

Estimasi imbuan air tanah menggunakan metode *simple water balance* di lereng selatan Gunung Merapi, Yogyakarta, Indonesia

Restu Dwi Cahyo Adi^{1,*}, Wahyu Wilopo^{1,2}, Hendy Setiawan^{1,2}

¹Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

²Center for Disaster Mitigation and Technological Innovation (GAMA-InaTEK), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Imbuan Air Tanah

Simple Water Balance

Corresponding Author:

Restu Dwi Cahyo Adi

restu.dwi.a@mail.ugm.ac.id

Abstract

One of the problems that faced by developing countries is the sufficient water supply. The rapid urbanization that caused by cultural activities, economics condition and education has made the massive use of groundwater, especially in Yogyakarta. Therefore, this study aims to estimate the groundwater recharge on the southern slope of Merapi Volcano using simple water balance method. This research was conducted in southern slope of Merapi that limited by Boyong river in the west and Kuning river in the east. The rainfall data was observed from CHIRPS satellite and annual temperature was observed from Yogyakarta Climatology Station (BMKG) in the last 10 years in the study area. The result show that average annual precipitation is 2785,685 mm/year, the result of evapotranspiration real is 1633,962 mm/year, and the result of runoff is 462,245 mm/year. After the calculation using simple water balance method, the recharge estimation is 689,478 mm/year. These groundwater recharge values were below the result that reported by previous studies.

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Lereng Selatan Gunung Merapi merupakan bagian penting dalam Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman karena termasuk zona imbuan air tanah. Penurunan zona resapan air dapat menyebabkan penurunan cadangan air tanah yang ada di Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman. Kemajuan pembangunan dan penambahan jumlah penduduk terjadi secara cepat di daerah sekitar lereng selatan Gunung Merapi. Pertumbuhan wilayah pemukiman pada lereng selatan dan tenggara Gunung Merapi mencapai peningkatan sebesar 62% dari tahun 1966 sampai tahun 2021 menjadi 5100 Ha dari semula 2000 Ha (Hendrayana, dkk., 2023). Peningkatan pembangunan pemukiman dan

infrastruktur menandai tingkat urbanisasi yang cepat di Yogyakarta (Wilopo & Putra, 2021; Putra, 2021). Akibat pembangunan yang pesat di Yogyakarta maka mengakibatkan peningkatan besar dalam penggunaan air tanah di cekungan air tanah Yogyakarta-Sleman terutama penggunaan air untuk kebutuhan domestik di Kabupaten Sleman mencapai 61.988.198 m³/tahun (Hendrayana dkk., 2020). Beberapa metode perhitungan imbuan air tanah sudah banyak dilakukan pada lereng selatan Gunung Merapi, seperti menggunakan metode *water table fluctuation* (WTF) oleh Razi dkk., 2023 yang lebih menekankan pada pengukuran imbuan melalui fluktuasi muka air tanah, metode *water budget* dan sistem informasi

geografi oleh Dipayana dkk., 2012, sedangkan metode *simple water balance* juga pernah dilakukan oleh Dearzo, 2019 di sekitar kawasan kampus UII. Penerapan metode *simple water balance* merupakan metode yang cukup baik digunakan karena estimasi imbuhan yang mudah dilakukan dan cukup efektif untuk mengetahui persebaran nilai imbuhan air tanah secara luas, penerapan metode *simple water balance* pada penelitian ini akan melengkapi penelitian sebelumnya termasuk penelitian oleh Dearzo, 2019 dalam cakupan yang lebih luas. Dalam mencapai pembangunan yang berkelanjutan, maka berdasarkan *Sustainable Development Goals* (SDGs) pada parameter ketersediaan air yang cukup menjadi sangat penting dalam kehidupan manusia dan keberlanjutan lingkungan (Gill, 2017). Oleh karena itu, kajian tentang estimasi imbuhan air tanah pada lereng selatan Gunung Merapi menjadi cukup penting untuk dilakukan.

Bahan dan Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

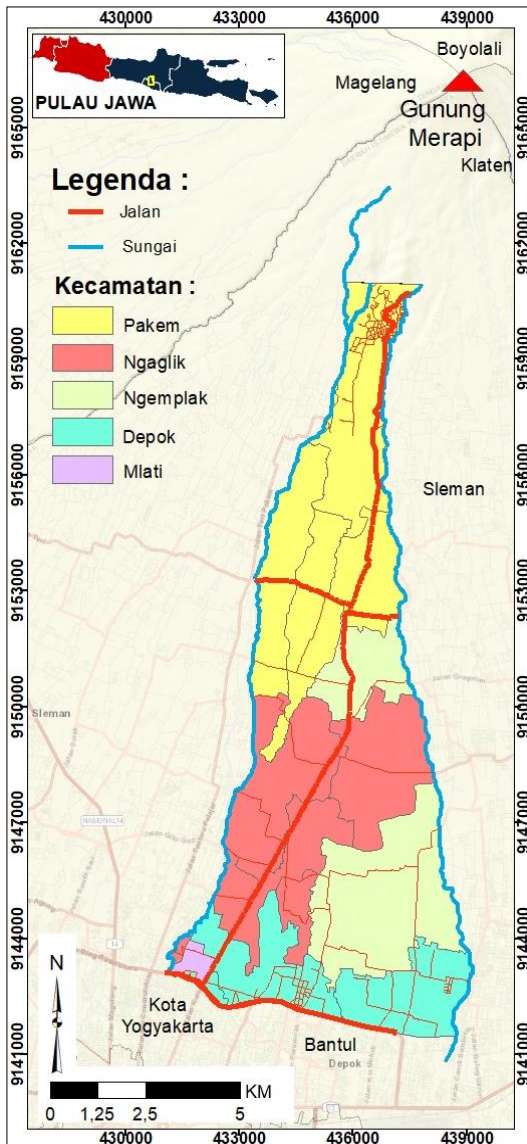
Pada penelitian ini dilakukan estimasi imbuhan air tanah menggunakan metode *simple water balance* pada lereng selatan Gunung Merapi di Kabupaten Sleman. Lokasi penelitian dibatasi oleh Sungai Boyong di sisi barat dan Sungai Kuning di sisi timur, sedangkan pada sisi utara dibatasi pada sekitar Goa Jepang dan sisi selatan pada Jalan Lingkar Utara dengan luas area penelitian berkisar 77 km² (Gambar 1).

Topografi Lokasi Penelitian

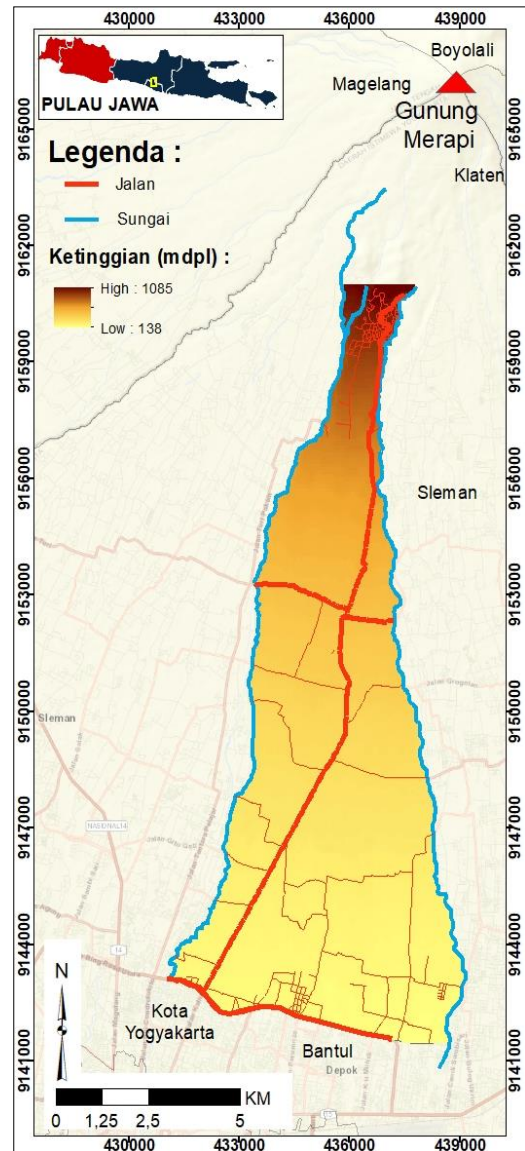
Lokasi penelitian memiliki kontur topografi yang cukup tinggi karena berada pada bentang alam vulkanik Gunung Merapi dengan elevasi yang beragam dari ketinggian sekitar 138 mdpl pada sisi selatan atau bagian dataran Gunung Merapi sampai ketinggian 1085 di sisi utara atau lereng Gunung Merapi (Gambar 2), Pengolahan peta menggunakan data Rupa Bumi Indonesia (RBI) dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan data *Digital Elevation Model* (DEM) dari satelit USGS.

Geologi Lokasi Penelitian

Berdasarkan kondisi geologi pada lokasi penelitian, karena berada pada bentang alam vulkanik Gunung Merapi, maka batuan yang menyusun daerah penelitian didominasi oleh hasil erupsi Gunung Merapi yaitu termasuk kedalam endapan Merapi Muda (Wirakusumah, 1989; Boulom dkk., 2014), yang tersusun oleh batuan vulkanik seperti piroklastik, aliran lava, batupasir dan batupasir kerikilan dengan sedikit lapisan batulempung dan batulanau (Gertisser dkk., 2012). Pada lereng selatan Gunung Merapi, selain dari proses vulkanisme yang mempengaruhi batuan juga terdapat proses fluvial akibat berkembangnya batuan sedimen yang disebut fluvial-vulkaniklastik (Putra, 2013), yang disebabkan adanya sungai besar yang berada disekitar lereng selatan Gunung Merapi, sehingga proses sedimentasi batuan berjalan dengan proses vulkanisme Gunung Merapi.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2. Peta Topografi Lokasi Penelitian

Metode Penelitian

Penelitian ini dikumpulkan data – data dasar seperti data curah hujan tahunan, data temperatur tahunan serta data batas air. Pada pengumpulan data curah hujan tahunan digunakan data satelit CHIRPS dengan resolusi spasial $0,05^\circ$ (± 5 km di daerah ekuator), sedangkan data rata – rata temperatur tahunan yang diperoleh dari

Stasiun Klimatologi BMKG Yogyakarta selama 10 tahun terakhir dari tahun 2013 sampai Tahun 2022 disekitar lokasi penelitian, serta data batas air dilakukan pemrosesan pada aplikasi sistem informasi geografi (SIG). Perhitungan estimasi mbumhan air tanah metode *simple water balance* menggunakan perhitungan yang dilakukan oleh Putra, 2007 sesuai dengan Persamaan 1.

$$U = P - E_{tr} - R_o \quad (1)$$

Dimana :

U : Imbuan air tanah (mm/tahun)

P : Rata – rata Curah Hujan Tahunan (mm/tahun)

E_{tr} : Evapotranspirasi (mm/tahun)

R_o : Limpasan Permukaan (*surface runoff*) (mm/tahun)

Perhitungan evapotranspirasi dapat menggunakan permodelan persamaan yang dikembangkan oleh TURC (1954) dalam persamaan 2 (Singh, 1989; Putra 2007).

$$E_{tr} = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{(300 + 25 \cdot T_m + 0,05 \cdot T_m^3)^2}}} \quad (2)$$

dengan T_m adalah rata – rata suhu tahunan (°C).

Pada parameter evapotranspirasi seperti pada persamaan (2), maka perlu diketahui data suhu rata – rata tahunan yang konsisten agar didapatkan nilai evapotranspirasi yang akurat. Sedangkan pada parameter limpasan permukaan (*runoff*) dihitung berdasarkan rumus perhitungan Departemen Pertanian India (1990) yang dapat diterapkan di pulau jawa (Putra, 2013) sesuai dengan persamaan 3 (Putra, 2007).

$$R_o = \frac{1,511 \cdot P^{1,44}}{T_m^{1,34} \cdot A^{0,0613}} \quad (3)$$

dengan R_o adalah limpasan permukaan (*runoff*) (mm/tahun), dan A adalah batas air (*watershed*) (km²)

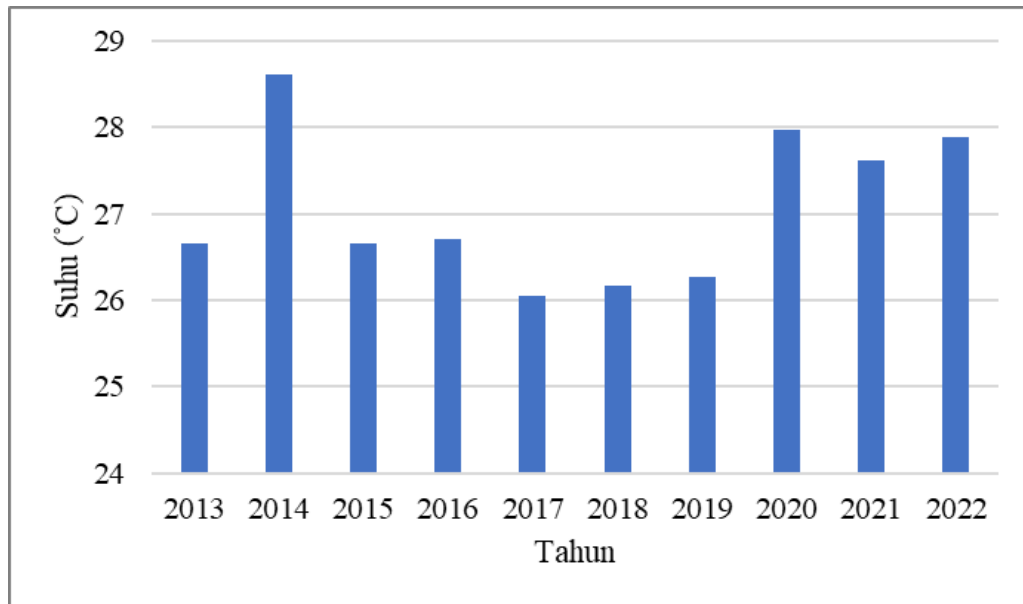
Pada perhitungan limpasan permukaan seperti pada persamaan (3), perlu diketahui batasan air atau *watershed*

yang detail dari pemrosesan data agar didapatkan nilai limpasan permukaan yang akurat. Setelah diketahui nilai rata–rata curah hujan tahunan (P), Evapotranspirasi (E_{tr}) dan nilai Limpasan permukaan (R_o), maka dapat dilakukan perhitungan imbuan air tanah menggunakan metode *simple water balance* sesuai dengan persamaan (1). Pada perhitungan imbuan air tanah metode *simple water balance* keakuratan data curah hujan cukup penting, karena akan berpengaruh pada perhitungan hasil akhir nilai imbuan.

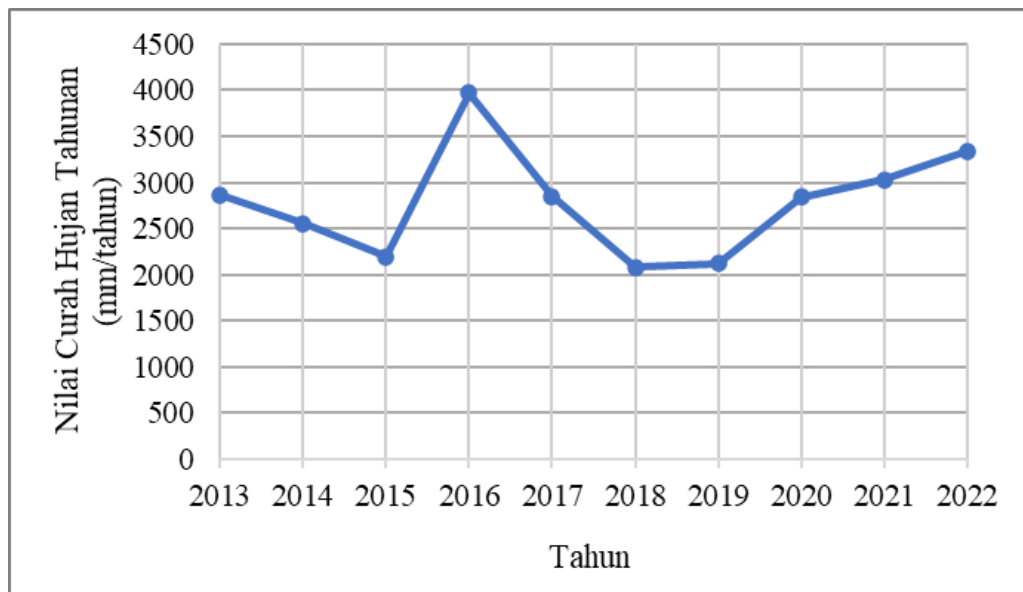
Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil Penelitian

Pada parameter curah hujan tahunan, didapatkan data curah hujan tahunan menggunakan data dari satelit CHIRPS dengan resolusi spasial 0,05° (±5 km di daerah ekuator) selama 10 tahun terakhir (Tahun 2013 sampai Tahun 2022) disekitar lokasi penelitian. Data citrat satelit yang diperoleh dari satelit CHIRPS kemudian diolah menggunakan aplikasi sistem informasi geografi (SIG) agar mendapat nilai curah hujan yang kemudian data curah hujan tahunan tersebut di rata-rata (Gambar 3). Dari hasil analisis didapatkan nilai sebesar 2785,685 mm/tahun. Kemudian pada parameter nilai evapotranspirasi, data rata – rata suhu tahunan diperoleh dari data Badan Pusat Statistik (BPS) selama 10 tahun terakhir dari tahun 2013 sampai 2022 di Kabupaten Sleman



Gambar 3. Data suhu rata-rata tahunan di Kabupaten Sleman (BPS Sleman)



Gambar 4. Data Curah Hujan Tahunan di Lokasi Penelitian (Data Satelit CHIRPS)

(Gambar 4). Berdasarkan persamaan (2) dalam perhitungan evapotranspirasi, dari hasil perhitungan nilai rata – rata suhu tahunan diperoleh sebesar 27,055 °C, dengan data curah hujan dari satelit CHIRPS maka diperoleh nilai evapotranspirasi sebesar 1633,962 mm/tahun. Selanjutnya, pada parameter limpasan permukaan (R_o) pada parameter batas air (*watershed*) setelah dilakukan pengolahan data pada sistem informasi geografi (SIG) maka pada lokasi penelitian diperoleh nilai sebesar 77,6 km². Berdasarkan persamaan (3) Dari hasil perhitungan limpasan permukaan sesuai persamaan (3) dengan data temperatur 10 tahun terakhir, maka diperoleh nilai sebesar 462,245 mm/tahun. Setelah diketahui parameter rata – rata curah hujan tahunan sebesar 2785,685 mm/tahun, parameter evapotranspirasi sebesar 1633,962 mm/tahun, dan parameter limpasan permukaan diperoleh sebesar 462,245 mm/tahun, maka dilakukan perhitungan sesuai persamaan (1) maka diperoleh nilai imbuan air tanah berdasarkan metode *simple water balance* sebesar 689,478 mm/tahun pada daerah lereng selatan Gunung Merapi (Gambar 1).

Pembahasan

Secara umum penggunaan metode *simple water balance* dalam menghitung estimasi imbuan air tanah memberikan hasil yang cukup baik dan telah banyak diaplikasikan oleh beberapa peneliti seperti oleh Putra *et al*, 2013 di Kota Yogyakarta, Dearzo, 2019 disekitar kawasan Kampus UII Yogyakarta dan oleh Rachman, 2021 di kecamatan Wonosari Gunungkidul. Faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai imbuan

air tanah menggunakan metode *simple water balance* didasarkan pada seberapa akurat dalam menghitung rata – rata curah hujan tahunan, nilai evapotranspirasi dan nilai limpasan permukaan (*runoff*).

Perbandingan Estimasi Imbuan Air Tanah di Lereng Selatan Dengan Peneliti Terdahulu

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu (Gambar 4), penggunaan metode *water table fluctuation* menghasilkan nilai estimasi imbuan air tanah yang cukup tinggi pada daerah Pakem, Ngemplak, Mlati yaitu sebesar 777,86 - 1505,56 mm/tahun (Razi *dkk.*, 2023), sedangkan pada penggunaan metode *simple water balance* pada sekitar kawasan kampus UII menghasilkan estimasi nilai imbuan air tanah sebesar 598 mm/tahun pada tahun 2018 (Dearzo, 2019). Selanjutnya estimasi imbuan air tanah menggunakan metode *water budget* dan Sistem Informasi Geografi (SIG) menghasilkan nilai imbuan di daerah hulu dan sekitar Gunung Merapi sebesar >500 mm/tahun dengan luas area sekitar 14,124 km² (Dipayana *dkk.*, 2012). Dari hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai imbuan air tanah disekitar lereng selatan Gunung Merapi yang termasuk kedalam Hulu Cekungan Air Tanah (CAT) Yogyakarta-Sleman merupakan zona imbuan (*recharge*) dengan menghasilkan nilai imbuan yang cukup tinggi dengan rentang estimasi imbuan air tanah berkisar diatas 500 mm/tahun. Hasil estimasi nilai imbuan air tanah

Tabel 1. Estimasi Imbuan Air Tanah di Lereng Selatan Gunung Merapi Oleh Peneliti Terdahulu

| Peneliti | Metode | Lokasi Penelitian | Estimasi Imbuan Air Tanah |
|----------------------|--|--------------------------------------|---------------------------|
| Razi, dkk., 2023 | <i>Water Table Fluctuation (WTF)</i> | Sleman (pakem, Ngemplak, Mlati) | 777, 86- 1505,56 mm/tahun |
| Dearzo, 2019 | <i>Simple Water Balance</i> | Sekitar Kampus UII Yogyakarta | 598 mm/tahun |
| Dipayana, dkk., 2012 | <i>Water Budget</i> dan <i>SIstem Informasi Geografi</i> | Sekitar Lereng Selatan Gunung Merapi | >500 mm/tahun |

sangat bergantung pada metode estimasi yang digunakan dalam penelitian, pemilihan metode dalam penelitian perlu mempertimbangkan karakteristik lokasi penelitian sehingga menghasilkan nilai estimasi yang akurat. Imbuan air tanah menjadi salah satu faktor penting dalam keberlanjutan air tanah atau yang dikenal dengan istilah *safe yield* dimana kondisi pengambilan air tanah yang aman akan terjadi jika debit pengambilan air tanah sama dengan imbuan air tanah tahunan (Pierce dkk., 2013).

Kesimpulan

Estimasi imbuan air tanah menggunakan metode *simple water balance* yang digunakan pada lereng Selatan Gunung Merapi di daerah Kabupaten Sleman mendapatkan hasil estimasi sebesar 689,478 mm/tahun. Hasil penelitian estimasi imbuan air tanah menggunakan metode *simple water balance* masih berada dalam rentang perhitungan estimasi imbuan air tanah yang dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya yang menggunakan berbagai metode dalam etimasi imbuan air tanah di lereng Selatan Gunung Merapi. Perkembangan wilayah pemukiman dan pariwisata yang ada di Yogyakarta membutuhkan kebijakan dan penanganan

yang berkelanjutan dalam manajemen air tanah agar peningkatan kegiatan pariwisata dapat selaras dengan ketersediaan dan kebutuhan air tanah. Dalam rangka mencapai pengelolaan air tanah yang berkelanjutan diperlukan peraturan yang membatasi pengambilan air tanah secara berlebihan pada area – area tertentu dan penggunaan imbuan air tanah buatan pada area tertentu agar tidak ada penurunan kualitas dan kuantas air tanah (Verma dkk., 2019).

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Departemen Teknik Geologi FT UGM, dan para pihak yang terlibat dalam penyusunan kajian ini.

Daftar Pustaka

- Hendrayana, H., Harijoko, A., Riyanto, I. A., Nuha, A., & Ruslisan. (2023). *Groundwater Chemistry Characterization in The South and Southeast Merapi Volcano, Indonesia. Indonesian Journal of Geography Vol 55, No 1 (2023)*. p. 10-29. DOI: 10.22146/ijg.76433
- Wilopo, W. & Putra, D.P.E. (2021). *Groundwater fluctuation patterns and groundwater recharge estimation in unconfined aquifer*

- of Yogyakarta City, Indonesia. *Kuwait Journal of Science*, Vol.48(2).doi:10.48129/kjs.v48i2.9397
- Putra, D. P. E. (2021). *Evolution of groundwater chemistry on shallow aquifer of Yogyakarta City urban area. J. Appl. Geol.*, vol. 3, no. 2, p. 116–124, 2015, doi: 10.22146/jag.7188.
- Hendrayana, H., Riyanto, I. A. & Nuha, A. (2020). *Tingkat Pemanfaatan Airtanah Di Cekungan Airtanah (CAT) Yogyakarta-Sleman. Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi Volume 4 Nomor 2 Desember 2020*, p. 127-137. DOI: 10.29408/geodika.v4i2.2643
- Gill, J. C. (2016). *Geology and the Sustainable Development Goals. Geology for Global Development, London, UK. Episodes Vol. 40, no. 1. P. 70-76.*
- Wirakusumah, A.D., Loebis, H., Juwana, H., Effendi, A.C., Sudradjat A., and Pardyanto, L. (1989). *Peta geologi Gunungapi Merapi*. Direktorat vulkanologi.
- Boulom, J. Putra, D.P.E. & Wilopo, W. (2014). *Chemical Composition And Hydraulic Connectivity Of Springs In The Southern Slope Of Merapi Volcano. J. SE Asian Appl. Geol.*, Jan–Jun 2014, Vol. 6(1), pp. 1–11.
- Gertisser, R., Charbonnier, S. J., Keller, J., & Quidelleur, X., (2012). *The geological evolution of Merapi volcano, Central Java, Indonesia. Bulletin of Volcanology*, 74(5). p. 1213–1233.
- Putra, D.P.E., 2007, “The Impact of Urbanization in Groundwater Quality: A Case Study in Yogyakarta City”. Indonesia: Aachen.
- Putra, D.P.E. Iqbal, M. Hendrayana, H. & Putranto, T.T. (2013). *Assessment of Optimum Yield of Groundwater Withdrawal in the Yogyakarta City, Indonesia. Journal of Applied Geology*, v. 5, p. 41-49. doi:10.22146/jag.7206.
- Singh, V.P. (1989) *Hydrologic Systems Volume 2: Watershed Modeling*, 320 p, Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- Razi, M.H., Wilopo, W., and Prakasa, D.P.E., (2022). *Spatiotemporal Variability of Groundwater Level Changes And Recharge Estimation Using Water Table Fluctuation (Wtf) Method In Yogyakarta-Sleman Groundwater Basin, Indonesia, Journal of Applied Engineering Science, Vol. 20, No. 4, 2022.*
- Dearzo, M. Z., (2019). *Kajian Simulasi Model Aliran Air tanah di Wilayah UII dan Sekitarnya, Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Departemen Teknik Geologi UGM.
- Dipayana, G.A., Nurjani, E., & Adji, T.N. (2012). *Estimasi Distribusi Spasial Nilai Imbuhan Airtanah Menggunakan Model Water-Budget dan Geographic Information System (GIS) di DAS Opak, DIY. Prosiding seminar nasional ScieTec 2012*. ISBN 978-602-97961-1-7
- Pierce, S.A., Sharp, J. M., Joseph, H., Mace, R. E., & Eaton, D. J. (2013). *Aquifer-yield continuum as a guide and typology for science-based groundwater management. Hydrogeology Journal (2013) 21. p. 331–340. DOI 10.1007/s10040-012-0910-y*
- Verma, N., Anda, M., and Wijayanti, Y. (2019). *Artificial Recharge for Sustainable Groundwater*

- Management Plan in Yogyakarta. Indones. J. Urban Environ. Technol., vol. 2, no. 2, p. 120. doi: 10.25105/urbanenvirotech.v0i0.4364*
- BPS Kabupaten Sleman, (2013 – 2023). *Sleman Dalam Angka 2013 – 2022*. (BPS Kabupaten Sleman, Ed.): Sleman, BPS Kabupaten Sleman,
- Badan Informasi Geospasial (BIG),” *Indonesia Topographic Map (RBI)*,” 2016, [Online], Available: <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>
- USGS, “Digital Elevation: SRTM 1 Arc-Second Global,” 2023, [Online], Available : <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Rachman, M. Z., (2021). *Kerentanan Airtanah Dangkal Dengan Metode Simple Vertical Vulnerability (SVV) Di Kecamatan Wonosari, Kabupaten Gunungkidul, D.I. Yogyakarta, Tesis*. Yogyakarta : Fakultas Teknik Departemen Teknik Geologi UGM.