

Studi Potensi Airtanah pada Cekungan Airtanah (CAT) Banyumudal, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah

T. Listyani R.A.¹ dan Thomas Triadi Putranto²

¹Program studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta; e-mail: lis@itny.ac.id

²Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

ABSTRAK

Cekungan Airtanah (CAT) Banyumudal terletak di Kabupaten Kebumen, seluas 67 km². Mengacu pada peta geologi regional, daerah ini tersusun atas Formasi Halang, Kalipucang, dan Gabon. Maksud penelitian ini adalah menganalisis potensi airtanah CAT Banyumudal, baik secara kualitas maupun kuantitasnya. Metodologi yang digunakan adalah pengumpulan data sekunder, pemetaan hidrogeologi, akuisisi geolistrik konfigurasi *Schlumberger* dan uji pemompaan. Pemetaan hidrogeologi dilaksanakan pada 153 titik minatan, meliputi 110 sumur gali, 20 sumur bor, dan 23 mata air. Hasil pengujian laboratorium menunjukkan nilai daya hantar listrik airtanah sebesar 115 - 1.251 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pada sumur gali, 507- 981 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pada sumur bor dan 259 - 604 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pada mata air. Derajat keasaman (pH) airtanah pada sumur gali sebesar 5,761 - 8,5, pada sumur bor 7,013 - 8,333 dan pada mata air 6,747 - 8,204. Hasil plot diagram Stiff menunjukkan adanya 12 tipe airtanah, sedangkan plot diagram Piper menunjukkan 4 fasies airtanah, yaitu fasies *alkaline earth water predominantly hydrogencarbonate*, fasies *alkaline earth water with higher alkaline content predominantly hydrogencarbonate*, fasies *alkaline water predominantly hydrogencarbonate*, dan fasies *alkaline water predominantly sulphate chloride*. Hal tersebut menunjukkan bahwa airtanah di daerah penelitian berkualitas sedang - sangat baik. Hasil interpretasi geolistrik menunjukkan bahwa litologi bawah permukaan berupa batulempung, batulempung pasiran, batupasir, batugamping, breksi dan tuf. Hanya akuifer bebas yang berkembang di daerah penelitian. Cadangan statis airtanah di daerah penelitian sebesar $200,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ sedangkan cadangan dinamis sebesar $33,4 \times 10^6 \text{ m}^3$. Daerah penelitian dapat dibagi menjadi dua zona potensi airtanah, yaitu zona potensi airtanah rendah pada akuifer bebas dengan debit optimum 0,553 - 1,492 L/dtk dan zona potensi airtanah sedang pada akuifer bebas dengan debit optimum 2,651 - 3,024 L/dtk.

Kata kunci: Potensi, Kualitas, Kuantitas, Airtanah, CAT Banyumudal

ABSTRACT

Banyumudal Groundwater Basin (Banyumudal GWB) is located in Kebumen Regency, covering 67 km² area. According to the regional geological map, the study area consists of Halang, Kalipucang and Gabon Formations. This study aims to analyze groundwater potency in Banyumudal GWB in quality and quantity. The method of study includes secondary data collection, hydrogeological mapping, geoelectric acquisition with *Schlumberger* configuration and pumping test. Hydrogeological mapping was done from 153 locations, consist of 110 dug wells, 20 deep wells and 23 springs. Result of the laboratory test shows that groundwater has electrical conductivity (EC) between 115 - 1,251 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in dug wells, 507 - 981 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in deep wells and 259 - 604 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in springs. Groundwater shows an acidity (pH) of 5,761 - 8,5 in dug wells, 7,013 - 8,333 in deep wells and 6,747-8,204 in springs. Result of the Stiff diagram plot shows that there are 12 types of groundwater, while the Piper diagram plot shows 4 groundwater facies namely *alkaline earth water predominantly hydrogencarbonate*, *alkaline earth water with higher alkaline content predominantly hydrogencarbonate*, *alkaline water predominantly hydrogencarbonate*, and *alkaline water predominantly sulphate chloride* facies. This result generally represent that groundwater in the study area is in the very good - medium range quality. Geoelectric results indicate subsurface litology as claystone, sandy claystone, sandstone, limestone, breccia and tuff. It seems that only unconfined aquifers which exist in the study area. Groundwater reserves in study area include static reserves in amount of $200,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ and dynamic reserves in amount of $33,4 \times 10^6 \text{ m}^3$. Based on quality and quantity of groundwater, there are two groundwater potential zones, that are low groundwater potential zone in unconfined aquifer with optimum discharge of 0,553 - 1,492 L/s and medium groundwater potential zone in unconfined aquifer with optimum discharge of 2,651 - 3,024 L/s.

Keywords: Potency, Quality, Quantity, Groundwater, Banyumudal Groundwater Basin

Citation: Listyani R.A., T. dan Putranto, T.T.. (2020). Studi Potensi Airtanah pada Cekungan Airtanah (CAT) Banyumudal, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(3), 531-544, doi:10.14710/jil.18.3.531-544

1. Latar Belakang

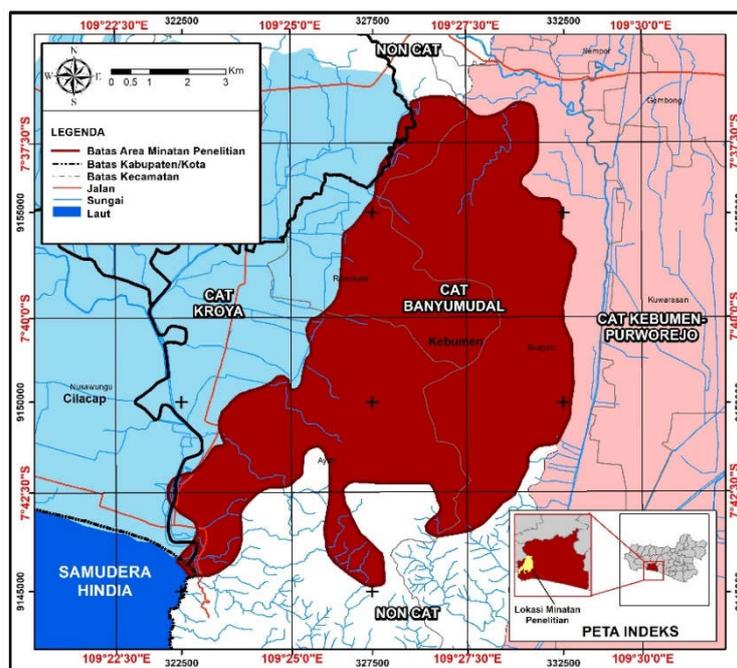
Kebutuhan manusia terhadap air semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk di suatu daerah. Kebutuhan air yang terus meningkat dapat diperoleh dengan memanfaatkan airtanah. Upaya pemanfaatan airtanah memerlukan kajian tentang kuantitas dan kualitas airtanah yang terdapat pada akuifer.

Air adalah salah satu sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Airtanah merupakan sumber daya alam yang vital dalam menyediakan pasokan air minum yang bersih, baik di daerah pedesaan maupun perkotaan (Magesh dkk., 2012). Pemanfaatan airtanah harus didasarkan pada konsep keseimbangan (*balance*) dan kelestarian (*sustainable*) sumber daya air tersebut. Konsep pengelolaan air yang berwawasan lingkungan diperlukan untuk menjaga kelestarian sumberdaya air. Sumber daya airtanah dikelola secara menyeluruh, terpadu, dan berwawasan lingkungan hidup dengan tujuan mewujudkan kemanfaatan sumber daya airtanah yang berkelanjutan. Untuk itu perlu dilakukan kajian

mengenai potensi airtanah baik dari segi kuantitas maupun kualitasnya.

Airtanah sebagai sumberdaya air dewasa ini semakin dibutuhkan mengingat air permukaan sering tidak memadai dan mudah tercemar. Oleh karena itu, potensi airtanah perlu diteliti demi menjaga keberlangsungan ketersediaan airtanah di suatu daerah, mengingat airtanah tidaklah selalu mencukupi. Oleh karenanya, studi tentang potensi airtanah ini diharapkan dapat bermanfaat bagi masyarakat di Cekungan Airtanah (CAT) Banyumudal.

CAT Banyumudal merupakan cekungan airtanah yang terletak di Kabupaten Kebumen. Secara geografis CAT ini terletak di antara garis 322200-333148 m (Timur) dan 9157920-9145352 m (Utara) dari koordinat UTM 49S. Wilayahnya meliputi 3 area kecamatan yaitu Kecamatan Ayah, Buayan dan Rowokele. CAT ini berbatasan dengan CAT Kroya di bagian barat, CAT Kebumen-Purworejo di bagian timur serta non-CAT di bagian utara dan selatan (Gambar 1). Berdasarkan Permen ESDM No. 2, CAT Banyumudal memiliki luas wilayah 67 km² (Republik Indonesia, 2017).



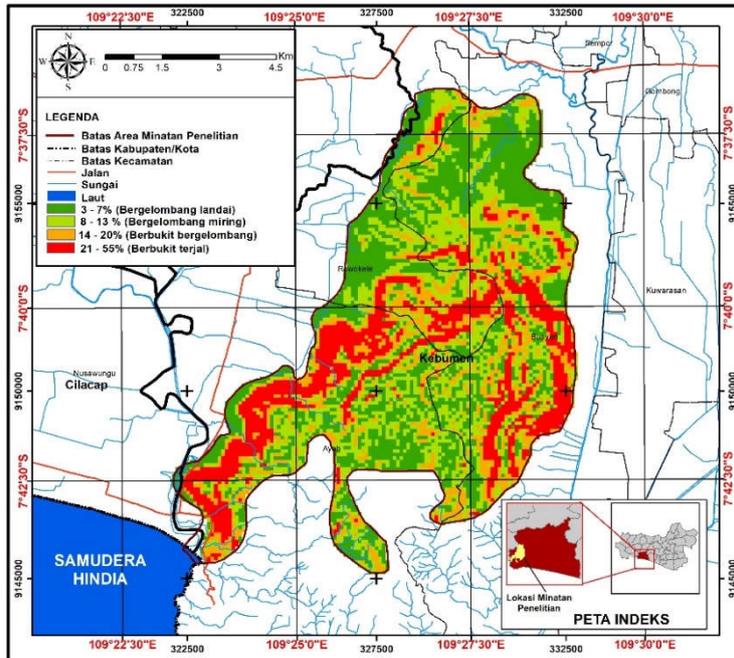
Gambar 1. Peta Cekungan Airtanah (CAT) Banyumudal.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Geologi Regional

Kondisi geologi regional daerah CAT Banyumudal dapat dilihat dari aspek geomorfologi dan stratigrafinya. Secara geomorfologi, daerah CAT Banyumudal dapat digolongkan menjadi 4 satuan morfologi (Gambar 2) berdasarkan analisis besar lereng dan beda tinggi daerah penelitian. Satuan yang pertama yaitu Satuan Morfologi Bergelombang Landai yang mengisi sekitar 57% luas wilayah CAT Banyumudal. Morfologi ini banyak dijumpai di bagian

utara wilayah penelitian. Satuan kedua yaitu Satuan Morfologi Bergelombang Miring yang mengisi sekitar 14% daerah penelitian. Morfologi ini banyak dijumpai di Kecamatan Ayah dan Buayan. Satuan ketiga yaitu Satuan Morfologi Berbukit Bergelombang. Morfologi ini memiliki penyebaran sekitar 7% luas wilayah penelitian dan banyak dijumpai di Kecamatan Ayah dan Kecamatan Buayan. Satuan keempat adalah Satuan Morfologi Berbukit Terjal. Morfologi ini tersebar seluas 32% dari wilayah penelitian dan banyak dijumpai di Kecamatan Ayah.



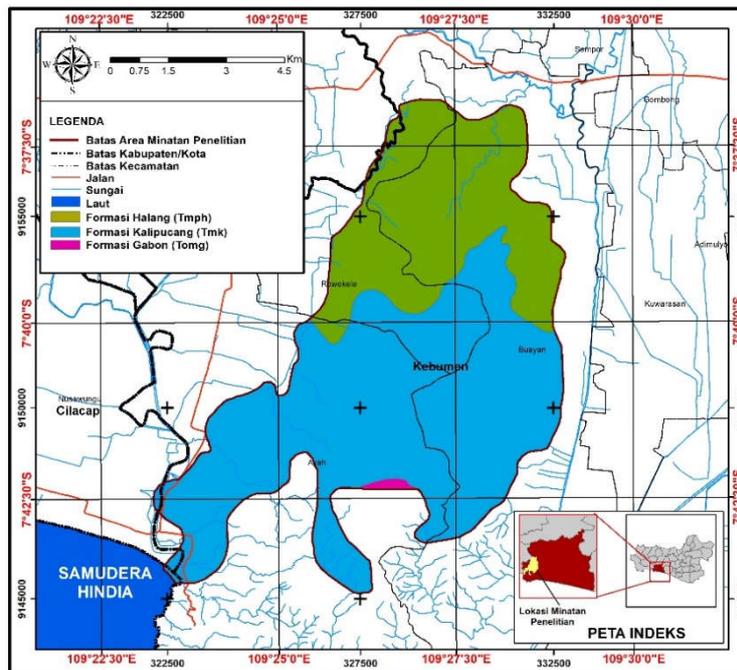
Gambar 2. Peta Geomorfologi (CAT) Banyumudal

Menurut Asikin dkk. (1995), stratigrafi daerah CAT Banyumudal tersusun atas tiga formasi batuan, yaitu Formasi Halang (Tmph), Formasi Kalipucang (Tmk), dan Formasi Gabon (Tomg) (Gambar 3). Formasi Halang merupakan formasi yang paling muda yang tersusun oleh batupasir, batulempung, napal dan tuf yang berselingan dengan breksi. Formasi ini mencakup 40% dari wilayah CAT Banyumudal. Formasi Kalipucang tersusun oleh batugamping terumbu dan batugamping klastik yang penyebarannya mencakup 55% wilayah penelitian. Formasi Gabon merupakan formasi yang paling tua, tersusun atas tuf, lapili tuf, lava, dan endapan lahar

yang berbatasan langsung dengan Formasi Kalipucang di daerah selatan CAT Banyumudal.

2.2. Hidrogeologi Regional

Cekungan airtanah adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas-batas hidrogeologis, dimana dalam batas-batas tersebut, semua peristiwa hidrogeologi (*hydrogeologic event*) seperti pengimbuhan, pengaliran, dan pelepasan airtanah berlangsung (PAAI-GWWG, 2016). Berdasarkan peta hidrogeologi lembar Pekalongan (Effendi, 1985) (Gambar 5), daerah penelitian tersusun oleh:



Gambar 3. Peta Geologi (CAT) Banyumudal

1) Akuifer produktif

Akuifer jenis ini ada wilayah penelitian memiliki produktifitas sedang dengan penyebaran luas. Akuifer memiliki keterusan rendah hingga sedang, muka airtanah dekat dengan tanah, debit sumur diperkirakan 5 L/dtk.

2) Akuifer produktif sedang

Akuifer jenis ini memiliki produktifitas rendah sampai tinggi. Airtanah pada akuifer ini memiliki aliran bergantung pada zona celah, rekahan atau saluran pelarutan. Muka airtanah umumnya dalam, debit sumur dan mata air beragam bergantung pada kondisi celahan, rekahan atau saluran pelarutan.

3) Akuifer produktifitas kecil, setempat berarti

Akuifer jenis ini umumnya memiliki keterusan rendah, setempat dijumpai airtanah dangkal dalam jumlah terbatas, dapat diperoleh pada zona pelapukan batuan padu atau di daerah lembah.

2.3. Tingkat Potensi Airtanah

Tingkat potensi airtanah dalam cekungan airtanah ditentukan berdasarkan kriteria sebagai berikut:

1) Kriteria kuantitas

Kuantitas airtanah yang dapat dieksploitasi ditentukan berdasarkan parameter akuifer dan parameter sumur yang meliputi keterusan (T), debit jenis (Q_s), dan debit optimum (Q_{opt}).

Kriteria kuantitas airtanah bergantung pada jenis peruntukannya (air minum, industri, pertanian, dan keperluan lain). Untuk keperluan air minum, berdasarkan kriteria kuantitasnya, akuifer pada cekungan airtanah dibedakan menjadi tiga kelas sebagai berikut:

- a) Besar, jika Q_{opt} lebih dari 10 L/dtk.
- b) Sedang, jika Q_{opt} antara 2-10 L/dtk.
- c) Kecil, jika Q_{opt} kurang dari 2 L/dtk.

2) Kriteria kualitas

Kriteria kualitas bergantung pada jenis peruntukan, penentuan parameter kunci, dan standar yang digunakan untuk menilai kualitas airtanah. Pengelompokan kualitas airtanah untuk menentukan potensi airtanah bagi keperluan air minum didasarkan atas parameter kimia dengan mempertimbangkan:

- a) Parameter kimia yang terkait dengan litologi akuifer, umumnya mempunyai sebaran luas.
- b) Biaya untuk pengolahan parameter kimia.

3) Daerah/wilayah potensi airtanah

Berdasarkan kriteria kuantitas dan kualitasnya, daerah/wilayah potensi airtanah dapat dibedakan menjadi empat kategori sebagai berikut :

- a) Tinggi jika setiap sumur yang dibuat dengan jarak antar sumur tertentu menghasilkan Q_{opt} lebih dari 10 L/dtk dengan kualitas airtanah baik.
- b) Sedang jika setiap sumur yang dibuat dengan jarak antar sumur tertentu menghasilkan Q_{opt} antara 2-10 L/dtk dengan kualitas airtanah baik.

c) Rendah jika setiap sumur yang dibuat dengan jarak antar sumur tertentu menghasilkan Q_{opt} kurang dari 2 L/dtk dengan kualitas airtanah baik.

d) Nihil jika setiap sumur yang dibuat menghasilkan air dengan kualitas jelek.

3. Metodologi

Metodologi yang dilakukan dalam studi potensi CAT Banyumudal adalah dengan menggunakan data primer dan data sekunder (Gambar 4). Metode penelitian secara rinci dapat dijelaskan sebagai berikut.

3.1. Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan data awal sebelum melakukan pengambilan data primer di lapangan. Persiapan data sekunder dapat meliputi perizinan pemerintah, pengumpulan alat dan bahan. Selain itu pengumpulan data sekunder juga dilakukan dari literatur terkait maupun dari instansi pemerintah terkait untuk mendapatkan data peta geologi regional, peta hidrogeologi regional, peta RTRW, peta kebutuhan air, dan data curah hujan.

3.2. Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer di lapangan dilakukan dengan metode pemetaan geologi dan hidrogeologi, pengukuran geolistrik, dan uji pemompaan. Masing-masing metode secara ringkas dapat dijelaskan sebagai berikut.

3.2.1. Pemetaan Geologi dan Hidrogeologi

Dari hasil pemetaan geologi diperoleh data morfologi serta batuan penyusun daerah penelitian. Sementara itu, pemetaan hidrogeologi menghasilkan data muka airtanah dan kualitas airtanah. Pengamatan hidrogeologi dilakukan pada 153 titik minat, meliputi 110 sumur gali (SG), 20 sumur bor (SB), dan 23 mata air (MA). Pemetaan hidrogeologi di lapangan dilengkapi dengan pengambilan sampel airtanah sebagai bahan untuk analisis laboratorium.

Data kualitas airtanah yang terukur di lapangan antara lain sifat fisik (warna, rasa, bau) serta nilai daya hantar listrik (DHL) yang diukur dengan DHL-meter. Sementara itu, data kimia airtanah yang diukur di lapangan adalah pH dengan menggunakan pHmeter.

3.2.2. Pendugaan Geolistrik

Metode pendugaan geolistrik berguna untuk mengetahui susunan batuan di bawah permukaan. Pengukuran geolistrik dilakukan menggunakan konfigurasi *Schlumberger* pada 15 titik minat yang menghasilkan penampang bawah permukaan geometri akuifer.

3.2.3. Uji Pemompaan

Uji pemompaan dilakukan di 5 lokasi terpilih untuk mengetahui karakteristik hidrolik akuifer. Data yang diperoleh dari metode ini adalah nilai koefisien

kelulusan (K), keterusan (T), koefisien simpan (S), dan debit jenis (Qs).

3.3. Pengujian Laboratorium

Uji laboratorium dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia airtanah. Sampel yang dianalisis di laboratorium sebanyak 80 sampel, berasal dari 50 sumur gali, 15 sumur bor dan 15 mataair. Pengujian laboratorium berguna untuk memperoleh data sifat fisik (warna, rasa, kekeruhan, dan daya hantar listrik) serta sifat kimia (pH serta kandungan ion terlarut) airtanah. Pengujian sifat fisik/kimia airtanah dilakukan di laboratorium Badan Geologi, Bandung.

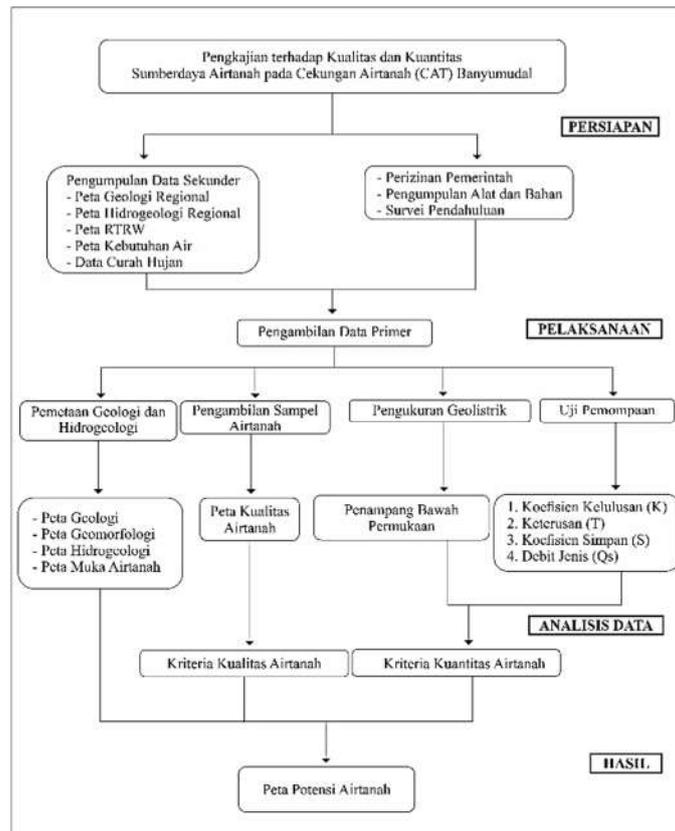
3.4. Analisis Data

Pekerjaan studio dilakukan untuk menganalisis data-data yang diperoleh dari data sekunder maupun data primer. Berikut ini penjelasan rinci dari tahapan analisis penelitian ini.

3.4.1. Analisis Hidrologi dan Hidrogeologi

3.4.1.1. Analisis Neraca Air

Analisis neraca air dilakukan dengan metode Thornthwaite (1948) dalam kurun satu tahun, pada bulan Januari – Desember 2019. Analisis neraca air berguna untuk melihat kesetimbangan air pada cekungan yang diteliti.



Gambar 4. Metodologi Penelitian

3.4.1.2. Analisis Pola Aliran Airtanah

Analisis pola aliran airtanah dilakukan berdasarkan data muka airtanah pada semua titik minat, baik dari sumur gali, sumur bor maupun mata air.

3.4.1.3. Penentuan Zona Imbuhan dan Lepas

Zona imbuhan dan lepasan airtanah dapat ditentukan dengan mempertimbangkan morfologi daerah, kedudukan muka airtanah serta keberadaan mataair. Batas zona imbuhan/lepasan di daerah penelitian ditentukan berdasarkan Permen ESDM No. 31/2018.

3.4.2. Analisis Kualitas Airtanah

Kualitas airtanah ditentukan berdasarkan hasil uji laboratorium fisik/kimia airtanah. Kualitas airtanah yang dianalisis meliputi tipe dan fasies

airtanah. Tipe airtanah diketahui berdasarkan klasifikasi Kurlov (1928), sedangkan fasies airtanah diketahui berdasarkan analisis menggunakan Diagram trilinear Piper. Tipe dan fasies airtanah tersebut berguna untuk mengetahui genesis airtanah.

3.4.3. Analisis Geometri Akuifer

Hasil penyelidikan geolistrik digunakan untuk mengetahui susunan batuan dan geometri akuifer cekungan yang diteliti. Hasil analisis ini menghasilkan penampang litostratigrafi 2D.

3.4.4. Perhitungan Cadangan Airtanah

Cadangan airtanah meliputi cadangan statis dan cadangan dinamis. Pada cadangan statis, kemampuan akuifer dihitung berdasarkan pada volume akuifer dan kemampuan menyimpan batuan sehingga nilai

yang didapatkan adalah nilai maksimum airtanah yang mungkin berada di dalam akuifer. Sementara itu, kemampuan akuifer pada cadangan dinamis dihubungkan dengan karakteristik airtanah.

Pengolahan data dibantu dengan *soft ware* Mapinfo untuk membuat peta-peta hidrogeologi, antara lain peta hidrogeologi regional, peta muka airtanah, peta zona imbuan/lepasan dan peta kualitas airtanah. Hasil pengolahan data tersebut menghasilkan kriteria kualitas kuantitas airtanah yang merupakan dasar dalam mengetahui potensi airtanah.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Kondisi Hidrologi dan Hidrogeologi

4.1.1. Neraca Air

Airtanah merupakan salah satu komponen dari siklus hidrologi. Siklus hidrologi merupakan proses kontinyu dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian ke bumi lagi (Triatmojo, 2008). Kajian ketersediaan airtanah berkaitan dengan komponen lain yang terlibat dalam siklus hidrologi, antara lain neraca air. Neraca air dapat diketahui berdasarkan nilai evaporasi, *run off* maupun resapan.

Evapotranspirasi adalah kondisi lepasnya air permukaan ke udara yang dipengaruhi oleh suhu dan presipitasi. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan suhu tiap bulannya, kemudian dilakukan koreksi berdasarkan posisi lintang daerah penelitian. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode Thornthwaite (1948) maka didapatkan evapotranspirasi pada CAT Banyumudal sebesar 172,33 mm/tahun. Hasil perhitungan tersaji pada Tabel 1 di bawah.

Nilai limpasan air permukaan (*run-off*) dipengaruhi oleh kondisi penggunaan lahan di daerah penelitian. Di daerah penelitian secara umum didominasi oleh 3 jenis tata guna lahan yaitu hutan, pemukiman dan kebun (Perda Kebumen No. 23, 2012). Jenis tata guna lahan tersebut digunakan untuk mengetahui nilai tutupan tanah mengacu pada Department of Agriculture, US (1986), kemudian dihitung nilai rata-rata *run-off* dengan mempertimbangkan luasan jenis tata guna lahan di daerah penelitian. Nilai *run-off* yang didapatkan kemudian dilakukan koreksi berdasarkan kondisi iklim daerah penelitian dengan nilai koreksi sebesar 0,43. Berdasarkan perhitungan Thornthwaite (1948) diketahui nilai *run-off* pada tata guna lahan hutan sebesar 1643,37 mm/tahun, pemukiman 1673,44 dan kebun 1664,43. Tabel perhitungan *run-off* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Perhitungan Evapotranspirasi

Bulan	Suhu (°C)	Indeks Panas	Koef.	Faktor koreksi	Etp (mm)
Januari	27,5	13,096	0,715	1,07	15,10
Februari	27,3	12,959	0,713	0,96	13,49
Maret	27,8	13,313	0,719	1,05	14,92
April	27,8	13,337	0,719	1	14,22
Mei	27,7	13,271	0,718	1,02	14,47
Juni	27,0	12,792	0,710	0,98	13,70
Juli	26,5	12,430	0,705	1,01	13,96
Agustus	26,1	12,148	0,700	1,02	13,98
September	26,7	12,519	0,706	1	13,86
Oktober	27,3	12,989	0,714	1,06	14,91
November	27,0	12,796	0,710	1,04	14,54
Desember	27,3	12,965	0,713	1,08	15,18
Total					172,33

Tabel 2. Hasil Perhitungan *Run-Off* Daerah Penelitian

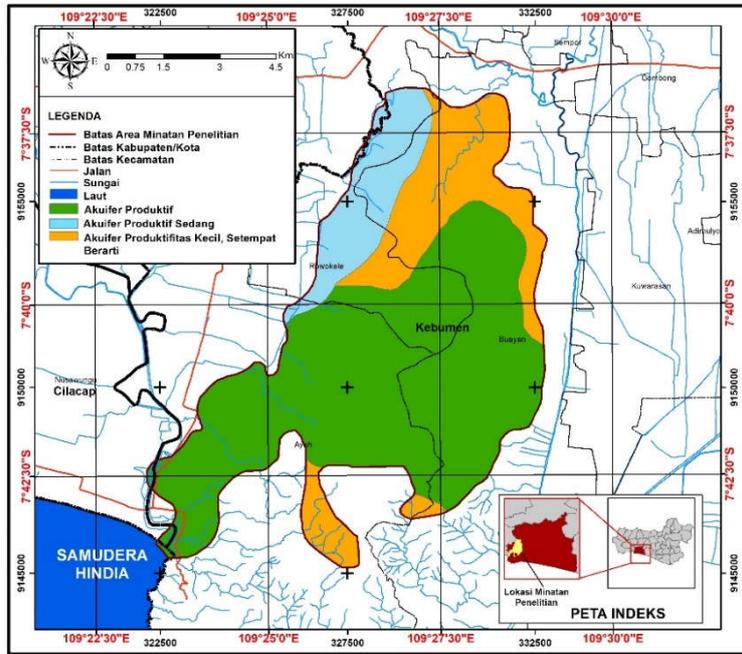
Penggunaan Lahan	Luas	Persen (%)	Curah hujan (mm)	Nomer kurva	Soil Cover	Run Off	Run off koreksi
Hutan	3608	54,77	3981,33	65	136,77	3821,78	1643,37
Permukiman	1768	26,84	3981,33	77	75,87	3891,71	1673,44
Kebun	1211	18,38	3981,33	73	93,95	3870,77	1664,43
Rata-rata							1655,31

4.1.2. Muka Airtanah dan Pola Aliran Airtanah

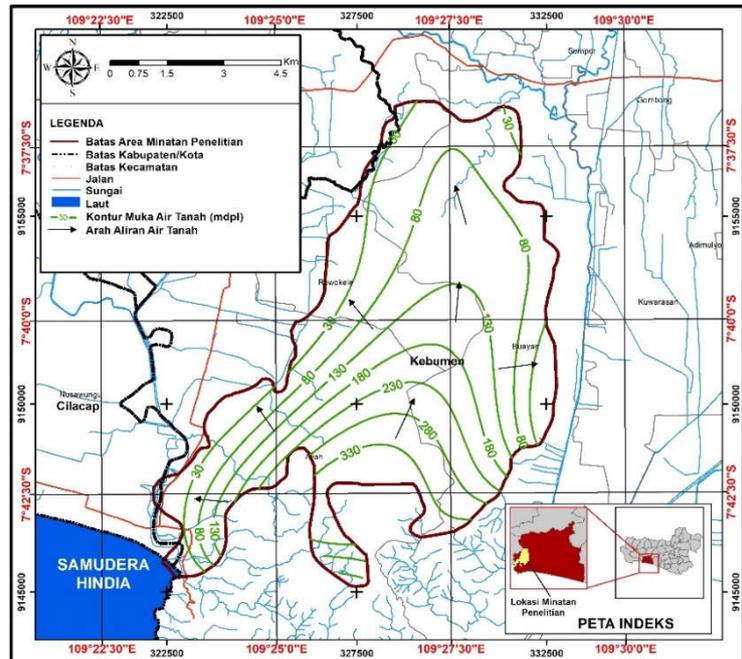
Kondisi muka airtanah pada akuifer bebas pada umumnya berkorelasi erat dengan topografi permukaan (Listyani dkk., 2019). Untuk mengetahui kondisi hidrogeologi daerah penelitian secara lebih detail kemudian dilakukan pemetaan hidrogeologi yang terdiri pada sumur dan mataair (Gambar 6). Kondisi akuifer dangkal berada pada elevasi terendah 0,95 mdpl dijumpai pada minatan sumur gali SG-96 yang berada di Desa Ayah, Kecamatan Ayah (UTM WGS 84 Zona 49S: 322538, 9147816). Sedangkan elevasi tertinggi akuifer berada pada ketinggian 358,8 mdpl dijumpai pada minatan sumur gali SG-109 yang berada di Desa Kalibangkang, Kecamatan Ayah (UTM WGS 84 Zona 49S: 326577, 9148190). Kedalaman

akuifer dangkal dari permukaan tanah bervariasi antara 1 – 12,7 meter tergantung pada lokasi titik minatan.

Berdasarkan hasil interpolasi data sumur gali dapat diketahui muka airtanah dangkal dan aliran tanah dangkal daerah penelitian (Gambar 6). Pola aliran airtanah di CAT Banyumudal diketahui berasal dari daerah selatan penelitian yang berupa daerah tinggian. Secara umum aliran airtanah yang berasal dari bagian selatan mengalir ke utara dan sebagian ke arah barat menuju Samudera Indonesia. Aliran air yang mengarah ke utara kemudian menyebar ke berbagai arah menuju ke daerah yang berupa rendahan.



Gambar 5. Peta Hidrogeologi Regional CAT Banyumudal (Effendi, 1985)



Gambar 6. Peta Muka Airtanah CAT Banyumudal

4.1.3. Zona Imbuhan dan Lepasn

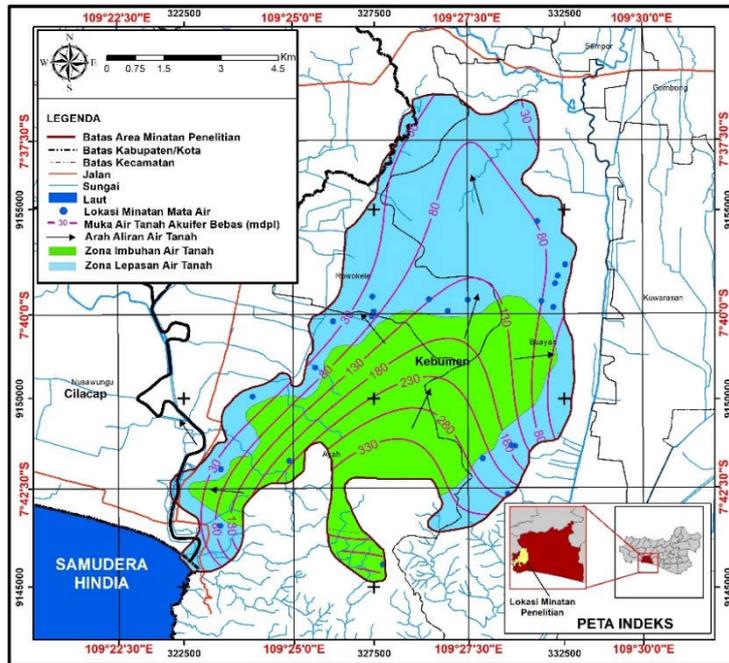
Identifikasi zona imbuhan dan resapan perlu dilakukan untuk memahami potensi airtanah. Tata guna lahan yang tepat perlu ditentukan agar sesuai dengan wilayah zona resapan (Putranto dan Aryanto, 2018). Daerah imbuhan dan lepasn merupakan dua zona yang berbeda, masing-masing memiliki karakteristik yang khas (Putranto dan Purba, 2019). Daerah imbuhan secara umum berada pada daerah perbukitan, daerah tinggian, pegunungan dan biasanya menjadi daerah aliran air sementara. Proses pengimbuhan melibatkan gerakan air masuk kedalam akuifer. Daerah lepasn melibatkan keluarnya air dari dalam akuifer. Daerah lepasn biasanya berada pada

daerah rendahan dengan aliran air yang biasanya tetap seperti mata air, rawa, danau dan lautan (Rose, 2009). Perlindungan pada zona imbuhan diperlukan untuk menjaga kualitas airtanah di daerah imbuhan karena akan berdampak secara keseluruhan terhadap seluruh cekungan airtanah. Airtanah akan mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah sehingga apabila jumlah dan kualitas airtanah pada daerah imbuhan tidak cukup baik maka akan berdampak pada keseluruhan wilayah dalam cekungan airtanah.

Mengacu pada Permen ESDM No. 31/2018, zona imbuhan secara umum memiliki kelerengan yang lebih terjal, kedudukan airtanah yang lebih tinggi dan

mengalir relatif lebih vertikal dan kualitas airtanah yang lebih baik. Selain itu batas zona imbuhan dan lepasan dapat ditentukan berdasarkan pelurusan mata air, dimana arah hulu mata air adalah zona

imbuhan dan arah hilir mata air adalah zona lepasan. Berdasarkan ketentuan tersebut kemudian disusun Peta zona imbuhan dan lepasan airtanah CAT Banyumudal yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Peta Zona Imbuhan dan Lepasn CAT Banyumudal

4.2. Kualitas Airtanah

Hasil analisis kualitas airtanah yang diteliti disajikan pada peta kualitas airtanah (Gambar 8). Parameter utama yang digunakan dalam penentuan Kualitas airtanah pada penelitian ini ditentukan berdasarkan nilai daya hantar listrik (Wilcox, 1955 dalam Zakai, 2015) dan derajat keasaman (Permenkes, 2010).

4.2.1. Sifat Fisik Airtanah

Berdasarkan nilai daya hantar listrik didapatkan rentang nilai 115 - 1.251 $\mu\text{S/cm}$, termasuk dalam rentang kualitas sangat baik hingga sedang (Tabel 3). Sifat fisik airtanah yang diteliti menunjukkan adanya 19 sumur gali dengan airtanah yang berbau dan 11 sumur gali yang keruh airnya. Nilai DHL dari sumur gali yang tertinggi sebesar 1.251 $\mu\text{S/cm}$ dijumpai pada SG 56 yang terletak di Desa Watukelir, Kecamatan Ayah dan nilai terkecil (115 $\mu\text{S/cm}$) dijumpai pada SG 54 yang terletak di Desa Argosari, Kecamatan Ayah.

Data dari sumur bor menunjukkan bahwa airtanah tidak ada yang berbau, keruh, maupun berasa. Nilai DHL paling rendah ditunjukkan oleh SB 13 yang terdapat di Desa Kalisari dengan nilai 507 $\mu\text{S/cm}$ dan tertinggi terdapat pada SB 2 yang terdapat di Desa Nogoraji dengan nilai 981 $\mu\text{S/cm}$.

Kualitas airtanah pada mata air menunjukkan bahwa airtanah tidak berbau, tidak berwarna, serta tak berasa. Nilai DHL terendah dijumpai pada MA 1 yang terletak pada Desa Tlogosari dengan nilai 259 $\mu\text{S/cm}$ dan tertinggi terletak pada MA 11 di Desa Karangasari dengan nilai 604 $\mu\text{S/cm}$.

4.2.2. Sifat Kimia Airtanah

4.2.2.1. Nilai Keasaman (pH)

Nilai pH airtanah yang diteliti berada pada rentang 5,761 - 8,5, yang berarti layak digunakan sebagai air minum berdasarkan standar Permenkes (2010). Standar tersebut memberikan syarat kualitas air minum berdasarkan pH pada kisaran 5,5 - 8,5. Sifat kimia dari sumur gali yang diteliti memiliki pH terendah pada SG 54 yang terletak di Desa Argosari dengan nilai pH 5,761. Nilai pH tertinggi ditunjukkan oleh airtanah pada SG 22 yang terletak di Desa Jogomulyo sebesar 8,5.

Nilai pH airtanah pada sumur bor yang terendah diketahui sebesar 7,013 dijumpai pada SB 2 yang terletak di Desa Nogoraji. Nilai pH airtanah yang tertinggi sebesar 8,333 dijumpai pada SB 9 di Desa Bumiagung. Sementara itu, nilai pH airtanah dari mata air yang terkecil (6,747) dijumpai pada MA 11 di Desa Karangasari dan tertinggi (8,204) pada MA 1 di Desa .

4.2.2.2. Kandungan Ion Terlarut

Kandungan ion terlarut dari airtanah yang diteliti meliputi ion mayor dan minor. Ion-ion tersebut terkandung dalam airtanah tersebut meliputi ion Kalsium (Ca^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}), Besi (Fe^{3+}), Mangan (Mn^{2+}), kalium (K^+), Natrium (Na^+), Amonia (NH_4^+), Bikarbonat (HCO_3^-) Klorida (Cl^-), Sulfat (SO_4^-), Nitrat (NO_2^-), dan Nitrit (NO_3^-).

Tabel 3. Kualitas Air berdasarkan Daya Hantar Listrik (Wilcox, 1955 dalam Zakai, 2015)

Daya hantar listrik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Kualitas Air
<250	Sangat Baik
250 – 750	Baik
750 – 2000	Sedang
2000 – 3000	Buruk
>3000	Sangat Buruk

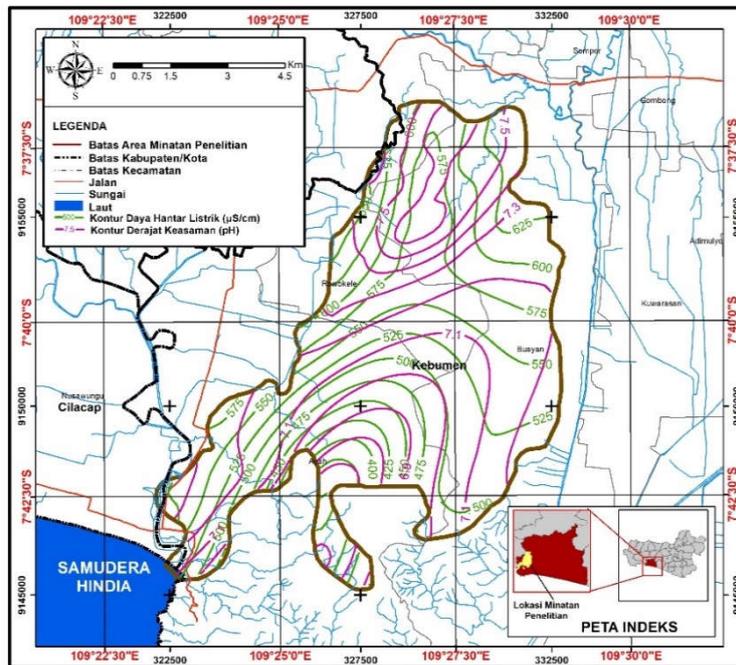
4.2.3. Tipe Airtanah

Berdasarkan perhitungan Kurlov didapatkan 12 tipe airtanah di CAT Banyumudal, yaitu tipe $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^- \text{-SO}_4^{2-}$, $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-HCO}_3^-$, $\text{Mg}^{2+}\text{-Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Mg}^{2+}\text{-Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-HCO}_3^-$, $\text{Mg}^{2+}\text{-Na}^+\text{-HCO}_3^-$, $\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$, $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$, $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^- \text{-SO}_4^{2-}$, dan $\text{Na}^+\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$.

Tipe airtanah $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ (*calcium bicarbonate*) ditemukan pada 46 sampel, yaitu SG 03, SG 04, SG 08, SG 10, SG 21, SG 24, SG 26, SG 30, SG 31, SG 33, SG 38, SG 44, SG 49, SG 50, SG 57, SG 61, SG 68, SG 72, SG 77, SG 81, SG 83, SG 85, SG 89, SG 91, SG 93, SG 94, SG 98, SG 101, SB 02, SB 04, SB 15, SB 17, MA 02, MA 03, MA 06, MA 08, MA 10, MA 12, MA 13, MA 14, MA 15, MA 16, MA 18, MA 19, MA 21, dan MA 22. Tipe airtanah $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^- \text{-SO}_4^{2-}$ (*calcium bicarbonate sulphate*) hanya ditunjukkan oleh sampel SG 66. Tipe airtanah

$\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ (*calcium magnesium bicarbonate*) ditemukan pada 8 sampel airtanah, yaitu pada SG 09, SG 11, SG 12, SG 20, SG 43, SG 60, SB 06, dan SB 16. Tipe airtanah $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-HCO}_3^-$ (*calcium sodium bicarbonate*) ditemukan pada 7 sampel airtanah, yaitu pada SG 27, SG 53, SG 106, SG 107, SG 108, SB 19, dan MA 01.

Tipe airtanah $\text{Mg}^{2+}\text{-Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ (*magnesium calcium bicarbonate*) ditemukan pada sampel SG 17 dan SB 08. Tipe airtanah $\text{Mg}^{2+}\text{-Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-HCO}_3^-$ (*magnesium calcium sodium bicarbonate*) hanya ditemukan pada sampel SB 13. Tipe airtanah $\text{Mg}^{2+}\text{-Na}^+\text{-HCO}_3^-$ (*magnesium sodium bicarbonate*) hanya ditemukan pada SB 14. Tipe airtanah $\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ (*sodium calcium bicarbonate*) ditemukan pada 6 sampel airtanah, yaitu pada SG 14, SG 54, SG 70, SG 109, SG 110, dan SB 10. Tipe airtanah $\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$ (*sodium calcium sulphate*) hanya ditemukan pada sampel SG 56. Tipe airtanah $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ (*sodium bicarbonate*) ditemukan pada 5 sampel airtanah, yaitu pada SG 22, SB 05, SB 09, SB 11, dan SB 18. Tipe airtanah $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^- \text{-SO}_4^{2-}$ (*sodium bicarbonate sulphate*) ditemukan hanya pada sampel SG 76. Tipe airtanah $\text{Na}^+\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ (*sodium magnesium calcium bicarbonate*) hanya ditemukan pada SG 39.



Gambar 8. Peta Kualitas Airtanah CAT Banyumudal

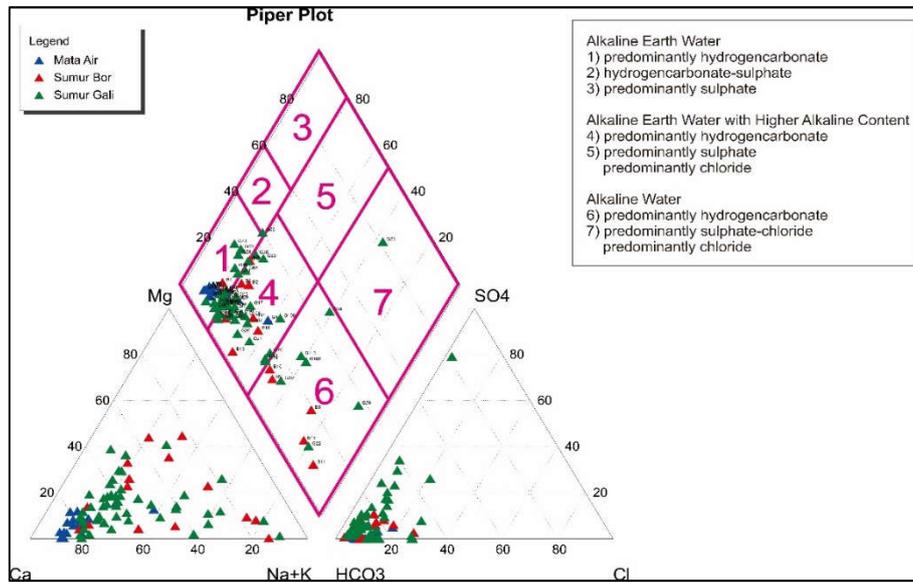
4.2.4. Fasies Airtanah

Kemudian hasil pengeplotan pada diagram piper dapat dilihat pada Gambar 9, diperoleh hasil 4 fasies airtanah pada CAT banyumudal, yaitu fasies *alkaline earth water predominantly hydrogencarbonate*, fasies *alkaline earth water with higher alkaline content predominantly hydrogencarbonate*, fasies *alkaline water predominantly hydrogencarbonate*, dan fasies *alkaline water predominantly sulphate chloride*. Fasies fasies *alkaline earth water predominantly hydrogencarbonate* ditunjukkan dari 36 sampel

airtanah dengan komposisi anion dominan adalah bikarbonat (HCO_3^-) dan komposisi kation dominan adalah unsur alkali tanah berupa ion kalsium (Ca^{2+}). Fasies fasies *alkaline earth water with higher alkaline content predominantly hydrogencarbonate* ditunjukkan oleh 32 sampel airtanah yang menunjukkan komposisi anion dominan adalah bikarbonat (HCO_3^-) dan komposisi kation dominan berupa kalsium (Ca^{2+}), namun fasies ini memiliki unsur alkali tanah ($\text{Na}^+\text{+K}^+$) yang lebih tinggi. Fasies fasies *alkaline water predominantly*

hydrogencarbonate ditunjukkan pada 6 sampel airtanah dengan komposisi anion dominan adalah bikarbonat (HCO_3^-) dan komposisi kation dominan adalah unsur alkali (Na^++K^+). Kemudian fasies *alkaline water predominantly sulphate chloride*

ditunjukkan hanya pada sampel SG 56 dengan komposisi anion dominan berupa (SO_4^{2-}) dan komposisi kation dominan adalah unsur alkali (Na^++K^+).



Gambar 9. Plot data airtanah CAT Banyumudal pada Diagram Piper

4.3. Geometri Akuifer

Hasil interpretasi geolistrik menunjukkan adanya lapisan bawah permukaan yang berupa lapisan batulempung, batulempung pasiran, tuf, batupasir, batugamping, dan breksi. Lapisan batulempung diidentifikasi dengan nilai tahanan jenis 0,18 – 0,83 Ωm . Lapisan batulempung pasiran memiliki nilai tahanan jenis 1,01 – 18,59 Ωm . Lapisan tuf memiliki nilai tahanan jenis sebesar 1,71 – 12,5 Ωm . Lapisan batupasir memiliki nilai tahanan jenis 20,47 – 99,19 Ωm . Lapisan batugamping memiliki nilai tahanan jenis antara 105 – 2489,17 Ωm . Breksi memiliki nilai tahanan jenis antara 32,62 – 228,5 Ωm .

Untuk mengetahui geometri akuifer dilakukan pembuatan penampang terhadap 3 sayatan berarah utara-selatan (sayatan A-A', sayatan C-C', dan sayatan E-E') dan 3 sayatan berarah barat-timur (sayatan B-B', sayatan D-D', dan sayatan F-F'). Pada sayatan A-A' (Gambar 10) ditemukan adanya dominasi batulempung pasiran yang tebal. Pada sayatan B-B' (Gambar 11) ditemukan dominasi dari persebaran lapisan batupasir dan batulempung pasiran yang tebal. Sayatan C-C' (Gambar 12) memperlihatkan adanya lapisan tebal batupasir yang menjeri dengan batugamping. Pada sayatan D-D' (Gambar 13) terlihat lapisan batulempung pasiran yang menjeri dengan batugamping yang tebal. Sayatan E-E' (Gambar 14) memperlihatkan lapisan batugamping tebal diatas endapan vulkanik. Lapisan F-F' (Gambar 15) ditemukan adanya batuan vulkanik berupa tuf dan breksi yang cukup tebal.

Dari hasil penampang geolistrik yang telah dibuat, dapat dilihat dari adanya dominasi lapisan bawah permukaan yang terlihat bahwa akuifer yang

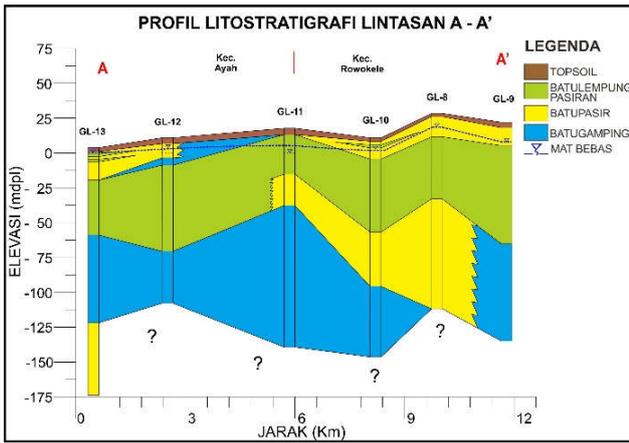
berkembang pada CAT Banyumudal adalah akuifer bebas. Hal ini diperkuat dari keberadaan lapisan batulempung yang hanya setempat dan tidak luas. Kemudian akuifer bebas pada CAT Banyumudal berada pada lapisan batupasir yang melampar tebal di seluruh daerah, lapisan batugamping yang ditemukan menerus dibagian bawah lapisan, dan batulempung pasiran yang juga ditemukan melampar secara luas.

Volume akuifer pada penelitian ini dihitung melalui adanya permodelan ketebalah akuifer dari hasil survei geolistrik. Data survei geolistrik yang telah didapat kemudian diinterpretasi lapisan yang dapat menjadi akuifer baik akuifer bebas maupun akuifer tertekan. Dari data tersebut kemudian diketahui data ketebalan akuifer di tiap titik geolistrik. Untuk mengetahui ketebalan akuifer secara keseluruhan didaerah penelitian kemudian dilakukan interpolasi data dengan menggunakan metode *kriging*. Data hasil interpolasi kemudian dihitung dengan rumus *trapezoidal* pada perangkat lunak untuk mengetahui volume batuan. Volume akuifer bebas berdasarkan rumus *trapezoidal* adalah 1.115.546.284 m^3 .

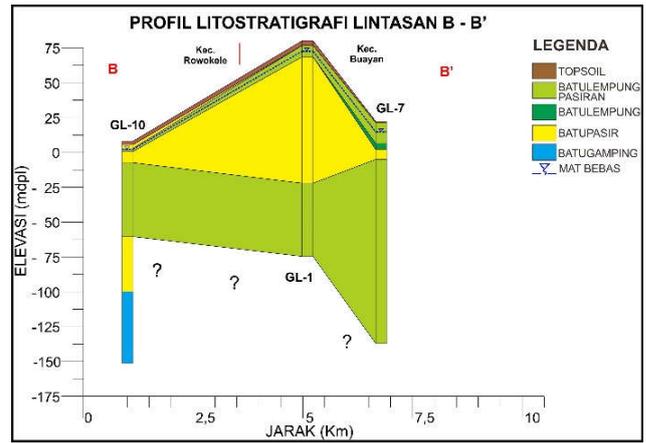
4.4. Cadangan Airtanah

4.4.1. Cadangan Statis

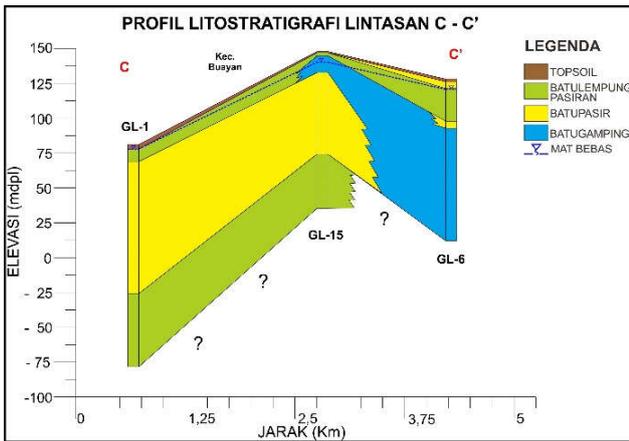
Cadangan statis dihitung berdasarkan volume akuifer dan kemampuan menyimpan batuan (*specific yield*) sehingga nilai yang didapatkan adalah nilai maksimum airtanah yang mungkin berada di dalam akuifer. Airtanah pada daerah penelitian dijumpai dalam akuifer bebas yang berupa batulempung pasiran, batupasir dan batugamping. Nilai *specific yield* yang digunakan untuk melakukan pendekatan



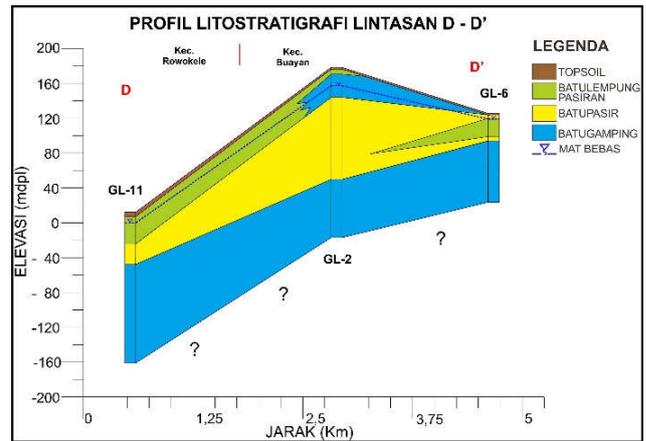
Gambar 10. Penampang Sayatan A-A'



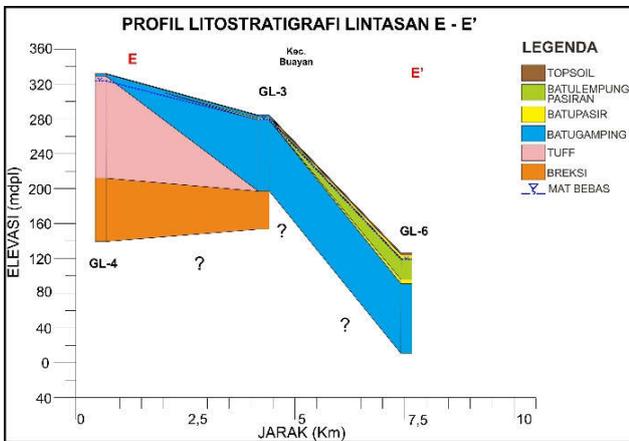
Gambar 11. Penampang Sayatan B-B'



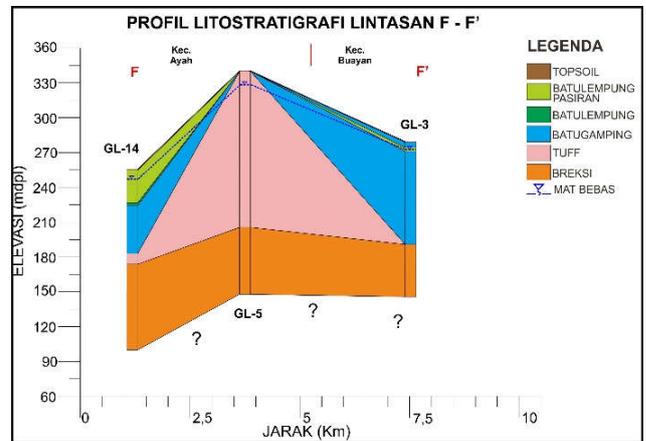
Gambar 12. Penampang Sayatan C-C'



Gambar 13. Penampang Sayatan D-D'



Gambar 14. Penampang Sayatan E-E'



Gambar 15. Penampang Sayatan F-F'

volume airtanah adalah batugamping karena merupakan litologi yang paling dominan. Berdasarkan Heath (1983 dalam Risanti dkk, 2018) nilai *specific yield* batugamping adalah 18%.

Selanjutnya, nilai volume akuifer bebas yang telah diketahui digunakan dalam perhitungan cadangan statis dengan mengikuti persamaan dan didapatkan hasil yaitu $200,7 \times 10^6 \text{ m}^3$. Berikut adalah perhitungan cadangan statis tersebut :

$$\begin{aligned} \text{Cadangan Statis} &= \text{Spesific yield} \times V \text{ akuifer} \\ &= 0,18 \times 1.115.546.284 \text{ m}^3 \\ &= 200.798.331 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

4.4.2. Cadangan Dinamis

Cadangan dinamis secara spesifik menggambarkan jumlah airtanah yang dapat masuk ke dalam akuifer dengan berdasarkan pada parameter karakteristik akuifer, antara lain nilai transmisivitas, landaian hidrolika dan panjang daerah. Nilai keterusan air didapatkan melalui uji pemompaan pada beberapa titik sumur gali. Sementara nilai landaian hidrolika didapatkan melalui pembuatan sayatan pada peta kontur MAT yang berasal dari pemodelan data muka airtanah bebas.

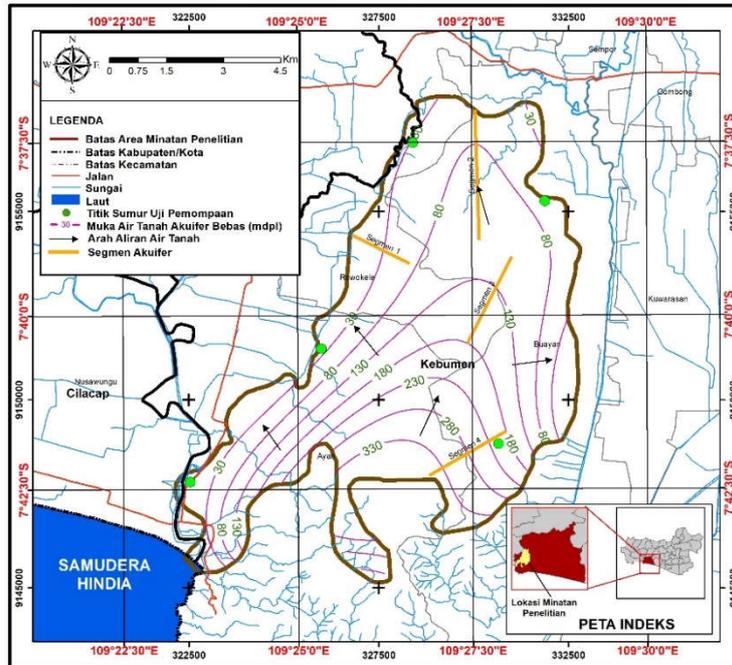
Nilai transmisivitas air, nilai landaian hidrolika, dan panjang segmen daerah dari cadangan dinamis

akuifer bebas dapat dilihat pada Tabel 4 dan segmen yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Gambar 16. Berdasarkan perhitungan, nilai cadangan

dinamis daerah penelitian diketahui sebesar 33.472.479,78 m³/tahun.

Tabel 4. Perhitungan Cadangan Dinamis Akuifer Bebas

Segmen	K (m/hari)	i (x10 ³)	A (m ²)	Q (m ³ /hari)
1	0,098	0,02952	21.151.711	61.182,64
2	0,00287	0,0115	15.703.112	518,32
3	0,0278	0,02712	13.440.162	10.133,50
4	0,0154	0,07234	16.328.439	18.190,58
Jumlah				91.705,42 m ³ /hari 33.472.479,78 m ³ /tahun



Gambar 16. Peta Segmen Cadangan Dinamis CAT Banyuwidal

4.5. Zona Potensi Airtanah

Zona potensi airtanah sangat ditentukan oleh batuan akuifer maupun non akuifer pada suatu cekungan airtanah. Karakteristik petrofisik batuan tersebut akan sangat mempengaruhi kondisi hidrolik suatu akuifer (Listyani, 2020) dan memnentukan potensi airtanah. Berdasarkan hasil analisis diketahui terdapat 2 zona potensi airtanah pada akuifer bebas yaitu potensi rendah pada akuifer bebas dan potensi sedang pada akuifer bebas (Gambar 17).

4.5.1. Potensi Airtanah Rendah pada Akuifer Bebas

Potensi airtanah rendah berada pada sekitar 80% luas wilayah penyelidikan. Secara umum kualitas airtanah tergolong baik dengan nilai rata-rata daya hantar listrik 572 μS/cm. Nilai daya hantar listrik terdapat pada SG-54 dan SG-110 dengan sebesar 115 μS/cm, nilai daya hantar listrik tertinggi terdapat pada SG-24 dengan nilai sebesar 1124 μS/cm.

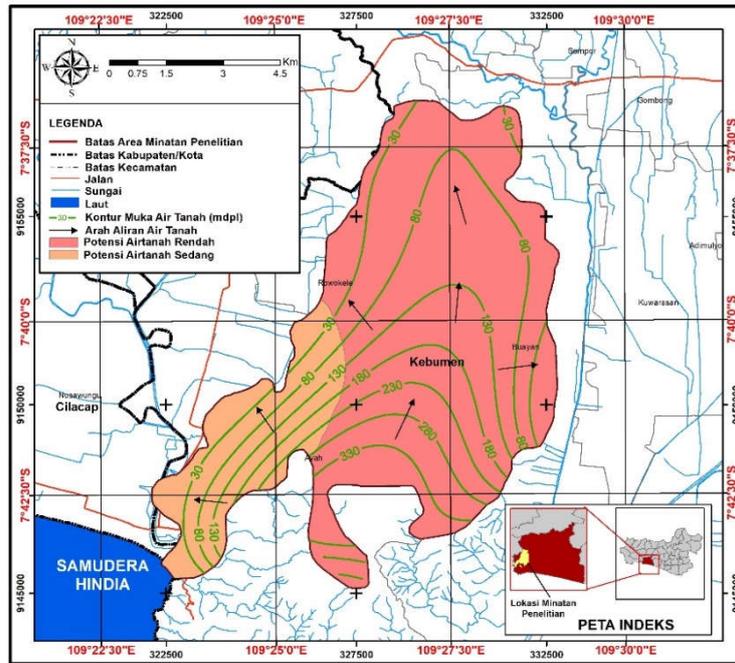
Daerah dengan potensi airtanah rendah secara umum tersusun atas litologi berupa batupasir, batulempung dan batugamping. Berdasarkan analisis

pumping test diketahui akuifer pada daerah ini memiliki nilai transimisivitas (T) dengan rentang 0,462 - 0,991 m²/hari, debit jenis (Qs) antara 0,757 - 1,622 L/dtk/m dan debit optimum (Qopt) 0,553 - 1,492 L/dtk.

4.5.2. Potensi Airtanah Sedang pada Akuifer Bebas

Potensi airtanah sedang berada pada sekitar 20% luas wilayah penyelidikan, yang berada di bagian barat daya CAT. Secara umum kualitas airtanah tergolong baik dengan nilai DHL rata-rata sebesar 542 μS/cm. Nilai DHL terendah terdapat pada SG-106 yaitu 303 μS/cm, nilai DHL tertinggi terdapat pada SG-98 dengan nilai sebesar 901 μS/cm.

Daerah dengan potensi airtanah sedang secara umum tersusun atas litologi berupa batugamping. Berdasarkan analisis *pumping test* diketahui akuifer pada daerah ini memiliki nilai transimisivitas (T) dengan rentang 1,11 - 2,84 m²/hari, debit jenis (Qs) antara 1,822 - 4,651 L/dtk/m dan debit optimum (Qopt) 2,651 - 3,024 L/dtk.



Gambar 17. Peta Potensi CAT Banyumudal

5. Kesimpulan

Hasil studi potensi airtanah pada CAT Banyumudal dapat menghasilkan beberapa kesimpulan, antara lain kualitas airtanah pada CAT Banyumudal berdasarkan nilai daya hantar listrik dan derajat keasaman berada pada rentang sangat baik hingga sedang, CAT Banyumudal memiliki cadangan statis airtanah sebesar $200,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ dan cadangan dinamis airtanah sebesar $33,4 \times 10^6 \text{ m}^3$. Selain itu, CAT Banyumudal terbagi atas 2 zona yaitu zona potensi airtanah rendah pada akuifer bebas dengan debit optimum 0,553 - 1,492 L/dtk dan zona potensi airtanah sedang pada akuifer bebas dengan debit optimum 2,651 - 3,024 L/dtk.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih atas dukungan dari Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, Jawa Tengah sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

Asikin S., Handoyo, Prastistho, B. dan Gafoer, S. 1992. Peta Geologi Regional Lembar Banyumas skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.

Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Kebumen. 2015. Peta Penggunaan Lahan Kabupaten Kebumen. Bappeda Kabupaten Kebumen. Kebumen.

Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Kebumen. 2016. Kabupaten Kebumen dalam Angka 2016. BPS Kabupaten Kebumen. Kebumen.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Kebumen. 2017. Kabupaten Kebumen dalam Angka 2017. BPS Kabupaten Kebumen. Kebumen.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Kebumen. 2018. Kabupaten Kebumen dalam Angka 2018. BPS Kabupaten Kebumen. Kebumen.

Badan Standardisasi Nasional. 2015. Penyelidikan Potensi Airtanah Skala 1:100.000 atau Lebih Besar. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

Bakosurtanal. 1999. Peta Rupa Bumi Indonesia Lembar 1308-342 Rowokele. Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional. Bogor.

Bisri, M. 2012. Studi Tentang Pendugaan Airtanah, Sumur Airtanah dan Upaya dalam Konservasi Airtanah. UB Press. Malang.

Danaryanto, Djaendi, Harnadi, D., Mudiana, W., dan Budiyo. 2007. Kumpulan Panduan Teknis Pengelolaan Airtanah, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Badan Geologi. Pusat Lingkungan Geologi. Bandung.

Department of Agriculture, US. 1986. Urban Hydrology for Small Watersheds. Department of Agriculture (USDA).

Effendi, T.A. 1985. Peta Hidrogeologi Lembar Pekalongan (Jawa) skala 1:250.000. Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan. Bandung.

Kabupaten Kebumen. 2012. Peraturan Daerah Kabupaten Kebumen Nomor 23 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Kebumen Tahun 2011 - 2031. Pemerintah Provinsi Kabupaten Kebumen. Kebumen.

Kurlov, M. 1928. Classification of Curable Mineral Springs in Siberia. Tomsk.

Listyani R.A., T. 2020. Identifikasi Petrofisik Batuan sebagai Pendukung Karakteristik Hidrolik Akuifer pada Sub DAS Code, Yogyakarta. Jurnal Geosapta, Vol. 6 No. 2..

Listyani R.A., T., Sulaksana, N., Alam, B.Y.C.S.S.S., Sudradjat, A. 2019. Topographic Control on Groundwater Flow in Central of Hard Water Area, West Progo Hills, Indonesia. International Journal of GEOMATE, Vol.17 No. 60. pp.83-8.

Magesh, N.S., Chandrasekar, N., and Soundranayagam, J.P. 2012. Delineation of Groundwater Potential Zones in Theni District, Tamil Nadu, Using Remote Sensing, GIS

- and MIF Techniques. *Geosciences Frontiers* Vol. 3 No. 2. Pages 189-196.
- Putranto, T.T. dan Aryanto, D. 2018. Spatial Analysis to Determine Groundwater Recharge Area in Purworejo Regency, Central Java Province/Indonesia. *ICENIS 2018, E3S Web of Conferences* Vol. 73 No. 0.
- Putranto, T.T. dan Purba, S. 2019. Application of Spatial Analysis for Delineating Groundwater Recharge Zone for Industrial Usage in Tanah Bumbu Regency, South Borneo/Indonesia. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* Vol. 598 No. 1. pp 012093.
- Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia (PAAI) dan Groundwater Working group (GWWG). 2016. Quo Vadis, Airtanah untuk Tanah Air Indonesia. PAAI. Bandung.
- Republik Indonesia. 2010. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta.
- Republik Indonesia. 2017. Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia Nomor 2 tentang Cekungan Airtanah Indonesia. Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia. Jakarta.
- Republik Indonesia. 2018. Peraturan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia Nomor 31 tentang Pedoman Penetapan Zona Konservasi Airtanah. Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia. Jakarta.
- Rose, S. 2009. Groundwater recharge and discharge. *Groundwater*. Georgia State University. Vol. 3. Pages 65-75.
- Risanti, A.A., Cahyono, K.A., Latifah, Putri, M.A., Rahmawati, N., Prameswari, S., Waskito, W.A., Adji, T.N., dan Cahyadi, A. 2018. Hidrostratigrafi Akuifer dan Estimasi Potensi Airtanah Bebas Guna Mendukung Kebutuhan Air Domestik Desa Sembungan. *Majalah Geografi Indonesia*. ISSN 2540-945X.
- Setiadi, H. 2004. Peta Cekungan Airtanah Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta Skala 1:250.000. Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan. Bandung.
- Thorntwaite, C. W. 1948. An Approach Toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, Vol. 38 No.1.
- Todd, D.K., dan Mays, L.W. 2005. *Groundwater Hydrology* 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- van Zuidam. 1983. *Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation and Mapping*. ITC Enschede The Nederland. Belanda.
- Zekai, S. 2015. *Practical and Applied Hydrogeology*. Elsevier. Amsterdam.