ITATS

SEMITAN

Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan

https://ejurnal.itats.ac.id/semitan

PENGARUH LITOLOGI DAN STRUKTUR GEOLOGI TERHADAP AIR TANAH DI DAERAH WEDIOMBO, KECAMATAN GIRISUBO, KABUPATEN GUNUNGKIDUL, PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Arhananta[1], Sari Bahagiarti Kusumayudha[1], Agus Harjanto[1]

[1]Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

E-mail: arhananta@gmail.com

Info Artikel

Diserahkan:
14 Juni 2022
Direvisi:
16 Juli 2022
Diterima:
22 Juli 2022
Diterbitkan:
31 Juli 2022

Abstrak

Daerah penelitian di Desa Jepitu, Desa Karangawen, Desa Tileng, Desa Balong, Desa Purwodadi, dan Desa Tepus, Kecamatan Girisubo, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas pemetaan geologi permukaan, Measuring Section (MS), pemetaan hidrogeologi, dan pengambilan conto batuan serta air tanah. Arah aliran air bawah tanah sepanjang teluk Wediombo dipengaruhi oleh sesar mendatar orde 1, dengan arah aliran yang berarah tenggara pada sisi barat dan berarah barat daya pada sisi timur. Pada bagian tengah, arah aliran air bawah tanah ke selatan dipengaruhi oleh sesar orde 2 (Sesar Pokgunung). Batugamping memengaruhi tingginya unsur Ca2+, HCO3-, dan CO32- pada air tanah. Lava lapuk (teralterasi) memengaruhi tingginya unsur Mg2+, Na+, K+, dan Cl- pada air tanah. Kontak breksi-batugamping memengaruhi tingginya unsur Mg2+, Na+, dan Cl- pada air tanah. Batugamping memengaruhi tingginya nilai daya hantar listrik, dan kekeruhan, serta dicirikan dengan debit yang tinggi. Lava segar dan kontak breksi-batugamping memengaruhi rendahnya nilai pH air tanah.

Kata kunci: Bishop, air tanah, pengaruh litologi, pengaruh struktur geologi, Wediombo

Abstract

The research area is located in the Villages; Jepitu, Karangawen, Tileng, Balong, Purwodadi, and Tepus, Girisubo District, Gunungkidul Regency, Yogyakarta Special Region Province. The method used in this study consisted of mapping of surface geology, Measuring Section (MS), hydrogeological mapping, and taking rock and groundwater samples. The direction of groundwater flow along Wediombo Bay is influenced by an order 1 horizontal fault, with the flow direction being southeast on the west side and southwest on the east side. In the middle, the direction of underground water flow to the south is influenced by an order 2 fault (Pokgunung Fault). Limestone affects the level of Ca2+, HCO3-, and CO32- elements in groundwater. Weathered (altered) lava affects the level of Mg2+, Na+, K+, and Cl- elements in groundwater. Breccia-limestone contact affects the level of Mg2+, Na+, and Cl- elements in groundwater. Limestone affects the high value of electrical conductivity, and turbidity, and is characterized by high discharge. Fresh lava and breccia-limestone contacts affect the low pH value of groundwater. Keywords: earth, mining, marine.

Keywords: Bishop, groundwater, lithological influence, geological structure influence, Wediombo

1. Pendahuluan

Gunungsewu merupakan suatu kawasan karst yang memiliki peran penting dalam ketersediaan air tanah khususnya dalam sektor pariwisata. Sebaran sektor wisata ini berada di sepanjang pantai pada bagian Selatan Gunungsewu, salah satu daerah tersebut adalah Wediombo. Ketersediaan air tanah tidak lepas dengan ketercapaian standar kualitas air tanah, dan keduanya sangat ditentukan oleh pengaruh variasi litologi dan struktur geologi detail suatu daerah.

[1] dijelaskan bahwa daerah ini terdiri atas Formasi Wuni dan Formasi Wonosari. Penelitian lain dijelaskan bahwa Wediombo terdiri atas Formasi Semilir dan Formasi Wonosari oleh [2] [3] lalu dalam [4] dijelaskan bahwa daerah Wediombo disusun oleh Formasi Nglanggran dan Formasi Wonosari. Geologi daerah Wediombo memiliki ciri khas bentang alam karst yang didominasi batugamping [3] dan memiliki daerah gunungapi purba teralterasi. Alterasi ditemui pada daerah penelitian dibuktikan oleh [5] dengan alterasi silika vuggy-silika masif (silisifikasi kuat), alterasi kuarsa-dikit-alunit (silisifikasi-argilik lanjut), alterasi kaolin-ilit-kuarsa (argilik) dan alterasi klorit±epidot (propilitik lemah).

Hidrogeologi Wediombo dalam[2], [3] hanya dijelaskan sebatas bagian dari subsistem hidrogeologi Sadeng yang belum diketahui keberadaan mata airnya. [5] menemukan dibagian Barat Wediombo ditemukan beberapa mata air yang memiliki perbedaan karakteristik kimia air tanahnya. Belum ada penjelasan detail mengenai hidrogeologi Wediombo. Penjelasan detail hidrogeologi suatu daerah dapat menjelaskan unsur-unsur penting yang berkaitan dengan air tanah. Pemahaman unsur penting hidrogeologi secara detail salah satunya ialah unsur geologi berupa bidang diskontinuitas yang dapat menggambarkan massa batuan dan sifat akuifer. Rekahan dan bidang diskontinuitas pada batuan berfungsi sebagai tempat penyimpanan fluida sebagai porositas sekunder. Arah aliran utama dalam rekahan yaitu sepanjang zona kekar, zona sesar dan zona bidang diskontinuitas lainnya. Bidang diskontinuitas dalam kondisi geologi seperti bentang alam karst diakibatkan oleh proses air hujan masuk ke bawah permukaan tanah [2] Unsur hidrogeologi penting lainnya ialah unsur geologi mengenai jenis litologi, dijelaskan oleh [6] bahwa pada litologi endapan gunungapi memiliki sistem akifer yang berasal dari pelapukan batuan piroklastik yang tebalnya lebih dari 1 meter yang bersifat sangat berpori dan tidak kompak serta berselang-seling dengan lapisan-lapisan aliran lava yang umumnya kedap air.

Belum adanya penelitian detail geologi, alterasi, dan hidrogeologi di daerah Wediombo, maka penulis menganggap penting untuk dilakukannya penelitian mengenai Pengaruh Litologi dan Struktur Geologi Terhadap Air Tanah Di Daerah Wediombo, Kecamatan Girisubo, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

1.1 Lokasi Penelitian

Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat (UTM-WGS84 – Zona 49S) 466100 – 471100 mT dan 9093000 – 9098000 mU. Daerah penelitian secara administratif berada pada Desa Jepitu, Desa Karangawen, dan Desa Tileng, Kecamatan Girisubo, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Gambar 1. Peta Administrasi daerah penelitian

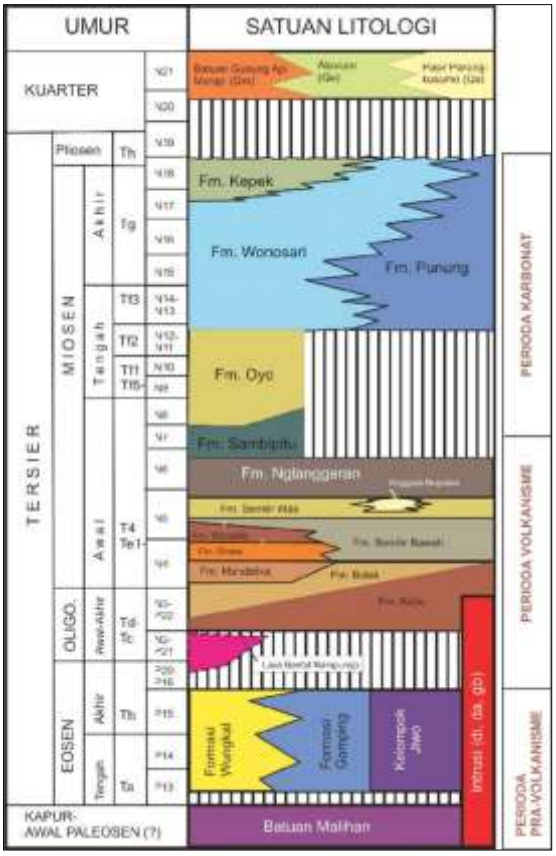
2. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas pemetaan geologi permukaan, Measuring Section (MS), pemetaan hidrogeologi, dan pengambilan conto batuan serta air tanah.

2.*1 Geologi Regional*

Berdasarkan [7] daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Pegunungan Selatan tepatnya pada Subzona Gunung Sewu. Subzona Gunung Sewu merupakan perbukitan dengan bentang alam karst, yaitu bentang alam dengan bukit-bukit batugamping membentuk banyak kerucut (connical hills) dengan ketinggian yang seluruhnya hampir homogen. Diantara kerucut-kerucut tersebut ini dijumpai telaga, gua/luweng (sinkholes) serta lembah-lembah dalam dan di bawah permukaan terdapat gua batugamping serta aliran sungai bawah tanah.

Menurut [8] dalam sistem Active Margin, tatanan tektonik Tersier Pulau Jawa disusun oleh unsur tektonik utama yang terdiri dari penunjaman lempeng Hindia, zona subduksi dan akresi selatan Jawa, busur magmatik Jawa, dan busur belakang yang berada di Jawa utara dan Laut Jawa. Cekungan Jawa Selatan menurut sistem tersebut, termasuk dalam cekungan busur muka (Fore Arc Basin). Cekungan Pegunungan Selatan Yogyakarta merupakan bagian dalam cekungan busur muka tersebut. Selain tatanan tektonik Tersier tersebut, terdapat petunjuk adanya kontrol tatanan tektonik Pratersier terhadap pembentukan dan konfigurasi cekungan Tersier.



Gambar 2. Stratigrafi Pegunungan Selatan [1]

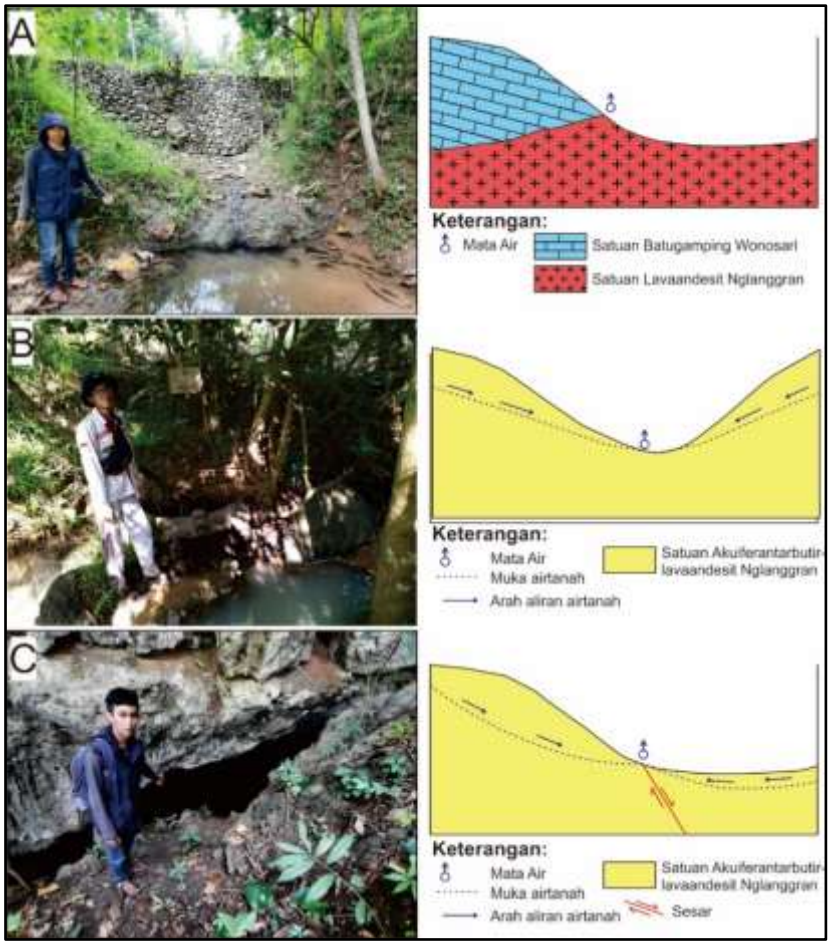
3. Hasil dan pembahasan

Hidrogeologi di daerah penelitian merupakan satuan yang dikontrol oleh persebaran stratigrafi dan struktur geologi. Daerah penelitian tersusun atas bukit intrusi yang dikelilingi oleh lava andesit dan perbukitan karst dengan litologi karbonat klastik pada bagian timur laut. Oleh karena itu, keberadaan air tanah sangat erat kaitannya dengan kondisi geologi, curah hujan, dan topografi.

a. Jenis Mata Air

Hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa terdapat tiga jenis mata air yang berkembang didaerah penelitian, antara lain: (1) mata air depresi, (2) mata air kontak dan (3) mata air celah.

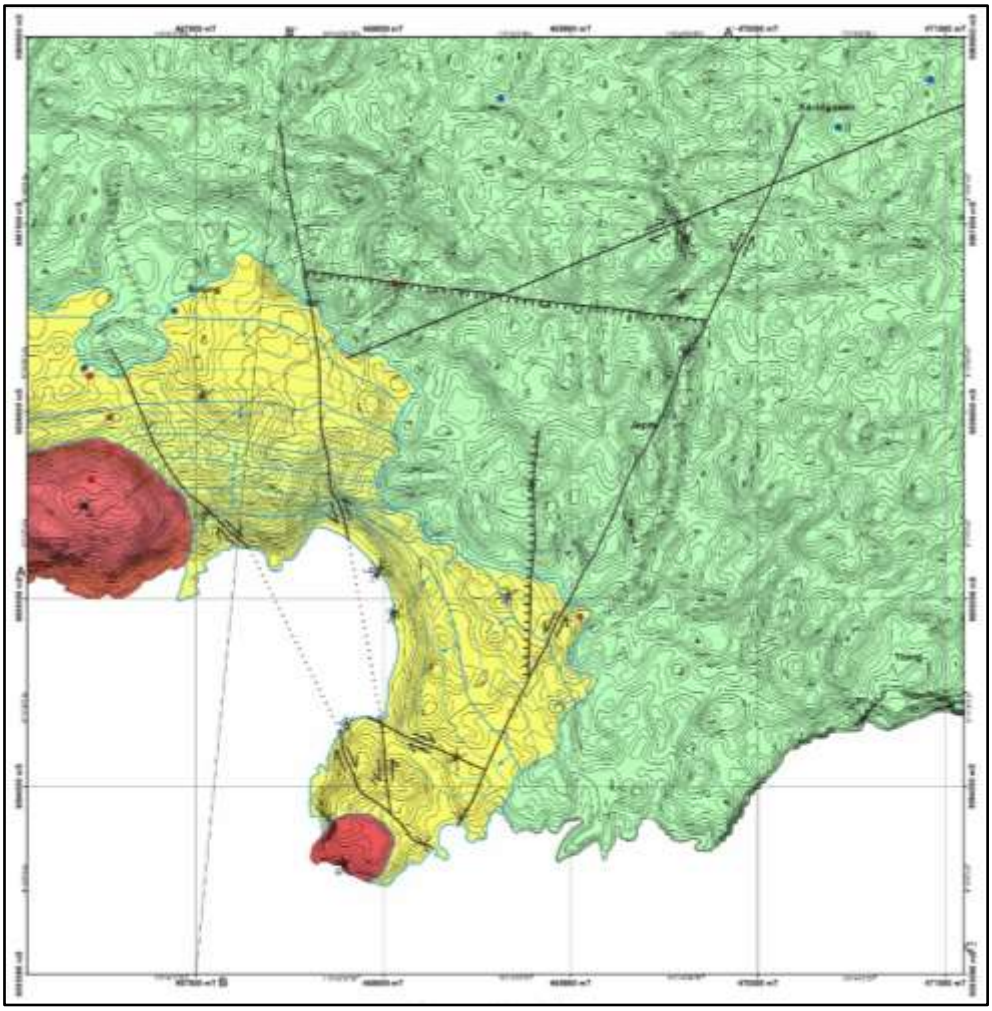
- Mata air kontak, adalah mata air yang berkembang akibat kontak dua litologi yang memiliki perbedaan porositas. Hasil pengamatan terdapat satu mata air kontak yang terdapat pada kontak Satuan batugamping Wonosari dengan Satuan lava-andesit Nglanggran (LP 317).
- Mata air depresi, adalah mata air yang berkembang akibat perpotongan antara pola topografi terhadap muka air tanah. Terdapat dua mata air depresi pada daerah penelitian yaitu mata air yang terdapat di utara bukit intrusi batur (LP 308 dan LP 309). Mata air ini umumnya terletak pada lembah pada daerah penelitian.
- Mata air celah, adalah mata air non-*gravitational* yang dihasilkan dari celah atau kekar – kekar dan zona sesar sebagai tempat mengalir air tanah pada bagian dalam keluar akibat perbedaan tekanan. Mata air ini terdapat pada LP 237 dan LP 314.



Gambar 3 Jenis mata air daerah penelitian; (A) mata air kontak LP 317; (B) mata air depresi LP 309; (C) mata air celah LP 314

b. Analisis Muka Air Tanah

Keterdapatan sumur gali pada morfologi perbukitan karst sulit untuk ditemukan. Keterdapatan mata air pada daerah karst dikontrol oleh struktur geologi. Berdasarkan keterdapatan mata air celah yang mendominasi pada morfologi perbukitan karst atau pada Satuan batugamping Wonosari maka pada daerah tersebut penulis menginterpretasikan sebagai Satuan Akuifer rekahan-batugamping Wonosari. Aliran air tanah didapatkan berdasarkan kontur dari elevasi muka air tanah melalui flowline. Arah aliran air tanah terbagi menjadi 2 sistem yaitu aliran air tanah pada daerah barat yang mengalir ke arah tenggara dan daerah timur yang mengalir ke barat daya.



Gambar 4 Peta Hidrogeologi daerah penelitian (merah merupakan Satuan Akuifug-intrusidiorit Nglanggran; kuning merupakan Satuan akuiferantarbutirdanrekahan – lavaandesit Nglanggran; hujau merupakan Satuan Akuiferrekahan-batugamping Wonosari)[9]

c. *Karakteristik* Batuan Pembawa Air Tanah

- Akuifer

Akuifer di daerah penelitian merupakan Satuan akuiferantarbutirdanrekahan – lavaandesit Nglanggran. Akuifer pada zona karst di daerah penelitian merupakan Satuan akuiferrekahan-batugamping Wonosari.

- Akuifug

Akuifug di daerah penelitian merupakan Satuan akuifug-intrusidiorit Nglanggran. Berdasarkan pengamatan lapangan terdapat dua mata air yang terletak secara setempat, maka penulis menginterpretasikan satuan ini merupakan akuifug.

d. Sistem *Akuifer*

Sistem Akuifer Antar Butir dan Rekahan

Sistem akuifer berupa akuifer rekahan dengan porositas dan permeabilitas primer antar butir dan sekunder akibat pelapukan dan rekahan. Tipe aliran berupa aliran rembesan melalui butiran dan rekahan – rekahan. Muka air tanah dangkal dan saling berhubungan secara merata akibat porositas batuan dan rekahan yang intens.

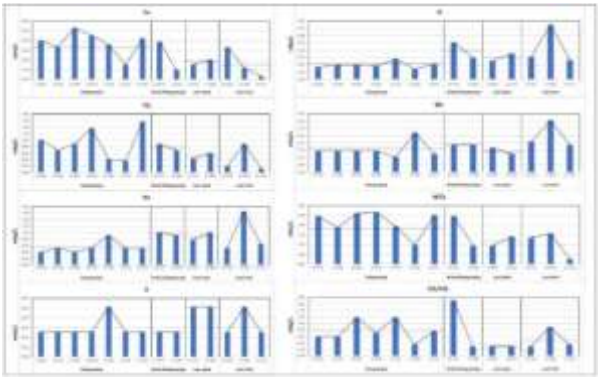
Sistem Akuifer Rekahan

Sistem akuifer rekahan tersusun oleh Satuan batugamping Wonosari yang terdiri atas batugamping klastik. Sistem rekahan berupa kekar tektonik hasil perkembangan dari sesar-sesar mayor yang membentuk sesar-sesar minor dan zona rekahan sepanjang jalur sesar dan rekahan akibat pelarutan pada batugamping.
Sistem akuifer berupa akuifer rekahan dengan porositas dan permeabilitas sekunder akibat rekahan. Tipe aliran berupa aliran rembesan yang setempat melalui rekahan – rekahan (*sinkhole*). Muka air tanah setempat dan dangkal serta tidak saling berhubungan tergantung oleh struktur geologi.

3.1 Pengaruh Litotologi Terhadap Air Tanah

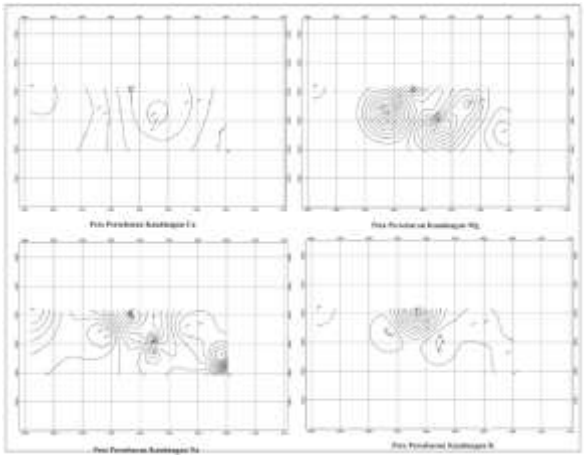
Berdasarkan empat jenis litologi yang dimiliki oleh 14 mata air yang ditemukan di daerah penelitian yaitu batugamping, kontak beksi-batugamping, lava lapuk (lava teralterasi), dan lava segar terhadap unsur kimia air tanah dalam satuan mEq/L. Diketahui dari model (Gambar 5) didapatkan beberapa kecenderungan yang mencirikan adanya pengaruh litologi dan alterasi sebagai berikut:

- Grafik unsur kation Ca^{2+} memiliki kecenderungan tinggi pada jenis litologi Batugamping, sedangkan pada lava lapuk (teralterasi) dan lava segar memiliki kecenderungan rendah.
- Grafik unsur kation Mg^{2+} memiliki kecenderungan nilai yang sama antara litologi lava lapuk (teralterasi) dan kontak breksi-batugamping, sedangkan pada batugamping dan lava segar tidak memiliki kecenderungan dikarenakan adanya beberapa titik anomali.
- Grafik unsur kation Na^{+} memiliki kecenderungan tinggi pada jenis litologi kontak breksi-batugamping dan lava lapuk (teralterasi), lalu pada batugamping (teralterasi) memiliki kecenderungan rendah. Sedangkan pada lava segar tidak memiliki kecenderungan dikarenakan adanya titik anomali.
- Grafik unsur kation K^{+} memiliki kecenderungan tinggi pada jenis litologi lava lapuk (teralterasi), sedangkan pada kontak breksi-batugamping memiliki kecenderungan rendah. Lalu untuk litologi lava segar dan batugamping tidak memiliki kecenderungan dikarenakan adanya beberapa titik anomali.
- Grafik unsur anion Cl^{-} memiliki kecenderungan tinggi pada jenis litologi kontak breksi-batugamping dan lava lapuk (teralterasi), sedangkan pada batugamping memiliki kecenderungan rendah. Lalu untuk litologi lava segar dan batugamping tidak memiliki kecenderungan dikarenakan adanya titik anomaly
- Grafik unsur anion SO_4^{2-} memiliki kecenderungan tinggi yang sama pada ketiga litologi yaitu kontak breksi-batugamping, lava lapuk (teralterasi), dan batugamping. Lalu untuk litologi lava segar dan batugamping tidak memiliki kecenderungan dikarenakan adanya titik anomali.
- Grafik unsur anion HCO_3^{-} memiliki kecenderungan tinggi pada jenis batugamping, sedangkan pada lava lapuk (teralterasi) memiliki kecenderungan rendah. Lalu untuk litologi lava segar dan kontak breksi-batugamping tidak memiliki kecenderungan dikarenakan adanya beberapa titik anomaly
- Grafik unsur anion CO_3^{2-} memiliki kecenderungan tinggi pada jenis litologi batugamping, sedangkan pada lava sedar dan lava lapuk (teralterasi) dan lava segar memiliki kecenderungan rendah. Lalu untuk litologi kontak breksi-batuamping tidak memiliki kecenderungan dikarenakan adanya titik anomaly.



Gambar 5 Model grafis pengaruh litologi dan alterasi terhadap kimia air tanah.

Berdasarkan persebaran nilai anion dapat dilihat pada Gambar 6 dan persebaran nilai kation dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 6. Peta Persebaran Anion.

Anion merupakan unsur yang mengandung ion bermuatan negatif. Yang berpasangan dengan kation yang bermuatan positif sehingga mencapai kesetimbangan. Dari hasil uji anion pada sampel mata air pada daerah penelitian yang meliputi unsur: HCO_3, CO_3, SO_4, dan Cl. Hasil persebaran kandungan anion dapat dilihat pada Gambar 7.

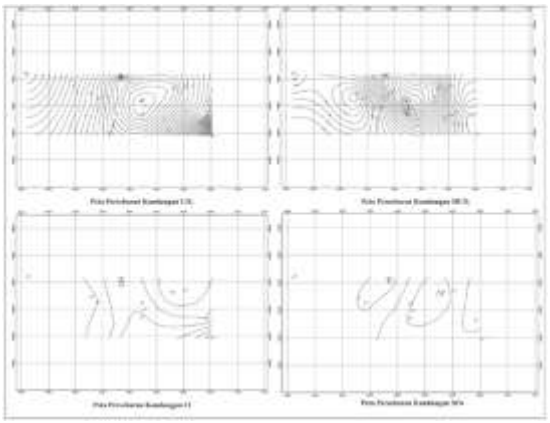
Berdasarkan peta persebaran unsur Cl^- dapat disimpulkan daerah dengan nilai tertinggi berada di daerah timur dan nilai terendah berada di daerah barat daerah penelitian. Dimana nilai unsur Cl^- tertinggi berada di LP 374 dengan nilai 12,5 mg/L dan nilai terendah berada di LP 506 dengan nilai 7 mg/L.

Berdasarkan peta persebaran unsur HCO_3^- dapat disimpulkan daerah penelitian dengan nilai tertinggi berada di bagian tengah dan barat daerah penelitian. Dimana nilai HCO_3^- tertinggi berada di LP 506 dengan nilai 319,4 mg/L dan LP 410 dengan nilai 325,7 mg/L.

Berdasarkan peta persebaran unsur CO_3^- dapat dilihat, daerah penelitian memiliki nilai tertinggi berada di bagian timur daerah penelitian. Dimana nilai unsur CO_3^- paling tinggi berada di LP 502 dengan nilai 35,5 mg/L. Sedangkan nilai terendah berada di LP 371, LP 372, dan LP 374 dengan masing – masing memiliki nilai 8,9 mg/L.

Berdasarkan peta persebaran unsur SO_4^{2-} dapat dilihat, daerah penelitian memiliki nilai tertinggi berada di bagian baratdaya daerah penelitian. Dimana nilai unsur SO_4^{2-} tertinggi berada di LP 308 dengan nilai 10 mg/L. Sedangkan nilai terendah berada di LP 372dengan nilai 5 mg/L.

Unsur anion daerah penelitian didominasi oleh anion HCO_3^-, kejadian ini dimungkinkan terjadi karena daerah penelitian didominasi oleh Satuan Batugamping Formasi Wonosari.



Gambar 7 Peta Persebaran Kation.

Kation merupakan unsur yang mengandung ion bermuatan positif. Yang berpasangan dengan anion yang bermuatan negative sehingga mencapai kesetimbangan. Dari hasil uji kation pada mata air pada daerah penelitian yang meliputi unsur Na^+, K^+, Ca^{2+}, dan Mg^{2+}. Hasil persebaran kandungan kation dapat dilihat pada Gambar 8.

Berdasarkan peta persebaran unsur Na dapat dilihat, daerah penelitian memiliki nilai tertinggi berada di bagian timurlaut daerah penelitian. Dimana nilai unsur Na tertinggi berada di LP 374 dengan nilai 23 mg/L. Sedangkan nilai terendah berada di LP 502 dengan nilai 9 mg/L.

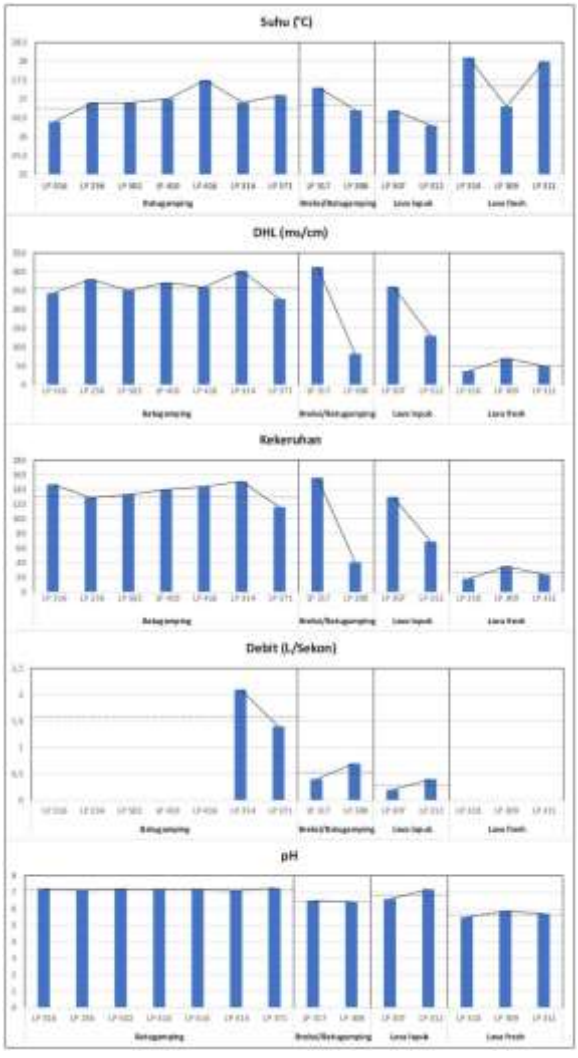
Berdasarkan peta persebaran unsur Ca dapat dilihat, daerah penelitian memiliki nilai tertinggi berada di daerah baratlaut daerah penelitian. Dimana nilai unsur Ca tertinggi berada di LP 502 dengan nilai 106,13 mg/L. Sedangkan nilai terendah berada di LP 56 dengan nilai 6,37 mg/L.

Berdasarkan peta persebaran unsur K^+ dapat dilihat, daerah penelitian memiliki nilai tertinggi berada di bagian timurlaut. Dimana nilai unsur K^+ tertinggi berada di LP 371, LP 372, dan LP 374, dengan masing – masing memiliki nilai 2 mg/L. Sedangkan nilai terendah berada di LP yang lain, dengan masing – masing memiliki nilai 1 mg/L.

Berdasarkan peta persebaran unsur Mg^{2+} dapat dilihat, daerah penelitian memiliki nilai tertinggi berada di daerah bagian selatan daerah penelitian. Dengan nilai unsur Mg^{2+} tertinggi berada di LP 416 dengan nilai 18,77 mg/L. Dimana nilai unsur Mg^{2+} terendah berada di LP 308 dengan nilai 1,45 mg/L. Unsur kation daerah penelitian didominasi oleh anion Ca^{2+}, kejadian ini dimungkinkan terjadi karena daerah penelitian didominasi oleh Satuan Batugamping Formasi Wonosari.

Berdasarkan empat jenis litologi yang dimiliki oleh 14 mata air yang ditemukan di daerah penelitian yaitu batugamping, kontak beksi-batugamping, lava lapuk (lava teralterasi), dan lava segar terhadap suhu, kekeruhan, debit, daya hantar listrik dan keasaman. Diketahui dari model Gambar 8 didapatkan beberapa kecenderungan yang mencirikan adanya pengaruh litologi dan alterasi sebagai berikut:

- Grafik suhu memiliki kecenderungan tinggi pada jenis litologi lava segar, sedangkan pada lava lapuk (teralterasi), batugamping dan kontak breksi-batugamping memiliki kecenderungan rendah.
- Grafik daya hantar listrik memiliki kecenderungan nilai tinggi pada batugamping, lalu pada litologi lava segar memiliki nilai yang rendah Sedangkan pada lava lapuk dan kontak breksi-batugamping tidak memiliki kecenderungan dikarenakan adanya titik anomali.
- Grafik kekeruhan memiliki memiliki kecenderungan nilai tinggi pada batugamping, lalu pada litologi lava segar memiliki nilai yang rendah Sedangkan pada lava lapuk dan kontak breksi-batugamping tidak memiliki kecenderungan dikarenakan adanya titik anomali.
- Grafik debit memiliki kecenderungan tinggi pada litologi batugamping sedangkan pada kontak breksi-batugamping dan lava lapuk (teralterasi) memiliki nilai yang rendah. Grafik keasaman memiliki kecenderungan tinggi pada jenis litologi kontak breksi-batugamping dan lava segar, sedangkan pada lava lapuk (teralterasi) dan batugamping memiliki kecenderungan bernilai rendah.

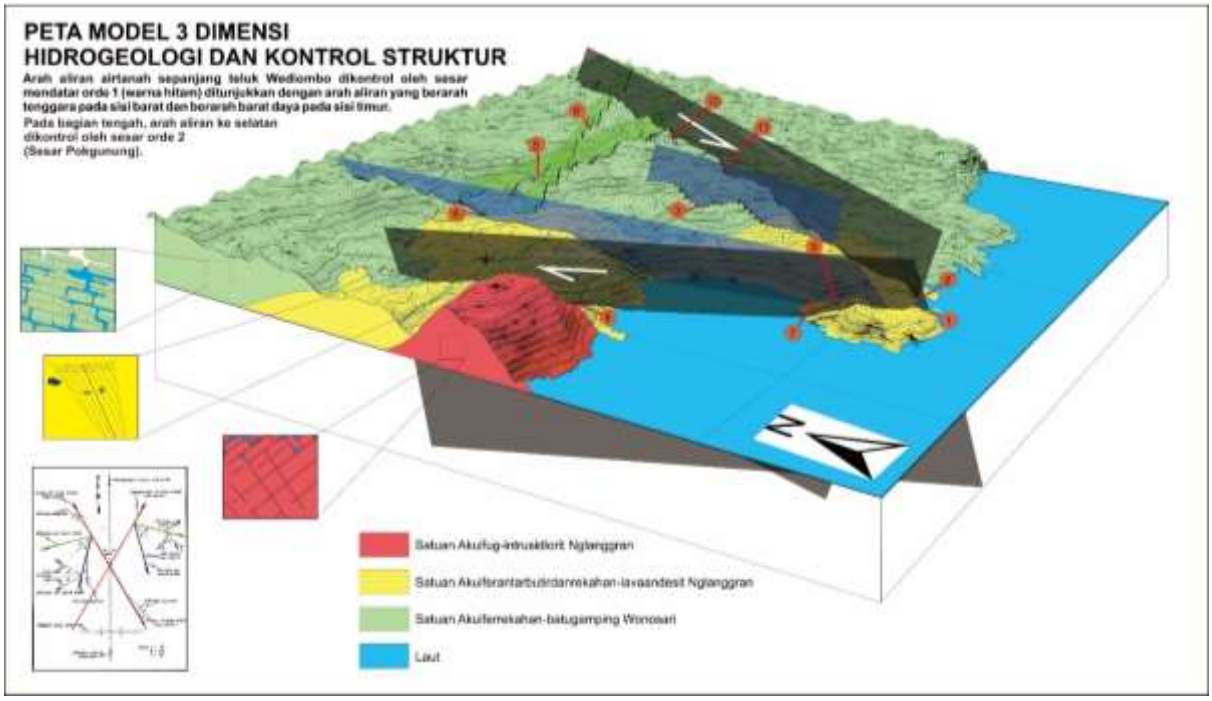


Gambar 8 Model grafis pengaruh litologi dan alterasi terhadap fisika air tanah.

3.2 Pengaruh Struktur Geologi Terhadap air tanah

Arah aliran air bawah tanah sepanjang teluk Wediombo dikontrol oleh sesar mendatar orde 1 dan orde 2 (Sesar Pokgunung). Sesar Jungwok 1 merupakan sesar mendatar kanan orde 1 yang mengontrol aliran air bawah tanah pada bagian barat daerah penelitian, dimana sesar yang berorientasi barat laut – tenggara

ini mengontrol arah aliran ke arah tenggara. Sesar Jungwok 2 merupakan sesar mendatar kiri orde 1 yang mengontrol aliran air bawah tanah pada bagian timur daerah penelitian, dimana sesar yang berorientasi timur laut – barat daya ini mengontrol arah aliran ke arah barat daya. Sesar Pokgunung merupakan sesar mendatar kiri orde 2 yang mengontrol aliran air bawah tanah pada bagian tengah daerah penelitian, dimana sesar yang berorientasi utara – selatan ini mengontrol arah aliran ke arah barat daya. Berikut merupakan model 3 dimensi hidrogeologi dan kontrol struktur terhadap hidrogeologi pada daerah penelitian.



Gambar 9. Model 3 dimensi hidrogeologi dan kontrol struktur terhadap hidrogeologi pada daerah penelitian

4. Kesimpulan

Arah aliran air bawah tanah sepanjang teluk Wediombo dipengaruhi oleh sesar mendatar orde 1, dengan arah aliran yang berarah tenggara pada sisi barat dan berarah barat daya pada sisi timur. Pada bagian tengah, arah aliran air bawah tanah ke selatan dipengaruhi oleh sesar orde 2 (Sesar Pokgunung).

Batugamping memengaruhi tingginya unsur Ca2+, HCO3-, dan CO32- pada air tanah. Lava lapuk (teralterasi) memengaruhi tingginya unsur Mg2+, Na+, K+, dan Cl- pada air tanah. Kontak breksi-batugamping memengaruhi tingginya unsur Mg2+, Na+, dan Cl- pada air tanah. Batugamping memengaruhi tingginya nilai daya hantar listrik, dan kekeruhan, serta dicirikan dengan debit yang tinggi. Lava segar dan kontak breksi-batugamping memengaruhi rendahnya nilai pH air tanah

References:

[1] Surono., "Litostratigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah.," *JSDG*, vol. Vol.19 No.

[2] S. B. Kusumayudha, "Detecting Springs in the Coastal Area of the Gunungsewu Karst Terrain, Yogyakarta Special Province, Indonesia, Analysis using Fractal Geometry.," *IPTEK J. Technol. Sci.*, vol. 20(4).

[3] P. . Kusumayudha, S. B., Setiawan, J., Ciptahening, A. N., & Dwi Septianta, "Geomorphologic model of Gunungsewu karst, Gunung Kidul Regency, Yogyakarta Special Territory, Indonesia:

The role of lithologic variation and geologic structure. Resource and Engineering," *J. Geol.*, vol. 3(1), 1-7., 2015.
[4] H. G. Hartono, "Peran Paleovolkanisme Dalam Tataan Produk Batuan Gunung Api Tersier Di Gunung Gajahmungkur, Wonogiri, Jawa Tengah. Disertasi Doktor.," Universitas Padjadjaran Bandung.
[5] Idrus, A., Hakim, F., "Final Report on Selogiri Project," Yogyakarta.
[6] D. Juanda P., "Tipologi Sistem Akuifer. Bandung: Teknik Geologi ITB."
[7] R. W. Van Bemmelen, "The Geology of Indonesia. Martinus Nyhof, The Haque."
[8] . S., "Kendali Tektonik Terhadap Pembentukan Struktur pada Batuan Paleogen dan Neogen di Pegunungan Selatan, DIY dan Sekitarnya.," Institut Teknologi Bandung, 1997.
[9] W. D. Weight, "Hydrogeology field manual. New York: McGraw-Hill."