



Pemodelan Karakteristik Aliran Airtanah Sistem Porous dengan Uji Permeabilitas, Porositas dan Kompresibilitas Batuan pada Fasies Gunungapi Gede-Pangrango Bagian Tenggara
Modeling of Groundwater Characteristics Flow Porous System with Permeability, Porosity and Compressibility Rock Tests at the Volcanic Facies of Gede-Pangrango Southeast Side

Davin Rizqa Haris Suryana, Hendarmawan dan Teuku Yan Waliyana

Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung Sumedang KM 21, Jatinangor 45363

email: Davin31.geounpad2010@gmail.com; hendarmawan@unpad.ac.id

Naskah diterima: 25 Januari 2021, Revisi terakhir: 30 Maret 2022, Disetujui: 30 Maret 2022, Online: 01 April 2022

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23.1.35-51>

Abstrak - Pengertian mengenai geometri keterdapatan airtanah di bawah permukaan, merupakan hal yang penting untuk diketahui. Dengan memahami sifat fisik batuan akuifer maka permasalahan karakteristik dan sifat airtanah akan lebih mudah untuk dijelaskan. Tujuan studi ini untuk mengidentifikasi litologi apa saja yang dapat menjadi media penyusun akuifer primer (media porous) berdasarkan nilai permeabilitas, porositas dan kompresibilitas batuan penyusun daerah studi, serta bagaimana karakteristik aliran primer air tanahnya berdasarkan model sistem air tanah. Metode yang dilakukan untuk peenyelidikan ini antara lain, uji permeabilitas, porositas, dan kompresibilitas batuan kemudian dipadukan dengan metode statistik kuartil, pemodelan geolistrik, dengan pembagian kategori batuan berdasarkan hasil uji laboratorium batuan. Hasil uji laboratorium batuan dan hasil analisis statistik dengan metode kuartil, skoring dan pembobotan, hasilnya adalah batuan tuf kasar dan tuf halus yang bersifat akuifer, batuan breksi *grain supported* dan breksi *matrik supported* bersifat batuan akuitar, batuan lapili bersifat batuan akuiklud, terakhir batuan lava andesit bersifat batuan akuifug. Setelah batuan akuifer dan bukan akuifer diketahui, maka blok model sistem airtanah dapat dibentuk dengan menentukan sebaran batuan berdasarkan data geolistrik. Hasil blok model disimpulkan bahwa perlapisan batuan akuifer mendominasi di fasies distal, untuk fasies medial dan proksimal didominasi oleh batuan yang bersifat bukan akuifer. Aliran airtanah yang terbaca dan terbentuk relatif mengarah ke tenggara.

Katakunci: Aliran airtanah primer, eksplorasi airtanah, karakteristik aliran airtanah, pemodelan airtanah.

Abstract - An understanding of the geometry of groundwater availability below the surface is important to know. By understanding the physical properties of the aquifer lithology, problems regarding the characteristics and properties of groundwater will be easier to explain. The purpose of this study is to identify what lithologies can be the primary aquifer constituent media (porous media) based on the permeability, porosity and compressibility values of the rocks making up the study area, as well as how the characteristics of the primary groundwater flow based on the groundwater system model. The method used for this study included permeability, porosity, and compressibility tests of the rock sampling and then combined with the quartile statistical method, geoelectric modeling, with the division of rock categories based on the rock laboratories test results. The results of the permeability, porosity, and compressibility tests of rocks and the results of statistical analysis using the quartile method, scoring and weighting, the results are coarse tuff and fine tuff into aquiferous rocks, grain and matrix supported breccias are aquitar rocks, Lapilli rocks are aquicidal rocks, and finally andesite lava rocks are aquifuge rocks. After the aquifer and non-aquifer rocks can be identified, the groundwater system block model can be formed by determining the distribution of the rocks based on geoelectric data. From the block model results, it can be concluded that aquifer rock beds dominate the distal facies, while the medial and proximal facies are dominated by non aquiferous rocks. The results of the analyzed groundwater flow are relative to the southeast direction.

Keywords: Primary groundwater flow, groundwater exploration, groundwater flow characteristics, groundwater modeling.

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber kehidupan bagi seluruh makhluk hidup, tanpa adanya air maka tidak akan ada kehidupan di bumi ini, kemajuan teknologi manusia dinilai sudah cukup maju untuk memanfaatkan dan mengolah air dengan baik. Salah satu cara untuk memanfaatkan dan mengolah air yaitu dengan metode eksplorasi air dengan cara mencari dari bawah permukaan tanah. Pengertian mengenai geometri keterdapatan airtanah di bawah permukaan, merupakan hal yang mutlak diketahui, dengan memahami sifat fisik dari batuan akuifer maka permasalahan mengenai karakteristik dan sifat airtanah akan lebih mudah untuk dijelaskan. Sumber airtanah yang memiliki kualitas yang baik umumnya berasal dari pegunungan. Daerah kota-kota yang berkembang di Jawa Barat umumnya disuplai oleh sumber air yang berasal dari gunungapi (kawasan vulkanik).

Maksud dan tujuan studi ini adalah untuk mengidentifikasi litologi apa saja yang dapat menjadi media penyusun akuifer primer (media porous) berdasarkan nilai permeabilitas, porositas dan kompresibilitas dari litologi tersebut, serta bagaimana pengaruh terhadap karakteristik aliran airtanah pada daerah fasies gunungapi Gede-Pangrango.

Secara garis besar daerah studi termasuk ke dalam wilayah administrasi Kecamatan Gekbrong, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat. Daerah ini berada pada kaki gunung bagian tenggara Gunung Gede, seperti pada peta di bawah ini (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi studi yang berada di Kecamatan Gekbrong, Kabupaten Cianjur

TINJAUAN PUSTAKA

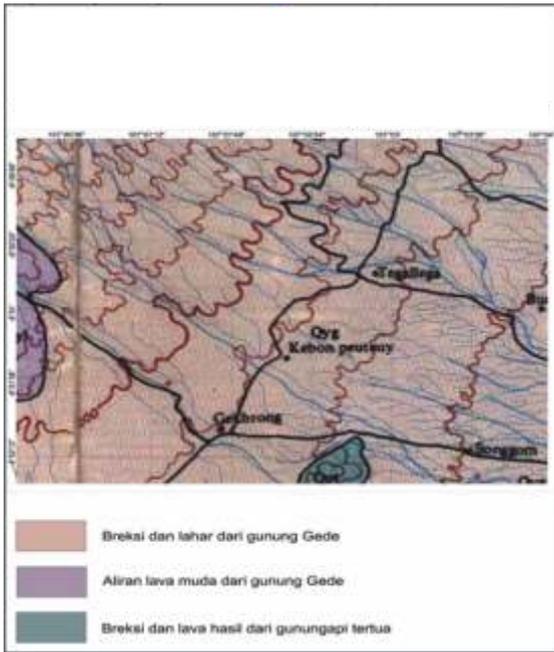
Berdasarkan data hasil pemetaan geologi regional lembar Cianjur (Sudjatmiko, 1972), lokasi ini disusun oleh batuan vulkanik muda yang berumur Kuartar. Batuan tertua yang tersingkap di daerah Cianjur terdiri atas breksi andesit piroksen bersisipan lava andesit yang telah terpropilitasi yang merupakan bagian gunungapi tertua yang membentuk perbukitan terpisah di bagian selatan, dengan ketebalan lapisan hingga 550 m. Lalu, terdapat lava hasil erupsi Gunung Gede yang terdapat di daerah barat. Kemudian, sebagian besar daerah ditutupi oleh breksi dan lahar Gunung Gede, yang terdiri atas batupasir tufan, serpih tufan, breksi tufan dan aglomerat tufan (Gambar 2).

Berdasarkan hasil kajian peta hidrogeologi regional Indonesia lembar Cianjur (Manaris dkk., 1998), airtanah daerah ini dapat dibagi menjadi 3 (tiga) wilayah, yaitu wilayah airtanah dengan luah sumur antara 5 – 25 l/dtk, wilayah airtanah dengan luah sumur kurang dari 5 liter/dtk, dan wilayah airtanah langka/nir-akuifer (Gambar 3).

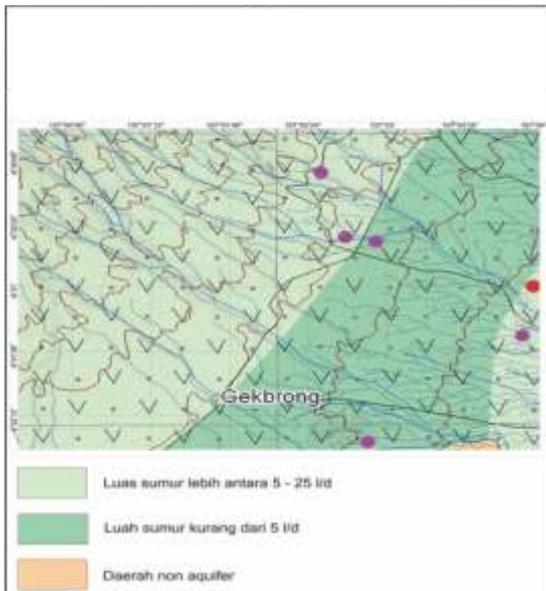
Akuifer adalah lapisan tanah yang memiliki kandungan air yang mengalir melalui rongga-rongga udara ke dalam bawah tanah (Herlambang, 1996). Dalam keilmuan, akuifer merupakan suatu formasi yang mengandung air cukup jenuh dengan material bersifat permeabel serta mampu mengalirkan/mengeluarkan sejumlah air melalui pemboran dan mataair. Secara umum, akuifer mempunyai kemampuan untuk menyimpan (*to store*) dan meloloskan (*to transmit*) air. Sesuai dengan definisinya, tidak setiap batuan dapat menjadi akuifer, melainkan batuan yang mempunyai porositas dan permeabilitas cukup untuk melakukan penyimpanan dan pelolosan. Tipikal material akuifer adalah pasir dan kerakal yang tidak terkonsolidasi. Pada suatu sistem akuifer, ada bagian yang tidak jenuh air dari suatu seri bagian permeabel.

Berdasarkan sifat fisik batuan, secara garis besar ada 2 jenis media penyusun akuifer, yaitu sistem media pori dan sistem media rekahan. Kedua sistem ini memiliki karakter airtanah yang berbeda satu sama lain. Pada sistem media berpori, airtanah mengalir melalui rongga antar butir yang terdapat dalam suatu batuan, misalnya batupasir dan batuan aluvial. Sistem media rekahan, air mengalir melalui rekahan-rekahan pada batuan yang terkena tektonik kuat, seperti pada batugamping, batuan metamorf, dan lava. Rekahan terjadi selain akibat proses tektonik, juga akibat proses pelarutan (Robert, 2012). Terdapat enam parameter sifat-sifat fisik dasar yang harus diketahui dalam menguraikan dan menjelaskan aliran tanah secara hidraulik pada sistem media berpori

(Freeze dan Cherry, 1979). Parameter tersebut yaitu, permeabilitas (k), kompresibilitas (a), dan porositas (n). Kemampuan suatu batuan untuk menghantarkan listrik tergantung pada tiga faktor utama, yaitu porositas batuan, tingkat hubungan antara pori (porositas efektif) dan volume dan konduktivitas air dalam pori (Robert, 2012). Kehadiran air dan sifat kimianya merupakan pengontrol utama pada aliran arus listrik, sehubungan banyaknya partikel batuan yang mempunyai sifat resistensi sangat tinggi terhadap aliran arus listrik.



Gambar 2. Lokasi studi pada peta geologi regional lembar Cianjur (Sudjatmiko, 1972).



Gambar 3. Peta hidrogeologi regional daerah studi (Pasaribu dkk, 1998).

METODOLOGI

Metode yang dilakukan untuk penelitian ini terdiri atas empat metode, yaitu pemetaan geologi, uji petrofisik batuan (analisis permeabilitas, porositas, dan kompresibilitas), analisis geolistrik, serta statistik.

Pemetaan Geologi

Metode pemetaan geologi dilakukan untuk mengetahui dan merekonstruksikan kondisi geologi serta sistemnya melalui survei permukaan. Hasil kombinasi pemetaan tersebut selanjutnya digambarkan dalam bentuk peta geologi beserta penampangnya yang menggambarkan kondisi geologi permukaan daerah tersebut. Penamaan satuan batuan pada area penelitian berdasarkan satuan lithostratigrafi tidak resmi (KSSI, 1996).

Uji Petrofisik Batuan

Metode analisis sifat fisik batuan dilakukan untuk mengetahui nilai parameter porous media penyusun akuifer seperti permeabilitas, porositas, dan kompresibilitas litologi. Total sampel yang diuji yaitu 28 sampel batuan dengan 3 sampel lava andesit, 10 sampel breksi vulkanik (5 breksi *grain supported* dan 5 breksi *matrix supported*), 10 sampel tuf (5 tuf kasar, dan 5 tuf halus) serta 5 sampel lapili. Uji yang dilakukan meliputi uji permeabilitas dan konduktivitas hidrolik batuan (agregat) dengan metode *Falling Head* (ASTM D5084-03), uji porositas batuan (agregat) dengan metode *Specific gravity* (ASTM D6473), uji kompresibilitas batuan (agregat) ASTM D5731 (*Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications*).

Analisis Geolistrik

Data hasil pengukuran tahanan dikalikan dengan faktor geometri didapatkan nilai tahanan jenis semu. Untuk mendapatkan nilai tahanan jenis sebenarnya, dilakukan analisis data dengan menggunakan software *Excel*, *IPI2Win* dan *Modelling Software*.

Cara penafsiran data dilakukan secara manual dan bantuan software komputer. Overlay peta ditafsirkan secara manual, sedangkan hasil pengukuran resistivitas batuan ditafsirkan dengan bantuan software komputer. Data primer hasil akuisisi lapangan diproses dengan bantuan program aplikasi komputer, sehingga didapatkan data spasi AB/2, spasi MN, ketentuan geometrik dan tahanan jenis (ρ) menggunakan *Excel*. Kemudian, data tersebut dimasukkan ke dalam program *IPI2Win* untuk mendapatkan nilai *true resistivity* dan bentuk log resistivitas.

Berdasarkan hasil geolistrik sebanyak 104 titik dan penafsiran nilai relativitas terhadap litologi batuan yang sudah diidentifikasi secara geostatistik, kemudian dibuat permodelan 3 dimensi berdasarkan persebaran titik di area survei. Dari 3D tersebut dapat dibuat model diagram pagar (*fence diagram*) yang memperlihatkan nilai resistivitas batuan hingga kedalaman lebih dari 100 m. Berdasarkan pemodelan listrik 3D yang sudah ditafsirkan ke nilai resistivitas ke litologi, maka dapat dibagi layer ke dalam kategori-kategori akuifer. Pembagian layer 3D dipadukan dengan penafsiran nilai resistivitas terhadap batuan secara geostatistik. Dari hasil tersebut maka dibuat model geologi serta sistem media penyusun akuifer, menggunakan perangkat lunak Rockwork.

Metode Statistik

Analisis statistik yang dilakukan meliputi metode kuartil, metode skoring dan pembobotan. Metode kuartil dipakai karena bersifat kuantitatif dengan variabel data bersifat kontinyu, Penggunaan metode kuartil dilakukan karena nilai permeabilitas, kompresibilitas, dan porositas tidak memiliki interval (Harison dan Kom, 2013). Pembagian 4 kelas kuartil pada setiap variabel perlu dilakukan guna membagi setiap variabel ke dalam kelas tinggi, sedang, rendah dan sangat rendah. Hal tersebut dilakukan agar skoring dan pembobotan dapat dilakukan guna mengidentifikasi litologi bersifat akuifer atau non akuifer (akuiklud, akuitar, dan akuifug). Pembagian kelas kuartil setiap nilai variabel parameter media porous berdasarkan hasil temuan langsung di lapangan karena setiap daerah memiliki kondisi geologi yang berbeda, kemudian pembagian kuadrannya menggunakan persamaan berdasarkan Harison dan Kom (2013).

$$Q_i = \frac{i}{4}(n + 1)$$

Keterangan : i = kuartil ke 1, 2, 3, 4

n = jumlah data

Parameter yang menjadi penentu litologi bersifat akuifer atau non akuifer pada studi ini meliputi permeabilitas, porositas, dan kompresibilitas. Adapun pertimbangan dipilihnya variabel tersebut berdasarkan teori Freeze dan Cherry (1979) dan Todd (1990) yang mengemukakan variabel untuk parameter media akuifer porous, yaitu permeabilitas (k), kompresibilitas (a), dan porositas (n). Penilaian setiap variabel tentu saja berbeda-beda tergantung pengaruh variabel tersebut pada parameter media

penyusun akuifer. Untuk variabel permeabilitas memiliki bobot 50 % karena berdasarkan landasan teori variabel tersebut memiliki pengaruh paling besar terhadap aliran air bawah tanah, sedangkan porositas dan kompresibilitas memiliki bobot 25 %. Hasil pengkalian skor dan bobot setiap variabel dijumlahkan total bobot pada setiap sampel batuan yang diuji. Dari total skor yang didapat maka litologi dapat ditentukan termasuk kategori yang mana sesuai nilai total yang didapat. Nilai terendah, yaitu akuifuge dengan total skor 0-1, selanjutnya kategori akuitar dengan total skor 1-2, kategori akuiklud dengan total skor 2-3, dan kategori akuifer dengan skor 3-4.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi dan Vulkanostratigrafi

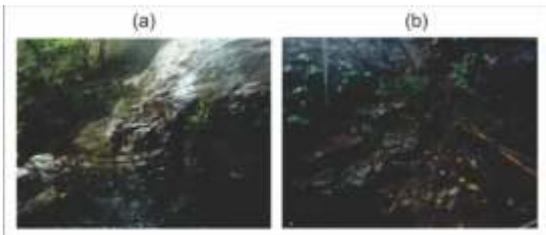
Berdasarkan hasil pemetaan geologi yang dilakukan, terdapat 5 satuan batuan (lihat Gambar 8). Satuan batuan tersebut tersusun atas satuan lava andesit (Gambar 4) yang secara umum memiliki karakteristik berwarna segar abu-abu, afanitik, hipokristalin hipidiomorfik ekuigranular, bentuk kristal subhedral, masif.

Sementara itu satuan breksi tersusun atas 2 jenis batuan, yaitu breksi tuf *matrix supported* dan breksi tuf *grain supported*. Breksi *matrix supported* (Gambar 5) umumnya memiliki karakteristik secara kasat mata memiliki warna segar abu-abu dan warna lapuk hitam. Komponennya berupa batuan beku andesitik dengan ukuran >64 mm dan berbentuk menyudut, memiliki pemilahan buruk serta kemas terbuka. Komponen batuan beku andesit berwarna segar abu-abu, dan berwarna lapuk coklat, hipokristalin inequigranular hipidiomorfik porfiritik, bentuk kristal subhedral, masif. Matriks berupa tuf kasar dengan warna segar coklat dan warna lapuk abu-abu, ukuran butirnya 1/64 mm - 2 mm, bentuk butir membundar tanggung - menyudut tanggung, pemilahannya sedang. Breksi *grain supported* umumnya memiliki karakteristik memiliki warna segar coklat dan warna lapuk hitam atau beberapa stasiun hijau. Ukuran komponennya kerikil-bongkah dan berbentuk menyudut tanggung - membundar tanggung, kompak, pemilahan buruk, kemas tertutup, dan masif. Matriks berupa tuf halus-kasar dengan warna segar putih dan warna lapuk kuning kecoklatan, ukuran butirnya 1/64 mm - 2 mm, bentuk butir menyudut tanggung, pemilahannya sedang.

Satuan lapili (Gambar 6) umumnya memiliki karakteristik butiran berukuran debu kasar - lapili, warna segarnya coklat, warna lapuk coklat kehijauan, terpilah buruk, kemas tertutup. Yang membedakannya dengan litologi tuf yaitu ukuran butir dan sortasinya.

Satuan tuf kasar (Gambar 7) memiliki karakteristik butiran berukuran debu kasar, warna segarnya coklat keabuan, warna lapuknya hijau, terpilah baik. Satuan tuf halus memiliki karakteristik berukuran butir <math><1/64\text{ mm}</math> dan berbentuk membuldar tanggung, terpilah baik, masif, dan getas.

Satuan breksi diperkirakan merupakan satuan paling tua pada daerah ini, terbukti dari kontak-kontak yang ditemukan selalu memiliki kedudukan di bawah (superposisi). Satuan ini diperkirakan terbentuk pada proses awal erupsi bertipe eksplosif ketika kubah gunung yang terletak di tengah hancur oleh tekanan lava. Satuan ini tertindih oleh endapan lapili dan tuf.



Gambar 4. Titik pengamatan Aliran Lava Andesitik yang terletak $6^{\circ} 50' 27,2904''$ LS dan $107^{\circ} 0' 25,758''$ BT . (a) foto jauh dan (b) foto dekat.



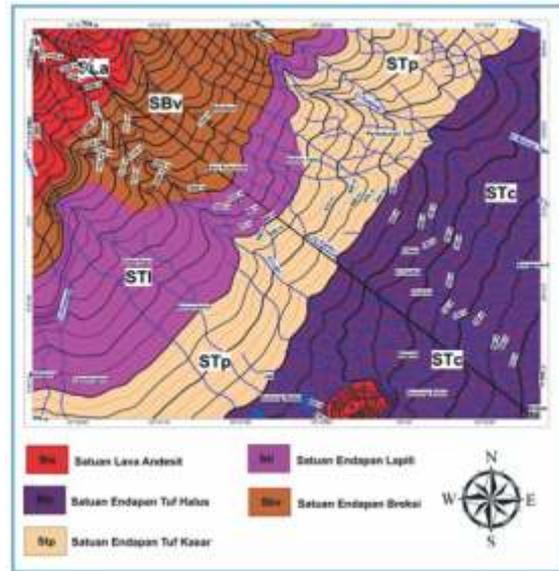
Gambar 5. Titik pengamatan endapan breksi matrik supported yang terletak pada kordinat $-6^{\circ} 51' 17,2008''$ LS dan $107^{\circ} 0' 58,3884''$ BT . (a) foto jauh dan (b) foto dekat.



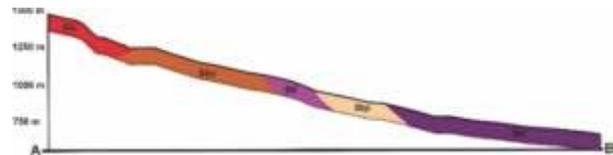
Gambar 6. Titik pengamatan tuf lapili yang terletak pada kordinat $-6^{\circ} 50' 53,4804''$ LS dan $107^{\circ} 0' 19,2996''$ BT . (a) foto jauh dan (b) foto dekat.



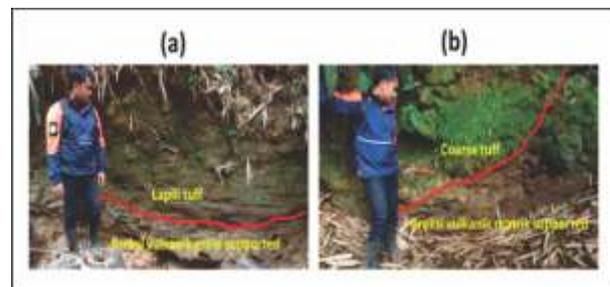
Gambar 7. Titik pengamatan tuf kasar yang terletak pada kordinat $6^{\circ} 51' 5,1084''$ LS dan $107^{\circ} 1' 38,3484''$ BT . (a) foto dekat dan (b) foto jauh



Gambar 8. Peta satuan batuan pada daerah studi.



Gambar 9. Penampang satuan batuan permukaan pada daerah studi.



Gambar 10. foto kontak batuan lapili tuf dengan breksi vulkanik *grain supported* (gambar a) serta kontak *coarse tuff* dengan breksi vulkanik *matrix supported* yang ditemukan pada daerah studi, kemiringan kontak tersebut kemungkinan mengikuti topografi terdahulu.

Satuan tuf lapili memiliki umur lebih tua dari satuan, tuf, meninjau dari kedudukan stratigrafinya, namun satuan endapan ini lebih muda daripada satuan endapan breksi seperti singkapan yang ditemukan. Satuan ini diperkirakan terbentuk oleh aliran abu vulkanik yang panas, mengendap pada daerah-daerah lembahan serta topografi purbanya. Satuan ini menindih breksi, kemudian tertindih oleh tuf yang terbentuk dari jatuhnya abu ataupun tertransport oleh media air.

satuan tuf diperkirakan terbentuk saat proses gunungapi mengeluarkan abu vulkaniknya, baik secara aliran maupun jatuhnya, pada daerah tenggara area studi. Diinterpretasikan satuan ini terbentuk oleh campur tangan media air, dengan ditemukannya boulder-boulder yang cenderung membulat dan sortasi memburuk, sedangkan pada daerah barat laut dan bertopografi curam boulderan relatif menyudut-menyudut tanggung. Litologi batuan ini diinterpretasikan lebih tua dari aliran lava dan lebih muda dari litologi lapili dan breksi.

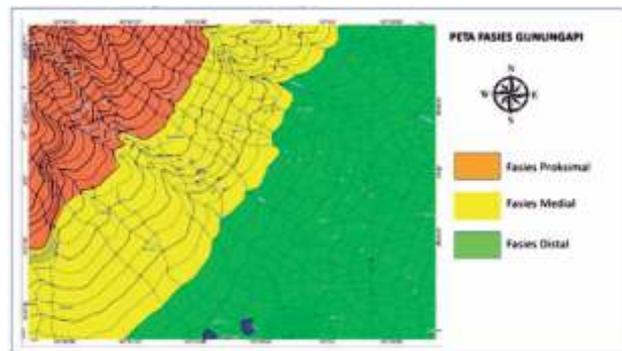
Satuan lava andesit ini merupakan satuan paling muda di ini, terlihat pada kontak litologi yang ditemukan menempatkan batuan ini berada paling atas pada singkapan, disusul dengan endapan lapili dan breksi. Satuan lava ini diperkirakan terbentuk paling terakhir dari proses erupsi gunungapi, dan satuan ini hanya tersebar pada lembahan daerah *central* (proksimal).

Penentuan zona gunungapi didasari pada sebaran litologi, dan geomorfologi daerah ini yang mengacu pada konsep Bogie (1998). Berdasarkan hasil analisis geomorfologi terdapat 2 satuan geomorfologi yang terbentuk, yaitu tubuh gunung vulkanik dan kaki gunung vulkanik. Satuan tubuh gunung vulkanik umumnya memiliki bentuk lembah Vtajam hingga Utajam dengan kelurusan punggung paralel dan berpola aliran paralel dengan kemiringan lereng rata-rata miring - curam ($8^{\circ} - 35^{\circ}$) dan ditemukan pula kemiringan lereng curam - sangat curam ($35^{\circ} - 50^{\circ}$). Pada satuan geomorfologi ini litologi yang ditemukan yaitu lava andesit, breksi *grain supported* dan beberapa breksi *matrix supported* dan lapili, atau meliputi 3 satuan batuan yaitu Satuan Lava Andesit (Sla), Satuan Breksi (Sbv), dan Satuan Lapili (stp). Dari karakteristik tersebut identik dengan fasies proksimal - medial. Maka penentuan fasies proksimal pada peta ditandai dengan warna orange, sedangkan fasies medial ditandai dengan warna kuning pada peta (Gambar 12).

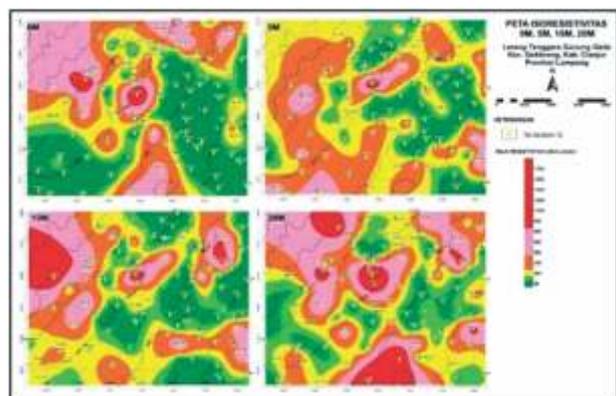
Sebagian fasies medial masuk ke dalam kaki gunung vulkanik, ditandai dengan bentuk lembah Utajam - Utumpul. Litologi penyusun satuan geomorfologi kaki gunung vulkanik pada fasies medial yaitu sebagian breksi *matrix supported*, lapili, dan didominasi tuf kasar. Pada fasies medial di satuan geomorfologi ini pola pengalirannya masih paralel, namun pola punggung pada fasies ini mulai ada yang berbelok. Kemiringan lereng pada fasies medial

di satuan geomorfologi ini relatif miring sampai agak curam. Fasies medial menjadi zona transisi karena letaknya masuk ke dalam 2 satuan geomorfologi. Batuan yang ditemukan masih relatif berbongkah namun semakin menghalus ke arah tenggara atau menuju fasies distal (Stl). Fasies medial meliputi 3 satuan batuan yaitu, Satuan Breksi (Sbv), Satuan Lapili, dan Satuan Tuf Kasar (Stp).

Fasies distal ditandai dengan warna hijau muda pada peta (Gambar 11). Pada fasies distal seluruhnya sudah masuk ke dalam satuan geomorfologi kaki gunung vulkanik, ditandai dengan perubahan pola aliran dari paralel menuju dendritik, bentuk lembah pada fasies ini Utajam - Utumpul, serta batuan yang relatif lunak dan berbutir halus. Litologi penyusun pada daerah ini umumnya tuf halus, ditemukan sedikit litologi tuf kasar dan lapili pada daerah perbatasan dengan fasies medial. Hampir seluruh fasies ini masuk ke dalam Satuan Tuf Halus (Stc) dan sedikit sekali Satuan Tuf Kasar (Stp) yang masuk fasies ini.



Gambar 11. Peta pembagian fasies gunungapi pada daerah studi.



Gambar 12. Peta isoresistivitas pada kedalaman permukaan sampai -20 m di bawah permukaan.

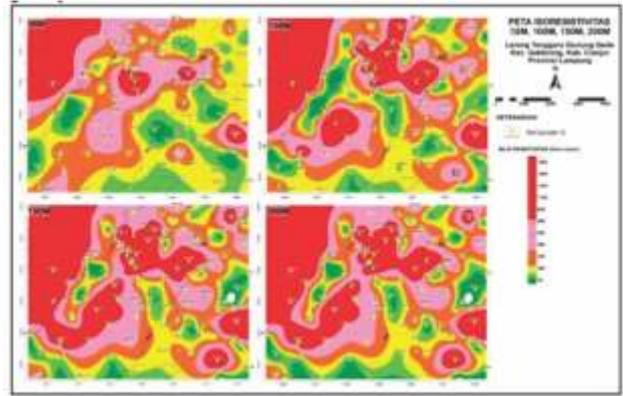
Kondisi Bawah Permukaan

Analisis kondisi bawah permukaan pada daerah studi didasarkan pada hasil pengukuran geolistrik yang diinterpretasikan melalui metode statistik *kriging* untuk ditentukan pembagian satuan nilai resistivitasnya. Data kedalaman yang berhasil didapat yaitu 200 m di bawah permukaan tanah. Nilai resistivitas dari 100 kali *sounding* pada daerah penyelidikan dapat mencakup seluruh area dengan baik, kedalaman yang berhasil terinterpretasikan yaitu 200 m dari permukaan (Gambar 12 dan Gambar 13). Total populasi nilai rho yang didapat 1742 nilai dengan nilai rho paling rendah 1 Ohm.m dan paling tinggi 6554 Ohm.m (Tabel 1).

Pada permukaan atau kedalaman 0 m (Gambar 12) nilai resistivitas tinggi tersebar pada barat laut dan utara, sedikit di tengah dan selatan daerah ini. Hal tersebut ditandai oleh warna merah muda – merah (rho 500 ohm.m – 1.700 Ohm.m). Sementara itu, nilai resistivitas rendah terkonsentrasi di daerah barat daya dan tenggara area, yang ditunjukkan pada warna kuning, hijau muda dan hijau tua (rho >50 ohm.m – 500 ohm.m). Pada kedalaman 40 m sampai 200 m di bawah permukaan (Gambar 13) terlihat nilai resistivitas tinggi yang ditunjukkan dengan warna merah muda – merah semakin mendominasi dan terkonsentrasi di daerah barat laut, beberapa tempat muncul pula nilai resistivitas tinggi. Sementara itu, nilai resistivitas yang relatif kecil sekali (>50 ohm.m – 200 ohm.m) berangsur menyusut dengan bertambahnya kedalaman, pada kedalaman 50 m di bawah permukaan dengan nilai 80 ohm.m – 200 ohm.m yang ditandai berwarna kuning sempit mendominasi. Litologi rendah (>50 ohm.m – 200 ohm.m) rata-rata tersebar di timur, tenggara, barat daya dan selatan.

Tabel 1. Hasil penafsiran nilai resistivitas terhadap litologi batuan

| Resistivity Range | Populasi | Klasifikasi | Litologi |
|-------------------|----------|-------------------|---------------|
| Rho 1- 51 | 350 | Sangat Rendah | Tuff Halus |
| Rho 52 - 102 | 284 | Rendah | Tuff Kasar |
| Rho 103 - 205 | 394 | Rendah - Menengah | Lapili |
| Rho 206 - 409 | 326 | Menengah - Tinggi | Breksi Matrik |
| Rho 410 - 819 | 234 | Tinggi | Breksi Grain |
| Rho 820 - 6554 | 150 | Sangat Tinggi | Lava Andesit |



Gambar 13. Peta isoresistivitas pada kedalaman -40 m sampai – 200 m di bawah permukaan.

Pengelompokkan nilai resistivitas dapat dilihat ada peak dan lembahan distribusi populasi nilai resistivitas (Gambar 14). Dapat kita lihat nilai resistivitas 103 ohm.m – 205 Ohm.m membentuk pola *peak* atau puncak, dan nilai resistivitas 206 ohm.m – 409 ohm.m membentuk lembahan maka pola-pola tersebut yang diambil menjadi satuan nilai resistivitas. Dari pembagian tersebut maka dapat satuan nilai resistivitas dapat dibagi menjadi 6 satuan resistivitas yang tertera pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil analisis geostatistika metode *kriging*, maka dibuat blok model kondisi geologi bawah permukaan (Gambar 15). Pembuatan model kondisi bawah tanah geologi menggunakan software rockwork berbasis numerik dan geostat. Metode yang diambil yaitu *kriging* sehingga interpolasi antar titik memiliki akurasi yang dapat dipertanggung-jawabkan.

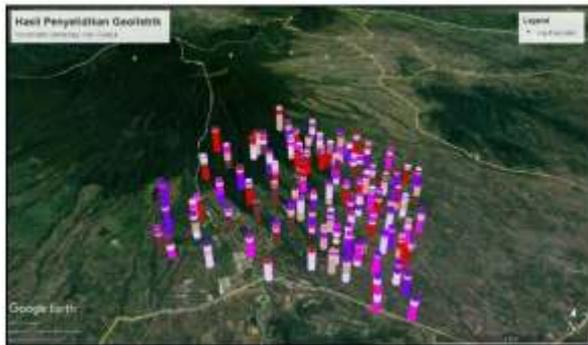
Berdasarkan hasil analisis pemodelan maka dihasilkan penampang geolistrik. Lintasan penampang yang dibuat sama persis dengan lintasan penampang satuan batuan permukaan pada bab pembahasan kondisi geologi daerah studi. Dari hasil perbandingan tersebut (Gambar 16) terdapat banyak kesamaan, meskipun penampang stratigrafi hanya merepresentasikan keadaan permukaan saja tanpa meninjau keadaan di bawah permukaan.

Pada penampang geolistrik dan geologi (Gambar 16) di zona proksimal yang ditandai dengan kotak orange menunjukkan batuan dominan, yaitu lava andesit. Selain itu, terdapat pula batuan breksi *grain* dan *matrix supported* serta sedikit sekali lapili. Pada penampang geolistrik batuan lava andesit relatif menerus ke bawah hingga 200 m. Lalu, batuan breksi dan lapili membentuk suatu perlapisan dengan breksi *grain supported* menjadi alasnya. Pada fasies medial terjadi transisi antara batuan breksi dan lapili yang bertemu dengan batuan tuf kasar, pada kedalaman 20 m terdapat blok lava andesit yang menerus hingga ke dalam lebih dari 200 m. Pada fasies distal umumnya batuan tuf halus hanya terdapat di

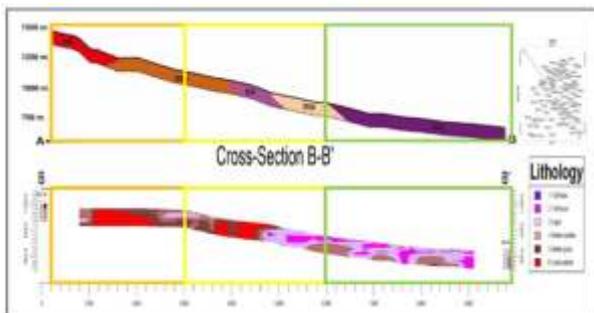
permukaan saja, sedangkan batuan yang mendominasi yaitu tuf kasar dan lapili, ditemukan blok-blok breksi *matrix supported* pada kedalaman 50-100m. Tidak ditemukan batuan breksi *grain supported* dan lava andesit pada fasies ini. Blok model diagram pagar beserta penampang litologi pada seluruh area dapat dilihat pada gambar Gambar 17 dan Gambar 18.



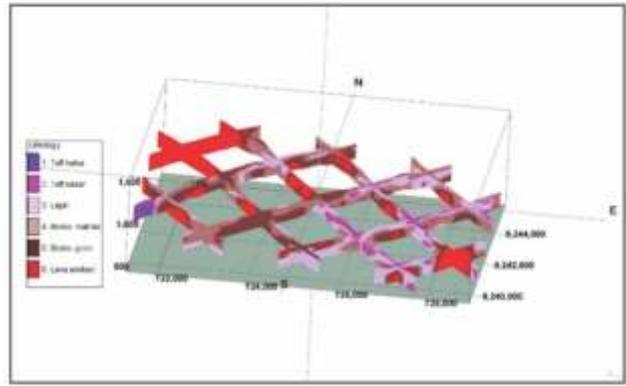
Gambar 14. Variogram nilai resistivitas dan populasinya pada daerah penyelidikan.



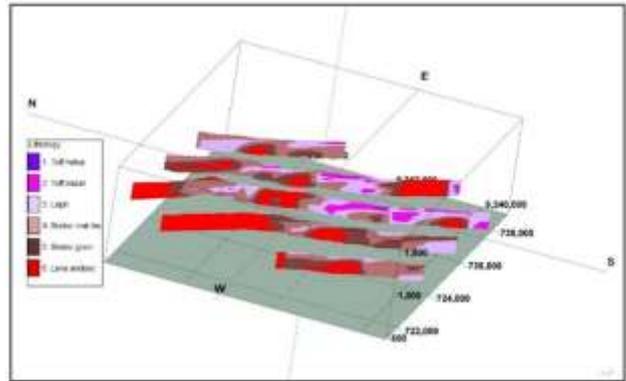
Gambar 15. Log litologi setiap titik pengukuran geolistrik.



Gambar 16. Perbandingan penampang stratigrafi dan penampang geolistrik dengan garis lintasan yang sama (kotak orange menandakan fasies proximal, kotak kuning fasies medial, kotak hijau fasies distal).



Gambar 17. Diagram pagar model geologi bawah tanah pada area studi.

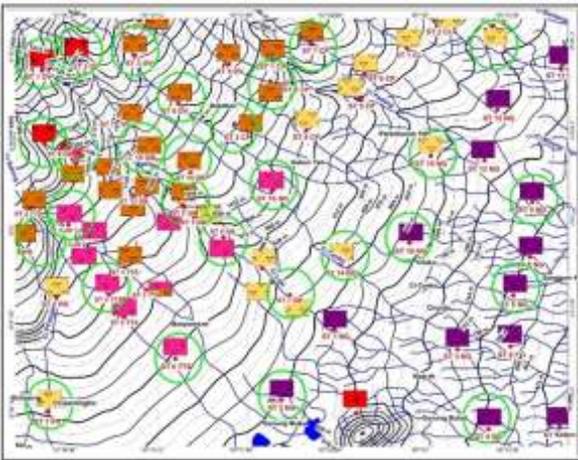


Gambar 18. penampang kondisi geologi bawah tanah pada area studi.

Hasil Uji Permeabilitas, Porositas, dan Kompresibilitas

Nilai permeabilitas tertinggi yaitu $1,167564 \times 10^{-3}$ cm/det yang terdapat pada tuf kasar, sedangkan nilai permeabilitas terendah dengan nilai $6,42717 \times 10^{-10}$ cm/det terdapat pada sampel lava andesit. Untuk porositas, nilai tertinggi, yaitu 52,57% terdapat pada sample tuf kasar, sedangkan nilai porositas terendah yaitu 15,64 % terdapat pada lava andesit. Untuk kompresibilitas, nilai tertinggi yaitu $2,4343460866601 \times 10^{-6}$ Pascal -1 atau m²/N terdapat pada tuf halus, dan nilai kompresibilitas terendah yaitu $8,31586663311104 \times 10^{-08}$ Pascal -1 atau m²/N yang terdapat pada lava andesit (Gambar 19). Berikut nilai hasil uji permeabilitas, porositas, dan kompresibilitas seluruh sampel batuan, beserta peta stasiun pengambilan sampel batuan (Tabel 2).

Setelah diketahui nilai permeabilitas, porositas, dan kompresibilitas litologi, maka dilakukan analisis statistik guna mengetahui klasifikasi nilai tersebut dengan metode kuartil, skoring, dan pembobotan.



Gambar 19. Peta lokasi pengambilan sampel batuan pada daerah studi, ditandai dengan lingkaran berwarna hijau muda.

Tabel 2. Nilai permeabilitas, porositas dan kompresibilitas di daerah studi

| No Sample | Permeabilitas cm/det | Porositas % | kompresibilitas pascal ⁻¹ atau m ² /N |
|--------------------------|-------------------------|----------------|--|
| ST 8 GB (Lava Andesit) | 7,08E-10 | 15,64 | 8,37E-08 |
| ST 1 DV (Lava Andesit) | 6,42717E-10 | 16,82 | 8,88896E-08 |
| ST 2 DV (Lava Andesit) | 7,55325E-10 | 17,05 | 8,31587E-08 |
| ST 10 GB (Breksi Grain) | 1,307E-07 | 22,83 | 3,14E-07 |
| ST 15 GB (Breksi Grain) | 2,18107E-07 | 26,88 | 3,36525E-07 |
| ST 6 DV (Breksi Grain) | 1,57134E-07 | 21,88 | 2,90243E-07 |
| ST 3 DV (Breksi Grain) | 2,00724E-07 | 27,36 | 2,79139E-07 |
| ST 7 CP (Breksi Grain) | 2,3095E-07 | 19,02 | 3,15631E-07 |
| ST 2 GB (Breksi matrik) | 1,58432E-06 | 28,99 | 4,89538E-07 |
| ST 3 CP (Breksi matrik) | 1,43567E-06 | 25,08 | 5,41514E-07 |
| ST 2 CP (Breksi matrik) | 1,01026E-06 | 19,71 | 4,47225E-07 |
| ST 14 GB (Breksi matrik) | 1,22886E-06 | 23,02 | 4,76644E-07 |
| ST 3 PR (Breksi matrik) | 1,04781E-05 | 26,89 | 5,5621E-07 |
| ST 16 NG (Lapili) | 1,16583E-05 | 36,31 | 7,8241E-07 |
| ST 4 GB (Lapili) | 1,40315E-05 | 35,21 | 8,31247E-07 |
| ST 4 TTS (Lapili) | 1,40479E-05 | 30,55 | 7,76734E-07 |
| ST 6 TTS (Lapili) | 2,03308E-05 | 33,99 | 7,13253E-07 |
| CJR 1 (Lapili) | 2,01598E-05 | 30,16 | 7,50728E-07 |
| ST 7 GB (Tuf kasar) | 0,000150997 | 43,52 | 9,47E-07 |
| ST 1 PR (Tuf kasar) | 0,000184621 | 46,98 | 9,91499E-07 |
| ST 14 NG (Tuf kasar) | 0,00110454 | 45,16 | 8,26117E-07 |
| ST 15 NG (Tuf kasar) | 0,000286935 | 52,57 | 8,44541E-07 |
| ST 3 CL (Tuf kasar) | 0,001167564 | 49,88 | 9,36224E-07 |
| ST 2 NG (Tuf halus) | 0,000135474 | 40,88 | 2,81E-06 |
| ST 10 NG (Tuf halus) | 0,00011153 | 44,69 | 3,72926E-06 |
| ST 9 NG (Tuf halus) | 0,000132107 | 43,26 | 5,79715E-06 |
| ST 5 NG (Tuf halus) | 4,57913E-05 | 45,14 | 2,02919E-06 |
| ST 4 NG (Tuf halus) | 2,79939E-05 | 41,62 | 2,43435E-06 |

Merujuk pada pembagian kelas kuartil (Tabel 3) maka didapat batuan andesit memiliki predikat paling buruk dalam memenuhi kriteria sebagai batuan yang bersifat akuifer, disusul oleh breksi *matrix* dan *grain supported*. Batuan tuf kasar memiliki predikat paling baik dan memadai untuk menjadi batuan yang bersifat akuifer disusul oleh tuf halus dan lapili.

Berdasarkan hasil perhitungan skoring dan pembobotan pada setiap sampel batuan yang diuji, maka terdapat 2 litologi yang dapat menjadi litologi bersifat akuifer, yaitu tuf kasar dengan skor rata-rata

3,85 disusul oleh tuf halus dengan skor rata-rata 3,55. Batuan non akuifer terdiri atas lava andesit dengan skor rata-rata 1 dan masuk ke dalam kategori akuifuge, disusul oleh breksi *grain supported* dengan skor rata-rata 1,25 dan masuk ke dalam kategori akuitar buruk, selanjutnya breksi *matrix supported* dengan skor rata-rata 1,95 dan masuk ke dalam kategori akuitar baik, terakhir ada lah lapili dengan skor rata-rata 2,8 dan masuk ke dalam kategori akuiklud (Tabel 3).

Tabel 3. Pembagian kuartil untuk skor permeabilitas, porositas dan kompresibilitas

Kategori Skor Permeabilitas (cm/det) :

1. (Sangat Rendah) = < 2.21E-7
2. (Rendah) = 2.21E-7 - .000012845
3. (Sedang) = .000012845 - .000126963
4. (Tinggi) = > .000126963

Kategori Skor Porositas (%) :

1. (Sangat Rendah) = < 22.8775%
2. (Buruk) = 22.8775% - 30.355%
3. (Mencukupi) = 30.355% - 43.455%
4. (Baik) = > 43.455%

Kategori Skor Kompresibilitas (pascal⁻¹ atau m²/N) :

1. (Sangat Rendah) = < 3.21E-7
2. (Rendah) = 3.21E-7 - 7.32E-7
3. (Sedang) = 7.32E-7 - 9.44E-7
4. (Tinggi) = > 9.44E-7

Tabel 4. Nilai skor permeabilitas, porositas dan kompresibilitas, skor total dan kategori total di daerah studi

| No Sample | Skor Permeab | Skor Porositas | Skor Kompresi | Total Skor | Kategori Total |
|--------------------------|--------------|----------------|---------------|------------|----------------|
| ST 8 GB (Lava Andesit) | 1 | 1 | 1 | 1 | Akuifuge |
| ST 1 DV (Lava Andesit) | 1 | 1 | 1 | 1 | Akuifuge |
| ST 2 DV (Lava Andesit) | 1 | 1 | 1 | 1 | Akuifuge |
| ST 10 GB (Breksi Grain) | 1 | 1 | 1 | 1 | Akuifuge |
| ST 15 GB (Breksi Grain) | 1 | 2 | 2 | 1,5 | Akuitar |
| ST 6 DV (Breksi Grain) | 1 | 1 | 1 | 1 | Akuifuge |
| ST 3 DV (Breksi Grain) | 1 | 2 | 1 | 1,25 | Akuitar |
| ST 7 CP (Breksi Grain) | 2 | 1 | 1 | 1,5 | Akuitar |
| ST 2 GB (Breksi matrik) | 2 | 2 | 2 | 2 | Akuitar |
| ST 3 CP (Breksi matrik) | 2 | 2 | 2 | 2 | Akuitar |
| ST 2 CP (Breksi matrik) | 2 | 1 | 2 | 1,75 | Akuitar |
| ST 14 GB (Breksi matrik) | 2 | 2 | 2 | 2 | Akuitar |
| ST 3 PR (Breksi matrik) | 2 | 2 | 2 | 2 | Akuitar |
| ST 16 NG (Lapili) | 2 | 3 | 3 | 2,5 | Akuiklud |
| ST 4 GB (Lapili) | 3 | 3 | 3 | 3 | Akuiklud |
| ST 4 TTS (Lapili) | 3 | 3 | 3 | 3 | Akuiklud |
| ST 6 TTS (Lapili) | 3 | 3 | 2 | 2,75 | Akuiklud |
| CJR 1 (Lapili) | 3 | 2 | 3 | 2,75 | Akuiklud |
| ST 7 GB (Tuf kasar) | 4 | 4 | 4 | 4 | Akuifer |
| ST 1 PR (Tuf kasar) | 4 | 4 | 4 | 4 | Akuifer |
| ST 14 NG (Tuf kasar) | 4 | 4 | 3 | 3,75 | Akuifer |
| ST 15 NG (Tuf kasar) | 4 | 4 | 3 | 3,75 | Akuifer |
| ST 3 CL (Tuf kasar) | 4 | 4 | 3 | 3,75 | Akuifer |
| ST 2 NG (Tuf halus) | 4 | 3 | 4 | 3,75 | Akuifer |
| ST 10 NG (Tuf halus) | 3 | 4 | 4 | 3,5 | Akuifer |
| ST 9 NG (Tuf halus) | 4 | 3 | 4 | 3,75 | Akuifer |
| ST 5 NG (Tuf halus) | 3 | 4 | 4 | 3,5 | Akuifer |
| ST 4 NG (Tuf halus) | 3 | 3 | 4 | 3,25 | Akuifer |

Hasil Analisis Arah Pengaliran Airtanah

Berdasarkan landasan teori, airtanah bergerak melalui lapisan batuan yang memiliki nilai permeabilitas, porositas tinggi dan nilai kompresibilitas rendah. Pada kedalaman 0 m atau permukaan, kondisi perlapisan didominasi oleh batuan bersifat akuifer di daerah tenggara area studi, namun pada daerah barat laut didominasi oleh batuan bersifat non akuifer yaitu akuitar dan akuiklud. Pada permukaan aliran airtanah belum bisa disimpulkan karena di permukaan tanah identik dengan vadoze zone, maka lapisan akuifer bisa disebut perlapisan resapan yang baik, sedangkan lapisan non akuifer terutama lapisan akuifug merupakan lapisan resapan yang kurang baik.

Pada kedalaman dangkal (Gambar 20), yaitu kedalaman 5 m, 10 m, dan 20 m pola aliran airtanah relatif mengarah ke tenggara. Sama seperti di permukaan, daerah barat laut didominasi oleh aliran airtanah dengan kemenerusan tidak baik atau pada zona proximal dan medial. Sementara pada daerah tenggara beberapa tempat terjadi pembelokan aliran airtanah dikarenakan beberapa lokasi terdapat batuan akuifug, namun arah relatif aliran masih menuju ke arah tenggara.

Pada kedalaman dalam (Gambar 21), yaitu kedalaman 50 m, 100 m, 150 m, dan 200 m pola aliran airtanah relatif mengarah ke tenggara meski pada kedalaman 150 m dan 200 m pada daerah medial terdapat aliran yang mengarah ke timurlaut akibat adanya blokade perlapisan yang bersifat akuifug. Pada kedalaman dalam ini dominasi aliran airtanah cenderung memiliki kemenerusan kurang baik, bahkan semakin dalam semakin tidak baik. Hanya pada daerah distal saja terdapat aliran air tanah dengan kemenerusan baik, itupun pada kedalaman 50 m dan 100 m, pada kedalaman 150 m dan 200 m tidak ada kemenerusan aliran air tanah yang baik.

Dari perkiraan tersebut dapat disimpulkan aliran airtanah baik dari kedalaman dangkal maupun dalam memiliki arah aliran relatif menuju tenggara, dari fasies proksimal menuju ke distal berdasarkan tinggi elevasi. Beberapa tempat arah aliran akan berbelok saat bertemu dengan lapisan yang bersifat akuifug, saat airtanah menembus lapisan akuiklud atau akuitar maka aliran akan terputus-putus. Dari analisis peta persebaran akuifer tersebut didapat pada kedalaman 150 m sampai 200 m presentase akuifer sangat sedikit.

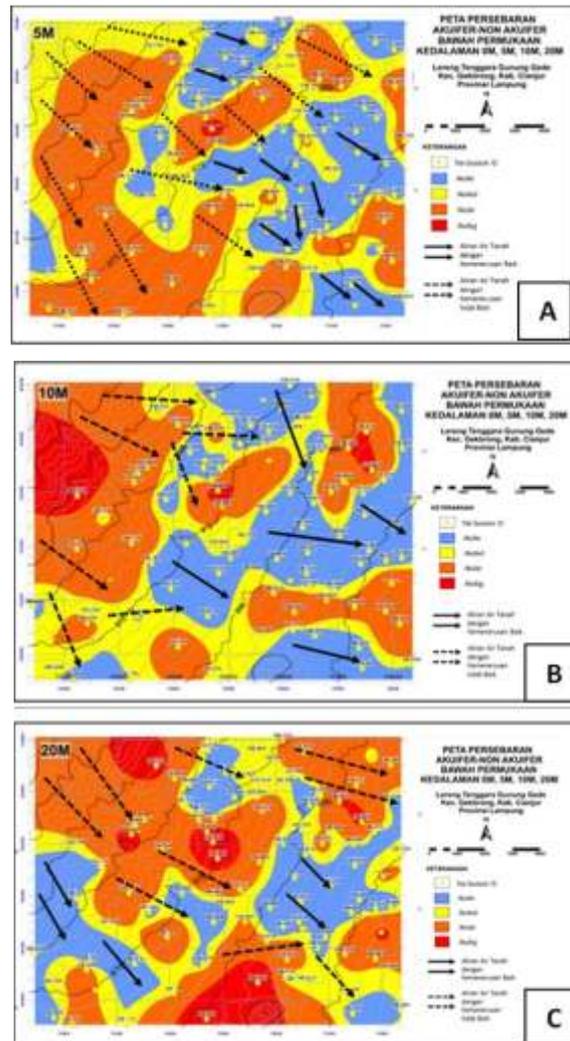
Hasil Pemodelan Kondisi Airtanah

Dari hasil pembuatan model airtanah dengan menggunakan software rockwork, terlihat bentuk pola

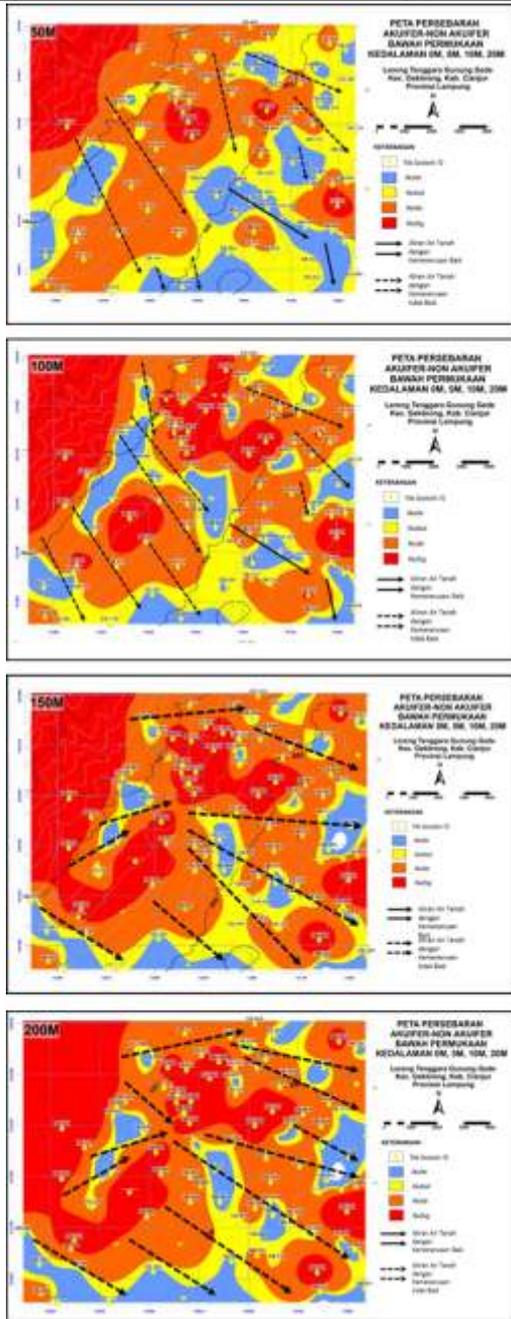
sistem airtanah, dari karakteristik setiap fasies gunungapi, hingga pola aliran air tanahnya yang dijabarkan dalam bentuk diagram pagar dan penampang sistem hidrogeologi seperti Gambar 22.

Dari hasil blok model diagram agar dengan arah relatif tegak lurus dengan kontur disimpulkan bahwa perlapisan akuifer mendominasi di fasies distal yang terletak di tenggara. Pada fasies medial dan proksimal didominasi oleh lapisan non akuifer terutama pada fasies proksimal yang hampir dipenuhi oleh lapisan yang bersifat akuifug

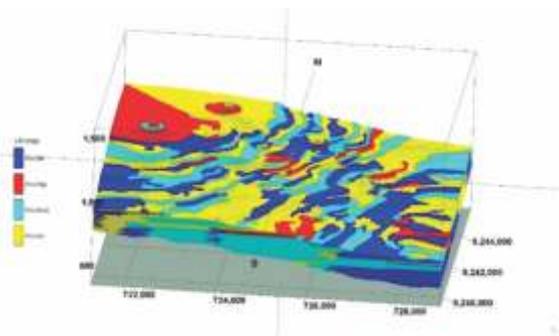
Berdasarkan penampang pada diagram pagar (Gambar 23) model pola aliran airtanah yang terbaca dan terbentuk relatif mengarah ke tenggara, dengan kemenerusan yang baik pada fasies distal dan kemenerusan kurang baik pada fasies proksimal dan pada fasies medial kemenerusan air mulai beragam (Gambar 24) karena batuan bersifat akuifer dan non akuifer mulai bertemu sesuai dengan analisis pola aliran airtanah sebelumnya.



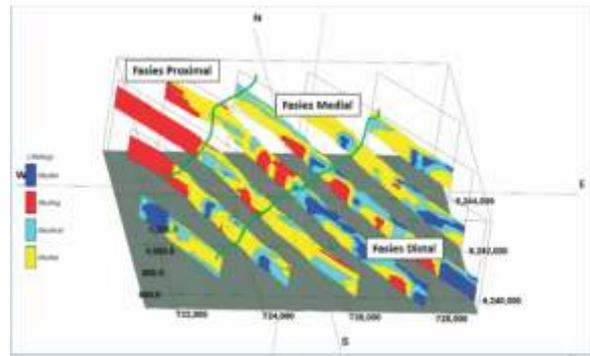
Gambar 20. Peta perkiraan pola aliran airtanah pada kedalaman 5 m (A), 10 m (B), dan 20 m (C).



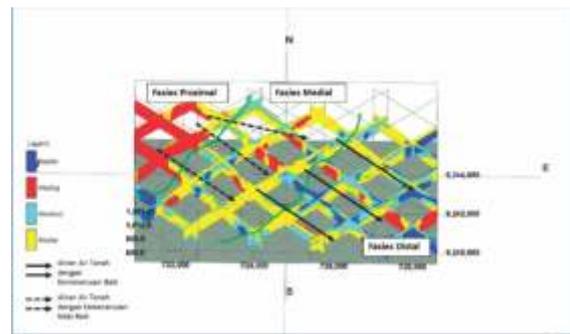
Gambar 21. Peta perkiraan pola aliran airtanah pada kedalaman 50 m (A) , 100 m (B), 150 m (C), dan 200 m (D).



Gambar 22. Blok model airtanah 3D daerah penelitian



Gambar 23. Penampang diagram pagar blok model airtanah daerah studi.

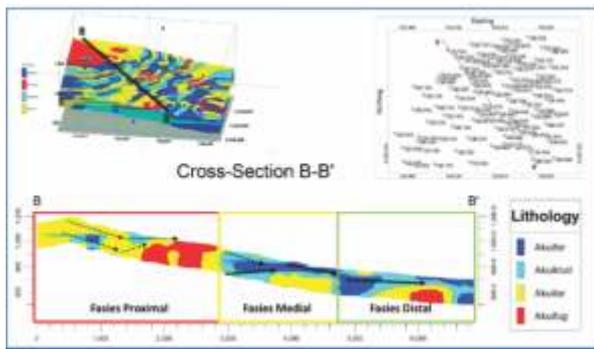


Gambar 24. Penampang diagram pagar blok model airtanah yang dapat memperlihatkan arah aliran airtanah.

Hal tersebut didukung dengan pembuatan penampang B-B' dengan arah bentangan baratlaut – tenggara atau memotong topografi (Gambar 25). Terlihat pada fasies proksimal dominasi batuan bersifat non akuifer maka arah aliran relatif memiliki kemenerusan kurang baik, bahkan aliran terpotong hingga dapat naik ke permukaan karena adanya lapisan yang bersifat akuifug. Pada fasies medial aliran air tanah memiliki kemenerusan yang beragam karena batuan relatif mulai tercampur antara batuan yang bersifat akuifer dan non akuifer. Pada fasies distal batuan bersifat akuifer mendominasi meski masih ditemukan batuan bersifat non akuifer, aliran airtanah relatif memiliki kemenerusan yang baik pada fasies tersebut, aliran tanah cenderung turun ke bawah permukaan hingga menemukan lapisan penyangga.

Volumetrik Karakteristik Litologi pada Setiap Fasies

Berdasarkan pemodelan air tanah (Gambar 22) beserta diagram pagar (Gambar 24) dan pola aliran air tanah yang teranalisis (lihat Gambar 20 dan 21), maka karakteristik aliran air tanah pada setiap fasies gunungapi dapat dijabarkan dengan melihat presentase volumetrik setiap litologi yang bersifat akuifer maupun non akuifer, sehingga menghasilkan kesimpulan karakteristik aliran air tanah pada setiap fasies .



Gambar 25. Penampang model airtanah yang memperlihatkan kategori air tanah secara kedalaman beserta arah alirannya.

Pada fasies gunungapi proksimal (Gambar 26) aliran airtanah cenderung memiliki arah terputus-putus karena litologi penyusunnya didominasi oleh batuan bersifat akuifuge. Hanya sedikit sekali ditemukan batuan yang bersifat akuifer (Tabel 5).

Dari hasil penghitungan volumetrik pemodelan pada fasies gunungapi proksimal, perlapisan yang bersifat akuifug mendominasi dengan jumlah volume batuan mencapai 675.533.250 m³ atau memiliki presentase volume sebesar 43 %, disusul dengan lapisan akuitar dengan jumlah volume batuan mencapai 582.702.750 m³ atau presentase volume sebesar 37 %. Kemudian lapisan akuifer dengan jumlah volume batuan mencapai 186.288.000 m³ atau presentase volume sebesar 12 %. Terakhir lapisan akuiklud dengan jumlah volume batuan paling sedikit mencapai 115.447.500 m³ atau memiliki presentase volume sebesar 7 %.

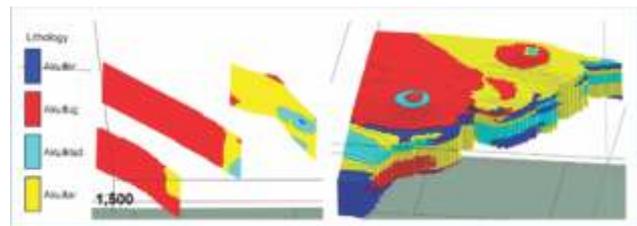
Pada fasies gunungapi api medial (Gambar 27) aliran airtanah memiliki arah aliran yang terputus-putus dan sebagian ada yang bergaris lurus tegas karena litologi penyusunnya didominasi oleh batuan akuitar. Terdapat proporsi yang lumayan ditemukan batuan yang bersifat akuifer, presentase komposisi litologi yang bersifat akuifer dan non akuifer dapat dilihat pada Tabel 6 untuk fasies gunungapi medial.

Dari hasil penghitungan volumetrik pemodelan pada fasies gunungapi medial, perlapisan akuitar mendominasi dengan jumlah volume batuan mencapai 1.017.560.250 m³ atau memiliki presentase volume sebesar 38 %. Disusul dengan lapisan akuifer dengan jumlah volume batuan mencapai 835.726.500 m³ atau memiliki presentase volume sebesar 31 %. Kemudian lapisan akuiklud dengan jumlah volume batuan mencapai 449.410.500 m³ atau memiliki presentase volume sebesar 17 %. Terakhir, lapisan

akuifug dengan jumlah volume batuan paling sedikit mencapai 357.414.750 m³ atau memiliki presentase volume sebesar 13 %.

Pada fasies gunungapi distal (Gambar 28) aliran tanah memiliki arah aliran yang relatif tegas, karena litologi penyusunnya didominasi oleh batuan bersifat akuifer. Terdapat proporsi yang lumayan ditemukan batuan akuiklud pada fasies gunungapi distal (Tabel 7).

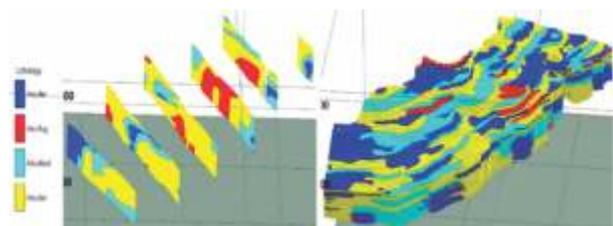
Dari hasil penghitungan volumetrik pemodelan pada fasies gunungapi distal, perlapisan akuifer sangat mendominasi dengan jumlah volume batuan mencapai 2.446.899.250 m³ atau memiliki presentase volume sebesar 67 %. Disusul dengan lapisan akuiklud dengan jumlah volume batuan mencapai 524.143.750 m³ atau memiliki presentase volume sebesar 14 %. Kemudian lapisan akuitar dengan jumlah volume batuan mencapai 420.738.500 m³ atau memiliki presentase volume sebesar 12 %. Terakhir lapisan akuifug dengan jumlah volume batuan paling sedikit mencapai 253.820.500 m³ atau memiliki presentase volume sebesar 7 %.



Gambar 26. Diagram pagar dan blok model airtanah pada fasies proksimal.

Tabel 5. Volumetrik kategori litologi pada fasies proksimal

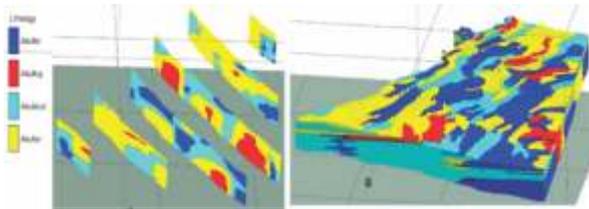
| No | Sifat Litologi | Volumetrik (m ³) | persentase volume (%) |
|---------------|----------------|------------------------------|-----------------------|
| 1 | Akuifer | 186.288.000 | 12 |
| 2 | Akuiklud | 115.447.500 | 7 |
| 3 | Akuitar | 582.702.750 | 37 |
| 4 | Akuifug | 675.533.250 | 43 |
| Total volume: | | 1.559.971.500 | 100 |



Gambar 27. Diagram pagar dan blok model airtanah pada fasies medial.

Tabel 6. Volumetrik kategori litologi pada fasies medial

| No | Sifat Litologi | Volumetrik (m ³) | persentase volume (%) |
|--------------|----------------|------------------------------|-----------------------|
| 1 | Akuifer | 835.726.500 | 31 |
| 2 | Akuiklud | 449.410.500 | 17 |
| 3 | Akuitar | 1.017.560.250 | 38 |
| 4 | Akuifug | 357.414.750 | 13 |
| Total volume | | 2.660.112.000 | 100 |



Gambar 28. Diagram pagar dan blok model airtanah pada fasies distal.

Tabel 7. Volumetrik Kategori Litologi pada fasies Distal

| No | Sifat Litologi | Volumetrik (m ³) | persentase volume (%) |
|--------------|----------------|------------------------------|-----------------------|
| 1 | Akuifer | 2.446.899.250 | 67 |
| 2 | Akuiklud | 534.143.750 | 14 |
| 3 | Akuitar | 420.758.500 | 12 |
| 4 | Akuifug | 253.820.500 | 7 |
| Total volume | | 3.645.602.000 | 100 |

DISKUSI

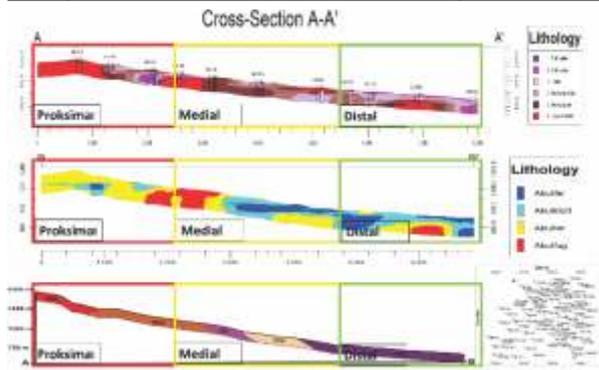
Setelah volumetrik pada setiap fasies diketahui maka penarikan kesimpulan pada karakteristik aliran di setiap dapat ditentukan. Karakteristik aliran airtanah terdiri atas kemampuan kemenerusan air, kemampuan menyimpan air, dan kemampuan jangkauan airtanah. Berdasarkan teori-teori yang berkembang, perlapisan batuan yang bersifat akuifer memiliki kemampuan tersebut dengan baik, disusul dengan lapisan akuiklud, akuitar, dan terakhir akuifug yang sama sekali tidak memiliki kemampuan tersebut pada karakteristik aliran airtanah primer.

Pada fasies proksimal diketahui proporsi batuan akuifug, yaitu lava andesit (Gambar 29) mencapai 43 % (Tabel 5) dan menjadi sifat batuan hidrogeologi yang paling dominan di zona tersebut, maka disimpulkan pada fasies proksimal memiliki kemampuan kemenerusan air yang agak buruk, kemampuan menyimpan air yang agak buruk, dan kemampuan jangkauan airtanah yang agak sempit. Kemungkinan aliran airtanah mengalir dengan sistem sekunder atau melalui patahan dan celah batuan bukan melalui media porous. Menurut Mandel (2012), di daerah ini umumnya jarang dijumpai muka airtanah dangkal atau mataair, tetapi lebih didominasi oleh besarnya aliran permukaan karena kecuraman lerengnya. Jika batuanya cukup porous, dengan

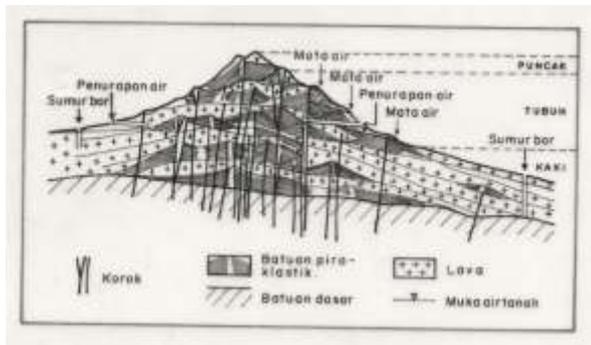
curah hujan di daerah puncak yang umumnya besar, maka daerah puncak dapat menjadi kawasan imbunan/peresapan yang penting.

Pada fasies medial diketahui proporsi batuan akuitar yang tersusun atas breksi *grain supported* dan breksi *matrix supported* (Gambar 29) mencapai 38 % (Tabel 6) dan menjadi sifat batuan hidrogeologi yang paling dominan di zona tersebut, maka disimpulkan pada fasies medial memiliki kemampuan kemenerusan air yang agak buruk, kemampuan menyimpan air yang agak buruk, dan kemampuan jangkauan airtanah yang agak sempit. Kemungkinan aliran airtanah mengalir dengan sistem sekunder atau melalui patahan dan celah batuan dan ada pula yang melalui media porous namun tidak signifikan. pada fasies ini sebagian aliran naik sedikit menuju permukaan, maka pada fasies medial masih ditemukan beberapa mataair dan ada potensi artesis pada fasies tersebut. Menurut Mandel (2012), daerah tubuh bersistem umumnya dicirikan oleh endapan produk bersistem yang lebih tua sehingga secara fisik lebih padat. Umumnya mataair banyak muncul pada bagian ini, baik disebabkan oleh adanya kontak antara lapisan yang berbeda tingkat kelulusannya, ataupun oleh adanya tekuk dan pemotongan lereng.

Pada fasies distal diketahui proporsi batuan akuifer yang tersusun atas tuf halus dan tuf kasar (Gambar 29) mencapai 67 % (Tabel 7) dan menjadi sifat batuan hidrogeologi yang paling dominan di zona tersebut, maka disimpulkan pada fasies proksimal memiliki kemampuan kemenerusan air yang baik, kemampuan menyimpan air yang baik, dan kemampuan jangkauan airtanah yang luas. Kemungkinan aliran airtanah mengalir dengan sistem primer atau melalui media porous dengan signifikan. Seperti yang kita tahu selama ini, pada fasies distal mulai jarang ditemukan mataair, kecuali mataair depresi. Muka airtanah di daerah fasies tersebut biasanya cenderung dangkal. Pada fasies ini biasanya terdapat 2 jenis akuifer, yaitu akuifer bebas dan akuifer tertekan, dan pada fasies ini biasanya sudah terdapat cekungan airtanah. Menurut Mandel (2012), potensi airtanah paling baik adalah pada bagian kaki bersistem. Air hujan yang jatuh pada tubuh dan puncak bersistem akan terakumulasi dengan baik pada akifer yang masuk ke bawah pada daerah kaki yang bermedan umumnya datar atau bergelombang. Litologi penyusun di daerah kaki gunung memiliki porositas dan permeabilitas serta kompresibilitas baik, untuk celah air dari puncak maupun tubuh gunungapi yang tidak dapat meresap ke dalam tanah. Airtanah artesis atau sumur yang mengalir (*free-flowing*) banyak dijumpai pada daerah seperti ini.



Gambar 29. Perbandingan penampang geologi dan penampang model airtanah beserta penampang satuan batuan permukaan pada daerah studi.



Gambar 30. Profil ideal cekungan airtanah di kawasan gunungapi

KESIMPULAN

Satuan batuan yang terdapat pada daerah studi yaitu Satuan Lava Andesit, Satuan Endapan Breksi (Sbv), Satuan Endapan Lapili (Stp), Satuan Endapan Tuf Kasar (Stp), dan Satuan Endapan Tuf Halus (Stc). Daerah studi masuk ke dalam fasies proksimal, medial, dan distal. Kemungkinan produk batuan ini terbentuk pada kisaran umur yang sama dengan beberapa kali proses erupsi yang terjadi. Perbedaan batuan berkaitan erat dengan perubahan fasies. Batuan daerah proksimal didominasi oleh lava dan breksi. Sementara itu, pada fasies medial batuan penyusunnya terdiri atas breksi *grain supported* untuk daerah sebelum proksimal dan akan menjadi dominan breksi *matrix supported* jika mendekati fasies distal. Begitu juga dengan daerah distal yang didominasi oleh batuan piroklastik tuf dan semakin menjauhi tubuh gunung maka ukuran butirnya semakin halus. Terdapat pengaruh struktur geologi pada daerah studi terutama pada daerah proksimal dan distal, namun perlu dilakukan studi lanjut mengenai peran struktur

geologi terhadap pengontrol pola aliran airtanah .

Total populasi nilai rho atau tahanan jenis yang didapat yaitu 1742 nilai dengan nilai rho tahanan jenis paling rendah 1 Ohm.m dan paling tinggi 6554 Ohm.m. Berdasarkan pembagian rentang nilai resistivitas dengan metode geostatistik, range nilai resistivitas terbagi atas Rho 1- 51 diinterpretasikan sebagai tuf halus, Rho 52 - 102 diinterpretasikan sebagai tuf kasar, Rho 103 – 205 diinterpretasikan sebagai lapili, Rho 206 – 409 diinterpretasikan sebagai breksi *matrix supported*, Rho 410 – 819 diinterpretasikan sebagai breksi *grain supported*, Rho 820 – 6554 diinterpretasikan sebagai lava andesit.

Nilai permeabilitas tertinggi terdapat pada batuan tuf kasar, sedangkan nilai permeabilitas terendah terdapat pada batuan lava andesit. Untuk porositas nilai tertinggi terdapat pada sampel tuf kasar, sedangkan nilai porositas terendah terdapat lava andesit. Untuk kompresibilitas nilai tertinggi pada tuf halus, dan nilai terendah pada lava andesit. Terdapat 2 litologi yang dapat menjadi akuifer, yaitu tuf kasar dan tuf halus. Batuan non akuifer terdiri atas lava andesit masuk ke dalam kategori akuifuge, disusul breksi *grain supported* masuk ke dalam kategori akuitar buruk, selanjutnya breksi *matrix supported* masuk ke dalam kategori akuitar baik, terakhir ada lapili masuk ke dalam kategori akuiklud.

Aliran air tanah memiliki arah aliran relatif menuju tenggara, dari fasies proksimal menuju ke distal berdasarkan tinggi elevasi. Beberapa tempat arah aliran akan berbelok saat bertemu dengan lapisan akuifug. Saat air tanah menembus lapisan akuiklud atau akuitar, maka aliran akan terputus-putus. Peta sebaran akuifer tersebut pada kedalaman 150 m - 200 m dengan presentase akuifer sangat sedikit.

Perlapisan akuifer mendominasi di fasies distal yang terletak di tenggara. Pada fasies medial dan proksimal didominasi oleh lapisan non akuifer terutama pada fasies proksimal yang didominasi oleh lapisan akuifug. Fasies proksimal memiliki kemampuan kemenerusan air sangat terbatas, kemampuan menyimpan air sangat terbatas, dan kemampuan jangkauan airtanah sempit. Fasies medial memiliki kemampuan kemenerusan air terbatas, kemampuan menyimpan air terbatas, dan kemampuan jangkauan airtanah lokal atau setempat. Fasies proksimal memiliki kemampuan kemenerusan air baik, kemampuan menyimpan air baik, dan kemampuan jangkauan airtanah luas atau regional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Prof. Ir. Mega Fatimah Rosana, M.Sc., Ph.D. selaku dekan Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjajaran, beserta Dr. Cipta Endyana, ST. MT.

selaku kepala program studi magister Teknik Geologi Universitas Padjajaran. Selain itu, penulis turut mengucapkan terimakasih kepada Ikbal Fauzi Aditama, ST, Deden Alshirazi, ST, serta Dimas Candika Alamsyah yang telah membantu dalam menyusun makalah ilmiah ini.

ACUAN

- Bogie, I., 1998. The Application of a Volcanic Facies Model to an Andesitic Stratovolcano Hosted Geothermal System at Wayang Windu, Java, Indonesia. *Proceedings of 20th NZ Geothermal Workshop*.
- Dahlberg, E.C., 1982. *Applied Hydrodynamics in Petroleum Exploration*. Springer, Berlin.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall Inc, Eaglewood Cliffs, NJ.
- Harison, S.P. and Kom, M., 2013. Bahan Ajar Terseleksi Probabilitas dan Statistik TIS. Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Padang.
- Herlambang, A., 1996. *Kualitas Air Tanah Dangkal di Kabupaten Bekasi*. Disertasi Program Pascasarjana, IPB Bogor.
- Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996. *Sandi Stratigrafi Indonesia*, vol. 14.
- Manaris, P., Wayan, M., dan Yaya, S., 1998. *Peta Hidrogeologi Regional Indonesia Lembar Cianjur*. Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung.
- Mandel, S., 2012. *Groundwater Resources: Investigation and Development*. Elsevier.
- Robert, J.K., 2012. *Tata Ruang Air Tanah*. Andi Offset, Yogyakarta.
- Sudjarmiko, 1972. *Peta Geologi Lembar Cianjur, Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Todd, J., 1990. *Introduction to Hydrogeology*. Geol. Dep. Fac. Sci. Univ. Alberta, Edmonton, Canada.