

# Analisis Karakteristik Air Tanah Berdasarkan Data Isotop Stabil $^{18}\text{O}$ dan $^2\text{H}$ serta Kimia Air di Dataran Aluvial Kota Semarang

Umi Cahyani Rahayuningtyas<sup>1</sup>, Thomas Triadi Putranto<sup>1\*</sup>, dan Narulita Santi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia 50275, \*e-mail: [putranto@ft.undip.ac.id](mailto:putranto@ft.undip.ac.id)

## ABSTRAK

Kota Semarang merupakan salah satu kota metropolitan yang berada di utara Pulau Jawa dengan jumlah penduduk mencapai 1,6 juta jiwa. Perkembangan kepadatan penduduk cenderung berdampak pada kebutuhan air bersih yang semakin meningkat. Saat ini hampir 80% kebutuhan air bersih di Kota Semarang diperoleh dari air tanah. Tujuan penelitian ini adalah menentukan karakteristik air tanah di Kota Semarang. Metode penelitian menggunakan analisis data isotop stabil  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dan kimia air melalui perhitungan nilai *Chlorite Bicarbonate Ratio* (CBR) dan analisis diagram Piper. Sampel air tanah yang digunakan mencapai 30 sampel. Litologi daerah penelitian berupa aluvium dan batupasir. Hasil penelitian diperoleh tipe air tanah di daerah penelitian terdiri dari tipe air  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{MgHCO}_3$  dengan tingkat pengaruh air laut dibedakan dalam 3 kelompok yang mencakup air tanah terintrusi sedikit-sedang, air tanah terintrusi agak tinggi, dan air tanah terintrusi tinggi. Analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  menunjukkan bahwa air tanah di daerah penelitian dibagi menjadi 3 kelompok yaitu Kelompok I ( $^{18}\text{O}$  -4, 585‰), Kelompok II ( $^{18}\text{O}$  -5,070 ‰) dan Kelompok III ( $^{18}\text{O}$  -5,451 - -6,044‰) serta memiliki nilai *d-excess* positif yang sebagian besar nilainya >10.

**Kata kunci:** Kota Semarang, air tanah, isotop, kimia air

## ABSTRACT

Semarang City is one of the metropolitan cities in the north of Java Island with a population of 1.6 million people. The development of population density tends to have an impact on the increasing demand for clean water. Currently, almost 80% of the clean water needs in Semarang City are obtained from groundwater. The purpose of this study was to determine the characteristics of groundwater in Semarang City. The research method uses data analysis of stable isotopes  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$  and water chemistry through the calculation of Chlorite Bicarbonate Ratio (CBR) value and Piper diagram analysis. Groundwater samples used reached 30 samples. The lithology of the study area is alluvium and sandstone. The results obtained groundwater types in the study area consist of  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , and  $\text{MgHCO}_3$  water types with the level of seawater influence divided into 3 groups which include slightly-moderately intruded groundwater, moderately intruded groundwater, and highly intruded groundwater. Analysis of the  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$  isotope shows that groundwater in the study area is divided into 3 groups, Group I ( $^{18}\text{O}$  -4, 585‰), Group II ( $^{18}\text{O}$  -5.070‰) and Group III ( $^{18}\text{O}$  -5.451 - -6.044‰) and has positive *d-excess* values, most of which are >10.

**Keywords:** Semarang City, groundwater, isotopes, water chemistry

**Citation:** Rahayuningtyas, U.C., Putranto, T.T., dan Santi, N. (2024). Analisis Karakteristik Air Tanah Berdasarkan Data Isotop Stabil  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  serta Kimia Air di Dataran Aluvial Kota Semarang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(2), 334-346, doi:10.14710/jil.22.2.334-346

## 1. Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam yang tergolong vital dan sangat diperlukan dalam keberlanjutan kehidupan makhluk hidup di bumi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS 2022) Kota Semarang mengalami peningkatan laju pertumbuhan penduduk mencapai 0,25% pada tahun 2020-2021. Jumlah penduduk Kota Semarang pada tahun 2021 berkisar 1.656.564 jiwa. Kondisi kependudukan suatu daerah memiliki keterkaitan yang erat dengan ketersediaan air bersih. Kecenderungan pertumbuhan jumlah

penduduk berdampak pada kebutuhan air bersih yang meningkat. Pasalnya, kebutuhan air bersih di Kota Semarang mencapai 61,7 juta  $\text{m}^3$  setiap tahunnya (Kantor PDAM Kota Semarang, 2010). Namun penyediaan air bersih oleh PDAM Kota Semarang cukup terbatas, yakni baru mencapai 49 juta  $\text{m}^3$  dan penyebarannya tidak merata.

Air tanah menjadi penting perannya dalam penyediaan pasokan kebutuhan air untuk berbagai keperluan (Hendrayana, 2002). Potensi sumber daya air tanah yang dapat dimanfaatkan secara langsung

yaitu air tanah dangkal dan air tanah menengah atau dalam (Rizki, 2003). Adanya peralihan penggunaan air sungai ke air tanah menyebabkan banyak dilakukan pemboran sumur untuk kegiatan industri sehingga marak terjadi eksploitasi air tanah. Apabila tidak dikendalikan, dapat menimbulkan dampak negatif seperti penurunan muka air tanah, amblesan tanah, dan intrusi air laut (Hendrayana, 2002).

Penurunan muka air tanah dapat terjadi karena adanya pemanfaatan air tanah yang berlebih. Adanya peristiwa muka air tanah yang mengalami penurunan, permasalahan amblesan tanah timbul akibat pengambilan air tanah pada lapisan akuifer. Peristiwa amblesan tanah dapat terjadi dalam jangka waktu yang lama dan pada daerah yang luas, sehingga dapat mengakibatkan beberapa bencana seperti banjir dan masuknya air laut ke darat saat pasang naik. Selain itu, pengambilan air tanah yang berlebih juga mengakibatkan tergantinya air tawar menjadi air laut yang ada di dalam pori batuan sehingga menyebabkan kondisi air menjadi payau dan asin.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik air tanah di Kota Semarang. Metode yang digunakan dengan analisis berdasarkan data isotop stabil  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  serta kimia air di daerah penelitian. Metode isotop stabil  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  digunakan untuk mengetahui asal-usul air tanah di daerah penelitian dengan menghitung kelebihan deuterium (*d-excess*) yang dimiliki setiap sampel air tanah. Metode analisis kimia air digunakan untuk mengetahui adanya indikasi intrusi air laut yang mempengaruhi air tanah. Pada metode ini digunakan 8 ion untuk dilakukan analisis, yakni ion  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , dan  $\text{K}^+$ . Kedelapan ion tersebut dilakukan analisis menggunakan konsep *Chlorite Bicarbonate Ratio* (CBR) dan analisis menggunakan diagram Piper.

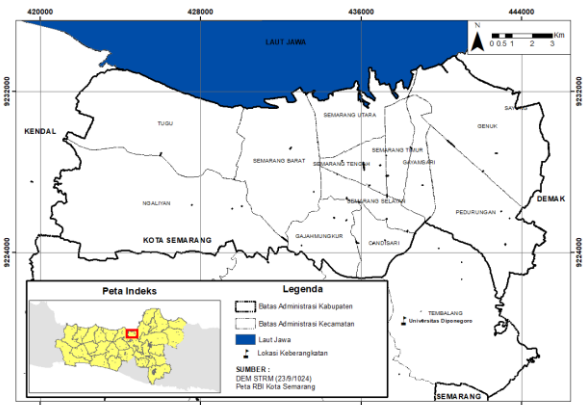
Kedua analisis tersebut juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya untuk mengetahui karakteristik air tanah dangkal dengan pendekatan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dan kimia air, seperti yang dilakukan oleh Satrio dkk. (2015) di Kota Semarang pada musim penghujan. Analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yang dilakukan pada penelitian tersebut menggunakan grafik hubungan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  terhadap garis meteorik Semarang dan garis *mixing* air tanah dan air laut, sedangkan peneliti melakukan studi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  menggunakan konsep perbandingan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dengan *Global Meteoric Water Line* (GMWL) serta perhitungan *d-excess*. Analisis kimia air yang dilakukan oleh Satrio dkk. (2015) terbatas pada analisis *Chlorite Bicarbonate Ratio* dan diagram Piper, sedangkan peneliti menambahkan analisis karakteristik air tanah berdasarkan kandungan ion klorida, kesadahan total, serta jumlah anion dan kation untuk mendukung hasil analisis menggunakan *Chlorite Bicarbonate Ratio* dan diagram Piper.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan September – Agustus 2022 yang berlokasi di dataran aluvial Kota Semarang, meliputi Kecamatan Tugu, Kecamatan

Ngaliyan, Kecamatan Semarang Barat, Kecamatan Semarang Utara, Kecamatan Semarang Tengah, Kecamatan Semarang Selatan, Kecamatan Semarang Timur, Kecamatan Gajahmungkur, Kecamatan Candisari, Kecamatan Gayamsari, Kecamatan Genuk, dan Kecamatan Pedurungan (Gambar 1).

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode deskriptif. penelitian dilakukan secara langsung melalui kegiatan lapangan guna memperoleh data berupa jenis litologi, struktur geologi, bentuklahan, serta kondisi hidrogeologi daerah penelitian. Kemudian, sampel diperoleh dengan mengambil langsung dari sumur bor milik perusahaan dan atau warga yang berada di daerah penelitian. Data yang telah diperoleh kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui bagaimana karakteristik air tanah dengan data isotop oksigen ( $^{18}\text{O}$ ) dan hidrogen ( $^2\text{H}$ ) serta kimia air di lokasi penelitian. Pengukuran kimia air dan isotop air tanah dilakukan melalui uji laboratorium. Uji secara laboratorium dilakukan di Laboratorium FTSL ITB, Bandung.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

## 2.1 Kimia Air Tanah

Tipe air tanah ditentukan berdasarkan beberapa kandungan ion, seperti kandungan ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ), kesadahan total ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ), dan jumlah kation serta anion yang terdapat dalam air tanah (Stuyfzand, 1991). Hasil pengukuran kimia air yang didapatkan dari uji laboratorium kemudian dikelompokkan menjadi beberapa kelas sesuai dengan parameter yang ada (Tabel 1,2,3). Selanjutnya, dari pengelompokkan kelas tersebut dilakukan interpolasi sehingga diperoleh peta jenis air tanah berdasarkan kandungan ion klorida dan kesadahan total.

Tabel 1. Tipe Air Tanah berdasarkan Kandungan Ion Klorida (Suherman dan Sudaryanto, 2009)

Tipe air tanah	Kadar ion klorida (mg/L)
Air tawar	< 150
Air tawar agak payau	150 - 300
Air payau	300 - 1.000
Air payau bergaram	1.000 - 10.000
Air garam	10.000 - 20.000
Air bergaram tinggi	> 20.000

**Tabel 2.** Tipe Air Tanah berdasarkan Kesadahan total (Suherman dan Sudaryanto, 2009)

Tipe air tanah	Kesadahan total (mmol/L)
Air sangat lunak	0 - 0,5
Air lunak	0,5 - 1
Air agak sadah	1 - 2
Air sadah	2 - 4
Air sangat sadah	4 - 8
Air sadah sekali	> 8

**Tabel 3.** Tipe Air Tanah berdasarkan Jumlah Kation dan Anion (Breuck, 1991)

Tipe air tanah	Kondisi konsentrasi kation dan anion (meq/L)
NaCl	$(Na^+ + K^+ + NH_4^+) > 0,5 \sum \text{kation}; (Na^+ + K^+) > NH_4^+; Na^+ > K^+; Cl^- > 0,5 \sum \text{anion}.$
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$(SO_4^{2-} + NO_3^- + NO_2^-) > 0,5 \sum \text{anion}; SO_4^{2-} > (NO_3^- + NO_2^-)$
NaHCO <sub>3</sub>	$(HCO_3^-) > 0,5 \sum \text{anion}; HCO_3^- > CO_3^{2-}$
NaMix	$Cl^- \text{ dan } (SO_4^{2-} + NO_3^- + NO_2^-) \text{ dan } (HCO_3^- + CO_3^{2-}) < 0,5 \sum \text{anion}$
KNO <sub>3</sub>	$K^+ \geq Na^+; (SO_4^{2-} + NO_3^- + NO_2^-) > 0,5 \sum \text{anion}; (NO_3^- + NO_2^-) \geq SO_4^{2-}$
NH <sub>4</sub> SO <sub>4</sub>	$NH_4^+ \geq Na^+ + K^+$
CaCl <sub>2</sub>	$(Na^+ + K^+ + NH_4^+) \leq 0,5 \sum \text{kation}; (Ca^{2+} + Mg^{2+}) > (Al^{3+} + H^+ + Fe^{2+} + Mn^{2+}); Ca^{2+} > Mg^{2+}; Cl^- > 0,5 \sum \text{anion}.$
CaSO <sub>4</sub>	$(SO_4^{2-} + NO_3^- + NO_2^-) > 0,5 \sum \text{anion}; SO_4^{2-} > (NO_3^- + NO_2^-)$
CaNO <sub>3</sub>	$(NO_3^- + NO_2^-) \geq SO_4^{2-}$
CaHCO <sub>3</sub>	$(HCO_3^- + CO_3^{2-}) > 0,5 \sum \text{anion}; HCO_3^- > CO_3^{2-}$
CaMix	$Cl^- \text{ dan } (SO_4^{2-} + NO_3^- + NO_2^-) \text{ dan } (HCO_3^- + CO_3^{2-}): < 0,5 \sum \text{anion}$
MgCl <sub>2</sub>	$Mg^{2+} \geq Ca^{2+}$
MgHCO <sub>3</sub>	$Mg^{2+} \geq Ca^{2+}$
MgMix	$Mg^{2+} \geq Ca^{2+}$

Dalam penelitian ini juga dilakukan analisis pengaruh air laut terhadap air tanah di lokasi penelitian. Indikasi adanya intrusi air laut dapat diketahui pula melalui pendekatan kimia air. Terdapat delapan ion yang dapat dijadikan indikasi adanya intrusi air laut, yaitu Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, dan K<sup>+</sup>. Terdapat beberapa pendekatan kimia air untuk mengetahui adanya intrusi air laut, antara lain *Chloride Bicarbonate Ratio* (CBR) dan melalui evaluasi diagram Piper. Pengukuran perbandingan klorida bikarbonat dilakukan menggunakan persamaan menurut Ravelle (1941) sebagai berikut;

$$\text{Chloride Bicarbonate Ratio} = Cl^- / (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$$

Keterangan:

- Cl<sup>-</sup> : kandungan ion klorida
- CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> : kandungan ion karbonat
- HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> : kandungan ion bikarbonat

Hasil pengukuran di atas kemudian dilakukan pengelompokkan menjadi beberapa kelas untuk mengetahui tingkat intrusi air laut setiap sampel air tanah. Pengelompokkan tersebut didasarkan pada klasifikasi Ravelle (1941) yang dibagi menjadi 6 kelas sebagai berikut.

**Tabel 4.** Perbandingan Klorida Bikarbonat dalam Berbagai Kondisi Air Tanah (Ravelle,1941)

Chloride Bicarbonate Ratio	Tingkat intrusi air laut
<0,5	Air tanah tawar
0,5 - 1,30	Terjadi intrusi air laut sedikit
1,30 - 2,80	Terjadi intrusi air laut sedang
2,80 - 6,60	Terjadi air laut agak tinggi
6,60 - 15,50	Terjadi air laut tinggi
15,50 - 20	Air laut

Evaluasi diagram Piper dilakukan dengan melakukan analisis *ion balance* terlebih dahulu untuk mengecek keakuratan data hasil analisis di laboratorium. Data dikatakan layak apabila nilai *ion balance* <5% untuk peralatan modern dan <10% untuk perhitungan secara manual di laboratorium (Hiscock, 2005). Rumus perhitungan *ion balance* atau bisa disebut *charge balance error* (CBE) menurut Freeze dan Cherry, (1979) adalah sebagai berikut;

$$\text{Ion balance} = ((\sum Kation - \sum Anion) / (\sum Kation + \sum Anion)) \times 100\%$$

Keterangan:

- $\sum Kation$  : jumlah kandungan ion positif (Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, dan K<sup>+</sup>)
- $\sum Anion$  ; jumlah kandungan ion negatif (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Analisis diagram Piper dilakukan dengan cara mengubah satuan mg/L menjadi meq/L dengan persamaan berikut:

$$\text{meq} = \text{miligram ion/ berat ekuivalen}$$

$$\text{berat ekuivalen} = \text{berat molekul} / \text{valensi ion}$$

Ion yang telah diubah satuannya kemudian dilakukan perhitungan persentase masing-masing kation dan anion dari setiap sampel. Setelah itu, dapat diplot pada diagram Piper untuk mengetahui tipikal air tanah di daerah penelitian.

## 2.2 Isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H

Isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H dapat digunakan untuk menentukan asal-usul air tanah, umur dari air tanah, dan jenis batuan serta kontaminasi yang mempengaruhinya. Kelimpahan deuterium ( $\delta^2H$ ) dan oksigen ( $\delta^{18}O$ ) memiliki keterkaitan linear yang dinyatakan dalam persamaan berikut;

$$\delta^2H = 8.\delta^{18}O + d$$

Nilai d dipengaruhi oleh kondisi geografis masing-masing daerah. Hubungan antara deuterium ( $\delta^2H$ ) dan oksigen ( $\delta^{18}O$ ) telah ditemukan oleh Craig (1961) dengan persamaan sebagai berikut;

$$\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$$

Persamaan di atas disebut dengan *Global Meteoric Water Line* (GMWL). Komposisi isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H di suatu daerah memiliki korelasi yang cukup erat

dengan temperatur. Keseluruhan air yang ada di permukaan bumi tentunya berpartisipasi dalam proses evaporasi dan kondensasi selama siklus hidrologi berlangsung, kecuali air yang berasal dari proses vulkanisme. Untuk Kota Semarang, diperoleh hubungan antara deuterium ( $\delta^2\text{H}$ ) dan oksigen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) oleh Prasetyo dan Satrio (2015) sebagai berikut.

$$\delta^2\text{H} = 8,55 \delta^{18}\text{O} + 16,76\text{‰}$$

Persamaan di atas disebut dengan *Local Meteoric Water Line* (LMWL). Persamaan LMWL ditentukan dengan mempertimbangkan faktor jumlah tertimbang, yaitu curah hujan bulanan pada masing-masing lokasi pengambilan sampel air hujan.

Dari hasil perhitungan nilai *Global Meteoric Water Line* (GMWL) dan *Local Meteoric Water Line* (LMWL) kemudian dilakukan analisis melalui diagram *scatter plot*. Dalam analisis karakteristik air tanah di lokasi penelitian ini juga dilakukan perhitungan *d-excess* untuk mengetahui asal-usul air tanah.

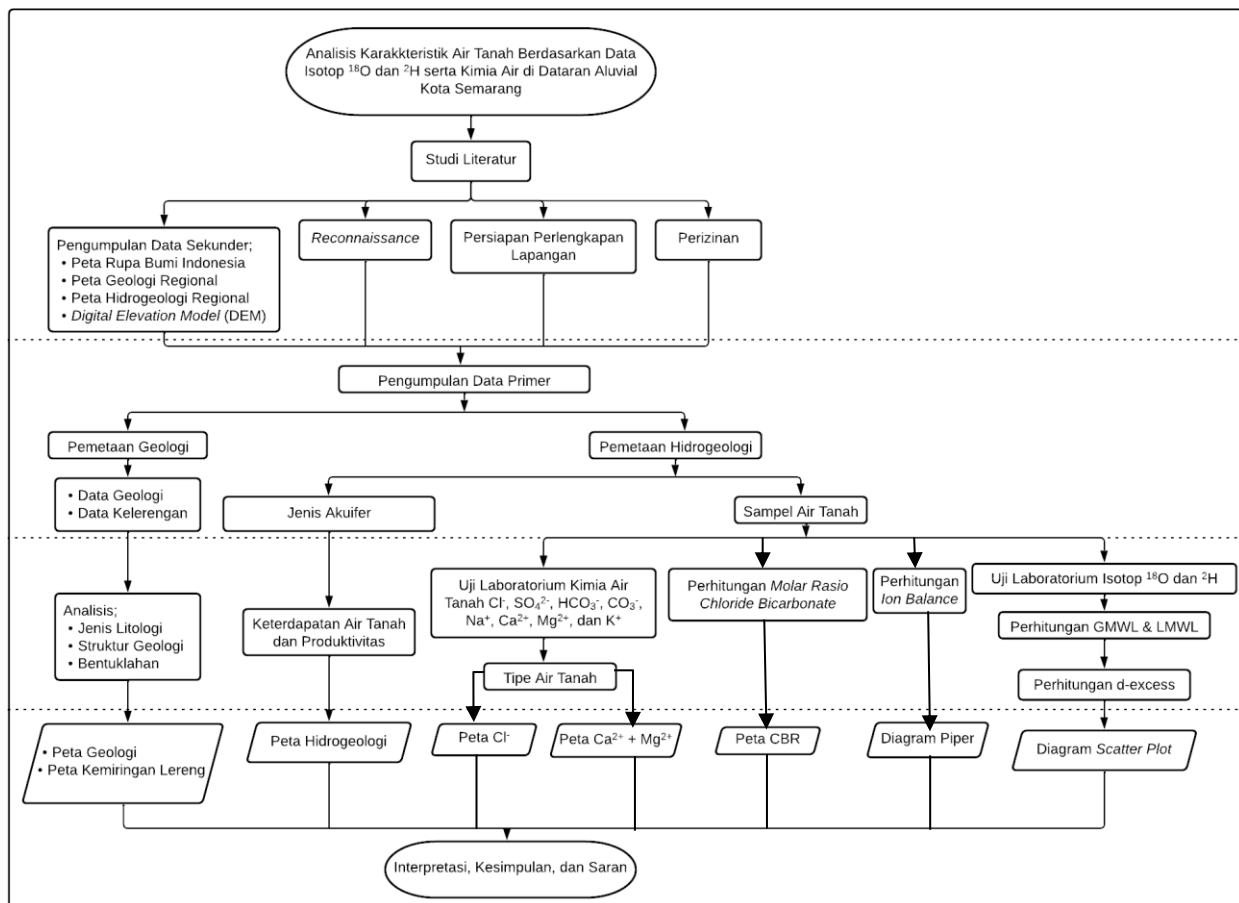
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Kondisi Geologi

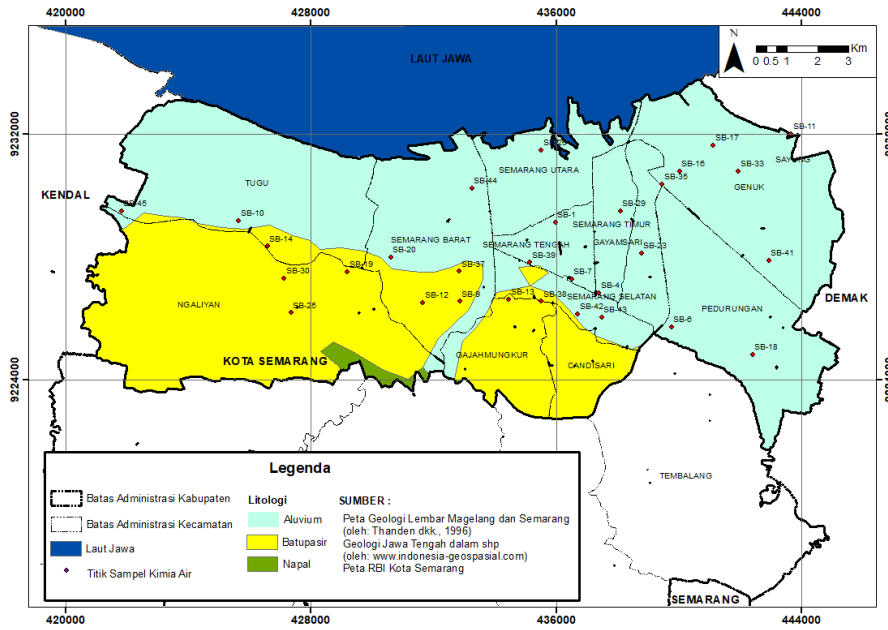
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, stratigrafi daerah penelitian terdiri dari litologi berupa aluvium, batupasir, dan napal (Gambar 3).

Sebagian besar daerah penelitian tersusun atas aluvium, yang meliputi Kecamatan Tugu, Kecamatan Semarang Barat, Kecamatan Semarang Utara, Kecamatan Semarang Tengah, Kecamatan Semarang Timur, Kecamatan Semarang Selatan, Kecamatan Gayamsari, Kecamatan Genuk, dan Kecamatan Pedurungan. Litologi batupasir ditemukan di daerah penelitian pada Kecamatan Ngaliyan, Kecamatan Gajahmungkur, Kecamatan Candisari, dan sebagian Kecamatan Semarang Barat. Litologi napal ditemukan di daerah penelitian pada Kecamatan Ngaliyan bagian selatan.

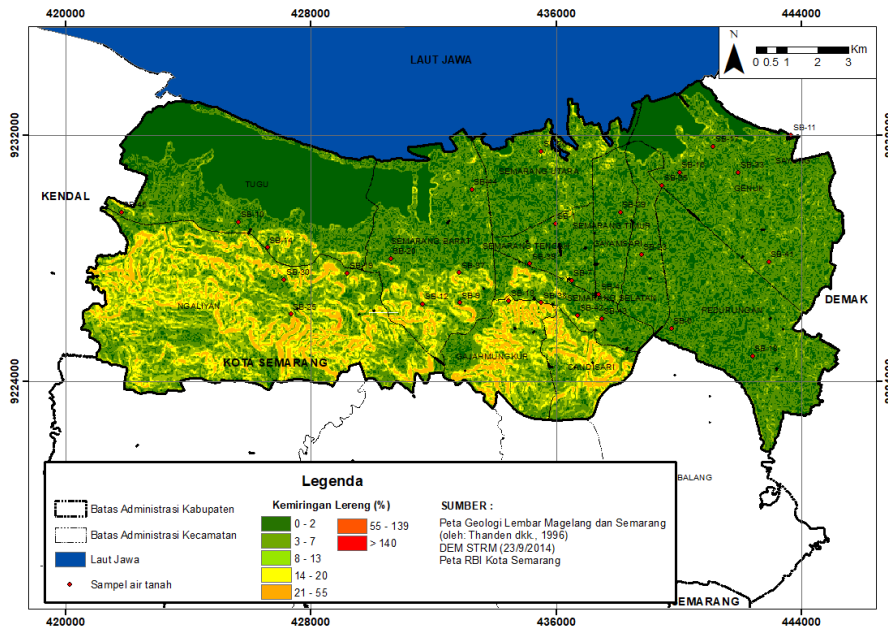
Satuan litologi aluvium termasuk dalam Formasi Aluvium, terdiri dari endapan sungai, danau, dan pantai, seperti kerakal, kerikil, pasir, lanau, dan lempung. Endapan tersebut memiliki material lepas hasil rombakan batuan beku yang mengalami transportasi dan terendapkan bersama material halus lainnya. Satuan batupasir termasuk dalam Formasi Damar, memiliki warna putih kecoklatan dengan ukuran butir medium (1/4 - 1/2 mm). Batupasir pada daerah penelitian ini termasuk dalam lingkungan pengendapan terrestrial. Satuan napal termasuk dalam Formasi Kalibeng, memiliki warna putih kecoklatan hingga putih keabuan dengan ukuran butir <1/256 mm.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Peta Litologi



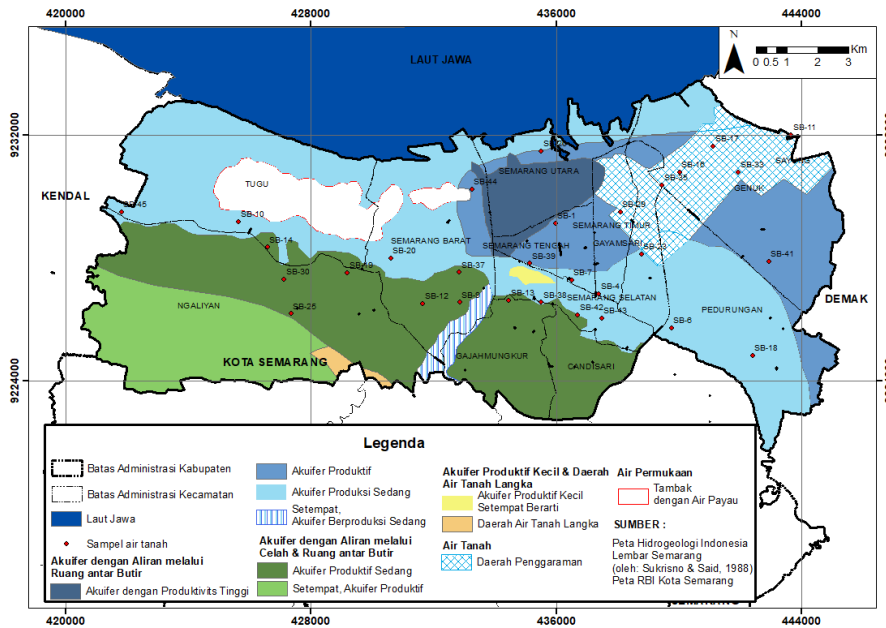
Gambar 4. Peta Kemiringan Lereng

Mengacu pada Klasifikasi van Zuidam (1985) daerah penelitian dibagi menjadi 7 kelas kemiringan lereng (Gambar 4). Daerah penelitian hanya memiliki rentang kemiringan lereng 0 – 55%. Hal tersebut sesuai dengan Klasifikasi van Zuidam (1985) yang dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori relief. Kemiringan lereng di daerah penelitian didominasi oleh relief dataran – bergelombang miring, yakni dengan tingkat kemiringan lereng 0 – 13%. Kemiringan lereng dengan range 14 – 20% tersebar di bagian selatan daerah penelitian.

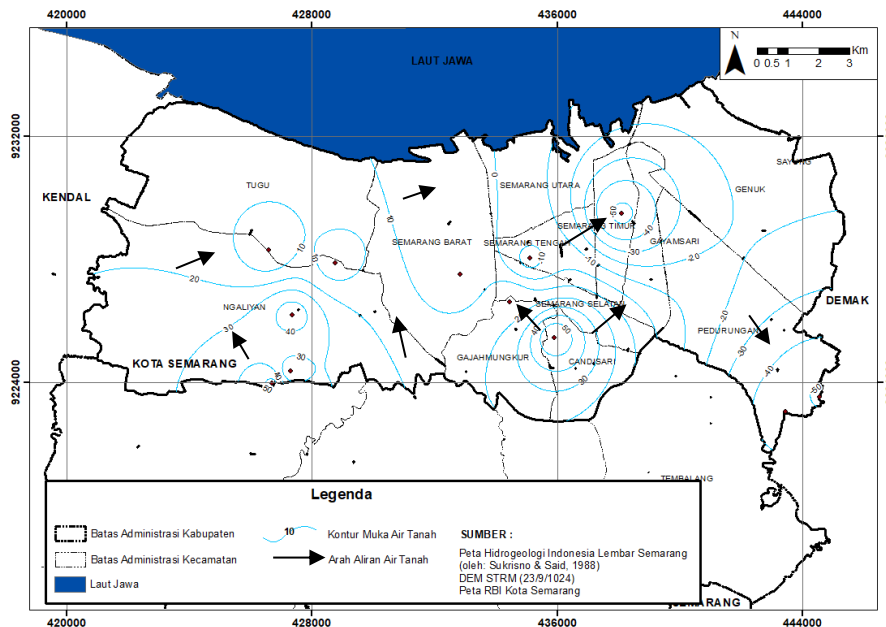
Kemiringan lereng 21 – 55% berada di Kecamatan Ngaliyan dan merupakan jenis relief paling kecil di daerah penelitian.

### 3.2 Kondisi Hidrogeologi

Pada daerah penelitian terdapat 30 titik pengambilan s tanah ini diinterpretasikan adanya struktur geologi yang mempengaruhi kondisi di daerah penelitian. Banyaknya sumber air yang berupa sungai juga cukup mempengaruhi hal tersebut.



Gambar 5. Peta Akuifer (Sukrisno dan Said, 1988)



Gambar 6. Peta Muka Air Tanah

### 3.3 Kondisi Kimia Air

Analisis kimia air dilakukan dengan menggunakan data berupa ion  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , dan  $\text{K}^+$ . Setiap sampel air tanah di daerah penelitian memiliki komposisi ion yang berbeda-beda. Komposisi ion tiap sampel tersebut digunakan untuk menentukan tipe air tanah yang ada di daerah penelitian. Berdasarkan kandungan beberapa ion, tipe air tanah di daerah penelitian dapat dibagi menjadi beberapa sebagai berikut:

a. Tipe air tanah berdasarkan kandungan ion klorida ( $\text{Cl}^-$ )

Daerah penelitian terdiri dari air tanah dengan tipe air tawar, air tawar agak payau, air payau, dan air payau bergaram (Gambar 7). Daerah penelitian

didominasi oleh tipe air tanah air tawar, yakni terdapat sekitar 23 dari 30 sampel yang menunjukkan komposisi ion  $\text{Cl}^-$  yang terkandung dalam sampel  $<150$  mg/L atau setara dengan 76,66%. Keterdapatannya air tawar agak payau di daerah penelitian ditemukan pada 3 sampel yang menunjukkan komposisi ion  $\text{Cl}^-$  yang terkandung dalam sampel 150-300 mg/L atau setara dengan 10%. Keterdapatannya air payau di daerah penelitian ditemukan pada 2 sampel yang menunjukkan komposisi ion  $\text{Cl}^-$  yang terkandung dalam sampel 300-1000 mg/L atau setara dengan 6,67%. Sedangkan keterdapatannya tipe air payau bergaram di daerah penelitian ditemukan pada 2 sampel yang menunjukkan komposisi ion  $\text{Cl}^-$  yang

terkandung dalam sampel 1000-10.000 mg/L atau setara dengan 6,67%.

b. Tipe air tanah berdasarkan kesadahan total ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ )

Daerah penelitian terdiri dari air tanah dengan tipe air sangat lunak, air lunak, air agak sadah, air sadah, dan air sadah sekali (Gambar 8). Daerah penelitian didominasi oleh tipe air tanah air sadah, yakni terdapat sekitar 11 dari 30 sampel yang menunjukkan komposisi ion  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  yang terkandung dalam sampel 2-4 mmol/L atau setara dengan 36,67%. Keterdapatan air sangat lunak di daerah penelitian ditemukan pada 3 sampel yang menunjukkan komposisi ion  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  yang terkandung dalam sampel 0-0,5 mmol/L atau setara dengan 10%. Keterdapatan air lunak di daerah penelitian ditemukan pada 7 sampel yang menunjukkan komposisi ion  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  yang terkandung dalam sampel 0,5-1 mmol/L atau setara dengan 23,33%. Keterdapatan tipe air agak sadah di daerah penelitian ditemukan pada 8 sampel yang menunjukkan komposisi ion  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  yang terkandung dalam sampel 1-2 mmol/L atau setara dengan 26,67%. Sedangkan keterdapatan air sadah sekali di daerah penelitian ditemukan pada 1 sampel yang menunjukkan komposisi  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  yang terkandung pada sampel >8 mmol/L atau setara dengan 3,33%.

c. Tipe air tanah berdasarkan jumlah kation dan anion

Pada daerah penelitian, tipe air tanah berdasarkan jumlah kation dan anion ini dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu tipe air tanah  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{MgHCO}_3$ . Keterdapatan tipe air tanah  $\text{NaHCO}_3$  di daerah penelitian dapat ditemukan pada 11 sampel atau setara dengan 36,67% yang menunjukkan kondisi konsentrasi kation dan anion ( $\text{HCO}_3^-$ ) > 0,5  $\sum$  anion;  $\text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ . Keterdapatan tipe air tanah  $\text{NaCl}$  di daerah penelitian dapat ditemukan pada 9 sampel atau setara dengan 30% yang menunjukkan kondisi konsentrasi kation dan anion ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{NH}_4^+$ ) > 0,5  $\sum$  kation; ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) >  $\text{NH}_4^+$ ;  $\text{Na}^+ > \text{K}^+$ ;  $\text{Cl}^- > 0,5 \sum$  anion. Keterdapatan tipe air tanah  $\text{CaHCO}_3$  di daerah penelitian dapat ditemukan pada 6 sampel atau setara dengan 20% yang menunjukkan kondisi konsentrasi kation dan anion ( $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ) > 0,5  $\sum$  anion;  $\text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ . Keterdapatan tipe air tanah  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  di daerah penelitian dapat ditemukan pada 1 sampel atau setara dengan 3,33% yang menunjukkan kondisi konsentrasi kation dan anion ( $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ) > 0,5  $\sum$  anion;  $\text{SO}_4^{2-} > (\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$ . Sedangkan keterdapatan tipe air tanah  $\text{MgHCO}_3$  di daerah penelitian dapat ditemukan pada 3 sampel atau

setara dengan 10% yang menunjukkan kondisi konsentrasi kation dan anion  $\text{Mg}^{2+} \geq \text{Ca}^{2+}$ .

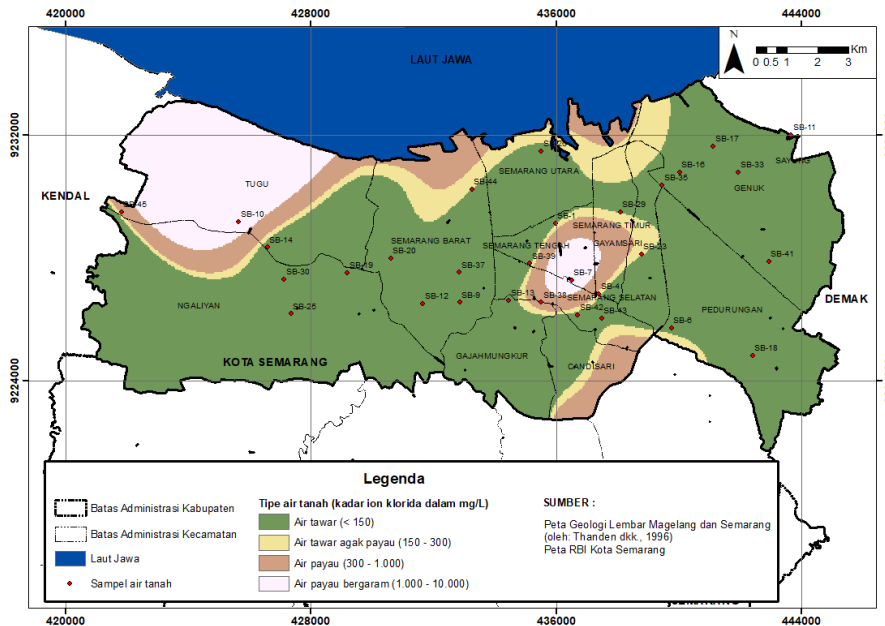
Berdasarkan hasil perhitungan analisis kimia air, diperoleh beberapa tipe air tanah yang berbeda setiap sampel yang ada di daerah penelitian (Tabel 2). Berdasarkan kandungan ion klorida, sebagian besar air tanah di daerah penelitian merupakan tipe air tawar. Adapun sebagian lainnya merupakan jenis air tanah tawar agak payau pada SB-3, SB-23, dan SB-44. Tipe air tanah air payau ditemukan pada sampel air tanah SB-38 dan SB-45. Sedangkan tipe air tanah payau bergaram ditemukan pada sampel air tanah SB-7 dan SB-10. Untuk sampel lain yang tidak disebutkan di atas merupakan tipe air tawar.

Berdasarkan kandungan kesadahan total, daerah penelitian terbagi menjadi beberapa jenis tipe air tanah. Tipe air sangat lunak ditemukan pada sampel SB-11, SB-16, dan SB-39. Tipe air lunak ditemukan pada sampel SB-1, SB-20, SB-26, SB-35, SB-41, dan SB-44. Tipe air agak sadah ditemukan pada sampel SB-6, SB-12, SB-18, SB-23, SB-29, SB-30, SB-43, dan SB-45. Tipe air sadah ditemukan pada sampel SB-4, SB-9, SB-10, SB-13, SB-14, SB-19, SB-25, SB-33, SB-37, SB-38, dan SB-42. Tipe air tanah sadah sekali ditemukan pada sampel SB-7.

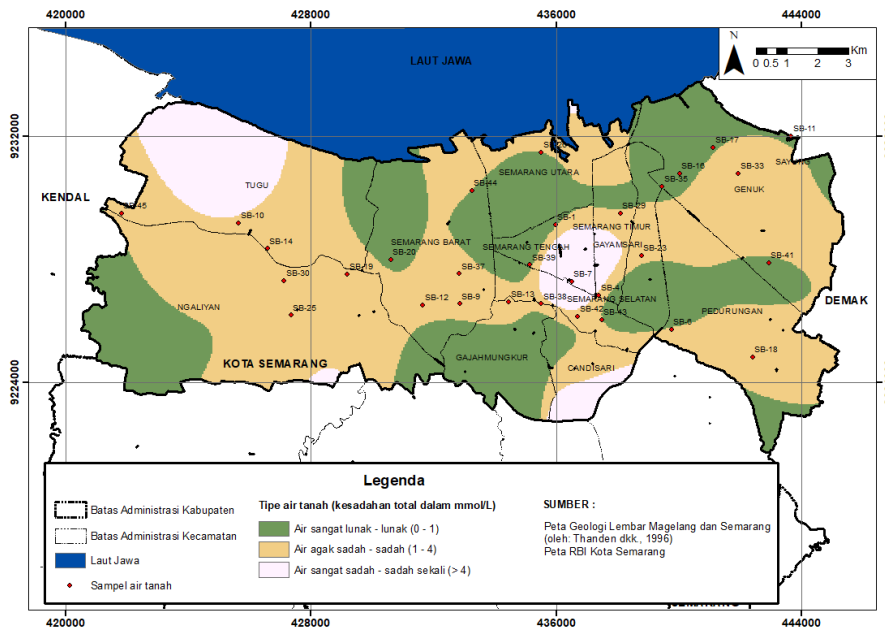
Berdasarkan jumlah anion dan kation, daerah penelitian terbagi menjadi beberapa tipe air tanah. Tipe air tanah  $\text{NaHCO}_3$  ditemukan pada sampel SB-1, SB-6, SB-33, SB-35, SB-39, SB-41, dan SB-43. Tipe air tanah  $\text{NaCl}$  ditemukan pada sampel SB-4, SB-7, SB-10, SB-26, SB-29, SB-38, SB-44, dan SB-45. Tipe air tanah  $\text{CaHCO}_3$  ditemukan pada sampel SB-9, SB-12, SB-13, SB-14, dan SB-30. Tipe air tanah  $\text{MgHCO}_3$  ditemukan pada sampel SB-25, SB-37, dan SB-42. Sedangkan tipe air tanah  $\text{NaSO}_4$  ditemukan pada SB-11.

### 3.3.1 Pengaruh Air Laut terhadap Air Tanah

Berdasarkan data parameter *Molar Ratio Chloride Bicarbonate* (CBR) dan klasifikasi pada Tabel 4, diketahui bahwa karakteristik air tanah di daerah penelitian dibagi menjadi air tanah tawar (73,33%) dan air tanah yang terkena intrusi air laut (26,67%). Air tanah yang terkena intrusi ini terbagi menjadi tiga, yakni air tanah terintrusi sedikit-sedang (62,5%), air tanah terintrusi agak tinggi (25%), dan air tanah terintrusi tinggi (12,5%) yang juga dapat dilihat pada (Gambar 9). Kelompok air tanah terintrusi sedikit-sedang ditempati oleh sampel kode SB-4, SB-23, SB-29, SB-44, dan SB-45. Kelompok air tanah terintrusi agak tinggi ditemukan pada kode sampel SB-10, dan SB-38. Sedangkan kelompok air tanah terintrusi tinggi ditemukan pada kode sampel SB-7 di daerah penelitian. Dari beberapa sampel yang ditemukan terdapat adanya indikasi pengaruh intrusi air laut, diketahui berada di daerah yang letaknya tidak jauh dari laut atau dekat dengan pantai.



Gambar 7. *Peta Jenis Air Tanah Berdasarkan Kandungan Ion Klorida*



Gambar 8. *Peta Jenis Air Tanah Berdasarkan Kesadahan Total*

### 3.3.2 Diagram Piper

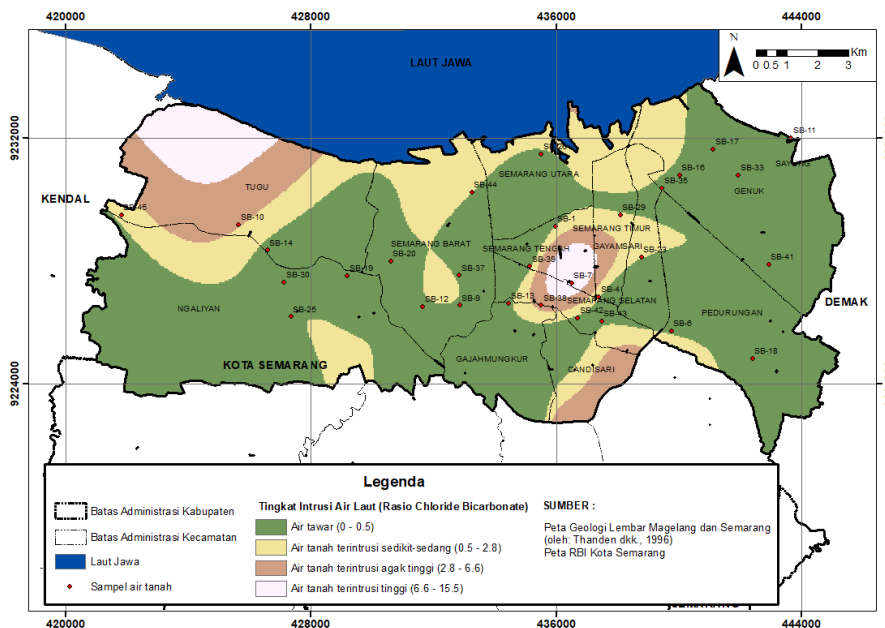
Berdasarkan hasil analisis diagram Piper yang telah dilakukan, daerah penelitian menunjukkan bahwa air tanah sebagian besar merupakan *freshwater* atau air tanah tawar dan sebagian lainnya sudah mengalami evolusi hingga mencapai di daerah hilir (Gambar 11). Karakteristik *freshwater* yang menempati daerah penelitian terdapat 73,33% dan sisanya 26,67% merupakan air tanah yang mengalami intrusi ion. Keterdapatn *freshwater* ditandai dengan tingginya kandungan bikarbonat dan magnesium. Hal ini disebabkan proses pembentukan air tanah yang berasal dari air hujan mengalami transportasi dengan melalui batuan beku yang kaya akan ion magnesium, namun minum akan ion sulfat.

Air tanah yang mengalami evolusi dari *freshwater* menjadi air tanah yang memiliki karakteristik kaya akan kandungan ion natrium, karbonat, dan kalium merupakan penciri air tanah dengan karakteristik intrusi ion (Gambar 12). Dari 26,67% air tanah yang mengalami evolusi tersebut, 3 sampel diantaranya yakni kode SB-7, SB-10, dan SB-38 merupakan air tanah yang telah terkontaminasi oleh air laut. Hal ini ditunjukkan dengan dominannya kandungan ion klorida pada diagram Piper. Karakteristik air tanah ini mengakibatkan air tanah memiliki kandungan garam klorida yang cukup akibat adanya intrusi air laut. Ketiga lokasi sampel tersebut berada di PT Sandang Asia Maju Abadi, Thamrin Square, dan Plaza Simpang Lima.

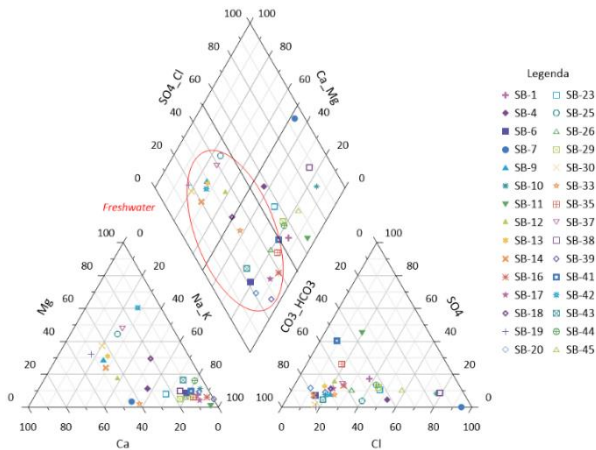


Tabel 5. Tipe Air Tanah

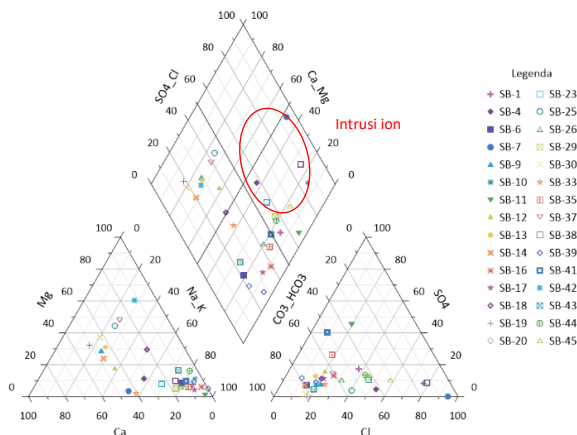
Kecamatan	Kode	Lokasi	Tipe air tanah (Suherman & Sudaryanto, 2009)		Tipe air tanah (Breuck, 1991)
			Kandungan Cl	Kesadahan total	Anion & Kation
Gajahmungkur	SB-13	RSIA Gunung Sawo	Air tawar	Air sadah	CaHCO <sub>3</sub>
Gayamsari	SB-23	Masjid Agung Jawa Tengah	Air tawar agak payau	Air agak sadah	NaCl
Genuk	SB-11	PT Charoen Pokphand	Air tawar	Air sangat lunak	NaSO <sub>4</sub>
Genuk	SB-16	CV Tirto Waluyo	Air tawar	Air sangat lunak	NaHCO <sub>3</sub>
Genuk	SB-17	PT Esta Indonesia	Air tawar	Air lunak	NaHCO <sub>3</sub>
Genuk	SB-33	PT Sukasari Mitra Mandiri	Air tawar	Air sadah	NaHCO <sub>3</sub>
Genuk	SB-35	PT Kongo Indonesia	Air tawar	Air lunak	NaHCO <sub>3</sub>
Genuk	SB-41	Panti Asuhan Almustafirin	Air tawar	Air lunak	NaHCO <sub>3</sub>
Ngaliyan	SB-19	PT Prawita Jaya Baru	Air tawar	Air sadah	CaHCO <sub>3</sub>
Ngaliyan	SB-25	PT Permata Panca Buana	Air tawar	Air sadah	MgHCO <sub>3</sub>
Ngaliyan	SB-30	PT Semarang Bintang Lestari	Air tawar	Air agak sadah	CaHCO <sub>3</sub>
Pedurungan	SB-6	PT HM Sampoerna Tbk	Air tawar	Air agak sadah	NaHCO <sub>3</sub>
Pedurungan	SB-18	Horison Nindya	Air tawar	Air agak sadah	NaHCO <sub>3</sub>
Semarang Barat	SB-9	PT Sinar Pantja Djaja	Air tawar	Air sadah	CaHCO <sub>3</sub>
Semarang Barat	SB-12	PT Sentra Agri Mulia Lestari	Air tawar	Air agak sadah	CaHCO <sub>3</sub>
Semarang Barat	SB-20	Hotel Hanoman Indah	Air tawar	Air lunak	NaHCO <sub>3</sub>
Semarang Barat	SB-37	Bandeng Juwana Pamularsih	Air tawar	Air sadah	MgHCO <sub>3</sub>
Semarang Barat	SB-44	PT Propan Raya	Air tawar agak payau	Air lunak	NaCl
Semarang Selatan	SB-38	Thamrin Square	Air payau	Air sadah	NaCl
Semarang Selatan	SB-42	Hotel Radja	Air tawar	Air sadah	MgHCO <sub>3</sub>
Semarang Selatan	SB-43	PT Sri Ratu Peterongan	Air tawar	Air agak sadah	NaHCO <sub>3</sub>
Semarang Tengah	SB-1	Queen City Mall	Air tawar	Air lunak	NaHCO <sub>3</sub>
Semarang Tengah	SB-7	Plaza Simpang Lima	Air payau bergaram	Air sadah sekali	NaCl
Semarang Tengah	SB-39	Hermina Pandanaran	Air tawar	Air sangat lunak	NaHCO <sub>3</sub>
Semarang Timur	SB-4	RSIA Bunda	Air tawar agak payau	Air sadah	NaCl
Semarang Timur	SB-29	Panti Willasa Citarum	Air tawar	Air agak sadah	NaCl
Semarang Utara	SB-26	CV Jati Kencana	Air tawar	Air lunak	NaCl
Tugu	SB-10	PT Sandang Asia Maju Abadi	Air payau bergaram	Air sadah	NaCl
Tugu	SB-14	PT Herculon Carpet	Air tawar	Air sadah	CaHCO <sub>3</sub>
Tugu	SB-45	PT Nufarindo	Air payau	Air agak sadah	NaCl



Gambar 9. Peta CBR



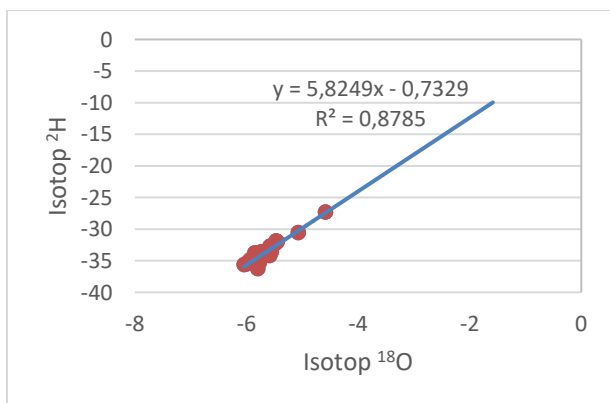
Gambar 11. Analisis Karakteristik *Freshwater*



Gambar 12. Analisis Karakteristik Intrusi Ion

### 3.4 Kondisi Isotop

Berdasarkan hasil analisis menggunakan grafik hubungan antara  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$ , menunjukkan bahwa air tanah yang ada di daerah penelitian  $D(^2\text{H}) = 5,8249^{18}\text{O} - 0,7329$  berada sejajar di atas *Global Meteoric Water Line* (GMWL). Hal tersebut menunjukkan adanya pengaruh ketinggian terhadap letak pengambilan sampel air tanah. Hasil korelasi (Gambar 13) menunjukkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) = 0,8785, koefisien korelasi ( $r$ ) = 0,937, menunjukkan bahwa sebanyak 30 sampel hasil analisis isotop yang dilakukan memiliki hubungan yang cukup signifikan antara kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$ .



Gambar 13. Hubungan Linier  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$

Sebagian besar sampel air tanah di daerah penelitian letaknya dekat dengan garis GMWL, menunjukkan bahwa sampel air tanah tersebut berasal dari air hujan modern (Li dkk., 2013). Terdapat 2 sampel yang menunjukkan air tanah di daerah penelitian cenderung menunjukkan adanya pencampuran dengan air laut pada sampel tersebut yakni pada sampel SB-10 dan SB-20. Kedua sampel tersebut memiliki kandungan isotop oksigen yang lebih berat dibandingkan dengan sampel yang lain. Indikasi adanya pengaruh air garam juga terlihat dari tipe air tanah pada kedua sumur tersebut dimana SB-10 memiliki tipe air tanah NaCl dan SB-20 memiliki tipe air tanah  $\text{NaHCO}_3$ .

Kondisi isotop daerah penelitian dapat dikelompokkan berdasarkan kandungan isotop stabil yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

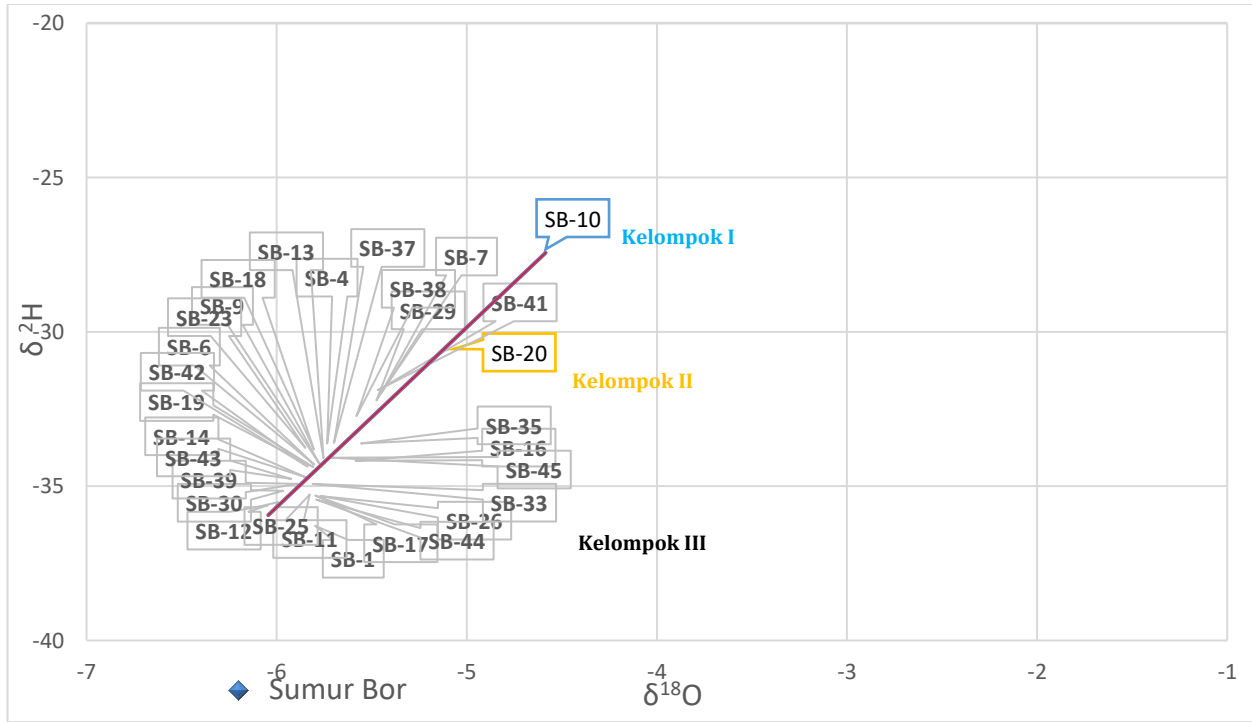
- Kelompok I nilai  $^{18}\text{O}$  -4, 585‰ yang berasal dari SB-10. Air tanah pada kelompok ini memiliki kandungan oksigen yang lebih berat dibandingkan sampel yang lainnya dan cenderung memiliki indikasi pengaruh air garam yang cukup dominan, dicirikan dengan berat oksigen yang mendekati -4‰ (Sudaryanto & Lubis, 2011). Indikasi tersebut didukung dengan tipe air tanah yang diidentifikasi pada Tabel 5 di mana pada sampel dengan kode SB-10 merupakan tipe air tanah NaCl. Hal ini menunjukkan bahwa air tanah pada lokasi tersebut berasal dari sekitarnya yang meresap masuk hingga lapisan akuifer dan melarutkan garam yang terdapat pada lapisan akuifer air tanah.
- Kelompok II nilai  $^{18}\text{O}$  -5,070 ‰ yang berasal dari SB-20. Air tanah pada kelompok ini memiliki kandungan oksigen yang sedang dan memiliki sedikit pengaruh air garam. Indikasi tersebut didukung dengan tipe air tanah yang diidentifikasi pada Tabel 5 di mana pada sampel dengan kode SB-20 ini merupakan tipe air tanah  $\text{NaHCO}_3$ . Tipe air tanah tersebut telah mengalami pertukaran kation antara air tawar yang meresap dan air garam yang terjebak saat pembentukan daratan (Suherman dan Sudaryanto, 2009). Kondisi tersebut menyebabkan saat pembentukan pantai, air laut terjebak dan teraliri oleh air tawar secara terus-menerus (Suherman & Sudaryanto, 2009).
- Kelompok III nilai kandungan  $^{18}\text{O}$  hampir mendekati sama yakni -5,451 - -6,044‰. Hal ini menunjukkan air tanah di lokasi tersebut berasal dari daerah setempat (Geyh & Sofner, 1989).

Dalam penelitian ini, sampel yang dilakukan untuk uji isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  terdapat 30 sampel air tanah. Analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yang dilakukan tidak disertakan bagaimana hubungan kondisi isotop air tanah dengan isotop air hujan di daerah penelitian. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan penelitian yang dilakukan. Sehingga, hubungan antara isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dan garis *Linear Meteoric Water Line* (LMWL) tidak dapat dilakukan analisis secara terperinci.

Penggunaan data sekunder tidak merepresentasikan kondisi air tanah di daerah penelitian.

Nilai *d-excess* yang telah dilakukan pada penelitian ini menjelaskan bahwa semua sampel air tanah di daerah penelitian memiliki nilai positif. Nilai *d-excess* pada sampel air tanah yang ada di daerah penelitian sebagian besar nilainya >10 (Tabel 6). Hal tersebut menunjukkan sebagian besar air tanah di daerah

penelitian merupakan jenis air tanah dalam. Sampel air tanah yang nilai *d-excess* < 10 berada pada sampel SB-10 dan SB-20. Hal tersebut menunjukkan bahwa komposisi isotopnya disebabkan oleh proses penguapan sekunder (Dansgaard, 1964). Kedua sampel tersebut berada di Kecamatan Tugu dan Kecamatan Semarang Barat.



Gambar 14. Hubungan <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H terhadap GMWL

Tabel 6. Hasil Perhitungan Isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H

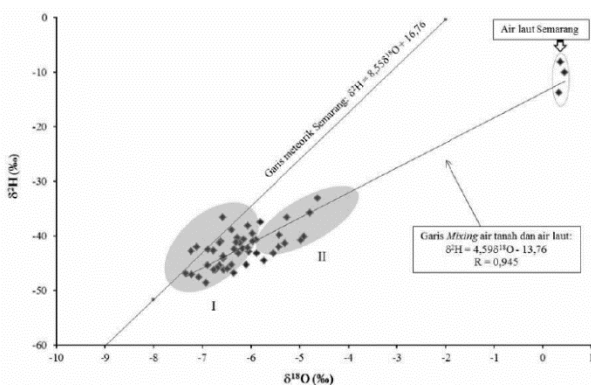
Kode	Lokasi	δ <sup>18</sup> O	SD <sup>18</sup> O	δ <sup>2</sup> H	SD <sup>2</sup> H	LMWL	GMWL	D-EXCESS
SB-1	Queen City Mall	-5,80	0,23	-36,3	0,51	-32,8	-36,4	10,1
SB-4	RSIA Bunda	-5,73	0,23	-33,6	0,50	-32,3	-35,9	12,3
SB-6	PT HM Sampoerna Tbk	-5,80	0,22	-34,3	0,50	-32,9	-36,4	12,1
SB-7	Plaza Simpang Lima	-5,45	0,22	-32,0	0,52	-29,8	-33,6	11,6
SB-9	PT Sinar Pantja Djaja	-5,78	0,23	-34,3	0,49	-32,6	-36,2	12,0
<b>SB-10</b>	<b>PT Sandang Asia Maju Abadi</b>	<b>-4,59</b>	<b>0,23</b>	<b>-27,3</b>	<b>0,49</b>	<b>-22,4</b>	<b>-26,7</b>	<b>9,35</b>
SB-11	PT Charoen Pokphand	-5,83	0,21	-35,3	0,50	-33,0	-36,6	11,3
SB-12	PT Sentra Agri Mulia Lestari	-6,04	0,24	-35,6	0,51	-34,9	-38,4	12,7
SB-13	RSIA Gunung Sawo	-5,75	0,23	-34,1	0,50	-32,4	-36,0	11,9
SB-14	PT Herculan Carpet	-5,84	0,22	-34,7	0,48	-33,2	-36,7	12,0
SB-16	CV Tirto Waluyo	-5,59	0,23	-34,2	0,49	-31,0	-34,7	10,5
SB-17	PT Esta Indonesia	-5,80	0,23	-35,3	0,51	-32,8	-36,4	11,1
SB-18	Horison Nindya	-5,80	0,22	-33,8	0,48	-32,9	-36,4	12,6
SB-19	PT Prawita Jaya Baru	-5,81	0,23	-34,4	0,50	-32,9	-36,5	12,1
<b>SB-20</b>	<b>Hotel Hanoman Indah</b>	<b>-5,07</b>	<b>0,23</b>	<b>-30,6</b>	<b>0,49</b>	<b>-26,6</b>	<b>-30,6</b>	<b>9,99</b>
SB-23	Masjid Agung Jateng	-5,85	0,23	-33,8	0,50	-33,2	-36,8	13,0
SB-25	PT Permata Panca Buana	-5,99	0,22	-35,5	0,52	-34,5	-37,9	12,4
SB-26	CV Jati Kencana	-5,77	0,23	-35,3	0,48	-32,6	-36,2	10,9
SB-29	Panti Willasa Citarum	-5,48	0,23	-32,2	0,52	-30,1	-33,8	11,6
SB-30	PT Semarang Bintang Lestari	-5,96	0,24	-35,2	0,48	-34,2	-37,7	12,6
SB-33	PT Sukasari Mitra Mandiri	-5,81	0,23	-34,9	0,49	-32,9	-36,5	11,6
SB-35	PT Kongo Indonesia	-5,56	0,22	-33,6	0,50	-30,7	-34,5	10,8
SB-37	Bandeng Juwana Pamularsiah	-5,70	0,23	-33,6	0,53	-32,0	-35,6	12,0
SB-38	Thamrin Square	-5,58	0,22	-32,7	0,49	-31,0	-34,6	11,9
SB-39	Hermina Pandanaran	-5,89	0,23	-34,9	0,51	-33,6	-37,1	12,2
SB-41	Panti Asuhan Almustafirin	-5,47	0,24	-31,9	0,50	-30,0	-33,7	11,8
SB-42	Hotel Radja	-5,84	0,23	-34,4	0,50	-33,1	-36,7	12,3
SB-43	PT Sri Ratu Peterongan	-5,92	0,22	-34,8	0,50	-33,9	-37,4	12,6
SB-44	PT Propan Raya	-5,79	0,22	-35,4	0,53	-32,8	-36,3	10,9
SB-45	PT Nufarindo	-5,72	0,23	-34,1	0,53	-32,1	-35,7	11,7

Ket: = nilai d-excess < 10

### 3.5 Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian, air tanah di dataran aluvial Kota Semarang menunjukkan beragam tipe air tanah. Berdasarkan kandungan ion  $\text{Cl}^-$  air tanah di daerah penelitian terdiri dari air tawar (76,66%), air tawar agak payau (10%), air payau (6,67%) dan air payau bergaram (6,67%). Berdasarkan kesadahan total air tanah di daerah penelitian terdiri dari air sadah (36,67%), air sangat lunak (10%), air lunak (23,33), air agak sadah (26,67%), dan air sadah sekali (3,33%). Berdasarkan jumlah kation dan anion, air tanah di daerah penelitian terdiri dari tipe air tanah  $\text{NaHCO}_3$  (36,67%),  $\text{NaCl}$  (30%),  $\text{CaHCO}_3$  (20%),  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (3,33%), dan  $\text{MgHCO}_3$  (10%). Sebanyak 30 sampel yang ada, dengan analisis *Chloride Bicarbonate Ratio* daerah penelitian terdapat karakteristik air tanah air tanah (73,33%) dan air tanah yang terkena intrusi (26,67%). Berdasarkan hasil analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  menunjukkan bahwa daerah penelitian sebagian besar air tanah yang ada berasal dari air hujan modern, dan terdapat 2 sampel yang menunjukkan adanya pencampuran dengan air laut atau berada pada garis *mixing*. Nilai *d-excess* pada masing-masing sampel air tanah di daerah penelitian menunjukkan bahwa air tanah berasal dari jenis air tanah dalam (*d-excess* > 10).

Satrio dkk., (2015) melakukan penelitian terkait karakteristik air tanah dengan metode yang sama dan menghasilkan karakteristik air tanah yang berada di dekat garis meteorik Semarang dan sebagian kecil lainnya berada di garis *mixing* (Gambar 15). Data dan parameter yang digunakan dalam analisis sebagian besar sama, bedanya terletak pada jenis akuifer dimana pada penelitian yang telah dilakukan yakni akuifer air tanah dangkal sedangkan pada penelitian yang penulis lakukan menggunakan jenis akuifer air tanah dalam. Sementara itu, hasil analisis kimia air pada penelitian Satrio dkk., (2015) ditemukan tipe air tanah  $\text{CaHCO}_3$ ,  $\text{CaNaHCO}_3$ ,  $\text{NaCaHCO}_3$  dan  $\text{NaCl}$ . Analisis *Molar Ratio Chloride Bicarbonate*-nya menunjukkan pada saat musim penghujan masih berstatus air tanah tawar dan Sebagian lainnya terkontaminasi air asin atau air laut.



Gambar 15. Grafik Hubungan Isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  (Satrio dkk., 2015)

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dapat disimpulkan bahwa;

Karakteristik air tanah di daerah penelitian dibedakan berdasarkan kandungan ion klorida memiliki tipe air tawar, air tawar agak payau, air payau, dan air payau bergaram. Berdasarkan kandungan kesadahan total, daerah penelitian terdiri dari air tanah dengan tipe air sangat lunak, air lunak, air agak sadah, air sadah, dan air sadah sekali. Berdasarkan jumlah anion dan kation, daerah penelitian memiliki tipe air tanah  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{MgHCO}_3$ . Pengaruh air laut terhadap air tanah di daerah penelitian berdasarkan perhitungan CBR pada daerah penelitian terdiri dari air tanah terintrusi sedikit-sedang, air tanah terintrusi agak tinggi, dan air tanah terintrusi tinggi. Sedangkan berdasarkan analisis diagram Piper, air tanah di daerah penelitian sebagian besar merupakan *freshwater* atau air tanah tawar dan sebagian lainnya sudah mengalami evolusi hingga mencapai di daerah hilir. Berdasarkan analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$ , air tanah di daerah penelitian dibagi menjadi 3 kelompok yaitu Kelompok I ( $^{18}\text{O}$  -4, 585‰), Kelompok II ( $^{18}\text{O}$  -5,070‰) dan Kelompok III ( $^{18}\text{O}$  -5,451 - -6,044‰). Nilai *d-excess* pada sampel air tanah di daerah penelitian memiliki nilai positif yang sebagian besar nilainya > 10 kecuali 2 titik yaitu sampel SB-10 dan SB-20.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRTPM Kemendikbudristek untuk pendanaan penelitian fundamental tahun 2023 dengan nomor kontrak 449A-35/UN7.D2/PP/VI/2023.

### DAFTAR PUSTAKA

- BPS Statistik Kota Semarang., (2022). *Kota Semarang dalam Angka 2022*, Semarang: BPS Kota Semarang.
- Breuck.W.D. (1991). *Hydrogeology of Salt Water Intrusion*, A Selection of SWIM Papers, International Association of Hydrogeologists.
- Craig, H. (1961). Standard for Reporting Concentrations Of Deuterium and Oxygen-18 in Natural Waters. *Science*, 133(3467), 1833-1834.
- Dansgaard, W., (1964). "Stable Isotopes in Precipitation ". *Tellus*. Swedish Geophysical Society, 436-468.
- Freeze RA, Cherry JA. (1979). *Groundwater*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Geyh, M.A., and Sofner, B., 1989. Groundwater Analysis of Environmental Carbon and Other Isotopes from the Jakarta Basin Aquifer, Indonesia. *Radiocarbon*, Vol 31.
- Hendrayana, H. (2002). *Dampak Pemanfaatan Airtanah*. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hiscock, K.M. (2005). *Hydrogeology: Principles and Practice*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Kantor PDAM Kota Semarang. (2010). *Analisis Pelayanan Perusahaan Daerah Air Minum Kota Semarang*. Semarang: PDAM Tirta Moedal Semarang.
- Li, J., Liu, J., Pang, Z., dan Wang, X. (2013). Characteristics of Chemistry and Stable Isotopes in Groundwater of The

- Chaobai River Catchment, Beijing. *Procedia Earth and Planetary Science*, 7, 487-490.
- Prasetio, R., & Satrio. (2015). Aplikasi Teknik Isotop Alam  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  untuk Studi Air Tanah pada Cekungan Airtanah Semarang, Jawa Tengah : *In Prosiding Pusat Sains & Teknologi Akselerator – Batan*, 46-51.
- Revelle, R. (1941). "Criteria for Recognition of Sea Water in Ground Water". *America Geophysical Union*, V.22.
- Rizki, L. (2003). *Kajian Kebutuhan Air Bersih dan Identifikasi Ketersediaan Sumber Daya Air Bagi Pengembangan Kawasan Terpadu Gedebage*. Tugas Akhir Departemen Teknik Planologi Institut Teknologi Bandung.
- Satrio, S., Hendarmawan, H., Hadian, M. S. D., dan Pujiindiyati, E. R. (2015). Karakteristik Air Tanah Dangkal Kota Semarang pada Musim Penghujan Berdasarkan Pendekatan Isotop Stabil ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ) dan Kimia Air. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 11(1), 73-86.
- Stuyfzand, P.J. (1991). *A New Hydrochemical Classification of Water Type : Principles and Application To Coastal-Dunes Aquifer System of Netherlands, Hydrology of Salt Water Intrusion*, A selection of SWIM Paper, V. 11, International Contribution to Hydrology Series, Editorial Board. International Association of Hydrologist. p.329 – 357.
- Sudaryanto, S., & Lubis, R. F. (2011). Penentuan Lokasi Imbuhan Airtanah dengan Pelacak Isotop Stabil  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  di Cekungan Airtanah Dataran Rendah Semarang, Jawa Tengah. *Riset Geologi dan Pertambangan-Geology and Mining Research*, 21(2), 121-129.
- Suherman, D. dan Sudaryanto, S. (2009). Tipe Air untuk Penentuan Aliran Airtanah Vertikal di Cekungan Jakarta. *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 19(2), 99-108.
- Sukrisno, H.D. dan Said. (1988). *Peta Hidrogeologi Indonesia. Lembar Semarang (Jawa)*. 1: 250.000.
- Thanden, RE., H. Sumadirdja, PW. Richards, K. Sutisna. (1996). *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa* skala 1:100.000, Pusat Survey Geologi, Bandung.
- USGS, Earth Explorer. *DEM SRTM Kota Semarang*. Diakses pada 19 Maret 2023 melalui laman <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Van Zuidam, R. A. (1983). *Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation and Mapping. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands*, 325.