



**KARAKTERISTIK DAN SISTEM ALIRAN AIR TANAH DAERAH SEMARANG UTARA
BERDASARKAN ANALISIS FISIKA-KIMIA AIR TANAH**

Aisyah Shafa Virgianty^{1*}, Yudhi Listiawan¹, Tulus Pramudyo², Teuku Yan W. M. Iskandasyah²

¹Program Studi Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

²Pusat Air Tanah dan Geologi Lingkungan

*e-mail: aisyahshafaa@gmail.com

ABSTRACT

North Semarang is a coastal area that has been exploited by drilling deep well since hundreds of years ago. Besides, the population and industries increased rapidly. These have a negative impact on the groundwater in Semarang. In 2020, 23 physical-chemical groundwater samples were taken by Pusat Air Geologi Lingkungan. The following year, six samples were examined to determine the characteristics and groundwater flow systems in the research area. The methods of this study analyzed with various diagrams, consisting of Piper diagram, Durov diagram, Gibbs diagram, and normalized ion ratio. Generally, the purpose of the diagrams to determine the process and characteristics of the groundwater. The analysis of physical and chemical groundwater will be projected in hydrogeology cross-sections to identified the groundwater flow system. The results showed, there are three facies as follows Ca-Mg-HCO₃, Ca-Na-HCO₃, and Na-Cl, consisting of two processes, ion exchange and dissolution, that are believed to be the product of silicate and evaporate minerals on the North Semarang groundwater. Hydrogeology cross-sections showed in this study area have two groundwater flow systems, namely local and intermediate.

Keywords: North Semarang, groundwater, physical-chemical characteritics, flow system

ABSTRAK

Daerah Semarang utara merupakan daerah pesisir pantai yang sudah dieksploitasi dengan membangun sumur dalam dari beratus-ratus tahun lalu. Selain itu, pada daerah ini juga mengalami pertumbuhan penduduk maupun industri yang begitu cepat. Hal tersebut berdampak buruk pada airtanah daerah Semarang dan sekitarnya. Pada tahun 2020 dilakukan pengambilan 24 sampel fisika-kimia airtanah oleh Pusat Air Tanah dan Geologi Lingkungan, yang kemudian 6 sampelnya diteliti pada tahun berikutnya untuk mengetahui karakteristik dan sistem aliran airtanah daerah penelitian. Metode yang digunakan terdiri analisis berbagai diagram yang terdiri dari diagram Piper, diagram Durov, diagram Gibbs, dan diagram rasio normalisasi ion. Secara umum fungsi dari diagram-diagram ini untuk mengetahui karakteristik dan proses yang terjadi pada airtanah. Hasil analisis kimia dan fisika airtanah akan diproyeksikan ke dalam penampang hidrogeologi yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui sistem aliran airtanah pada daerah penelitian. Hasil analisis menunjukan terdapat tiga fasies yang terdiri dari Ca-Mg-HCO₃, Ca-Na-HCO₃, dan Na-Cl, dengan dua proses yang terjadi yaitu pertukaran ion dan pelarutan oleh mineral silikat maupun evaporit pada airtanah Semarang utara. Hasil tersebut dianalisis lebih lanjut terkait sistem aliran airtanahnya, dengan memproyeksikan ke dalam penampang hidrogeologi, di mana menunjukkan bahwa pada daerah penelitian terdiri dari dua sistem aliran airtanah yaitu lokal dan intermediet.

Kata Kunci: Semarang utara, airtanah, karakteristik fisika-kimia airtanah, sistem aliran.

PENDAHULUAN

Secara geografis daerah penelitian terletak di Semarang utara, Provinsi Jawa Tengah, yang berada pada koordinat $110^{\circ} 10' 45,44''$ - $110^{\circ} 20' 53,354$ BT dan $6^{\circ} 51' 24,332''$ - $7^{\circ} 0' 8,33''$ LS (gambar 1). Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 2 Tahun 2016, daerah penelitian masuk ke dalam Cekungan Airtanah Semarang-Demak. Daerah ini merupakan kawasan pesisir pantai yang sudah dieksplotasi sejak tahun 1841, sebagai sumber alami dengan membangun sumur dalam yang difokuskan pada akuifer tertekan (Dahrin, et al., 2017). Menurut ESDM 2003, tercatat dari tahun 2000 - 2003 jumlah sumur dalam yang dibangun mencapai 1.194 sumur dan terus meningkat hingga sekarang. Eskplotasi yang dilakukan terus menerus mengakibatkan airtanah daerah Semarang dan sekitarnya mengalami berbagai interaksi. Toth (1999) menjelaskan bahwa interaksi antara airtanah dengan lingkungannya menghasilkan bermacam-macam proses, hasil, dan kondisi alam. Fenomena yang disebabkan oleh interaksi airtanah tersebut, dapat diidentifikasi melalui pola yang ada dalam suatu sistem melalui aliran airtanah. Pada cekungan airtanah dengan skala yang besar, evolusi fasies anion secara sistematis akan berubah dari HCO_3 pada daerah imbuhan, kemudian SO_4 pada daerah tengah, dan Cl^- pada daerah lepasan (Domenico, 1972).

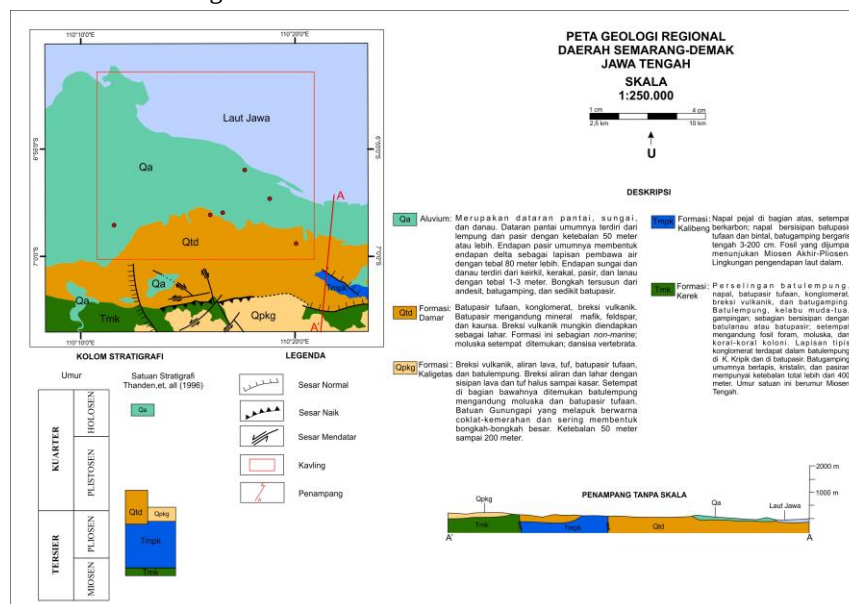
Berdasarkan peta geologi regional oleh Thanden *et al.*, (1996) stratigrafi daerah Semarang utara menunjukkan bahwa pada daerah penelitian dari tua ke muda terdiri dari Formasi Damar (Qtd) yang berumur Pliosen hingga Pleistosen Awal dan Aluvium (Qa) berumur Holosen. Litologi pada Formasi Damar terdiri dari batupasir tufaan, konglomerat, dan breksi vulkanik. Sebagian formasi ini

merupakan *non-marine* yang ditemukan beberapa fosil moluska dan vertebrata pada daerah setempat. Aluvium (Qa), terdiri dari aluvium dataran pantai, danau, dan sungai. Dataran pantai umumnya terdiri dari batulempung, batulanau, batupasir dengan ketebalan 50 meter atau lebih, sedangkan endapan sungai dan danau terdiri dari kerakal, kerikir, batupasir, dan batulanau dengan tebal 1 meter hingga 3 meter.

Secara umum sistem aliran pada daerah penelitian terdiri dari sistem akuifer bebas dan sistem akuifer tertekan. Sistem akuifer bebas terbentuk oleh endapan aluvial dengan rentang muka airtanah 0,1 hingga 21,8 meter di bawah permukaan tanah. Sistem akuifer tertekan, terdiri dari sistem akuifer endapan kuarter dan sistem akuifer Formasi Damar. Akuifer endapan kuarter dibagi menjadi Delta Garang dan endapan laut kuarter dengan litologi yang cukup mirip berupa sedimen laut, sedangkan untuk sistem akuifer Formasi Damar disusun oleh batuan vulkanik sedimen (Putranto dan Rude, 2016).

METODE PENELITIAN

Pengambilan dan analisis laboratorium kandungan fisika-kimia airtanah pada tiap sampel dari sumur bor dilakukan oleh Pusat Air Tanah dan Geologi Lingkungan. Data yang dihasilkan, dikonversi dalam satuan meq/L kemudian dilakukan koreksi yang dibuktikan dengan menghitung nilai Charge Balance Error (CBE) (Freeze dan Cherry, 1979). Hasil analisis CBE di bawah 10% dapat diolah ke dalam diagram Piper, Durov, Gibbs, dan rasio normlisasi ion, yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui sistem aliran airtanah dengan membuat penampang hidrogeologi.



Gambar 1. Peta geologi regional daerah penelitian menurut Thanden et al

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data fisika airtanah pada daerah penelitian terdiri dari suhu, pH, *Total Dissolved Solid* (TDS), dan daya hantar listrik, sedangkan data kimia airtanah terdiri dari ion

utama berupa Ca, Mg, Na, K, HCO_3^- , SO_4 , dan Cl dalam satuan mg/L. Pada daerah penelitian yang terdiri dari enam sampel, memiliki nilai CBE di bawah 10% (tabel 1) sehingga seluruh sampel dapat dianalisis ke dalam diagram.

Tabel 1. Nilai koversi data kimia airtanah ke dalam meq/L dan perhitungan CBE.

Kode Percontoh	HCO_3^-	Ca	Mg	K^+	Na^+	Cl^-	SO_4	CBE (%)
	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	
SB-11	2.4216	1.81796	0.92667	0.25193	0.69257	1.02784	0.14782	1.26075
SB-14	4.49875	1.81796	0.88708	0.26012	2.32599	0.47437	0.24776	0.6685
SB-16	9.49735	3.87305	2.18593	0.38026	3.33561	0.45181	0.3352	-2.54
SB-17	1.99944	0.18972	0.17424	0.29747	6.83681	5.05449	0.09577	2.37941
SB-19	2.19939	1.23303	1.51276	0.12811	8.69951	7.62409	0.9473	3.59208
SB-20	2.99916	1.73104	1.1563	0.53773	11.2763	10.4337	0.33728	3.27055

Tabel 2. Data fisika airtanah TDS dan DHL.

Suhu dan pH

Terdapat dua suhu pada daerah penelitian yaitu 25°C pada sampel SB-14, SB-16, SB-17, SB-19, dan SB-20 serta 31°C pada sumur dengan sampel SB-11. Suhu rata-rata lokal daerah Semarang Utara dan sekitarnya 25°C hingga 31°C sehingga seluruh sampel masuk ke dalam zona mesotermal, di mana suhu air sama dengan suhu rata-rata lokal pada suatu wilayah. Untuk Nilai pH berkisar antara 6.23 hingga 7.02, yang menunjukkan air bersifat asam hingga netral (tabel 2).

Kode Percontoh	TDS	DHL
	mg/L	$\mu\text{S/cm}$
SB-11	259.29	387
SB-14	339.69	507
SB-16	643.87	961
SB-17	491.11	733
SB-19	747.05	1115
SB-20	986.24	1472

Kode Percontoh	Suhu*	pH*
	°C	
SB-11	31.00	6.23
SB-14	25.00	6.33
SB-16	25.00	6.32
SB-17	25.00	7.02
SB-19	25.00	6.86
SB-20	25.00	6.52

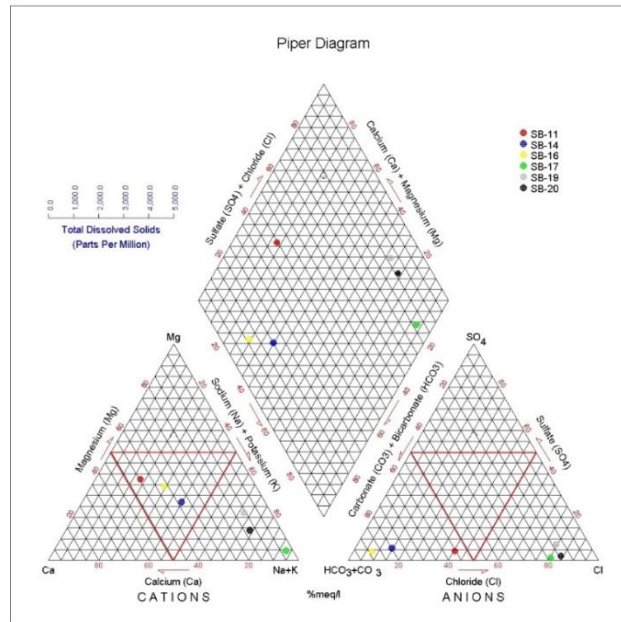
TDS dan DHL

Nilai TDS yang ditunjukkan pada sampel tiap sumur berkisar antara 259,92 mg/L hingga 986,24 mg/L. Mengacu pada Freeze dan Cherry, (1979) jenis air daerah penelitian dilihat dari TDSnya masuk ke dalam air tawar. Begitu juga dengan nilai DHL, mengacu pada klasifikasi yang disusun oleh Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin Jakarta (PAHIAA) dalam “Indikasi Intrusi Air Laut Dari Konduktivitas Air Tanah Dangkal Di Kecamatan Padang Utara.” oleh Tivany, dkk (2016), daerah penelitian memiliki jenis air tawar dengan nilai berkisar antara 387 $\mu\text{S/cm}$ hingga 1472 $\mu\text{S/cm}$ (tabel 3).

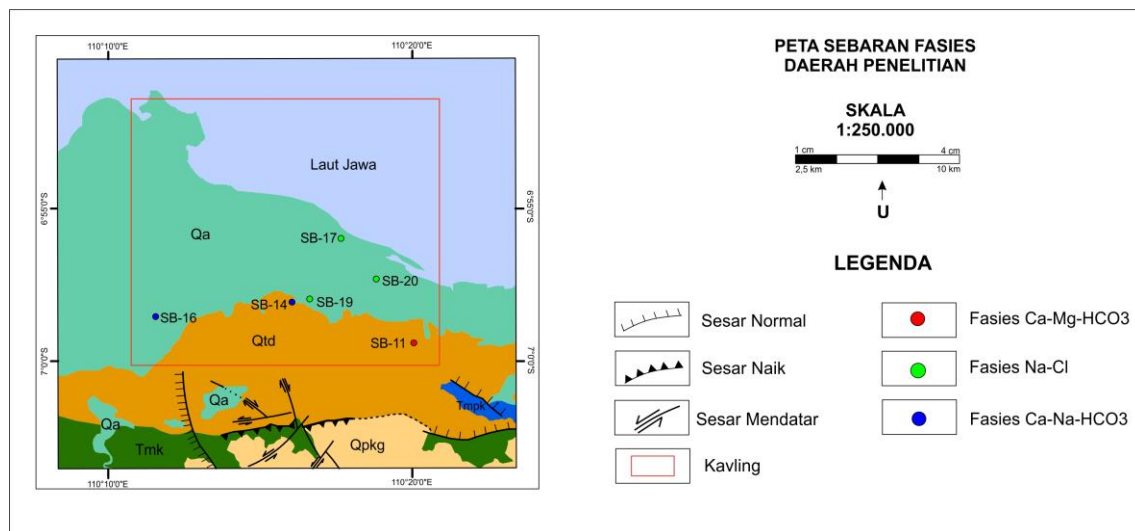
Diagram Piper

Hasil analisis diagram Piper menunjukkan bahwa terdapat 3 fasies yang terdiri dari Ca-Mg- HCO_3 , Na-Ca- HCO_3 , dan Na-Cl (gambar 2). Fasies Ca-Mg- HCO_3 terdapat pada sampel SB-11. Tipe Ca dan Mg pada fasies berasal dari interaksi air dengan mineral yang ada pada batuan. Mineral ini merupakan mineral feldspar dan mafik yang berada pada Formasi Damar. Kehadiran tipe HCO_3 pada fasies Ca-Mg- HCO_3 umunya berasal dari airtanah dangkal dan jenis airtanah yang muda di mana sumber utamanya berasal dari CO_2 . Begitu pula dengan fasies Ca-Na- HCO_3 yang terdapat pada sampel SB-14 dan SB-16, ion-ion yang hadir pada fasies ini disebabkan oleh pertukaran ion selama perjalanan airtanah melewati batuan. Fasies Na-Cl mengindikasikan bahwa air sudah mengalami perjalanan yang cukup jauh. Hal tersebut mengacu pada evolusi fasies anion, di mana seiring perjalanannya air akan berubah dari HCO_3 yang terdapat pada daerah resapan menjadi Cl di daerah lepasan. Fasies Na-Cl yang terdiri dari sampel SB-17, SB-19, dan SB-20 terdapat cukup dekat dengan pantai, yang pada daerah penelitian diketahui merupakan daerah lepasan

(gambar 3). Sehingga pada daerah tersebut airtanahnya memiliki kandungan ion salinitas yang lebih dominan dibandingkan dengan daerah lain.



Gambar 2. Hasil analisis 6 sampel pada diagram Piper.



Gambar 3. Peta sebaran fasies daerah penelitian.

Diagram Durov

Diagram Durov menunjukkan bahwa 6 sampel jatuh pada dua bidang, tiga sampel jatuh pada bidang 2, dan sisanya berada pada bidang 6. Bidang 2 berdasarkan Lloyd dan Heatcoat (1985) menunjukkan bahwa sampel SB-11, SB-14, dan SB-16 mengalami proses pertukaran ion. Proses ini terjadi selama air berinteraksi dengan batuan di

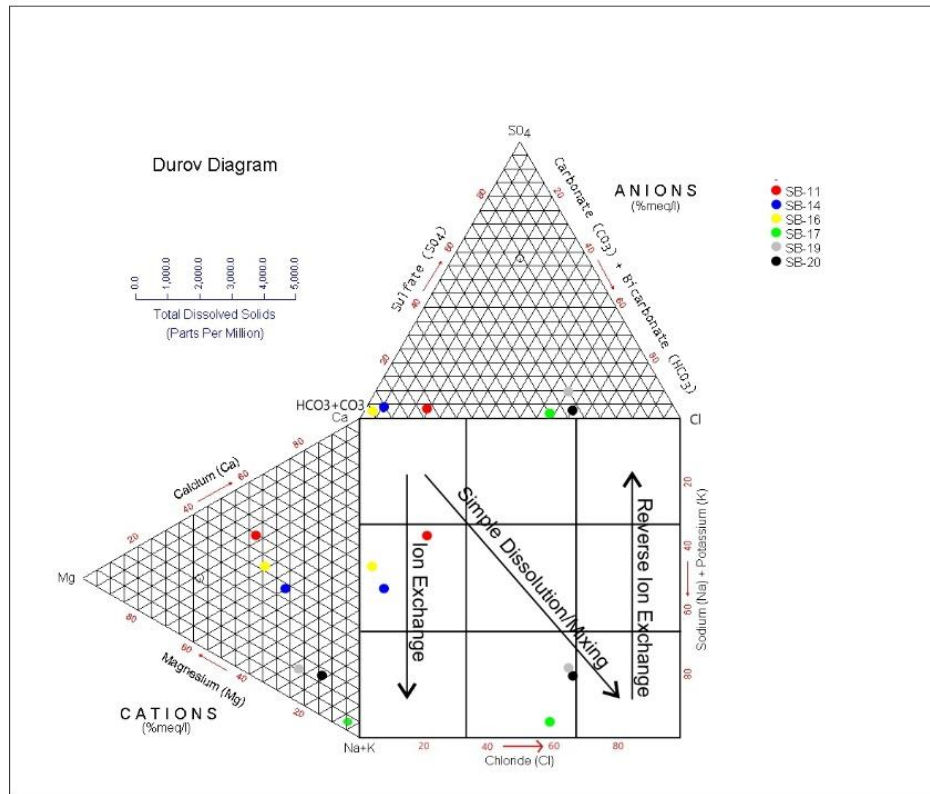
sekitarnya. Pada bidang tersebut, menandakan air sudah mengalami perjalanan yang cukup jauh. Semakin ke bidang 3 komposisi ionnya akan semakin berubah. Sampel SB-17, SB-19, dan SB-20 yang berada pada bidang 6 menandakan terjadinya proses *simple dissolution* atau *mixing*. Pada proses *simple dissolution* tingkat pelarutan bergantung dari kelarutan suatu mineral. Pada bidang ini, terdapat ion-ion berupa Na-Cl yang

merupakan salah satu kandungan yang mudah larut apabila berasosiasi dengan air.

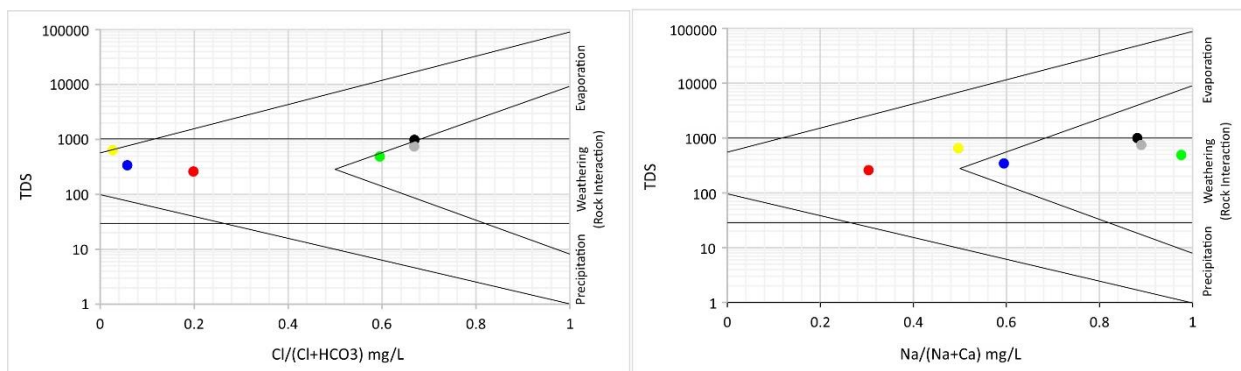
Diagram Gibbs

Gibbs menggambarkan proses airtanah dalam suatu diagram dengan melakukan perbandingan antara nilai TDS dengan $Cl/(Cl+HCO_3)$ dan $Na/(Na+Ca)$. Proses dominan yang terjadi dalam airtanah ini terdiri dari presipitasi, pelapukan (interaksi batuan), dan evaporasi.

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh sampel berada pada pada bidang dengan dominan pelapukan atau interaksi batuan. Kandungan air pada dominansi ini sangat bergantung pada material dari cekungan. Sampel pada dengan dominan batuan akan jatuh pada sisi kiri atau kanan bergantung pada ketinggian, iklim, dan komposisi mineral. Jika akuifer didominasi oleh mineral karbonat, nilai $Na/(Na+Ca)$ akan rendah, sebaliknya apabila nilai $Na/(Na+Ca)$ tinggi maka airtanah didominasi oleh mineral silikat (Banks dan Frengstad, 2006).



Gambar 4. Hasil analisis diagram Durov.



Gambar 5. Hasil analisis diagram Gibbs pada daerah penelitian.

Rasio Normalisasi Ion

Diagram ini digunakan untuk mengetahui kontribusi dari mekanisme pelapukan atau pelarutan berupa mineral

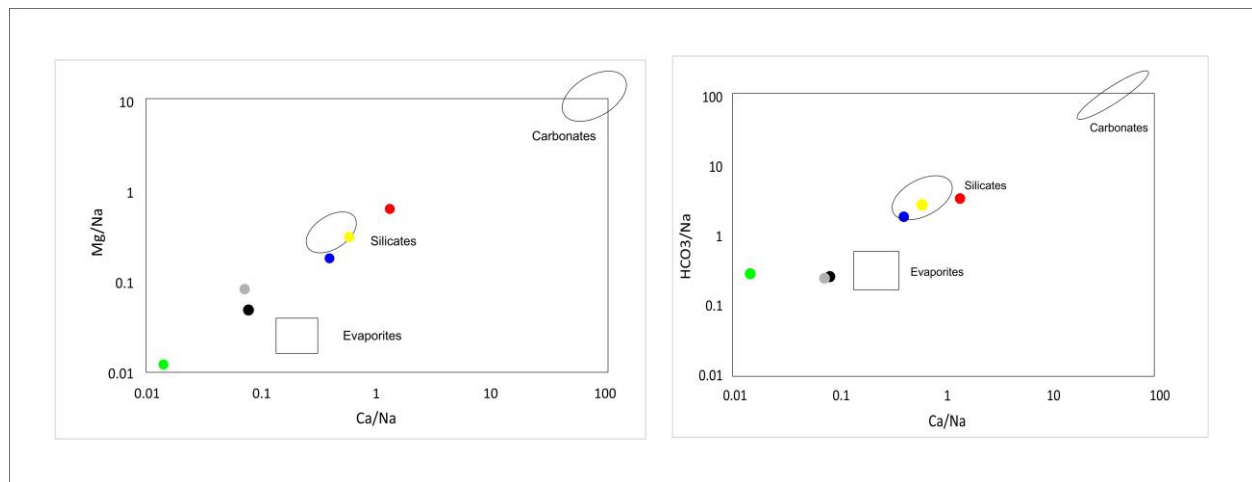
silikat, karbonat, dan evaporit. Analisis diagram rasio normalisasi ion dilakukan dengan membandingkan nilai Ca/Na dengan Mg/Na dan HCO_3/Na dalam satuan mmol/L (tabel 4). Hasil analisis menunjukkan bahwa pada

daerah penelitian 3 sampel terdiri dari dominan pelapukan silikat dan 3 sampel lainnya memiliki dominan pelarutan mineral evaporit. Dominan pelapukan oleh mineral silikat terdiri dari dari SB-11, SB-14, dan SB-16. Pelapukan silikat berasal dari mineral aluminosilikat dan feromagnesian yang terdapat pada daerah penelitian yang merupakan sumber utama untuk ion Na, K, Ca, Mg, dan HCO_3 . Mineral-mineral tersebut umumnya hadir pada mineral mafik seperti olivine, piroksen, amfibol, dan biotit. Berdasarkan geologi regional, sampel SB-11, SB-14, dan SB-16 berada pada Formasi Damar, yang mana pada daerah tersebut hadir mineral-mineral mafik dan kuarsa. SB-17, SB-19, dan SB-20 jatuh pada bidang

dominasi pelarutan evaporit. Mineral evaporit sendiri merupakan produk dari proses evaporasi. Menurut Warren (2006), hanya ada tiga mineral evaporit utama yang menyusun pembentukan batuan yaitu gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrit (CaSO_4), dan halit (NaCl). Proses evaporasi pada daerah penelitian mengakibatkan hadirnya mineral-mineral halit, di mana mineral ini sangat mudah terdisintegrasi dan mudah larut. Sehingga, pada saat air melewati batuan yang rongganya diisi oleh mineral halit, air akan melarutkan garam-garam tersebut dan mengakibatkan airtanah memiliki kandungan salinitas yang tinggi.

Tabel 3. Rasio ion Ca, Mg, dan HCO_3 terhadap Na dalam mmol/L.

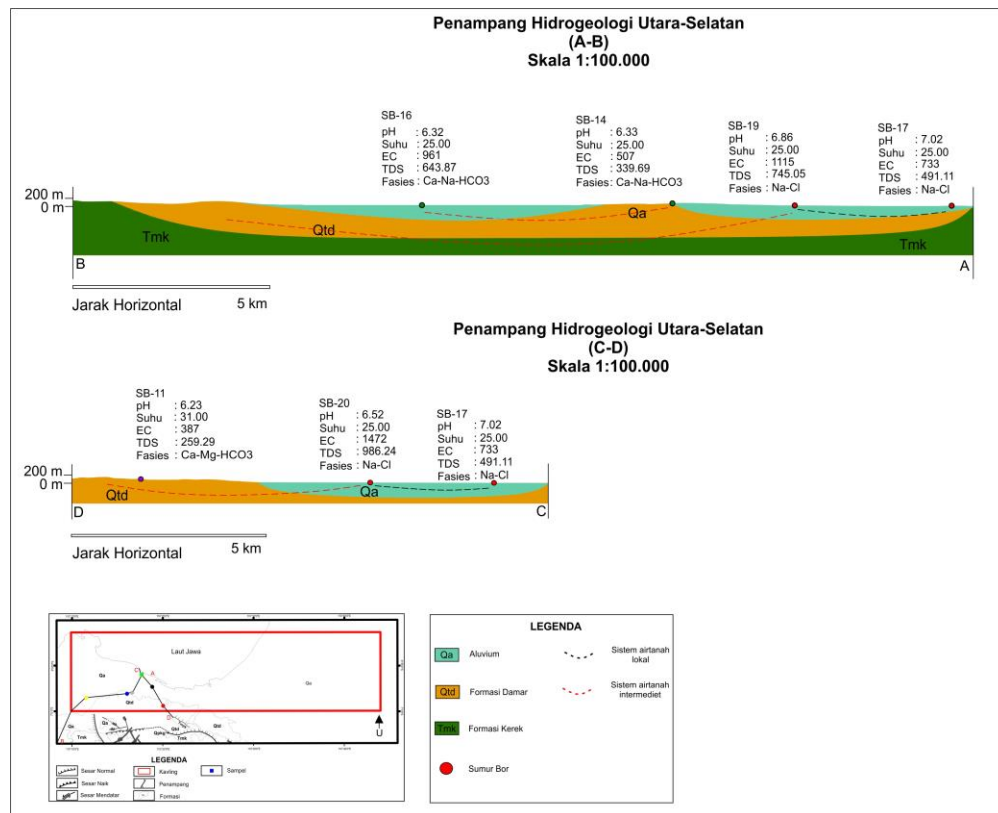
Kode Sampel	Ca/Na	Mg/Na	HCO_3^-/Na
	mmol/L	mmol/L	mmol/L
SB-11	1.312481	0.668677	3.496557
SB-14	0.390794	0.190594	1.934123
SB-16	0.580562	0.327503	2.847262
SB-17	0.013875	0.012736	0.292452
SB-19	0.070868	0.086902	0.252817
SB-20	0.076756	0.051246	0.265971



Gambar 6. Hasil analisis rasio normalisasi ion pada daerah penelitian.

Hasil fisika dan kimia airtanah yang telah dianalisis, diproyeksikan ke dalam penampang hidrogeologi untuk mengetahui sistem aliran airtanah bawah permukaannya

(gambar 7). Penampang A-B memiliki elevasi 100 m, dengan jarak horizontal sejauh 23,09 km.



Gambar 7. Penampang hidrogeologi dan sistem aliran airtanah daerah penelitian.

Sistem airtanah pada penampang hidrogeologi ini terdiri dari lokal dan intermediet, dengan fasies berupa Ca-Na-HCO₃ dan Na-Cl. Proses yang terjadi terdiri dari pertukaran ion dan pelarutan yang di dominasi mineral silikat dan evaporit. Penampang C-D juga menunjukkan dua sistem aliran yaitu lokal dan intermediet, dengan elevasi tertinggi 125 m dan jarak horizontal 12,99 km. Terdapat dua fasies yaitu Ca-Mg-HCO₃ dan Na-Cl, yang memiliki proses berupa pertukaran ion dan pelarutan oleh mineral evaporit.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data fisika dan kimia airtanah, 6 sampel memiliki jenis air berupa air tawar dengan fasies berupa Ca-Mg-HCO₃, Na-Ca-HCO₃, dan Na-Cl. Fasies Ca-Mg-HCO₃ dan Na-Ca-HCO₃ mengalami proses pertukaran ion saat air berinteraksi dengan batuan yang mengandung mineral silikat, sehingga pada air hadir ion-ion Ca, Mg, Na, dan HCO₃. Fasies NaCl berasal dari proses pelarutan sederhana saat air berinteraksi dengan batuan yang memiliki kandungan mineral evaporit, yaitu halit. Mineral ini diketahui mudah larut sehingga saat air yang melewati batuan akan memiliki kandungan salinitas yang tinggi. Hasil analisis yang diproyeksikan ke dalam penampang hidrogeologimenunjukkan bahwa pada daerah

penelitian terdapat dua sistem aliran airtanah yaitu lokal dan intermediet.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada Pusat Airtanah dan Geologi Lingkungan yang telah menyediakan data sehingga dapat dilakukan penelitian mengenai airtanah di daerah Semarang-Demak. Bapak Yudhi Listiawan, Bapak Tulus, dan Bapak Teuku Yan Waliana Muda yang sudah membimbing dalam penyusunan penelitian, serta orang tua, saudara, dan kerabat yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2017. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2016 Tentang Cekungan Air Tanah Di Indonesia.
- Banks, D., & Frengstad, B. (2006). Evolution of groundwater chemical composition by plagioclase hydrolysis in Norwegian anorthosites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(6), 1337-1355.

- Daharta, D., Sarkowi, M., Wawan, G., & Suhayat, M. (2007). Penurunan Volume Airtanah Daerah Semarang berdasarkan Pemodelan 3D Gayaberat Antar Waktu. *Jurnal Geoaplika*, 2(1), 11-17.
- Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasa Petambangan (DGTL). 2003. Kajian zonasi konfigurasi dan tata guna air bawah tanah, Laporan akhir buku Semarang – Demak.
- Edwin, T., Andhita, R., & Dibba, F. (2016). Indikasi Intrusi Air Laut dari Konduktivitas Air Tanah Dangkal di Kecamatan Padang Utara. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan II, Padang*.
- Freeze, A. R., & Cherry, A. JA 1979. *Groundwater*. Prentice Hall, Inc, Upper Saddle River, NJ, 7458, 213.
- Gaillardet, J., Dupré, B., Louvat, P., & Allegre, C. J. (1999). Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. *Chemical geology*, 159(1-4), 3-30.
- Gibbs, R. J. 1970. Mechanism Controlling World's Water Chemistry. *Science* 170:1088–1090.
- Lloyd, J. W., & Heathcote, J. A. A. (1985). *Natural inorganic hydrochemistry in relation to ground water*.
- PressPiper A.M. (1944). Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis. *American Geophysical Union* 25, 9: 14-23.
- Putranto, T., & Rüde, T. (2016). Hydrogeological model of an urban city in a coastal area, case study: Semarang, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(1), 17-27.
- Satrio, S., Hendarmawan, H., Hadian, M. S. D., & Pujiindiyati, E. R. (2016). Karakteristik Air Tanah Dangkal Kota Semarang Pada Musim Penghujan Berdasarkan Pendekatan Isotop Stabil (18O, 2H) dan Kimia Air. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 11(1), 73-86.
- Suhendar, R., Hadian, M. S. D., Muljana, B., Setiawan, T., & Hendarmawan, H. (2020). Geochemical Evolution and Groundwater Flow System in Batujajar Groundwater Basin Area, West Java, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 7(1), 87-104.
- Thanden, R. E., Sumadiredja, H., Richards, P. W., Sutisna, K., & Amin, T. C. (1996). Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa, skala 1: 100.000. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung*.
- Tóth, J. (1999). Groundwater as a geologic agent: an overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeology journal*, 7(1), 1-14.
- Warren, J. K. (2006). *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*. Springer Science & Business Media.