

Sudaryanto dan Lubis, *Rachmat Fajar/Riset Geologi dan Pertambangan Vol. 21 No. 2 (2011), 121–129.*

# PENENTUAN LOKASI IMBUHAN AIRTANAH DENGAN PELACAK ISOTOP STABIL $^{18}\text{O}$ DAN $^2\text{H}$ DI CEKUNGAN AIRTANAH DATARAN RENDAH SEMARANG, JAWA TENGAH

Sudaryanto dan Rachmat Fajar Lubis

**ABSTRAK** Pengambilan airtanah di dataran rendah Semarang yang tidak terkendali menimbulkan dampak krisis airtanah yang ditandai dengan penurunan muka airtanah dari tahun ke tahun. Ketersediaan airtanah berkaitan erat dengan jumlah imbuhan (*recharge*) air ke dalam tanah dan jumlah yang diambil. Penentuan daerah imbuhan dilakukan dengan cara melakukan analisis isotop stabil  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dan membandingkannya dengan tipe air serta kondisi hidrogeologi. Untuk keperluan tersebut, telah dilakukan penelitian airtanah di 9 lokasi yang tersebar di wilayah Semarang, yang terdiri atas 7 contoh airtanah tertekan dan 2 contoh airtanah tidak tertekan. Hasil yang didapat dari analisis tersebut adalah bahwa airtanah pada akuifer yang berumur kuartar berasal dari air yang diresapkan ke dalam tanah di dalam cekungan tersebut, sementara air yang terdapat dalam akuifer Formasi Damar berasal dari daerah di ketinggian di atas 400 m dpl yang terletak di selatan Semarang. Di samping itu sesar yang memisahkan sistem akuifer Formasi Damar dengan sistem akuifer kuartar berfungsi sebagai penghalang masuknya airtanah dari bagian selatan ke akuifer kuartar di dataran Semarang.

**Kata kunci:** imbuhan airtanah, asal airtanah, isotop stabil, tipe air, cekungan airtanah.

---

Naskah masuk : 17 Januari 2011

Naskah diterima : 20 April 2011

---

Sudaryanto

Pusat Penelitian Geoteknologi- LIPI

Jl. Sangkuriang Bandung 40135

Email : sudaryanto@geotek.lipi.go.id

Rachmat Fajar Lubis

Pusat Penelitian Geoteknologi- LIPI

Jl. Sangkuriang Bandung 40135

Email : fajarlubis@geotek.lipi.go.id

**ABSTRACT** *The uncontrolled groundwater extraction in Semarang has generated groundwater crisis which marked by decreasing groundwater level year by year. The groundwater availability is depending on total differentiation of water recharge and groundwater extraction. The determination of recharge area is figured out using stable isotop,  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$ , analysis, and compared with water type and hydrogeology setting. For those purposes, groundwater investigation at 9 locations were carried out randomly all over Semarang area, consisting of seven samples from confined groundwater and two from unconfined groundwater. The result showed that groundwater of quarternary aquifer was recharged the inside basin itself while the older aquifer (Damar Formation) was supplied by water from the area higher than 400 meter elevation located in the southern part of Semarang Basin. Besides that, one recognised fault is acting as a barrier between younger and older aquifer to block the groundwater from southern part area to Semarang low land.*

**Keywords:** *groundwater recharge, groundwater origin, stable isotop, water type, groundwater basin.*

## PENDAHULUAN

Bahri (2009) menyatakan bahwa pengambilan air tanah di kota Semarang mencapai 17,4 juta  $\text{m}^3$  setiap tahunnya dan terkonsentrasi di daerah Semarang Utara. Dampak yang timbul dari kegiatan ini antara lain terjadinya krisis airtanah yang ditandai dengan penurunan muka airtanah (kerucut depresi airtanah) sedalam hampir 20 meter pada daerah seluas  $30\text{m}^2$ . Untuk memperoleh analisis rinci tentang airtanah di Wilayah Semarang sebagai informasi penting dalam pengelolaan airtanah, maka penelitian mengenai penentuan asal air tanah perlu dilakukan. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, belum memberikan suatu jawaban tentang

permasalahan yang hingga kini masih diperdebatkan tentang dari mana asal airtanah apakah imbuhan (*recharge*) air di Cekungan Airtanah Semarang berasal dari dataran rendah Semarang sendiri atau berasal dari tinggian di selatan Semarang (Ungaran). Kondisi geologi dan hidrologi di dataran rendah Semarang mempunyai sifat litologi dengan lapisan penutup yang saling berhubungan, sehingga akuifer endapan Kuartar ini secara hidrolika saling berhubungan dengan tata akuifer airtanah bebas yang terletak di atasnya (Sihwanto dan Iskandar, 2000).

Dalam penelitian ini, menggunakan metoda Isotop stabil, yaitu Deuterium ( $^2\text{H}$ ) dan ( $^{18}\text{O}$ ). Isotop jenis ini keberadaan serta konsentrasinya dalam sistem hidrologi di alam dipengaruhi oleh variabel fisik yaitu suhu udara, tekanan udara, kelembaban udara, lokasi geografis dan ketinggian tempat (*altitude*). Siklus hidrologi menunjukkan bahwa sumber air yang utama untuk air permukaan dan airtanah adalah air hujan, sehingga untuk mengetahui hubungan antara kandungan isotop dalam airtanah dan air hujan menjadi sangatlah penting. Karena proses meteorik, perubahan komposisi isotop stabil pada airtanah di setiap lokasi mempunyai karakteristik tertentu. Isotop stabil telah memberikan kontribusi pada beberapa penelitian dalam analisis hidrogeologi dalam melacak perilaku airtanah di suatu cekungan

airtanah (Clark dan Fritz, 1997). Komposisi isotop stabil air yang meresap dalam lingkungan tertentu akan mempunyai tanda-tanda isotropik tertentu yang dapat dijadikan sebagai pelacak asal dari airtanah (Andrew., *et al.*, 1984).

Analisis isotop stabil ini akan dibandingkan dengan kondisi geologi, topografi dan hidrologi, tipe air, dan diharapkan dapat diketahui secara pasti lokasi imbuhan airtanah tidak tertekan maupun airtanah tertekan yang terdapat di Cekungan Airtanah Semarang.

### LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian di Kota Semarang, secara geografis terletak antara  $6^{\circ}56'$  –  $7^{\circ}07'$  Lintang Selatan serta antara  $110^{\circ}16'$  –  $110^{\circ}30'$  Bujur Timur (Gambar 1).

Secara administratif Kota Semarang di sebelah utara dibatasi oleh Laut Jawa, di sebelah selatan oleh Kabupaten Semarang, di sebelah barat oleh Kabupaten Kendal dan di sebelah timur oleh Kabupaten Demak. Ditinjau dari keadaan topografi daerah Semarang pada bagian utara hingga pantai merupakan dataran rendah, sedangkan di bagian selatan merupakan perbukitan. Untuk Kota Semarang meliputi luas wilayah  $374 \text{ km}^2$ , daerah penelitian secara administratif merupakan bagian wilayah Provinsi Jawa Tengah.



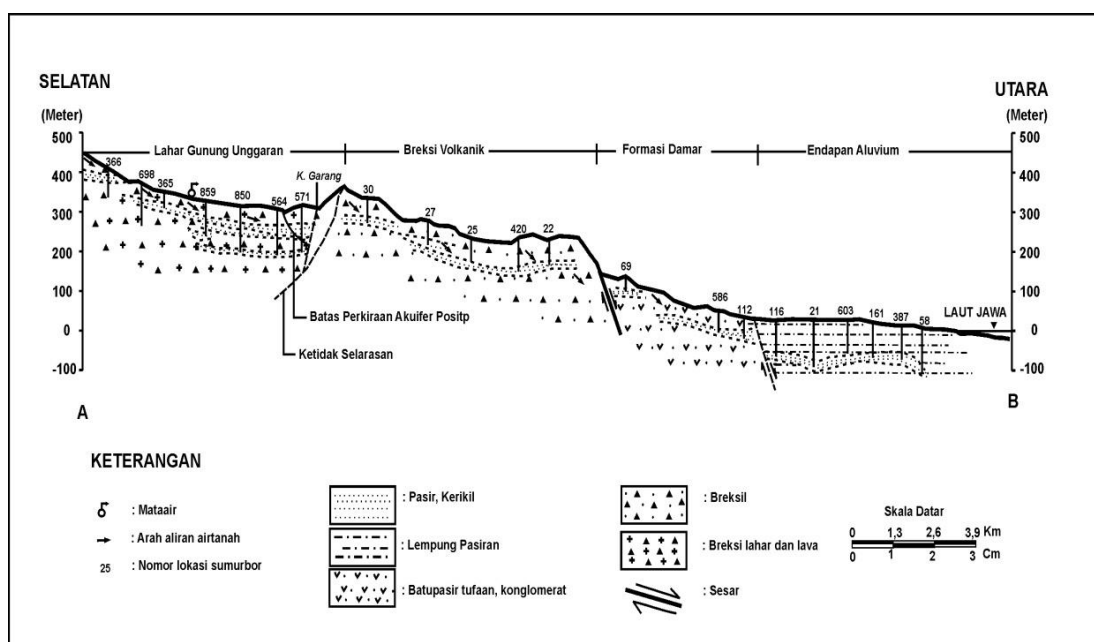
Gambar 1. Lokasi Penelitian Semarang

## Hidrogeologi

Daerah penelitian mencerminkan bentang alam berupa dataran rendah pantai dan daerah perbukitan, dengan ketinggian berkisar antara 0-500 m dpl. Morfologi dataran, mempunyai ketinggian antara 0-50 m dpl, yang terbentang luas di daerah dataran pantai mulai dari Kendal di bagian barat, Semarang di bagian tengah hingga Demak di bagian timur. Pada morfologi dataran ini tertutupi endapan aluvium, yang terdiri dari endapan sungai, endapan delta Garang dan endapan pantai. Endapan aluvium merupakan material-material lepas, berupa pasir, lanau, lempung, kerikil dan kerakal. Morfologi perbukitan, mempunyai ketinggian berkisar antara 50-300 m dpl. Morfologi perbukitan berupa batuan vulkanik dari Formasi Damar dan endapan vulkanik produk Gunung Ungaran Purba yang terdiri dari batupasir, breksi, konglomerat dan tufa (Sihwanto dan Iskandar, 2000). Morfologi kerucut gunungapi, mempunyai ketinggian berkisar antara 300-500 m dpl. Batuan yang menutupinya adalah batuan endapan vulkanik muda produk Gunung Ungaran yang terdiri atas tufa andesitik, breksi, lava andesit dan basal.

Sihwanto dan Iskandar, (2000), menyatakan bahwa sistem akuifer airtanah di Cekungan Airtanah Kota Semarang dibagi menjadi beberapa kelompok akuifer (Gambar 2) sebagai berikut:

- 1) Akuifer Endapan Kuarter, akuifer ini terdapat di dataran pantai. Penyebarannya tidak menerus ke arah horisontal, dengan variasi litologi dan di beberapa tempat dijumpai adanya lebih dari satu akuifer, dan setiap lapisan akuifer dipisahkan oleh lapisan yang kelulusanya relatif rendah. Litologi berupa lapisan tipis pasir lempungan, pasir halus sampai kasar, atau kerikil yang tersisip dalam lapisan lempung plastis mengandung cangkang kerang, dengan lapisan penutup berupa lempung. Kedalaman akuifer berkisar antara 30 – 90 m dari permukaan tanah setempat (dpt) di bagian barat mulai Bulu dan Kalibanteng sedangkan di bagian timur daerah Tambaklorok.
- 2) Akuifer Formasi Damar, akuifer ini terdapat pada Formasi Damar, dengan penyebarannya di daerah perbukitan Candi. Kedudukan akuifer berkisar antara 30 – 100 m dpt. Litologi kelompok akuifer terdiri dari konglomerat dan batupasir tufaan, dengan lapisan penutupnya bervariasi antara batulempung, tufa, maupun breksi.
- 3) Akuifer Breksi Vulkanik, dengan penyebarannya di daerah dataran tinggi mulai dari Ngesrep di bagian utara dan berlanjut ke arah selatan hingga ke daerah Srandol,



Gambar 2. Penampang Akuifer Cekungan Airtanah Semarang (Sihwanto dan Iskandar, 2000).

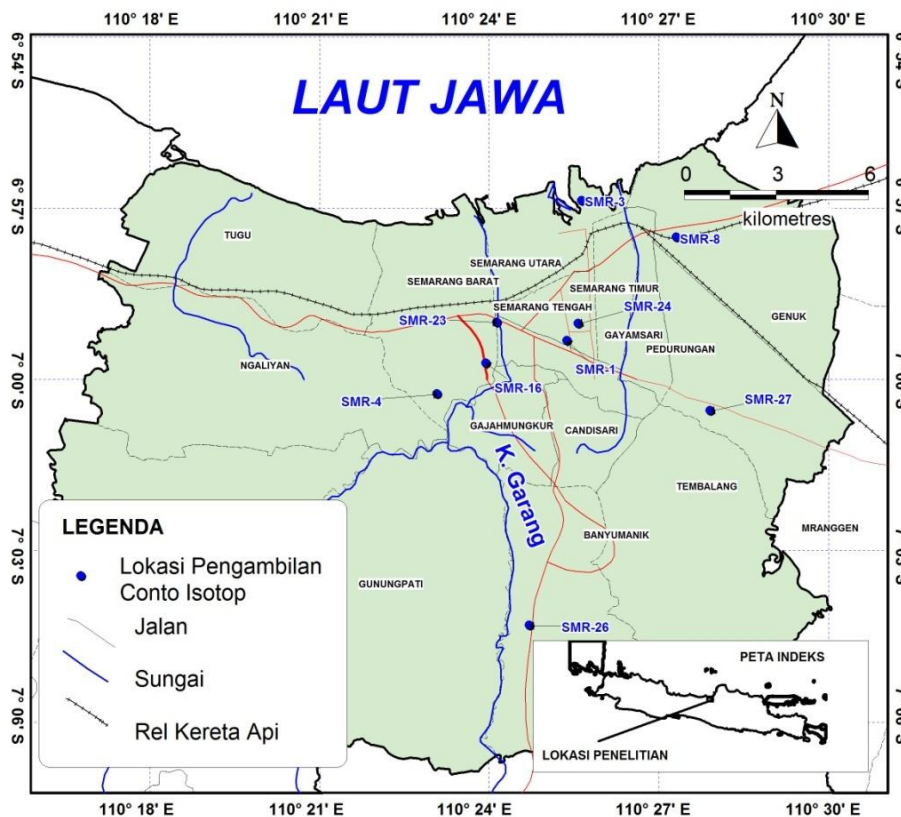
Banyumanik, Watugong dan Pundakpayung. Litologi penyusunnya terdiri dari batupasir tufaan, breksi vulkanik, tuf dan konglomerat. Kedudukan akuifer dijumpai pada kedalaman lebih dari 20 m dpt.

**METODOLOGI**

Teknik isotop stabil merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mempelajari potensi suatu airtanah, teknik isotop dapat digunakan untuk menentukan hubungan antara airtanah dengan air permukaan atau hubungan antara beberapa akifer airtanah, seperti penentuan daerah imbunan dan penentuan asal usul airtanah. Untuk menentukan daerah imbunan dan asal usul airtanah pada akuifer tertekan dilakukan pengukuran dan pengambilan conto untuk isotop stabil dari sumur pantau yang posisi saringan sumur berada pada akuifer tertekan, nilai besaran isotop stabil pada sumur pantau akan memberikan petunjuk lokasi airtanah berasal. Disamping itu dilakukan pula pengukuran dan pengambilan conto untuk isotop stabil pada sumur dangkal (akuifer tidak tertekan),

karena nilai besaran isotop pada sumur dangkal akan memberikan petunjuk lokasi airtanah yang berasal dari daerah setempat dan berfungsi sebagai pembanding serta mengkorelasikan kedua nilai isotop stabil dari sumur pantau maupun dari sumur dangkal.

Pengukuran dan pengambilan conto dilakukan terhadap airtanah tidak tertekan (bebas) dan airtanah tertekan yang tersebar di wilayah Kota Semarang dan sekitarnya. Conto airtanah diambil dan dikelompokkan berdasarkan pengambilan letak conto air yang diambil. Kelompok akuifer 1 pada airtanah tidak tertekan dengan kedalaman 0 m hingga -20 m di bawah permukaan tanah (dpt), kelompok akuifer 2 yang lebih dalam pada kedalaman - 20 m hingga -130 m (dpt). Conto air yang dikumpulkan berjumlah 9, terdiri dari 2 conto airtanah dangkal dari sumur gali, dan 7 conto airtanah dalam diambil dari sumur pantau (Gambar 3). Alat yang digunakan untuk pengambilan conto air adalah *water sampler vertical* yang terbuat dari fiber glass, dengan volume 600 ml.



Gambar 3. Lokasi pengambilan conto airtanah untuk isotop stabil.

Untuk keperluan analisis isotop stabil  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  contoh air disimpan dalam 100 ml botol *polyethylene* yang tertutup rapat untuk mencegah penguapan. Data oksigen 18 dan *deuterium* didapat dari keseimbangan  $\text{CO}_2$  pada suhu  $25^\circ\text{C}$  konstan dan reduksi seng pada  $420^\circ\text{C}$ , sebelum diukur oleh spektrometri massa pada *Finnigan Mat 251 delta S apparatus*. Hasil diekspresikan dalam deviasi ‰ dari *Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW)* dan akan ditulis sebagai  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta\text{D}$  atau  $^2\text{H}$ . Akurasi dari pengukuran adalah sekitar  $\pm 0.1\text{‰}$  dan  $\pm 1\text{‰}$  baik untuk  $\delta^{18}\text{O}$  maupun  $^2\text{H}$  (Clark, et al., 1997), masing-masing :

$$\text{Isotop } ^2\text{H} (\text{‰}) = \left[ \left( \frac{(^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{contoh}}}{(^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{standar}}} - 1 \right) \times 1000 \right] \quad (1)$$

$$\text{Isotop } ^{18}\text{O} (\text{‰}) = \left[ \left( \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{contoh}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standar}}} - 1 \right) \times 1000 \right] \quad (2)$$

Hasil analisis isotop stabil untuk  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$ , dinyatakan dalam perbedaan relatif yang berupa ratio kandungan pada sampel terhadap *Standard Mean Ocean Water (SMOW)* dalam satuan per mil (‰). Hubungan antara besaran atau konsentrasi isotop stabil  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta\text{D}$  atau  $^2\text{H}$  dengan ketinggian/elevasi suatu daerah menurut Clark, et

al., 1997 bahwa semakin tinggi elevasi lokasi air hujan turun, maka konsentrasi isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta\text{D}$  atau  $^2\text{H}$  akan semakin berkurang (*depleted*).

Untuk keperluan analisis kimia, contoh air dimasukkan ke dalam botol *polyetilen* 500 ml, dan disimpan di dalam *ice box* berisi es. Analisis kimia unsur/senyawa utama yaitu ion natrium ( $\text{Na}^+$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ), kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), klorida ( $\text{Cl}^-$ ), dan bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dilakukan di Laboratorium hidrokimia. Metode yang digunakan adalah *spektrofotometri* serapan atom (AAS) untuk natrium, kalium, kalsium, dan magnesium, sedangkan untuk sulfat dilakukan analisis dengan metode *turbidimetri*, klorida secara titrimetri *argentometri*, dan bikarbonat dengan metode *titrimetri* asam basa.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

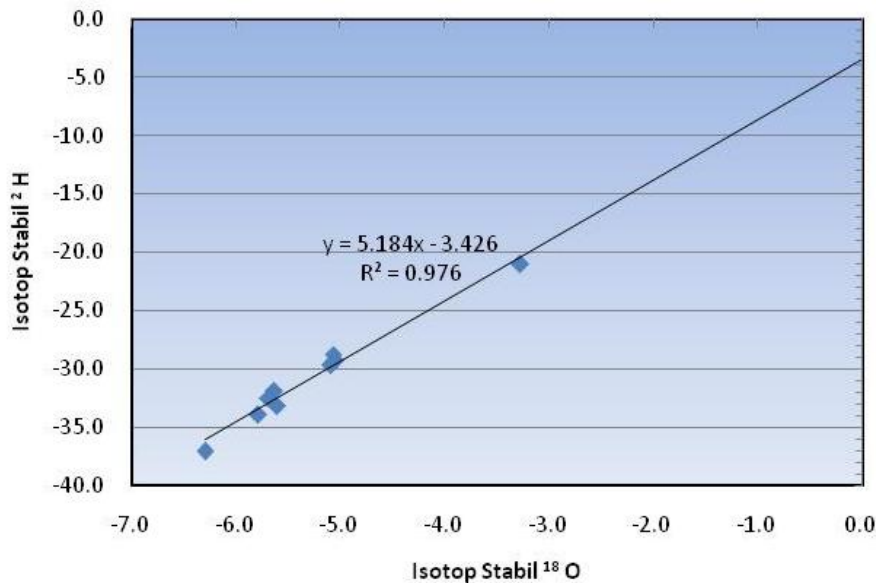
Pengamatan dan pengukuran airtanah dilakukan pada akuifer tertekan (7 sumur pantau) dan sebagai pembandingan dilakukan pengukuran airtanah pada akuifer tidak tertekan (2 sumur gali), hasilnya disajikan dalam Tabel 1. Selain sifat fisik airtanah tercantum pula tipe airtanah dari masing-masing lokasi pengambilan contoh. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa, Daya Hantar Listrik (DHL) tinggi terdapat di dua lokasi yaitu SMR-3 Tanjung Mas ( $10800 \mu\text{s}/\text{cm}$ ) pada kedalaman 120 m dpt dan

Tabel 1. Data fisik sumur, sifat fisik airtanah dan tipe airtanah.

No	No conto dan lokasi	Jenis sumur	Kedalaman sumur (m)	Kedalaman conto air (m)	DHL ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Tipe Air
1	SMR-1 Citra Land Simpang Lima	SP	150	35	513	$\text{NaHCO}_4$
2	SMR-3 Tanjung Mas	SP	120	60	10800	$\text{NaCl}$
3	SMR-4 Kimia Farma	SP	152	55	602	$\text{NaHCO}_4$
4	SMR-8 LIK Kali Gawe	SP	125	70	22100	$\text{NaCl}$
5	SMR-16 Sampokong	SP	125	30	1000	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
6	SMR-23 Kepundan Utara	SG	4	2	1050	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
7	SMR-24 Karang Wulan	SG	5	0,7	852	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
8	SMR-26 PT. Mega Rubber	SP	90	70	236	$\text{NaHCO}_4$
9	SMR-27 Pedurungan	SP	110	90	847	$\text{NaHCO}_4$

\*) SP = Sumur pantau ; SG = Sumur Gali \*\*) Sumber : Sudaryanto, 2010.





Gambar 4. Hubungan linier antara isotop <sup>18</sup>O dengan <sup>2</sup>H.

SMR-8 LIK Kali Gawe (22100  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) pada kedalaman 125 m dpt. Tipe airtanah di kedua lokasi adalah NaCl, sehingga Natrium yang dikandungnya berfungsi sebagai penghantar listrik yang baik. Dua lokasi ini termasuk ke dalam kelompok akuifer endapan delta Garang dengan ciri airnya tawar (Sihwanto dan Iskandar, 2000). Airtanah di SMR-3 Tanjung Mas yang terletak di pantai utara Semarang (pelabuhan) bertipe NaCl kemungkinan perubahan tipe air dipengaruhi oleh air laut yang menyusup ke badan airtanah yang berada di akuifer tertekan seperti yang terjadi di cekungan Jakarta sedangkan untuk yang di LIK Kali Gawe disebabkan oleh pelarutan garam dari *paleo salt* yang ada pada lapisan akuifer (Suherman dan Sudaryanto, 2009).

Pelarutan disebabkan karena pengambilan airtanah yang berlebihan, sehingga menyebabkan terlarutnya garam di dalam akuifer bersama air yang meresap masuk ke akuifer di bawahnya.

Dari tipe air Tabel 1, menunjukkan ada empat (4) sumur pantau yang airtanahnya bertipe  $\text{NaHCO}_4$  yaitu SMR-1 Citra land, SMR-4 Kimia Farma, SMR 26 PT. Mega Rubber dan SMR-27 Pedurungan, sedangkan dua sumur gali dan satu sumur pantau bertipe  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Daya Hantar Listriknya berkisar antara 236 – 1050  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Dari tujuh sumur pantau, 6 sumur pantau SMR-1 Citra land, SMR-3 Tanjung Mas, SMR-4 Kimia Farma, SMR-8 Lik Kali Gawe, SMR-16 Sampokong dan SMR-27 Pedurungan terletak pada akuifer endapan Kuarter yang merupakan endapan delta Garang, sedangkan satu sumur pantau SMR 26 PT. Mega

Rubber terletak pada akuifer Breksi vulkanik dengan posisi dibagian selatan Semarang dan berada pada akuifer Formasi Damar (Gambar 2).

Dari data analisis isotop stabil dilakukan uji hubungan antara kandungan isotop <sup>18</sup>O dengan <sup>2</sup>H, hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa kuat keeratan hubungan antar kedua variabel (Sugiyono, 2006) tersebut. Hasil korelasi (Gambar 4) menunjukkan koefisien determinasi ( $r^2$ ) = 0,9762, koefisien korelasi ( $r$ ) = 0,988, ini memberikan hasil bahwa dari 9 conto hasil analisis isotop mempunyai hubungan yang signifikan antara kandungan isotop <sup>18</sup>O dengan <sup>2</sup>H.

Pengelompokan (Gambar 5) berdasarkan hubungan besaran kandungan isotop <sup>18</sup>O dengan <sup>2</sup>H dalam airtanah, dapat di jelaskan bahwa dari 7 titik pengamatan airtanah tertekan dan dua (2) titik pengamatan airtanah tidak tertekan. Besaran isotop <sup>18</sup>O airtanah tidak tertekan (sumur gali) SMR 23 Kepundan -5,8 ‰ dan SMR 24 Karang Wulan -5,7 ‰. Untuk 7 titik airtanah tertekan (sumur dalam), di 5 titik pengamatan SMR-1, SMR-3, SMR-4, SMR-16, SMR-27 mempunyai kandungan isotop <sup>18</sup>O berkisar antara -5,1 - -5,6 ‰ yang berada di ketinggian antara 0,5 m sampai 30 m dpl, satu titik di SMR-26 PT Mega Rubber kandungan isotop - 6,3 ‰ lokasinya berada di ketinggian 433 m dpl, dan satu titik SMR-8 LIK Kali Gawe kandungan isotop <sup>18</sup>O -3,3 ‰ yang berada pada ketinggian 1,2 m (dpl).

Secara global hubungan isotop stabil <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H untuk air yang berasal dari curah hujan dapat di

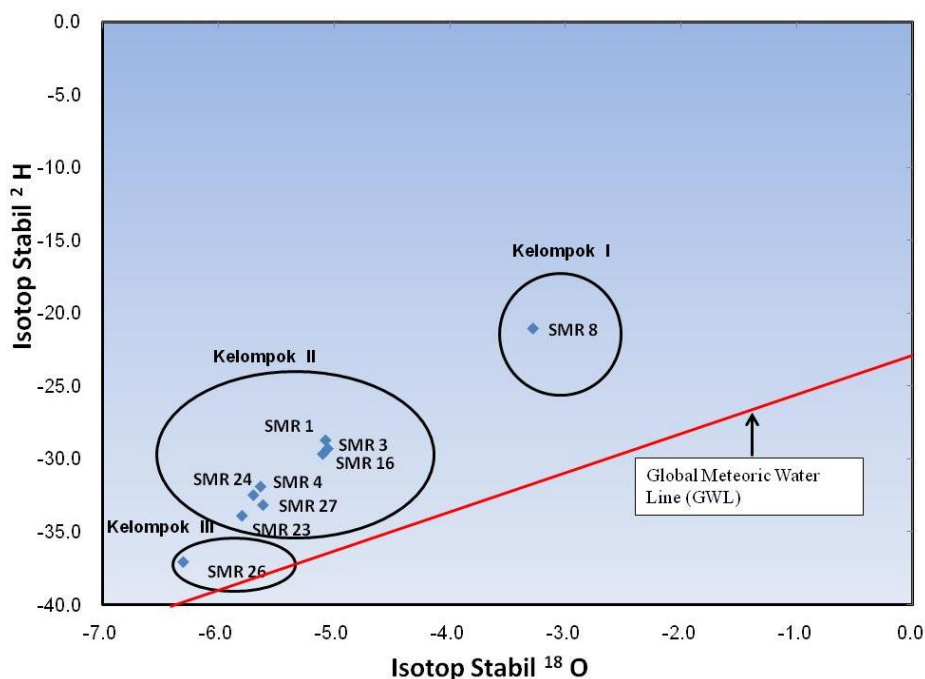
jelaskan seperti ditampilkan pada Gambar 4 dan 5 yang menggambarkan hubungan antara isotop  $^{18}\text{O}$  dengan  $^2\text{H}$ . Hubungan antara asal air atau daerah resapan mengacu dari model Assegaf dan Juanda, 1998 dan Clark dan Fritz., 1997 bahwa ada hubungan antara besaran kandungan  $^{18}\text{O}$  dengan efek ketinggian lokasi (m) air hujan yang meresap ke dalam tanah. Clark dan Fritz, 1997, menjelaskan pula bahwa ada hubungan besaran kandungan isotop karena efek kontinen (*continental*) dimana pada dataran pantai kisaran nilai isotop berkisar antara -3 - -5,5 ‰. Hasil pengukuran isotop air hujan di Pasar Jumat Jakarta di ketinggian 25 dpl menunjukkan kandungan yang bervariasi, namun yang sering terjadi pada kisaran  $\pm$  - 5 ‰ (Salfani, dkk, 1994).

Berdasarkan grafik antara isotop  $^{18}\text{O}$  dengan  $^2\text{H}$  pada Gambar 5, menunjukkan bahwa secara umum conto airtanah D ( $^2\text{H}$ ) = 5.184 $^{18}\text{O}$  - 3.426 berada sejajar diatas garis Global Meteoric Water Line yang memiliki persamaan D ( $^2\text{H}$ ) = 8.13 $^{18}\text{O}$  +10.8 (Clark dan Fritz., 1997) hal ini menjelaskan adanya variasi pengaruh ketinggian terhadap posisi contoh airtanah dimana diambil. Pengelompokan berdasarkan besaran kandungan isotop stabil Gambar 5 dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Kelompok I nilai  $^{18}\text{O}$  -3,3‰, kelompok ini terdapat di sumur pantau SMR-8 LIK Kali Gawe. Airtanah di lokasi ini mempunyai nilai oksigen yang lebih berat dari conto yang lain

dan memberikan indikasi pengaruh air garam sangat dominan, dicirikan oleh berat oksigen yang < - 4 ‰. Indikasi pengaruh air garam terlihat dari tipe airtanah, tipe air di sumur ini adalah NaCl, secara hidrogeologi sumur ini mempunyai kedalaman 125 m dpt telah menembus kedalam unit batuan dasar yang terdiri dari batuan lempung laut (Murdohardono. dkk., 2007). Asal airtanah nampaknya berasal dari sekitarnya yang meresap masuk hingga lapisan akuifer dan melarutkan garam purba yang terdapat pada lapisan akuifer airtanah.

- Kelompok II nilai  $^{18}\text{O}$  -5,8‰ yang berasal dari sumur gali SMR-23 Kepundan Utara, -5,7‰ SMR-24 Karang Wulan, dan yang berasal dari sumur pantau nilai  $^{18}\text{O}$  -5,1 ‰ SMR-1 Citra Land Simpang Lima, -5,1‰ SMR-3 Tanjung Mas, -5,6‰ SMR-4 Kimia Farma, 5,1‰ SMR-16 Sampokong, -5,6‰ SMR-27 Pedurungan. Melihat nilai  $^{18}\text{O}$  dari sumur gali dan nilai  $^{18}\text{O}$  dari sumur pantau mempunyai besaran yang mendekati sama, hal ini memberikan penjelasan bahwa imbuhan airtanah berasal dari daerah setempat. Lokasi asal daerah resapan tersebut sesuai dengan hasil penelitian Geyh dan Sofner (1989), bahwa dengan pelacak  $^{14}\text{C}$  dan  $^{18}\text{O}$  di dataran rendah Jakarta menyimpulkan bahwa resapan airtanah berasal dari daerah setempat.



Gambar 5. Pengelompokan berdasarkan besaran kandungan isotop stabil.

Untuk mendukung kejelasan diatas perlu melihat tipe air, bahwa semua sumur pantau bertipe  $\text{NaHCO}_4$  kecuali sumur pantau SMR-16 Sampokong bertipe  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  dan kedua sumur gali bertipe  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Untuk tipe airtanah  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , tipe ini telah mengalami perubahan tukar kation antara air tawar yang meresap dan air garam yang terjebak saat pembentukan daratan (Suherman dan Sudaryanto, 2009)

- Kelompok III nilai  $^{18}\text{O}$  -6,3, kelompok ini terdapat di sumur pantau SMR-26 PT. Mega Rubber, yang mempunyai kedalaman sumur 90 m dpt. Kelompok ini airtanah berasal dari wilayah ketinggian di atas 400 m dpt.

Didukung oleh letak sistem akuifer bahwa Cekungan airtanah Semarang terdiri atas akuifer endapan Kuarter, akuifer Formasi Damar dan akuifer Breksi Vulkanik. Endapan aluvium (endapan Kuarter) dengan Formasi Damar (akuifer Formasi Damar) di pisahkan oleh sesar (Gambar 2). Sesar yang memisahkan antara sistem akuifer Formasi Damar dengan sistem akuifer Kuarter nampaknya berfungsi sebagai penghalang masuknya airtanah dari bagian selatan ke akuifer Kuarter di dataran Semarang. Dengan demikian airtanah pada sistem akuifer kuarter airtanahnya hanya di suplai dari lokasi di dataran rendah Semarang saja, bukan dari bagian selatan Semarang.

## KESIMPULAN

- Hasil pengukuran isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  pada 2 conto airtanah tidak tertekan dan 7 buah conto airtanah tertekan, terdiri atas 3 kelompok. Kelompok I ini mempunyai nilai oksigen yang lebih berat dari yang lain dan memberikan indikasi pengaruh air garam sangat dominan dicirikan oleh berat oksigen yang  $< - 4 \text{ ‰}$ . Pada kelompok ini imbuhan airtanah berasal dari daerah sekitarnya, dan terdapat di sekitar SMR-8 LIK Kali Gawe. Kelompok II nilai  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dari airtanah tidak tertekan dan airtanah tertekan mempunyai besaran mendekati sama, ini memberikan gambaran bahwa resapan berada di sekitarnya atau berasal dari daerah setempat. Kelompok ini mempunyai nilai  $^{18}\text{O}$  dengan kisaran nilai  $- 5,1 \text{ ‰}$  -  $- 5,8 \text{ ‰}$  terletak di dataran Semarang terekam dari sumur gali SMR-23 Kepundan Utara, SMR-24 Karang Wulan, dan yang

berasal dari sumur pantau SMR-1 Citra Land Simpang Lima, SMR-3 Tanjung Mas, SMR-4 Kimia Farma, SMR-16 Sampokong, SMR-27 Pedurungan. Kelompok III nilai  $^{18}\text{O}$  adalah  $- 6,3 \text{ ‰}$ , kelompok ini terdapat di sumur pantau SMR-26 Mega Rubber, kelompok ini berasal dari wilayah ketinggian di atas 400 m dpt.

- Sesar yang memisahkan antara sistem akuifer Formasi Damar dengan sistem akuifer Kuarter di bagian selatan dapat berfungsi sebagai penghalang masuknya airtanah dari bagian selatan ke akuifer Kuarter di dataran rendah Semarang. Sehingga cekungan airtanah pada sistem akuifer Kuarter airtanahnya hanya di suplai dari lokasi di dataran rendah Semarang saja, bukan dari ketinggian di selatan Semarang.

## Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh Redaksi Majalah Riset Geologi dan Pertambangan serta rekan-rekan yang telah banyak membantu sehingga tulisan ini dapat diselesaikan. Terima kasih disampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Robert M. Delinom dan Drs. Dadan Suherman atas bantuan dan diskusinya dalam penyusunan tulisan ini. Terima kasih diucapkan pula kepada universitas Kumamoto Jepang yang telah membantu analisis isotop stabil airtanah Semarang. Penelitian ini dilaksanakan dengan dana dari Program Tematik (DIPA) Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI.

## DAFTAR PUSTAKA

- Assegaf, A. dan Juanda, D., 1998. *Identifikasi Kawasan G. Salak-G.Gede-G.Pangrango sebagai zone resapan dan luahaan daerah Ciawi-Bogor Kabupaten Bogor, Jawa Barat*. Prosiding PIT IAGI, XXVII, Yogyakarta .
- Andrew, J.N., Balderer, W., Bath, A., Clausen, H.B. Evans, Florkowski, T., 1984. Environmental Isotope Studies in Two Aquifer System. In: Isotope Hydrology 1983, IAEA Symposium, 270, September.
- Bahri, M., 2009. Perlunya Pengawasan Pengambilan Air Bawah Tanah (ABT). [http:// Semarang.go.id/cms-semarang.go.id](http://Semarang.go.id/cms-semarang.go.id).
- Clark, I.D., Fritz, P., 1997. Environmental Isotope in Hydrogeology. Lewis Publisher, Boca Raton, New York.



- Dansgaard, W., 1964. Stable Isotopes in Precipitation, *Tellus* 16.
- Geyh, M.A., and Sofner. B., 1989. Groundwater analysis of Environmental Carbon And Other Isotopes from the Jakarta Basin Aquifer, Indonesia. *Radiocarbon*, Vol 31.
- Suherman, Dadan dan Sudaryanto., 2009. Tipe air untuk Penentuan Aliran airtanah Vertikal di Cekungan Jakarta. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* Jilid 19 No.2.
- Freeze, R.A., Cherry, J.A., 1979. Groundwater. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ 07632. German Water Engineering, Factual Report : Hydrogeology. Vol ¼ : Part III/III, Drilling log, Bandung.
- Sudaryanto, Robert M. Delinom, Dadan S. dan R.F. Lubis., 2010. Tipe Air dan Indikasi Perubahan Kualitas Airtanah di Kota Semarang dan Sekitarnya : Hasil Penelitian Awal. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi-LIPI.
- Salfani, Simon Manurung dan Djijono., 1994. Studi Metoda Sampling Air Hujan Untuk Analisis <sup>18</sup>O dan Deuterium, Aplikasi Isotop dan Radiasi. BATAN.
- Sihwanto dan Iskandar Nanan., 2000. Konservasi Airtanah Daerah Semarang dan Sekitarnya. Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Dirjen Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi. Bandung.
- Sugiyono., 2006. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R & D. Penerbit Alfabeta Bandung.
- Matthess, G and Harvey, J.C., 1982. Properties of Groundwater, John Wiley & Sons, New York Chichester Brisbane Toronto Singapore.
- Mazor, E., 1997. Chemical and Isotopic Groundwater in Hydrology, The Applied approach. Marcel Dekker Inc.
- Murdohardono D., Tobing Tigor MHL dan Sayekti A., 2007. Over Pumping of Groundwater as the Cause of sea Water Inundation in Semarang City. Prosiding dari Seminar Internasional “Groundwater Management and Related Water Resources in East and Southeast Asia Region”, Desember. Denpasar, Bali.