ini

**DAFTAR PUSTAKA**

Acworth, I. (2019). *Investigating Groundwater*. CRC Taylor & Francis Group.

Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2005). *Penyelidikan potensi air tanah skala 1 : 100 . 000 atau lebih besar SNI 13-7121-2005*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).

Bourdet, D. (2002). *Well Test Analysis: The Use of Advanced Interpretation Models*. Elsevier.

Bouwer, H., & Rice, R. C. (1976). *A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells*. *Water Resources Research*, 12(1), 423–428.

BSN. (2005). *Standar Nasional Indonesia (SNI) no.13-1712-2005 tentang penyelidikan potensi air tanah skala 1:100.000 atau lebih besar*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).

BSN. (2012). *Standar Nasional Indonesia (SNI) 2018:2012 Tata Cara Pengukuran Geolistrik Schlumberger Untuk Eksplorasi Air Tanah*. Badan Standardisasi Nasional (BSN). <http://sni.litbang.pu.go.id/image/sni/isi/sni-28182012.pdf>.

Febriarta, E., & Larasati, A. (2020). *Karakteristik Akuifer Air Tanah Dangkal Di Endapan Muda Merapi Yogyakarta*.

- Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan, 12(2), 84–99. <https://doi.org/https://doi.org/10.20885/jstl.vol12.iss2.art1>.
- Febriarta, E., & Purnama, S. (2020). Identifikasi Keterdapatan Airtanah Dengan Electromagnetic Very Low Frequency ( EM-VLF ) di Non Cekungan Airtanah Kecamatan Ungaran Timur. *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 3(2), 52–62. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgt.3.2.2020.52-62>.
- Febriarta, E., & Shofarini, D. I. (2021). Penilaian Zona Kerentanan Air Tanah Terhadap Pencemaran dengan Metode SINTACS di Ranai (Pulau Bunguran). *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 9(1), 34–49. <https://doi.org/10.14710/jwl.9.1.34-49>.
- Febriarta, E., Suswanti, S., & Noviandaru, S. (2020). Interpretasi Electrical Resistivity Tomography (ERT) untuk Pendugaan Air Tanah Dangkal pada Formasi Gunungapi Muda. *Jurnal Nasional Teknologi Terapan (JNTT)*, 3(1), 49. <https://doi.org/10.22146/jntt.56617>.
- Fetter, C. W. (2014). *Applied Hydrogeology*. Pearson New Internasional Edition.
- Foppen, J. W., Lutterodt, G., Rau, G. C., & Minkah, O. (2020). Groundwater flow system analysis in the regolith of Dodowa on the Accra Plains, Ghana. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 28, 100663. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100663>.
- Lowrie, & William. (2007). *Fundamental of Geophysics*. Cambridge University Press.
- Lu, Y., Xu, H., Wang, Y., & Yang, Y. (2017). Evaluation of water environmental carrying capacity of city in Huaihe River Basin based on the AHP method: A case in Huai'an City. *Water Resources and Industry*, 18(October), 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2017.10.001>.
- Mepaiyeda, S., Madi, K., Gwavava, O., & Baiyegunhi, C. (2020). Geological and geophysical assessment of groundwater contamination at the Roundhill landfill site, Berlin, Eastern Cape, South Africa. *Heliyon*, 6(7), e04249. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04249>.
- Milsom. (2003). *Field Geophysics, The Geological Field Guide Series (3rd ed.)*. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Mimikou, M., Baltas, E. A., & Tsihrintzis, V. . (2018). *Hydrology and Water Resource System Analysis*. CRC Press.
- PATGTL. (2015a). *Litologi Akuifer*. Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://geoportal.esdm.go.id/geologi/>.
- PATGTL. (2015b). *Produktivitas Akuifer*. Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://geoportal.esdm.go.id/geologi/>.
- PATGTL. (2018). *Cekungan Air Tanah (CAT)*. Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://geoportal.esdm.go.id/geologi/>.
- PSG. (2018). *Geologi (ESDM (ed.))*. Pusat Survei Geologi, Pemutakhiran Peta Potensi Energi Baru Terbarukan, Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Rathinasamy, M., Chandramouli, S., Phanindra, K. B. V. N., & Mahesh. (2019). *Water Resource and Enviromental Engineering I: Surface and Groundwater*. Springer.
- Sharp, J. M. (2007). *A Glossary of Hydrogeological Term*. Department of Geological Sciences The University of Texas.
- Singhal, B. B. ., & Gupta, R. (2010). *Applied Hydrogeology of Fracture Rock*. Springer Dordrecht Heidelberg London.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics (Second Edi)*. Cambridge University.
- Todd, D. K., & Mays, L. W. (2005). *Groundwater Hydrology (3rd ed.)*. John Wiley & Sons, Inc.
- Ungureanu, C., Priceputu, A., Bugea, A. L., & Chirică, A. (2017). Use of electric resistivity tomography (ERT) for detecting underground voids on highly anthropized urban construction sites. *Procedia Engineering*, 209, 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.148>.
- Vienastra, S., & Febriarta, E. (2018). Karakteristik Airtanah di Pulau Yeben, Kabupaten Raja Ampat, Papua Barat. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-3 Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia*, 3(November), 108–113. <https://doi.org/https://doi.org/10.17605/OSF.IO/EZHDT>.
- Wicaksono, A. P., Febriarta, E., Nurani, D. T. T., & Larasati, A. (2020). Evaluasi Kebutuhan Air Persemaian Di Kawasan Karst Nggorang Manggarai Barat, Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(3), 572–581. <https://doi.org/10.14710/jil.18.3.572-581>.