

PERHITUNGAN AWAL IMBUHAN AIRTANAH ALAMI DAERAH ALIRAN SUNGAI CIKAPUNDUNG-GANDOK (KAJIAN PERBANDINGAN)

PRE-ASSESSMENT OF NATURAL GROUNDWATER RECHARGE IN THE CIKAPUNDUNG- GANDOK CATCHMENT AREA (COMPARATIVE RESEARCH)

Muhammad Humaam Al Hasyir ^{1)*} Bambang Soenarto ¹⁾ Yayah Nurhayati ¹⁾ Kristina Sembiring ¹⁾
Pio Ranap Tua Naibaho ¹⁾

¹⁾Universitas Tama Jagakarsa

Jl. TB Simatupang No.152, Jakarta Selatan, DKI Jakarta, Indonesia

*Corresponding email: alhasyirhumam@gmail.com

Diterima: 14 Mei 2024; Direvisi: 05 Agustus 2024; Disetujui: 22 Oktober 2024

ABSTRACT

Groundwater recharge is a crucial factor in determining the permissible groundwater extraction within a watershed. In the Cikapundung watershed, the contribution of groundwater to raw water supply has been continuously declining, prompting a shift from groundwater to surface water usage. This study aims to quantify the groundwater recharge volume and recharge coefficient for each geological formation within the Cikapundung-Gandok watershed, covering an area of 90.4 km², and to compare the results with previous studies. The analysis estimates recharge volumes based on rainfall data from 8 stations around the Cikapundung-Gandok watershed from 2010 to 2019, geological formation data, and alternative recharge coefficients. The difference in recharge volume from previous studies is 393,348 m³/year or 1%. Two formations, Qvu and Qyu, which were not identified in earlier studies, supplement the existing geological dataset. The selected recharge volume for the Cikapundung-Gandok watershed is 33,232,004 m³/year or 1.05 m³/s, with the lowest contribution from the Lava formation (Qyl) at 1,364,504 m³/year or 0.04 m³/s and the highest from the Old Volcanic Product (Qvu) at 14,072,243 m³/year or 0.45 m³/s. The tentative recharge coefficients for each rock formation are as follows: Colluvium (Qc) 30%; Unweathered Old Volcanic Product (Qvu) 20%; Sand Tuff (Qyd) 10%; Lava (Qyl) 25%; Pumiceous Tuff (Qyt) 20%; and Young Volcanic Product (Qyu) 20%. The groundwater recharge data obtained can be used to set groundwater extraction limits and to plan for groundwater management using a conservative approach to ensure long-term sustainability.

Keywords: groundwater recharge, recharge coefficient, geological formation, groundwater exploitation, Cikapundung-Gandok Watershed

ABSTRAK

Imbuhan air tanah adalah informasi penting untuk menentukan pengambilan air tanah yang diizinkan dalam suatu daerah aliran sungai (DAS). Di DAS Cikapundung, kontribusi air tanah terhadap kebutuhan air baku terus menurun, memicu peralihan penggunaan dari air tanah ke air permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan besaran imbuhan air tanah dan koefisien imbuhan setiap formasi geologi DAS Cikapundung-Gandok, dengan luas 90,4 km², serta melakukan perbandingan terhadap penelitian sebelumnya. Kajian dilakukan untuk mendapatkan estimasi nilai volume imbuhan menggunakan metode perhitungan berdasarkan data curah hujan dari 8 stasiun di sekitar DAS Cikapundung-Gandok periode 10 tahun 2010-2019, data formasi geologi, dan alternatif koefisien imbuhan. Selisih nilai volume imbuhan terhadap penelitian sebelumnya menunjukkan perbedaan sebesar 393.348 m³/tahun atau 1%. Dua formasi yang tidak teridentifikasi pada penelitian sebelumnya adalah Qvu dan Qyu, data tersebut dapat melengkapi dataset informasi terkait formasi geologi yang ada. Nilai volume imbuhan terpilih untuk DAS Cikapundung-Gandok adalah 33.232.004 m³/tahun atau 1,05 m³/s, dengan kontribusi terendah pada formasi Lava (Qyl) sebesar 1.364.504 m³/tahun atau 0,04 m³/s dan kontribusi tertinggi pada formasi Produk Gunung Api Tua (Qvu) sebesar 14.072.243 m³/tahun atau 0,45 m³/s. Koefisien imbuhan tentatif untuk setiap formasi batuan adalah: Koluvium (Qc) 30%; Hasil Gunungapi Tua Tak Terurai (Qvu) 20%; Tuf Pasir (Qyd) 10%; Lava (Qyl) 25%; Tuf Berbatuapung (Qyt) 20%; dan Hasil Gunungapi Muda (Qyu) 20%. Data imbuhan air tanah yang diperoleh dapat digunakan untuk menetapkan batas pengambilan air tanah di DAS Cikapundung-Gandok, juga dapat digunakan untuk merencanakan pengelolaan air tanah dengan pendekatan konservatif, guna menjaga ketersediaan air tanah dalam jangka panjang.

Kata Kunci: airtanah, koefisien imbuhan, formasi geologi, eksploitasi air tanah, DAS Cikapundung-Gandok

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan yang mutlak diperlukan oleh manusia, dimana untuk memenuhi kebutuhan tersebut dapat diperoleh dari berbagai macam sumber, seperti air permukaan, air hujan ataupun air tanah (Lestari & Suprpto, 2017). Dilihat dari segi sumbernya, air tanah merupakan salah satu sumber air yang sangat penting dan strategis. Air tanah terbentuk dari proses infiltrasi air hujan yang meresap ke dalam tanah dan tersimpan dalam lapisan tanah atau batuan yang memiliki kemampuan untuk menyimpan dan mengalirkan air, yang disebut akuifer.

Pemanfaatan air tanah, seringkali tidak sesuai dengan prinsip-prinsip hidrologi yang baik, sehingga sering menimbulkan dampak negatif yang serius terhadap kelangsungan dan kualitas sumberdaya air tanah. Pengelolaan air tanah harus dilakukan dengan bijak dan hati-hati, overeksploitasi air tanah dapat menyebabkan penurunan muka air tanah, intrusi air laut di wilayah pesisir, dan degradasi kualitas air tanah. Oleh karena itu, konservasi dan perlindungan sumber daya air tanah menjadi sangat penting untuk memastikan ketersediaannya bagi generasi mendatang serta menjaga keseimbangan lingkungan.

Air tanah yang meresap ke dalam tanah disebut resapan (*recharge*) atau imbuhan merupakan suatu sistem yang bergantung secara luas atas curah hujan, sedangkan simpanan dan aliran keluar merupakan fungsi kompleks dari karakteristik fisiografis DAS. Selama musim kemarau, proses-proses ini mempengaruhi pelepasan air dari simpanan dan bergantung atas debit aliran juga curah hujan (Karmadi, 2019). Perhitungan volume imbuhan air tanah banyak dipergunakan dalam beberapa penelitian terkini sebagai akibat akan kebutuhan air yang terus meningkat.

Koefisien imbuhan air tanah untuk setiap formasi batuan geologi adalah parameter hidrologi yang kritis dalam penentuan laju aliran air tanah dan merupakan elemen fundamental dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air di suatu DAS (Baker & Foster, 2020). Nilai-nilai koefisien imbuhan ini berpotensi menjadi indikator penting dalam menentukan imbuhan air tanah, serta dapat digunakan sebagai dasar penetapan batas pengambilan air tanah yang berkelanjutan.

Dalam konteks ini, analisis mengenai DAS Cikapundung menjadi sangat relevan untuk memahami dinamika resapan air tanah dan pengelolaannya secara lebih efektif. Penelitian sebelumnya oleh Wibisono Kunto pada tahun 2017 telah memberikan kontribusi signifikan dengan

menentukan nilai tentatif volume imbuhan dan nilai tentatif koefisien imbuhan untuk setiap formasi batuan geologi di Daerah Aliran Sungai Cikapundung Gandok, yang dapat dilihat pada Tabel 1. Namun, dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan dalam rangka meningkatkan akurasi dan ketelitian hasil-hasil penelitian hidrologi, diperlukan kajian lebih lanjut yang mengusulkan pendekatan pengujian dan pengecekan silang terhadap temuan-temuan yang telah ada.

Tabel 1 Hasil perhitungan penelitian sebelumnya

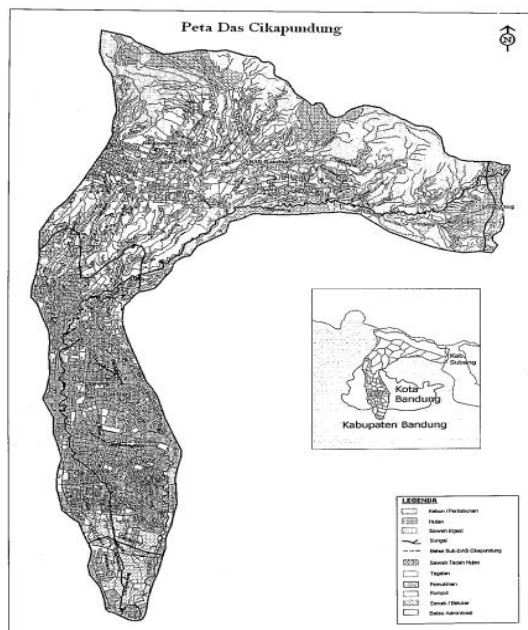
Jenis Batuan	San di	Luas km ²	RF m/tahun	RC %	Vol. Imbuhan (m ³ /tahun)
Tuff berbatu apung	Qyt	18,4	1,66	20	6.118.509
Lava	Qyl	20,3	1,66	35	11.830.698
Tuff pasir	Qyd	46,3	1,66	35	26.974.116
Koluvial	Qc	5,2	1,66	15	1.314.959
Total		90,3			46.238.282

Sumber: (Kunto, 2017), dimodifikasi,

DAS Cikapundung merupakan salah satu bagian dari DAS Citarum, yaitu sungai terbesar dan terpanjang di Provinsi Jawa Barat. DAS tersebut terletak pada Cekungan Bandung, dan memiliki daerah tangkapan seluas 142,11 km². DAS Cikapundung merupakan sungai yang berfungsi sebagai drainase utama di pusat Kota Bandung, untuk lokasi DAS Cikapundung, dapat dilihat pada Gambar 1. Sungai Cikapundung memiliki curah hujan rata-rata tahunan 1.700 mm. Curah hujan tahunan di bagian hulu DAS berkisar 2050 mm/tahun sedangkan di bagian tengah dan hilir sekitar 1.700 mm/tahun (Kuntoro et al., 2017) Sungai Cikapundung merupakan jenis sungai perenial (abadi) yang ditunjukkan dengan tingginya debit pasokan dari airtanah selama musim kemarau. Selain itu, banyak ditemukan mata air dan timbunan volastik yang menyediakan suplai air melimpah untuk aliran Sungai Cikapundung (Rendi et al., 2018) Sungai Cikapundung melintasi Kota Bandung sepanjang 15,50 km dengan 10,57 km diantaranya (68,20%) dari panjang total merupakan daerah pemukiman padat penduduk yang dipenuhi bangunan. Ketinggian sungai berkisar antara 650-2.067 meter di atas permukaan laut (mdpl), dengan kemiringan di hulu sebesar 3-10% dan di hilir sebesar 0-3%. Sungai ini berasal dari mata air yang berada di Gunung Bukit Tunggul yang kemudian membentuk outlet dan bersatu membentuk Sungai Cikapundung (Rizka & Hilda, 2014). Topografi bervariasi dari datar hingga lereng yang sangat curam dan didominasi oleh

sekitar 60% topografi datar dari keseluruhan wilayah DAS Cikapundung.

Sungai Cikapundung adalah salah satu sungai strategis di Jawa Barat dengan populasi penduduk tertinggi di Indonesia, yang populasinya terus menerus berkembang. Perkembangan penduduk mengakibatkan adanya peningkatan kebutuhan air, sehingga perlu adanya sumber-sumber air alternatif untuk memenuhi kebutuhan air baik untuk kebutuhan domestik, pertanian maupun komersil (Sulistiyani & Irianto, 2018). Permasalahan utama yang dihadapi oleh sumber air adalah ketidakmampuan dalam memenuhi kebutuhan air yang terus mengalami peningkatan dari segi kuantitas dan terjadinya penurunan kualitas air khususnya untuk keperluan domestik. Kebutuhan domestik, pertanian, industri, dan kegiatan lainnya dapat memberikan dampak negatif terhadap sumberdaya air yang ada (Setianto et al., 2016).



Sumber: (BBWS Citarum, 2014)

Gambar 1 Peta DAS Cikapundung

Dalam penelitian ini cakupan lokasi yang digunakan hanya sebagian dari DAS Cikapundung, yaitu sampai Pos Gandok, ada beberapa alasan mengapa memilih DAS Cikapundung-Gandok sebagai lokasi penelitian, di antaranya:

- 1) DAS Cikapundung-Gandok memiliki luas wilayah yang cukup representatif sehingga hasil penelitian dapat dianggap mewakili kondisi hidrologi dalam skala yang signifikan. Dengan luas wilayah hasil perhitungan Wibisono Kunto (2017) yang mencakup 90,4 km², DAS ini memberikan cakupan yang memadai untuk mengambil sampel data yang relevan;

- 2) Daerah ini mempunyai variasi formasi geologi yang signifikan (Fadhilla et al., 2021), karena sifat geologi sangat mempengaruhi seberapa baik tanah dan batuan dapat menyerap dan menyimpan air. Setiap jenis formasi geologi memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal permeabilitas dan porositas, yang menentukan laju infiltrasi dan perkolasi air hujan ke dalam lapisan tanah (Hendrawan, 2019).
- 3) DAS ini memiliki basis data hidrologi yang cukup baik (Kevin et al., 2017), termasuk distribusi spasial data curah hujan yang lebih merata dari berbagai stasiun pengukuran di sekitar DAS memungkinkan analisis yang lebih akurat dan representatif terhadap variasi curah hujan di seluruh wilayah (Ali & Hidayat, 2020).
- 4) Hasil dari penelitian ini dapat memiliki implikasi yang langsung untuk pengambilan keputusan terkait pengelolaan sumber daya air dan lingkungan di daerah tersebut, karena dapat digunakan sebagai dasar untuk penetapan kebijakan yang berhubungan dengan penggunaan air tanah. DAS Cikapundung-Gandok menjadi penting dan signifikan untuk dipelajari karena wilayah ini memiliki peran kunci dalam penyediaan air bagi kebutuhan domestik, pertanian, dan industri di sekitarnya, khususnya di Bandung Raya



Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 2 AWLR Sungai Cikapundung di Pos Gandok

Pada Gambar 2, menunjukkan Automatic Water Level Recorder (AWLR) Sungai Cikapundung di Pos Gandok yang dapat memberikan wawasan tentang dinamika aliran air dan pola pergerakan air di kawasan tersebut. Hubungan antara data level air sungai dan volume imbuhan air tanah sangat penting, karena fluktuasi level air di sungai dapat mempengaruhi seberapa banyak air yang meresap ke dalam tanah di sekitar area aliran. Ketika level air sungai meningkat, kemungkinan terjadinya perkolasi air ke dalam lapisan tanah juga meningkat, yang dapat meningkatkan volume imbuhan air tanah. Oleh karena itu, pemantauan

dan analisis data dari AWLR di Pos Gandok menjadi krusial untuk memahami interaksi antara aliran permukaan dan penyediaan air tanah, serta dalam merumuskan strategi pengelolaan sumber daya air yang efektif.

Daerah penelitian ini merupakan bagian selatan dari lereng kaki Gunung Tangkuban Parahu, lalu mengalir ke arah selatan di lokasi studi, dari hasil penelitian sebelumnya Wibisono Kunto (2017) DAS Cikapundung-Gandok mempunyai urutan stratigrafi sebagai berikut: (1) Tuf berbatu apung (Qyt), pasir Buffan, lapili, bom, lava berongga dan kepingan andesit-basal padat bersudut dengan banyak bongkah-bongkah dan pecahan-pecahan batu apung berasal dari Gunung Tangkuban Parahu dan Gunung Tampomas. (2) Lava (Qyl), aliran lava muda, terutama dari gunung Tangkuban Parahu dan Gunung Tampomas, umumnya bersifat basal dan mengandung banyak lubang-lubang gas. (3) Tuf pasir (Qyd), Tuff berasal dari Gunung Dano dan Gunung Tangkuban Parahu (Erupsi C), Tuff pasir coklat sangat jarang, mengandung kristal-kristal homblende yang kasar, lahar lapuk kemerahan, lapisan lapili dan breksi. (4) Breksi Tuff, lava, batu pasir, konglomerat, breksi bersifat andesti, basal, lava, batu pasir Tuff dan konglomerat.

Dari penjelasan diatas, diperlukan untuk mengetahui volume imbuhan air tanah dan koefisien imbuhan untuk setiap formasi batuan geologi di DAS Cikapundung-Gandok, sehingga ketersediaan air tanah khususnya saat musim kemarau dapat terjaga, perkiraan volume imbuhan dan koefisien imbuhan menjadi salah satu cara dalam menjaga ketersediaan serta pengembangan sumber daya air (SDA) pada daerah aliran sungai (DAS). Dengan diketahuinya nilai tersebut diperkuat dengan analisis perbandingan dengan penelitian Wibisono Kunto (2017) diharapkan dapat mendukung upaya konservasi dan membantu dalam pengaturan serta penetapan batas pengambilan air tanah yang diizinkan di DAS Cikapundung-Gandok.

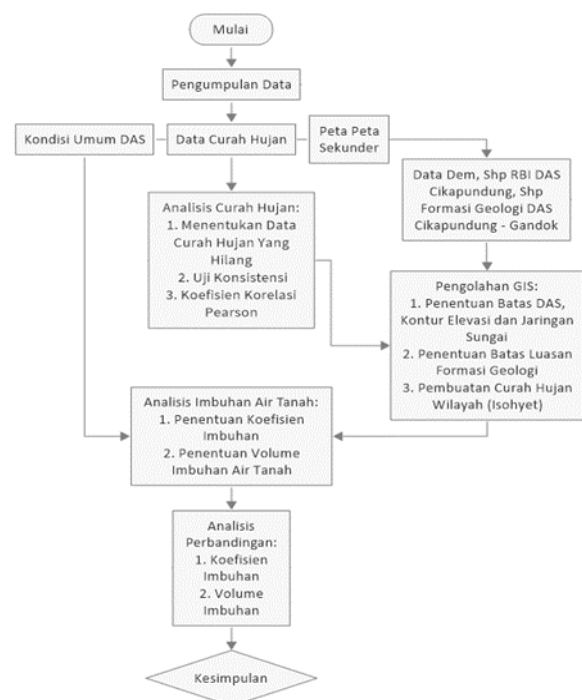
Maksud dari penelitian ini adalah untuk perbandingan kajian dalam mengetahui volume imbuhan air tanah dan koefisien imbuhan setiap formasi batuan geologi, sehingga ketersediaan air saat musim kemarau dapat terjaga. Dengan diketahuinya nilai volume imbuhan diharapkan dapat mengatur jumlah air yang dibutuhkan sehingga besaran imbuhan ini bisa dipakai sebagai dasar penetapan pengambilan air bawah permukaan yang diizinkan di daerah yang bersangkutan berbasis lingkungan agar pemanfaatan airtanah tetap lestari. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai kajian perbandingan dari penelitian yang dilakukan Wibisono Kunto

(2017) dalam mengidentifikasi nilai volume imbuhan dan koefisien imbuhan/*recharge coefisient* (RC) untuk setiap formasi batuan geologi di DAS Cikapundung-Gandok, dimana besaran tentatif nilai koefisien imbuhan/*recharge coefisient* (RC) tersebut dapat dipakai untuk menetapkan secara tak langsung besarnya imbuhan air tanah di DAS sekitar Cikapundung Gandok.

METODOLOGI

Bagan alir yang dapat dilihat pada Gambar 3 menggambarkan tahapan-tahapan penelitian, setiap tahap dalam bagan alir ini dirancang untuk memastikan bahwa penelitian dilakukan secara sistematis dan terstruktur.

Pada studi ini dilakukan pengumpulan dan pengolahan data, data yang dikumpulkan meliputi data sekunder yaitu: (1) Data hidrologi berupa data curah hujan bulanan dan tahunan periode 10 tahun dari 8 stasiun pengamatan curah hujan sekitar DAS Cikapundung-Gandok. (2) Peta pendukung Sub-DAS Cikapundung, Pola Pengelolaan SDA WS Citarum, yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citarum; (3) Peta Geologi Lembar Bandung, yang diperoleh dari Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi; (4) Data Dem, Shp RBI DAS Cikapundung, Shp Formasi Geologi DAS Cikapundung, yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial; (5) Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi unit komputer dan software GIS.



Gambar 3 Bagan alir tahapan kegiatan

Berdasarkan bagan alir yang ditunjukkan pada Gambar 3, pengumpulan data dilakukan dengan merujuk pada literatur ilmiah dan data sekunder, termasuk data statis seperti peta topografi, formasi geologi, model elevasi digital (DEM), serta data dinamis seperti curah hujan dan informasi hidrologi. Tujuannya adalah untuk mendapatkan informasi komprehensif yang mendukung analisis dan pengembangan model hidrologi. Data tersebut dianalisis melalui delineasi batas DAS dan ditumpangkan formasi geologi di DAS Cikapundung-Gandok, serta dilakukan analisis curah hujan wilayah dan penentuan koefisien imbuhan dengan metode Binnie & Partner dan Iwaco Waseco. Setelah nilai koefisien imbuhan dan volume imbuhan dihitung, evaluasi dan pengecekan silang dilakukan untuk memvalidasi hasil, dan menetapkan nilai tentatif koefisien dan volume imbuhan untuk setiap formasi batuan di wilayah tersebut.

Analisis Data Hujan

Hidrologi memegang peranan penting, khususnya untuk lokasi-lokasi yang berpotensi menjadi sumber air seperti sungai. Analisis hidrologi dibutuhkan untuk menentukan ketersediaan air yang merupakan potensi sebenarnya yang mana terdiri dari:

1) Analisis Curah Hujan

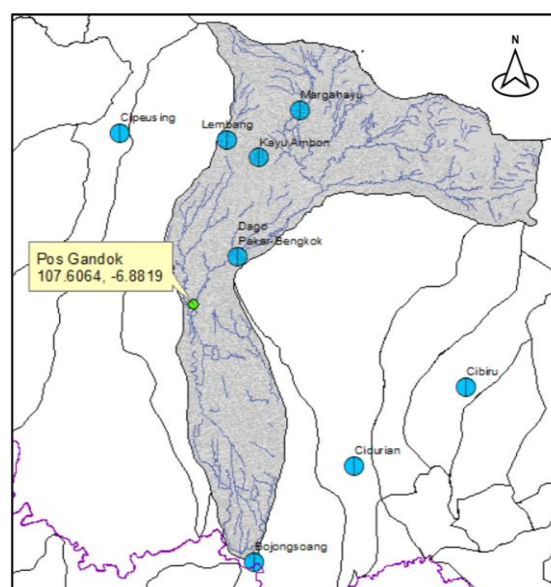
Tahapan awal analisis hidrologi adalah mengumpulkan data curah hujan dari stasiun hujan yang diperkirakan paling mempengaruhi terhadap daerah tangkapan hujan (*catchment area*) di lokasi perencanaan. Data hujan yang terkumpul kemudian diteliti kelengkapannya, apakah terdapat data yang hilang, apakah dapat memenuhi runtut waktu minimal yang diperlukan yaitu sepuluh tahun. Kemudian teliti apakah stasiun hujan yang ada cukup mempengaruhi *catchment area* lokasi perencanaan. Data untuk penelitian akan dipilih 8 pos hujan terdekat dengan DAS Cikapundung Gandok. Cara ini akan memberikan hasil atau validasi yang dapat dipercaya jika pos pengamatannya ditempatkan secara merata di areal tersebut.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan 8 stasiun periode 10 tahun 2010–2019, yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citarum, 8 stasiun tersebut yaitu stasiun pengamatan curah hujan Lembang, Dago Pakar-Bengkok, Kayu Ambon, Margahayu, Cipeusing, Bojongsoang, Cibiru dan Cidurian; Koordinat lokasi stasiun secara detail dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Stasiun curah hujan sekitar DAS Cikapundung-Gandok

No	Nama Stasiun	Bujur	Lintang
1	Lembang	107.6201778	-6.81355
2	Dago Pakar-Bengkok	107.6245139	-6.86181
3	Kayu Ambon	107.6330556	-6.82083
4	Margahayu	107.6496139	-6.80120
5	Cipeusing	107.5770639	-6.81074
6	Bojongsoang	107.6311583	-6.98908
7	Cibiru	107.716900	-6.91627
8	Cidurian	107.6716417	-6.94902

Sumber: (BBWS Citarum, 2014)



Sumber: (BIG, 2024)

Gambar 4 Sebaran 8 Stasiun Hujan di DAS Cikapundung Gandok

Informasi terkait sebaran delapan stasiun hujan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung Gandok telah dikumpulkan dan disajikan secara grafis. Gambar 4 menunjukkan distribusi spasial dari masing-masing stasiun hujan yang tersebar di seluruh wilayah studi yaitu dari hulu sampai hilir Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung Gandok.

2) Memperkirakan Data Curah Hujan yang Hilang

Untuk data-data yang hilang atau tidak tercatat, agar terjamin kontinuitas data maka perlu ditetapkan data curah hujan yang hilang. Data tersebut akan dicari dengan cara *Normal Ratio Methode* yang memberi rumus sebagai berikut.

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(r_i \times \frac{An_x}{An_i} \right) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

Px : Data hujan yang hilang

N : Jumlah stasiun di sekitar x

Ri : Data tinggi hujan di stasiun i

Anx : Tinggi hujan rata-rata tahunan di stasiun x

Ani : Tinggi hujan rata-rata di stasiun sekitar x

3) Uji Konsistensi

Sebelum data curah hujan digunakan untuk analisis data lebih lanjut, maka terlebih dahulu dilakukan uji konsistensi terhadap data curah hujan pada stasiun-stasiun penakar hujan yang dipakai. Pengujian konsistensi dilakukan dengan menggunakan cara kurva massa ganda (*double mass curve*). Langkah pertama yaitu mengakumulasi curah hujan tahunan pada stasiun hujan yang diuji, setelah didapatkan curah hujan tahunan pada masing-masing stasiun hujan, kemudian membandingkan nilai pada suatu stasiun yang diuji dengan nilai stasiun sekitar dengan melakukan plotting pada kurva massa ganda (*double mass curve*).

Apabila data tidak konsiten, maka dapat dilakukan koreksi dengan rumus berikut:

$$C = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha'}. C' \dots\dots\dots(2)$$

4) Koefisien Korelasi Pearson

Uji korelasi pearson disimbolkan dengan r, r merupakan koefisien korelasi. Jika nilai dari r adalah sedemikian rupa sehingga $-1 \leq r \leq 1$. Positif dan negatif tanda-tanda yang digunakan untuk korelasi linear. Korelasi positif jika x dan y memiliki korelasi linear positif yang kuat, r dekat untuk 1. Korelasi negatif jika x dan y memiliki korelasi linear negatif yang kuat, r mendekati nilai -1. Sebuah r nilai persis -1 menunjukkan cocok positif yang sempurna, untuk besaran mutlak korelasi dapat dilihat pada Tabel 3. Antara x dan y, variable seperti itu sebagai nilai untuk x meningkat, nilai-nilai untuk y juga mengurangi. Rumus uji koefisien korelasi pearson yaitu:

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n\sum x^2 - \sum x^2} \cdot \sqrt{n\sum y^2 - \sum y^2}} \dots\dots\dots(3)$$

Tabel 3 Besaran mutlak korelasi

Besaran Korelasi	Interpretasi
0,00 – 0,10	Sangat kurang baik
0,10 – 0,30	Kurang baik
0,40 – 0,60	Cukup
0,70 – 0,80	Baik
0,80 – 1,00	Sangat baik/sempurna

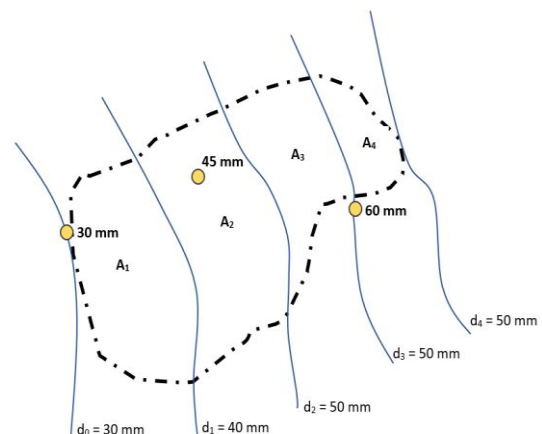
Sumber: (Schober et al., 2018)

Model Batas DAS dan Jaringan Sungai

Data *Digital Elevation Model* (DEM) digunakan untuk membangun model DAS terkait dengan batas dan model jaringan sungai, yang dimana pada penelitian ini mempunyai batas yaitu dari hulu Cikapundung sampai pos Gandok. Deliniasi DAS diolah menggunakan tools GIS, proses ini terdiri atas beberapa tahapan, yaitu: (1) *fill sink*, (2) *flow direction*, (3) *flow accumulation*, (4) *Batch Point*, titik *Batch Point* diletakan di pos Gandok sebagai acuan untuk mengetahui *catchment area*, (5) *Watershed Processing*, (6) *Batch Subwatershed Delineation*. Untuk selanjutnya data formasi geologi yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial ditumpangkan kedalam hasil deliniasi DAS Cikapundung Gandok.

Curah Hujan Wilayah

Hujan rata-rata untuk suatu daerah tangkapan air atau curah hujan representatif dapat dihitung dengan cara metode Isohyet, metode tersebut merupakan cara paling teliti untuk menghitung rata-rata intensitas hujan pada suatu daerah. Metode ini menggunakan pembagian DAS dengan garis-garis yang menghubungkan tempat-tempat dengan curah hujan yang sama besar (isohyet), sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar 5 Contoh garis Isohyet



Sumber: Penggambaran Sendiri

Gambar 5 Contoh garis Isohyet

Rata-rata curah hujan pada daerah aliran sungai diperoleh dengan menjumlahkan perkalian antara rata-rata curah hujan di antara garis-garis isohyet dengan luas daerah yang dibatasi oleh garis batas DAS dan dua garis isohyet, kemudian dibagi dengan seluruh luas DAS. Persamaan dalam hitungan hujan rata-rata dengan metode isohyet dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P = \left(\frac{A1}{A_{total}} \times \frac{(P1 + P2)}{2} \right) + \left(\frac{A2}{A_{total}} \times \frac{(P2 + P3)}{2} \right) + \dots + \left(\frac{An}{A_{total}} \times \frac{(Pn + Pn)}{2} \right) \dots (4)$$

Dimana:

P: Tinggi hujan rata-rata P1, P2, P3,

Pn: Tinggi hujan antara garis isohyet A1, A2, A3,

An: Luas Wilayah antara garis isohyet

A total: Luas wilayah total pos hujan

Metode Isohyet dipakai dalam menghitung hujan rata-rata pada daerah bertopografi yang tidak sama serta sebaran stasiun/pos pengamatan yang tidak merata (Dingman, 2015). Persyaratan yang harus di penuhi dengan menggunakan metode Isohyet sebagai berikut: (1) Lokasi dan stasiun-stasiun pengamatan hujan digambar pada peta berikut nilai curah hujannya. (2) Gambarkan garis kontur untuk hujan yang sama (isohyet). (3) Menghitung nilai rata-rata hujan pada sub daerah yang berada diantara dua garis isohyet berikut luas sub daerah tersebut. (4) Untuk tiap sub daerah dihitung volume hujan sebagai perkalian hujan rata-ratanya terhadap sub daerah.

Koefisien Imbuhan

1) Binnie & Partners

Dalam perhitungan volume imbuhan air tanah ini diperlukan data-data curah hujan tahunan, formasi geologi pada catchment area DAS Cikapundung-Gandok dan prosentase koefisien imbuhan berdasarkan formasi batuan dari curah hujan rata-rata tahunan. Berikut ini direkomendasikan sebagai panduan untuk menghitung persentase koefisien imbuhan dari curah hujan rata-rata tahunan (Binnie & Partners, 1983) yang dapat dilihat pada Tabel 4. Penelitian oleh Karmadi (2019) dan Kunto (2017) mengadopsi koefisien imbuhan dari Binnie & Partners untuk memodelkan imbuhan air di Jawa Barat. Penelitian tersebut menyesuaikan nilai koefisien berdasarkan kondisi lokal, seperti jenis tanah dan karakteristik geologis, untuk meningkatkan akurasi hasil model.

Tabel 4 Prosentase Imbuhan dari curah hujan tahunan rata-rata berdasar formasi batuan

No	Formasi Batuan	Koefisien Imbuhan (%)
1	Recent Volcanics (Gunung baru meletus)	30 - 50
2	Mix recent / old volcanics / Sedimen	15 - 25
3	Sand Stone	15
4	Sedimen, napal or indurated rock	5
5	Limestone	30 - 50 *)

Sumber: (Binnie & Partners, 1983)

2) Iwaco & Waseco *)

Selain persentase koefisien imbuhan dari (Binnie & Partners, 1983), terdapat pula koefisien imbuhan untuk formasi geologi di Provinsi Jawa Timur hasil dari (Encona et al., 1988) yang telah diadopsi (Iwaco & Waseco, 1999) untuk Provinsi Banten dan Jawa Barat, yang disajikan pada Tabel 5. Koefisien imbuhan adalah rasio pengisian ulang tahunan terhadap rata-rata curah hujan tahunan. Secara umum, dengan menggunakan hasil kajian dari Jawa Timur pernyataan berikut ini masih berlaku untuk kondisi Jawa Barat.

Tabel 5 Adopsi nilai koefisien imbuhan pada formasi geologi di Banten dan Jawa Barat

Formasi Geologi	Kode	Koefisien Imbuhan (%)
Permeable alluvium	C1	0.30
Young volcanics (< 500 m elevation)	C1	0.30
(500 – 1000 m elevation)	C3	0.25
(> 1000 m elevation)	C4	0.20
Limestone	C2	0.25
Old Quaternary volcanics	C4	0.20
Pleistocene sedimentary forma	C5	0.10
Low permeability alluvial clays	C6	0.10
Intrusive rocks	C7	0

Sumber: (Encona et al., 1988) (Iwaco & Waseco, 1999)

Untuk Limestone kode C2 pada kondisi karst, besaran koefisien imbuhan adalah sebesar 0.5, yang telah diuji dan diperoleh pada penelitian (Soenarto, 2002).

Terdapat perbedaan klasifikasi untuk formasi batuan geologi vulkanik muda antara (Binnie & Partners, 1983) dan (Encona et al., 1988) yang dimana ada klasifikasi perbedaan elevasi untuk penentuan koefisien imbuhan. Klasifikasi perbedaan elevasi seperti ini sangat cocok diterapkan di DAS Cikapundung Gandok karena topografi atau bentuk permukaan tanah yang beragam, seperti adanya perbukitan, lembah, dan dataran rendah terdapat di DAS Cikapundung Gandok.

Volume Imbuhan Air Tanah

Recharge ke akuifer dapat dihitung dengan cara menentukan daerah luasan akuifer dan menghitung curah hujan rata-rata dengan metode isohyet atau poligon theissen, dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Volume imbuhan (m}^3\text{/tahun)} = \text{RF (m/tahun)} \times A \text{ (m}^2\text{)} \times \text{RC (\%)} \dots (5)$$

Dimana:

RF : Curah Hujan (dalam m/tahun)
 RC : Koefisien imbuhan (dalam %)
 A : Luas area (m²)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan

Dengan menggunakan rumus Normal Ratio:

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(r_i \times \frac{An_x}{An_i} \right) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$P_x = \frac{1}{4} \left(2905 \times \frac{2103}{1968} + 2561 \times \frac{2103}{2015} + 3357 \times \frac{2103}{1928} + 3397 \times \frac{2103}{2180} \right)$$

$$P_x = 3179 \text{ mm}$$

Didapatkan nilai 3179 mm untuk Stasiun Bojongsoang pada tahun 2010, demikian seterusnya dengan cara yang sama untuk tahun lain yang kosong, sehingga didapatkan hasil yang disajikan pada Tabel 6, data dengan tulisan *bold* adalah data setelah dilakukan pengisian data kosong.

Tabel 6 Curah Hujan Tahunan Lengkap 8 Stasiun Sekitar DAS Cikapundung Gandok

Tahun	Lembang	Dago Pakar	Kayu Ambon	Margahayu	Cipeusing	Bojongsoang	Cibiru	Cidurian
2010	2905	3357	2561	3397	2204	3179	3716	4326
2011	1989	1296	1876	2228	1839	1912	1279	2602
2012	1869	1530	2803	2279	2074	2198	1768	2991
2013	2187	2189	1816	2475	1181	2252	2272	2272
2014	1632	1743	1818	2060	2033	2033	2042	3676
2015	769	1452	1713	1888	2137	1820	1485	2046
2016	4937	2167	1968	3016	2137	3076	3083	3530
2017	1378	2344	1939	1377	1171	1939	1531	2511
2018	1053	1964	2097	1695	1521	1848	1659	2580
2019	961	1239	1563	1385	1067	1904	1536	2253
Rata-rata	1968	1928	2015	2180	1736	2216	2037	2879

Sumber: (BBWS Citarum, 2014), diolah

Uji Konsistensi

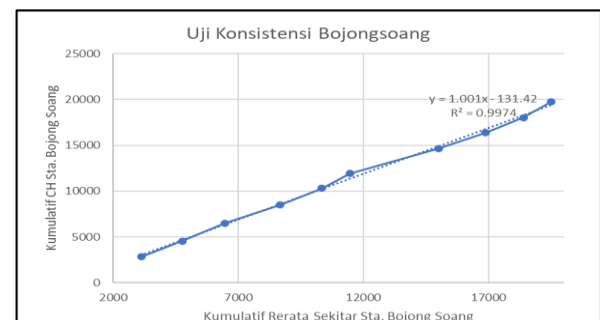
Pada uji konsistensi kali ini, yang digunakan adalah data curah hujan kumulatif tahunan, hal ini dikarenakan terlalu banyak data bulanan yang terlihat berbeda dari masing-masing stasiun. Disamping keefektifan dalam pengerjaan, tetap dibutuhkan juga perbaikan pada data dari masing masing stasiun hujan yang kosong untuk memperbaiki kesalahan hasil pengamatan, berikut untuk hasil uji konsistensi, kurva massa ganda dan nilai koefisien korelasi pada stasiun Bojongsoang yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Perhitungan uji konsistensi Stasiun Hujan Bojong Soang

Tahun	CH. Bojong Soang	Kumulatif Bojong Soang	Kumulatif Sekitar	CH. Diperbaiki
2010	3179	3179	3131	2831
2011	1912	5091	4774	1702
2012	2198	7289	6473	1957
2013	2252	9541	8661	2005
2014	2033	11574	10349	1810
2015	1820	13394	11459	1620

Pada penelitian ini digunakan metode Normal Ratio untuk mencari curah hujan kosong yang terdapat pada tahun 2010, 2011, 2012, 2013, 2015 dan 2017 untuk stasiun pengamatan Bojongsoang dan Cidurian.

Tahun	CH. Bojong Soang	Kumulatif Bojong Soang	Kumulatif Sekitar	CH. Diperbaiki
2016	3076	16470	15011	2739
2017	1939	18409	16872	1726
2018	1848	20257	18381	1645
2019	1904	22161	19481	1695



Gambar 6 Uji Konsistensi Stasiun Bojongsoang terhadap Stasiun sekitar

Pada Gambar 6, diketahui bahwa nilai R² pada Stasiun Bojong soang terhadap stasiun sekitar memiliki nilai 0,99 dapat diinterpretasikan sangat baik menurut besaran mutlak korelasi dari

banyak bongkahan dan pecahan batupung, berasal dari Gunung Tangkuban Parahu dan Gunung Tampomas.

- 6) Hasil Gunungapi Muda Tak Teruarikan (Qyu): pasir Tuff, lapili, breksi, lava, aglomerat. Sebagian berasal dari Gunung Tangkuban Parahu dan sebagian dari Gunung Tampomas.

Luasan yang diperoleh pada penelitian ini untuk keseluruhan formasi batuan adalah sebesar 90,39 km², sama persis dengan luasan yang diperoleh pada penelitian Wibisono Kunto (2017). Namun, urutan stratigrafi yang diungkapkan dalam penelitian ini menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan urutan stratigrafi yang telah diteliti sebelumnya oleh Wibisono Kunto (2017), untuk detail perbandingan hasil dapat dilihat pada Tabel 9. Hal ini menjadi penting karena penelitian sebelumnya tidak menyajikan detail tentang proses deliniasi formasi geologi maupun metode yang digunakan untuk menghitung luasannya di batas Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung Gandok. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat melengkapi dan memperbarui dataset formasi geologi yang ada, serta memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang stratigrafi di wilayah DAS Cikapundung Gandok.

Tabel 9 Perbandingan hasil deliniasi formasi geologi di DAS Cikapundung Gandok

Jenis Batuan	Hasil Perhitungan (km ²)	(Kunto, 2017) (km ²)
Koluvial (Qc)	2,53	5,24
Produk Gunungapi Tua (Qvu)	34,49	-
Tuff pasir (Qyd)	23,04	46,37
Lava (Qyl)	2,68	20,33
Tuff berbatuapung (Qyt)	8,87	18,45
Produk Gunungapi Muda (Qyu)	18,78	-
Luas Total	90,39	90,39

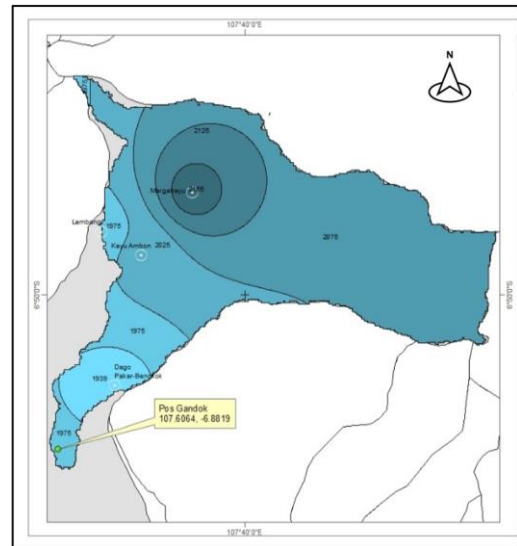
Sumber: Hasil Perhitungan, 2024 & (Kunto, 2017)

Curah Hujan Wilayah

Pada penelitian sebelumnya, Wibisono Kunto (2017) menggunakan satu nilai curah hujan tahunan rata-rata 10 tahun yaitu 1662,19 mm/tahun. Agar dapat mewakili keseluruhan DAS Cikapundung Gandok, peneliti memilih metode isohyet karena cenderung memberikan hasil yang lebih akurat dalam menggambarkan pola distribusi curah hujan di DAS Cikapundung Gandok. Hal ini disebabkan oleh kemampuan metode isohyet untuk secara lebih tepat menangkap variasi spasial curah

hujan, terutama di wilayah yang memiliki topografi yang kompleks.

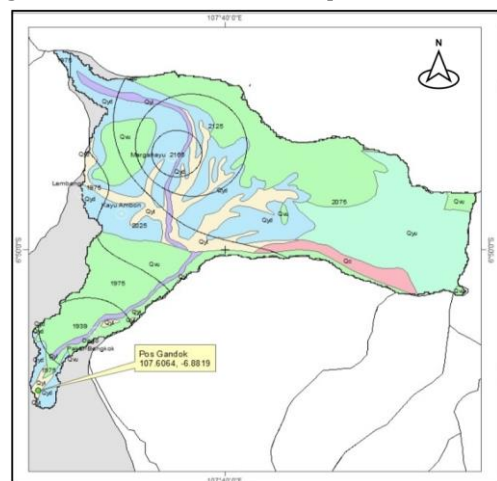
Analisis curah hujan wilayah isohyet dibuat menggunakan *Interpolates a raster surface from points using an inverse distance weighted (IDW) technique* (Gaemi & Kiani, 2018). Analisis IDW tersebut menggunakan aplikasi GIS dengan menginputkan data curah hujan rata-rata 10 tahun periode 2010-2019 dari 8 stasiun hujan di sekitar DAS Cikapundung Gandok.



Sumber: Data (BIG, 2024), diolah.

Gambar 9 Peta Isohyet curah hujan rata-rata 10 Tahun DAS Cikapundung Gandok

Peta Isohyet dengan interval kontur 50 pada DAS Cikapundung Gandok disajikan pada Gambar 9, terlihat bahwa ada tiga stasiun hujan yang berpengaruh besar pada DAS Cikapundung Gandok, yaitu stasiun Margahayu, Lembang dan Dago Pakar-Bengkok, kondisi ini terjadi karena curah hujan yang dihasilkan lebih besar daripada Stasiun lain.



Sumber: Data (BIG, 2024), diolah.

Gambar 10 Peta Isohyet ditumpangkan formasi geologi DAS Cikapundung Gandok

Peta isohyet yang dihasilkan ini untuk selanjutnya ditumpangkan dengan formasi batuan geologi DAS Cikapundung Gandok yang dapat dilihat pada Gambar 10.

Dari perpotongan kontur isohyet, informasi penting tentang luasan setiap formasi batuan geologi serta besaran curah hujan wilayah terkait dapat diperoleh. Data ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang distribusi spasial curah hujan di wilayah studi dan dampaknya terhadap formasi batuan geologi yang ada, khususnya besaran volume imbuhan. Tabel 10 menyajikan rincian lengkap mengenai informasi tersebut, memfasilitasi analisis lebih terperinci terkait hubungan antara curah hujan dan karakteristik geologis yang menghasilkan volume imbuhan air tanah di area penelitian.

Tabel 10 Luas dan curah hujan wilayah Isohyet untuk setiap formasi geologi

No	Rainfall mm/tahun	Sandi	Luas m ²
1	1939	Qvu	4.074.315
2	1939	Qyl	502.210
3	1939	Qyd	36.957
4	1939	Qyt	181
5	1939	Qyt	107.398
6	1939	Qyd	62.398
7	1975	Qyd	1.215.475
8	1975	Qvu	208.378
9	1975	Qyt	451.794
10	1975	Qyt	375.533
11	1975	Qvu	5.077.836
12	1975	Qyl	210.452
13	1975	Qyt	21.863
14	1975	Qyd	482.873
15	1975	Qyt	23.092
16	1975	Qyd	661.792
17	2025	Qyd	5.223.822
18	2025	Qyl	691.018
19	2025	Qyt	1.388.975
20	2025	Qvu	1.371.315
21	2025	Qyt	1.364.143
22	2025	Qyd	274.385
23	2025	Qyd	39.571
24	2025	Qvu	4.126.326
25	2025	Qc	76.457
26	2025	Qyl	267.432
27	2025	Qyt	33.470
28	2075	Qyu	18.783.495
29	2075	Qyd	2.121.016
30	2075	Qvu	14.065.309
31	2075	Qyl	499.814
32	2075	Qyt	2.865.679
33	2075	Qvu	1.399.342
34	2075	Qyt	217.722
35	2075	Qyd	2.178.528

No	Rainfall mm/tahun	Sandi	Luas m ²
36	2075	Qyd	7.012
37	2075	Qyd	4.179.790
38	2075	Qvu	155.016
39	2075	Qvu	820.616
40	2075	Qc	2.458.142
41	2075	Qvu	89.181
42	2125	Qyd	2.500.736
43	2125	Qvu	2.227.139
44	2125	Qyl	335.110
45	2125	Qyt	1.406.749
46	2125	Qvu	873.795
47	2125	Qyt	108.421
48	2125	Qyd	2.053.040
49	2125	Qyd	189.688
50	2165	Qyd	1.488.833
51	2165	Qyl	174.828
52	2165	Qyt	446.984
53	2165	Qyt	56.304
54	2165	Qyd	319.244
Total Luasan			90.390.994

Perhitungan Volume Imbuhan Air Tanah

1) Koefisien Imbuhan Binnie & Partners

Recharge ke akuifer dihitung dengan cara menentukan daerah luasan akuifer dan menghitung curah hujan rata-rata dengan metode isohyet, berikut contoh perhitungan untuk formasi geologi Gunungapi Muda Tak Teruarikan (Qyu), dengan menggunakan nilai koefisien imbuhan (Binnie & Partners, 1983):

$$\begin{aligned}
 \text{Volume imbuhan (m}^3\text{/tahun)} &= \\
 &\text{RF (Rainfall) (m/tahun)} \times A \text{ (m}^2\text{)} \times \text{.....(7)} \\
 &\text{RC (\%)} \\
 &= 2,08 \times 18.783.495 \times 30\% \\
 &= 11.692.725 \text{ m}^3\text{/tahun}
 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai 11.692.725 m³/tahun untuk formasi geologi Gunungapi Muda Tak Teruraikan (Qyu), demikian seterusnya untuk semua formasi geologi yang telah didapatkan data curah hujan dan nilai tentatif koefisien imbuhan, sehingga didapatkan hasil yang disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11 Besaran tentatif volume imbuhan sesuai formasi batuan

No	Rain fall m /thn	Sandi	Luas m ²	RC %	Volume Imbuhan m ³ /tahun
1	1.94	Qvu	4.074.315	25	1.975.024
2	1.94	Qyl	502.210	30	292.136
3	1.94	Qyd	36.957	25	17.915
4	1.94	Qyt	181	15	53

No	Rain fall m /thn	Sandi	Luas m ²	RC %	Volume Imbuhan m ³ /tahun
5	1.94	Qyt	107.398	15	31.237
6	1.94	Qyd	62.398	25	30.247
7	1.98	Qyd	1.215.475	25	600.141
8	1.98	Qvu	208.378	25	102.887
9	1.98	Qyt	451.794	15	133.844
10	1.98	Qyt	375.533	15	111.252
11	1.98	Qvu	5.077.836	25	2.507.182
12	1.98	Qyl	210.452	30	124.693
13	1.98	Qyt	21.863	15	6.477
14	1.98	Qyd	482.873	25	238.418
15	1.98	Qyt	23.092	15	6.841
16	1.98	Qyd	661.792	25	326.760
17	2.03	Qyd	5.223.822	25	2.644.560
18	2.03	Qyl	691.018	30	419.794
19	2.03	Qyt	1.388.975	15	421.901
20	2.03	Qvu	1.371.315	25	694.228
21	2.03	Qyt	1.364.143	15	414.358
22	2.03	Qyd	274.385	25	138.908
23	2.03	Qyd	39.571	25	20.033
24	2.03	Qvu	4.126.326	25	2.088.953
25	2.03	Qc	76.457	20	30.965
26	2.03	Qyl	267.432	30	162.465
27	2.03	Qyt	33.470	15	10.166
28	2.08	Qyu	18.783.495	30	11.692.725
29	2.08	Qyd	2.121.016	25	1.100.277
30	2.08	Qvu	14.065.309	25	7.296.379
31	2.08	Qyl	499.814	30	311.134
32	2.08	Qyt	2.865.679	15	891.943
33	2.08	Qvu	1.399.342	25	725.908
34	2.08	Qyt	217.722	15	67.766
35	2.08	Qyd	2.178.528	25	1.130.112
36	2.08	Qyd	7.012	25	3.638
37	2.08	Qyd	4.179.790	25	2.168.266
38	2.08	Qvu	155.016	25	80.415
39	2.08	Qvu	820.616	25	425.695
40	2.08	Qc	2.458.142	20	1.020.129
41	2.08	Qvu	89.181	25	46.263
42	2.13	Qyd	2.500.736	25	1.328.516
43	2.13	Qvu	2.227.139	25	1.183.167
44	2.13	Qyl	335.110	30	213.633
45	2.13	Qyt	1.406.749	15	448.401
46	2.13	Qvu	873.795	25	464.204
47	2.13	Qyt	108.421	15	34.559
48	2.13	Qyd	2.053.040	25	1.090.677
49	2.13	Qyd	189.688	25	100.772
50	2.17	Qyd	1.488.833	25	805.831
51	2.17	Qyl	174.828	30	113.551

No	Rain fall m /thn	Sandi	Luas m ²	RC %	Volume Imbuhan m ³ /tahun
52	2.17	Qyt	446.984	15	145.158
53	2.17	Qyt	56.304	15	18.285
54	2.17	Qyd	319.244	25	172.791
Total Volume Imbuhan					46.631.629

Dari tabel di atas dapat diketahui besaran tentatif koefisien imbuhan (RC) mengikuti kriteria Binnie & Partners (1983) yang terdapat pada Tabel 4, dengan formasi batuan yang ada di DAS Cikapundung Gandok, hasil dapat dilihat pada Tabel 15.

Besaran perkiraan nilai volume imbuhan untuk setiap formasi batuan geologi dalam DAS Cikapundung Gandok dengan menggunakan nilai koefisien imbuhan Binnie & Partners (1983) adalah sebesar 46.631.629 m³/tahun atau 1,48 m³/s, dengan pembagian kontribusi dari setiap formasi batuan geologi yang tersaji pada Tabel 12 sebagai berikut.

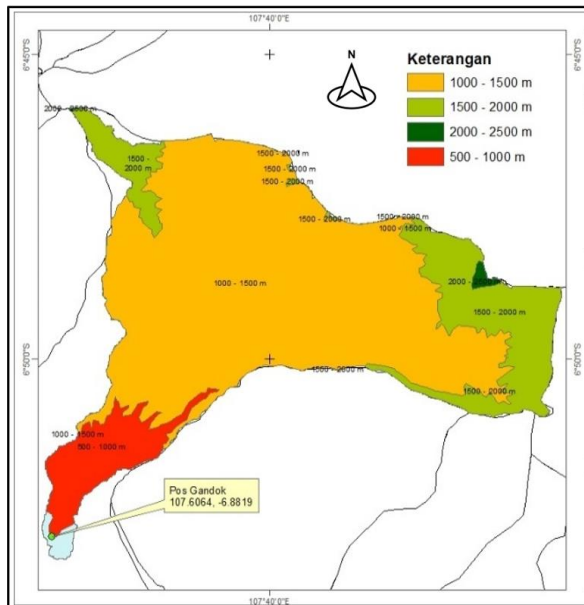
Tabel 12 Kontribusi volume imbuhan setiap formasi batuan geologi DAS Cikapundung Gandok

No	Nama	Data		
		Sandi	Volume Imbuhan (m ³ /tahun)	Volume Imbuhan (m ³ /s)
1	Koluvium	Qc	1.051.094	0,03
2	Hasil Gunung Api Tua	Qvu	17.590.304	0,56
3	Tuf Pasir	Qyd	11.917.860	0,38
4	Lava	Qyl	1.637.405	0,05
5	Tuf Berbatuapung	Qyt	2.742.241	0,09
6	Hasil Gunung Api Muda	Qyu	11.692.725	0,37
Total			46.631.629	1,48

*) Konversi 1 tahun ke detik, dibagi = 365,25x24x60x60

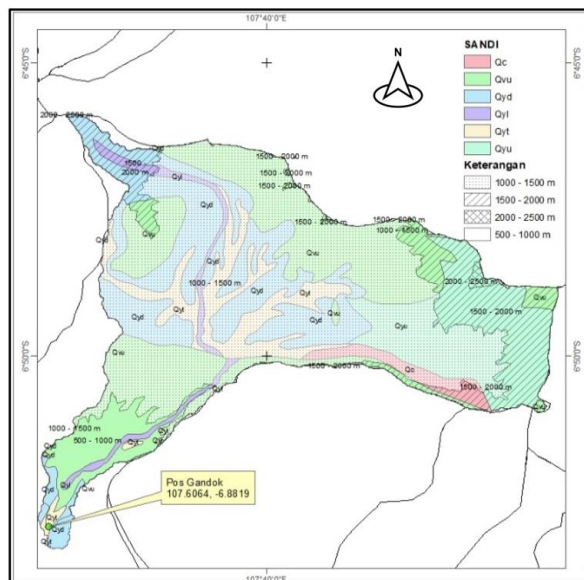
2) Koefisien Imbuhan Iwaco & Waseco

Untuk kajian air tanah di Jawa Barat Iwaco & Waseco (1999) mengadopsi recharge coefficient kajian (Encona et al., 1988) yang menunjukkan kondisi air tanah di Jawa Timur. Terdapat klasifikasi yang lebih detail dibandingkan dengan metode perhitungan Binnie & Partners (1983), yaitu klasifikasi elevasi ketinggian, khususnya untuk formasi batuan vulkanik muda, sehingga dibutuhkan analisis lebih lanjut terkait ketinggian di daerah DAS Cikapundung Gandok, yang hasilnya disajikan pada Gambar 11.



Sumber: Data (BIG, 2024), diolah.

Gambar 11 Peta Ketinggian DAS Cikapundung Gandok



Sumber: Data (BIG, 2024), diolah.

Gambar 12 Peta Overlay Ketinggian & Formasi Geologi DAS Cikapundung Gandok

Peta ketinggian yang dihasilkan ini selanjutnya ditumpangkan dengan formasi geologi DAS Cikapundung Gandok yang disajikan pada Gambar 12, untuk melihat elevasi ketinggian pada formasi batuan Lava (Qyl) dan formasi batuan Produk Gunungapi Muda (Qyu), dimana formasi batuan tersebut memerlukan data elevasi untuk menentukan koefisien imbuhan menurut (Iwaco & Waseco, 1999).

Dari Gambar 12 didapatkan elevasi ketinggian pada formasi batuan Lava (Qyl) yaitu 500-1000m dengan koefisien imbuhan sebesar 25% dan

formasi batuan Produk Gunungapi Muda (Qyu) berada pada elevasi >1000 m dengan koefisien imbuhan sebesar 20%, sehingga didapatkan hasil untuk perhitungan volume imbuhan (Iwaco & Waseco, 1999) yang disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13 Besaran tentatif volume imbuhan sesuai formasi batuan

No	RF m /thn	Sandi	Luas m ²	RC %	Volume Imbuhan m ³ /thn
1	1.94	Qvu	4.074.315	20	1.580.019
2	1.94	Qyl	502.210	25	243.446
3	1.94	Qyd	36.957	10	7.166
4	1.94	Qyt	181	20	70
5	1.94	Qyt	107.398	20	41.649
6	1.94	Qyd	62.398	10	12.099
7	1.98	Qyd	1.215.475	10	240.056
8	1.98	Qvu	208.378	20	82.310
9	1.98	Qyt	451.794	20	178.459
10	1.98	Qyt	375.533	20	148.336
11	1.98	Qvu	5.077.836	20	2.005.745
12	1.98	Qyl	210.452	25	103.911
13	1.98	Qyt	21.863	20	8.636
14	1.98	Qyd	482.873	10	95.367
15	1.98	Qyt	23.092	20	9.121
16	1.98	Qyd	661.792	10	130.704
17	2.03	Qyd	5.223.822	10	1.057.824
18	2.03	Qyl	691.018	25	349.828
19	2.03	Qyt	1.388.975	20	562.535
20	2.03	Qvu	1.371.315	20	555.383
21	2.03	Qyt	1.364.143	20	552.478
22	2.03	Qyd	274.385	10	55.563
23	2.03	Qyd	39.571	10	8.013
24	2.03	Qvu	4.126.326	20	1.671.162
25	2.03	Qc	76.457	30	46.448
26	2.03	Qyl	267.432	25	135.387
27	2.03	Qyt	33.470	20	13.555
28	2.08	Qyu	18.783.495	20	7.795.150
29	2.08	Qyd	2.121.016	10	440.111
30	2.08	Qvu	14.065.309	20	5.837.103
31	2.08	Qyl	499.814	25	259.279
32	2.08	Qyt	2.865.679	20	1.189.257
33	2.08	Qvu	1.399.342	20	580.727
34	2.08	Qyt	217.722	20	90.355
35	2.08	Qyd	2.178.528	10	452.045
36	2.08	Qyd	7.012	10	1.455
37	2.08	Qyd	4.179.790	10	867.306
38	2.08	Qvu	155.016	20	64.332

No	RF m /thn	Sandi	Luas m ²	RC %	Volume Imbuhan m ³ /thn
39	2.08	Qvu	820.616	20	340.556
40	2.08	Qc	2.458.142	30	1.530.193
41	2.08	Qvu	89.181	20	37.010
42	2.13	Qyd	2.500.736	10	531.406
43	2.13	Qvu	2.227.139	20	946.534
44	2.13	Qyl	335.110	25	178.027
45	2.13	Qyt	1.406.749	20	597.869
46	2.13	Qvu	873.795	20	371.363
47	2.13	Qyt	108.421	20	46.079
48	2.13	Qyd	2.053.040	10	436.271
49	2.13	Qyd	189.688	10	40.309
50	2.17	Qyd	1.488.833	10	322.332
51	2.17	Qyl	174.828	25	94.626
52	2.17	Qyt	446.984	20	193.544
53	2.17	Qyt	56.304	20	24.380
54	2.17	Qyd	319.244	10	69.116
Total Volume Imbuhan					33.232.004

Dari tabel di atas dapat diketahui besaran tentatif koefisien imbuhan (RC) mengikuti kriteria Iwaco & Waseco (1999) yang terdapat pada Tabel 5, dengan formasi batuan yang ada di DAS Cikapundung Gandok, hasil dapat dilihat pada Tabel 15.

Besaran perkiraan nilai volume imbuhan untuk setiap formasi batuan geologi dalam DAS Cikapundung Gandok dengan menggunakan nilai koefisien imbuhan (Iwaco & Waseco, 1999) adalah sebesar 33,232,004 m³/tahun atau 1,05 m³/s, dengan pembagian kontribusi dari setiap formasi batuan geologi yang tersaji pada Tabel 14 sebagai berikut.

Tabel 14 Kontribusi volume imbuhan setiap formasi batuan geologi DAS Cikapundung Gandok

No	Nama	Data		
		Sandi	Volume Imbuhan (m ³ /tahun)	Volume Imbuhan (m ³ /s)
1	Koluvium	Qc	1.576.641	0,05
2	Hasil Gunung Api Tua	Qvu	14.072.243	0,45
3	Tuf Pasir	Qyd	4.767.144	0,15
4	Lava	Qyl	1.364.504	0,04
5	Tuf Berbatuapung	Qyt	3.656.321	0,12
6	Hasil Gunung Api Muda	Qyu	7.795.150	0,24
Total			33,232,004	1,05

*) Konversi 1 tahun ke detik, dibagi = 365,25x24x60x60

Dari hasil dua perhitungan di atas, terdapat perbedaan dalam nilai tentatif koefisien imbuhan setiap formasi batuan geologi dan jumlah volume imbuhan di DAS Cikapundung Gandok, untuk perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 15 dan Tabel 16, dengan tambahan perbandingan hasil penelitian sebelumnya dari Wibisono Kunto (2017).

Tabel 15 Perbandingan hasil analisis untuk koefisien imbuhan di DAS Cikapundung-Gandok

No	Nama Formasi Batuan Geologi	Koefisien Imbuhan		
		(Binnie & Partners, 1983)	(Kunto, 2017)	(Iwaco & Waseco, 1999)
1	Koluvium (Qc)	20%	15%	30%
2	Hasil Gunung Api Tua (Qvu)	25%		20%
3	Tuf Pasir (Qyd)	25%	35%	10%
4	Lava (Qyl)	30%	35%	25%
5	Tuf berbatu apung (Qyt)	15%	20%	20%
6	Hasil Gunung Api Muda (Qyu)	30%		20%

Dalam tabel yang disajikan, terdapat dua formasi geologi yang tidak teridentifikasi dalam penelitian Wibisono Kunto (2017). Hal ini disebabkan oleh keterbatasan dalam deliniasi data formasi geologi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung Gandok. Penelitian ini berupaya untuk mengatasi keterbatasan tersebut dengan melakukan deliniasi yang lebih komprehensif dan akurat, sehingga dapat melengkapi dan memperbaharui data geologi yang sebelumnya belum teridentifikasi. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memperkaya informasi geologi wilayah tersebut, tetapi juga meningkatkan keakuratan dan validitas data yang digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Nilai koefisien imbuhan yang ditetapkan secara tentatif untuk masing-masing formasi batuan geologi di DAS Cikapundung Gandok memiliki potensi untuk menjadi indikator tidak langsung dalam menentukan besarnya imbuhan air tanah di sekitar DAS Cikapundung Gandok. Dengan demikian, nilai-volume imbuhan dapat dijadikan dasar untuk menetapkan batasan pengambilan air tanah yang dapat diterima secara lingkungan di wilayah tersebut, dengan tujuan menjaga kelestarian sumber daya air tanah dalam jangka panjang.

Tabel 16 Hasil analisis 3 kriteria untuk volume imbuhan di DAS Cikapundung Gandok

No	Nama	Volume Imbuhan (m ³ /tahun)		
		(Binnie & Partners, 1983)	(Kunto, 2017)	(Iwaco & Waseco, 1999)
1	Koluvium (Qc)	1.051.094	1.314.959	1.576.641
2	Hasil Gunung Api Tua (Qvu)	17.590.304		14.072.243
3	Tuf Pasir (Qyd)	11.917.860	26.974.116	4.767.144
4	Lava (Qyl)	1.637.405	11.830.698	1.364.504
5	Tuf berbatu apung (Qyt)	2.742.241	6.118.509	3.656.321
6	Hasil Gunung Api Muda (Qyu)	11.692.725		7.795.150
Total		46.631.629	46.238.282	33.232.004

Dari Tabel 16, terdapat perbedaan hasil signifikan dalam perhitungan volume imbuhan pada formasi geologi Qyd dan Qyl yang disebabkan oleh perbedaan hasil deliniasi batas luas formasi geologi. Hasil penelitian Wibisono Kunto (2017), meskipun memiliki luasan total DAS yang sama, yaitu 90,4 km², tidak mengidentifikasi formasi Qvu dan Qyu, yang terdeteksi dalam penelitian ini. Perbedaan tersebut mengindikasikan adanya perbedaan interpretasi geologi atau keterbatasan data yang dapat memengaruhi estimasi volume imbuhan, terutama pada formasi-formasi yang tidak teridentifikasi sebelumnya.

Nilai volume imbuhan terbesar didapatkan dalam perhitungan menggunakan koefisien imbuhan Binnie & Partners (1983), dengan nilai 46.631.629 m³/tahun, dan yang paling terendah didapatkan dalam perhitungan Iwaco & Waseco (1999), dengan nilai 33.232.004 m³/tahun.

Dengan menggunakan kriteria yang sama yaitu Binnie & Partners (1983), antara penelitian ini dan penelitian Wibisono Kunto (2017), terdapat selisih yang tidak terlalu besar untuk total perhitungan volume imbuhan, pada penelitian sebelumnya didapatkan nilai 46,238,282 m³/tahun, dan pada penelitian ini didapatkan nilai 46.631.629 m³/tahun, selisih yang didapatkan adalah sebesar 393.348 m³/tahun atau selisih sebesar 1%.

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa volume imbuhan DAS Cikapundung-Gandok pada periode rata-rata 2010-2019 adalah 46.631.629 m³/tahun (1,48 m³/s) dengan koefisien imbuhan dari Binnie & Partners (1983), dan 33.232.004 m³/tahun (1,05 m³/s) dengan koefisien dari Iwaco & Waseco (1999). Perbandingan dengan penelitian Wibisono Kunto (2017) menggunakan kriteria Binnie & Partners (1983) menunjukkan perbedaan tidak signifikan sebesar 393.348 m³/tahun (1%).

Dalam konteks pengelolaan air tanah di DAS Cikapundung-Gandok, penggunaan koefisien imbuhan dari Iwaco & Waseco (1999) sebaiknya diterapkan ketika mempertimbangkan variasi elevasi yang dapat mempengaruhi akurasi perhitungan imbuhan air tanah, meskipun hasilnya lebih rendah dibandingkan dengan metode lainnya. Di sisi lain, koefisien dari Binnie & Partners (1983) dapat digunakan ketika data atau kondisi lapangan tidak mempertimbangkan variabel elevasi, karena menunjukkan hasil yang lebih tinggi dan relevan dalam konteks tertentu.

Nilai-nilai koefisien imbuhan yang telah didapat berpotensi menjadi indikator penting dalam menentukan imbuhan air tanah, serta dapat digunakan sebagai dasar penetapan batas pengambilan air tanah yang berkelanjutan.

Nilai Volume Imbuhan yang rendah dari Iwaco & Waseco (1999) menggarisbawahi pentingnya merencanakan pengelolaan air tanah dengan pendekatan konservatif di DAS Cikapundung-Gandok, guna menjaga ketersediaan air tanah dalam jangka panjang. Ini sejalan dengan strategi mitigasi risiko kekurangan air di masa depan, dan berpotensi menjadi panduan bagi pengembangan kebijakan perlindungan air tanah yang lebih ketat.

Berdasarkan hasil penelitian secara umum, penting untuk dilakukan penelitian lebih lanjut dengan periode waktu yang lebih panjang. Penelitian dengan periode yang lebih panjang akan memberikan gambaran yang lebih representatif mengenai variasi temporal dari volume imbuhan air tanah. Hal ini akan membantu mengidentifikasi tren jangka panjang dan efek dari perubahan iklim atau aktivitas manusia terhadap imbuhan air tanah. Selain itu, periode pengamatan yang lebih panjang akan meningkatkan keandalan dan validitas data, sehingga dapat digunakan sebagai dasar yang lebih kuat untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air di DAS Cikapundung-Gandok. Dengan demikian, penelitian lanjutan sangat diperlukan untuk memastikan kelestarian dan keberlanjutan pasokan air tanah di wilayah ini dan sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. H., & Hidayat, W. (2020). Distribusi spasial curah hujan menggunakan metode interpolasi di daerah aliran sungai Citarum. *Jurnal Hidrosfir Indonesia*, 5(1), 41-58.
- Baker, L. A., & Foster, S. (2020). Groundwater recharge: A critical component of sustainable water resource management. *Water Resources Research*, 56(3). <https://doi.org/10.1029/2019WR025143>
- BBWS Citarum. (2014). *Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Citarum*. Bandung: BBWS Citarum.
- BIG. (2024, 06 13). *Ina-Geoportal*. Diambil kembali dari Badan Informasi Geospasial: <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/>
- Binnie, & Partners. (1983). *Groundwater Evaluation for Water Resources Project*. Direktorat General of Water Resources, Ministry of Public Work.
- Dingman, S. L. (2015). *Physical Hydrology*. Waveland Press.
- Encona, Donald, M., & Partner, A. (1988). *East Java Provincial Water Resources Master Plan Study for Water Supply*. Ministry of Public Works.
- Fadhilla, W. S., Sulaksana, N., & Sulastri, M. (2021). Level of Tectonic Activity Based on Quantitative Geomorphological Analysis in Cikapundung Watershed West. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 5, 5.
- Gaemi, H., & Kiani, M. F. (2018). Interpolation of Rainfall Data Using Inverse Distance Weighting (IDW) and Geostatistical Kriging. *Journal of Environmental Hydrology*.
- Hendrawan, A. (2019). Peran Formasi Geologi terhadap Infiltrasi dan Recharge Air Tanah di DAS Cikapundung. *Jurnal Geologi dan Sumber Daya Alam*, 18, 132-142.
- Iwaco, & Waseco. (1999). *Pola Induk Sesumber Air Untuk Sistim Penyediaan Air Bersih Propinsi Jawa Barat (JTA - 172)*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia Departemen Pekerjaan Umum, Dirjen Cipta Karya, Direktorat Air Minum.
- Karmadi, M. A. (2019). Penentuan Koefisien Imbuhan (RC) Air Tanah Sungai Cisadane Hulu - Sub DAS Cisadane. *Jurnal Teknik*.
- Kevin, C., Yudianto, D., & Rusli, S. R. (2017). Analisis Pola Distribusi Hujan Terhadap Perhitungan Debit Banjir DAS Cikapundung Hulu. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 3, 153-160.
- Kunto, W. (2017). Penentuan Koefisien Imbuhan Air Tanah Alami Daerah Aliran Sungai Cikapundung Gandok.
- Kuntoro, A. A., Putro, A. W., Kusuma, M. S., & Natasaputra, S. (2017). The effect of land use change to maximum discharge in Cikapundung River Basin. *ICONBUILD*. <https://doi.org/10.1063/1.5011621>
- Lestari, D. T., & Suprpto, H. (2017). Analisis Pemanfaatan Mata Air Sebagai Sumber Air Baku di Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor. *Jurnal Desain Konstruksi*, 151-164.
- Rendi, E. P., Anggi, R., & Abie, B. (2018). Persebaran Kualitas Air Di Daerah Aliran Sungai (DAS).
- Rizka, M., & Hilda, L. (2014). Pengaruh Penggunaan Lahan Terhadap Fungsi Konservasi Airtanah di Sub DAS Cikapundung. *Riset Geologi dan Pertambangan*, 77-89. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2014.v24.85>
- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763-1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Setianto, H., Adji, T. N., & Kurniawan, A. (2016). Analisis Kualitas dan Pengelolaan Mata Air di Sekitar Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). *Revista Cenic*, 28. <https://doi.org/10.22146/mgi.15615>
- Soenarto, B. (2002). *Penaksiran Debit Daerah Pengaliran Gabungan Sungai Permukaan dan Bawah Permukaan Bribin - Baron*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Sulistiyani, K. F., & Irianto, D. B. (2018). Studi Pemanfaatan Air Sumber Jenon untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Irigasi dan Domestik di Kecamatan Tajinan Kabupaten Malang. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 137-142.