

PAIR/P.262/1988

STUDI PENDAHULUAN AIR TANAH SEMARANG
MENGUNAKAN ISOTOP ALAM

Indrojono, Zaenal Abidin, dan
Wandowo

K.P. 606

STUDI PENDAHULUAN AIR TANAH SEMARANG MENGGUNAKAN ISOTOP ALAM

Indrojono*, Zaenal Abidin*, dan Wandowo*

ABSTRAK

STUDI PENDAHULUAN AIR TANAH SEMARANG MENGGUNAKAN ISOTOP ALAM. Keperluan air di Semarang umumnya dipenuhi oleh sumur bor yang diusahakan oleh pemerintah setempat. Sumur bor tersebut sebagian besar berlokasi di zone delta garang dan masih terus berkembang ke daerah up stream formasi damar dan breksi vulkanik. Isotop alam (D , ^{18}O dan 3H) dan hidrokimia digunakan untuk mengetahui tentang asal-usul air tanah dan kemungkinan adanya penyusupan air laut. Hasil analisis isotop alam dan hidrokimia memberikan gambaran bahwa air tanah di delta garang berasal dari akifer formasi damar dan tidak memperlihatkan adanya hubungan yang jelas terhadap akifer breksi vulkanik. Intrusi air laut nampak terlihat pada akifer delta garang pada jarak 1-2 km dari pantai dengan kedalaman sumur bor 100 m.

ABSTRACT

PRELIMINARY STUDY OF SEMARANG GROUND WATER USING ENVIRONMENTAL ISOTOPES. Generally, water need of Semarang area is fulfilled with deep wells which is carried on by local government. Majority of deep wells mentioned are located in the zone of Garang delta aquifer and spread to the Damar formation and volcanic breccia in the up level. In this investigation natural isotopes (D , ^{18}O , 3H) and hydrochemistry is used to know the origin and the recharge area of ground water and also the possibility presence of the sea water intrusion. The analysis result of natural isotopes and hydrochemistry describe source of Garang delta aquifer coming from Damar formation aquifer and it does not show obviously presence of relation of the volcanic breccia aquifer. Sea water intrusion can be seen in the Garang delta aquifer having 1 to 2 Km long from coastal to the land with 100 M depth.

PENDAHULUAN

Semarang merupakan propinsi Jawa Tengah yang terletak di tepi pantai dan kini sedang mengalami pertumbuhan sangat pesat. Air merupakan kebutuhan utama untuk industri dan penduduk sehari-hari, untuk hal tersebut telah dibuat lebih dari 150 sumur bor pada berbagai kedalaman dengan debit rata-rata masing-masing 22,2 l/menit. Sebagian besar sumur bor berlokasi di daerah delta garang dan masih terus berkembang ke daerah yang lebih tinggi, yaitu formasi damar dan breksi vulkanik.

Untuk menjaga keseimbangan, agar air tanah dapat lestari, perlu dipelajari tentang asal-usul air tanah, da-

erah imbuhan air tanah (recharge) atau adanya kemungkinan penurunan kualitas air karena intrusi air laut dan lain-lain. Penelitian dilakukan dengan cara mengambil sampel air tanah, air sungai, air laut, dan mata air secara periodik. Penentuan titik sampel dilakukan dengan pendekatan hidrogeologi. Isotop alam yang dianalisis terdiri atas isotop stabil ^{18}O , D , ^{13}C , dan radioisotop 3H , ^{14}C , untuk menopang interpretasi data isotop alam dilakukan pula analisis hidrokimia (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ dan Na^+).

Penelitian bertujuan untuk mengetahui tentang asal-usul air tanah, da-

*Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

erah imbu, dan sejauh mana telah berlangsung intrusi air laut(3).

GEOHIDROLOGI DAERAH SEMARANG

Berdasarkan kondisi geohidrologi, air tanah tertekan di daerah Semarang dan sekitarnya dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok, yaitu air tanah tertekan pada endapan aluvium, formasi damar dan breksi vulkanik (1).

Air Tanah Pada Endapan Aluvium.

Endapan aluvium tersusun oleh lapisan lempung, lempung pasiran dengan sisipan kerikil, pasir dan pasir lempung. Di bagian atas lapisan ini, yaitu pada kedalaman kurang dari 15 m, air tanah berada pada kondisi tak tertekan. Di bagian bawah lapisan ini terdapat endapan delta tua yang dikenal sebagai delta kali garang. Endapan delta ini merupakan akifer tertekan yang banyak dimanfaatkan di Semarang. Analisis cor geologi memberi gambaran bahwa delta kali garang menunjukkan kemiringan ke arah utara dengan kedalaman berkisar 25 - 90-m. Litologinya sebagian besar tersusun dari lapisan pasir yang berbutir sedang hingga kasar dan kerikil. Dari berbagai data dapat diketahui ketebalan akifer tertekan ini berkisar 2 - 15 m.

Air Tanah Tertekan pada Daerah Formasi Damar. Dalam dasawarsa terakhir ini formasi damar merupakan sumber air tanah yang banyak dimanfaatkan juga, akan tetapi di beberapa tempat dekat

dengan pantai banyak mengalami pencemaran air laut (intrusi air laut) sehingga mutunya kurang memenuhi syarat sebagai air minum. Formasi ini terletak di bawah endapan aluvium, litologinya meliputi batu pasir tufaan, konglomerat, breksi vulkanik, dan tufa. Kedalaman akifer tertekan pada formasi ini bervariasi dari 25-120 m di bawah muka air tanah setempat.

Air Tanah Tertekan pada Breksi Vulkanik. Satuan lapisan geologi ini terdiri atas breksi vulkanik, aliran lava, tufa, batu pasir dan batu lempung. Akifer tertekan terdapat pada kedalaman kurang lebih 50 m di bawah muka air tanah setempat. Mutu air tanah di daerah ini sangat memenuhi syarat sebagai air minum.

METODE PENELITIAN

Air tanah diambil secara periodik pada sumur-sumur bor yang tersebar secara random di daerah penelitian. Penentuan sampling air tanah tersebut dipertimbangkan berdasarkan zone akifer, letaknya pada formasi geologi (aluvium delta garang, damar, dan breksi vulkanik), ketinggian dari air laut dan jauhnya dari pantai. Sampling air sungai garang dilakukan mulai dari upstream (hulu) pada zone breksi vulkanik sampai down stream (muara) dengan jarak tiap titik sampling 1-2 km. Demikian pula sampling air laut diambil pada daerah 0-2 km dari pantai. Untuk

analisis tritium dan hidrokimia, sampel sebanyak 2 liter dimasukkan ke dalam jerigen plastik, sedangkan sampel untuk analisis ^{18}O dan D sampel dimasukkan ke dalam vial khusus sebanyak 20 ml. Vial itu kemudian disegel dengan lilin agar tidak terjadi kontak dengan udara luar. Cara pengisiannya ke dalam vial dijaga agar tidak terdapat gelembung udara (2).

- Analisis ^{18}O dan D dilakukan dengan spektrometer massa model Sira 9 VG ISOGAS.
- Analisis tritium dilakukan dengan pengkayaan dan dicacah dengan LSC pocard, 300 Cd.
- Analisis hidrokimia terdiri atas analisis kation (Mg^{2+} , Cu^{2+} , K^+ , dan Na^+) dan anion (Cl^- , CO_3 dan SO_4) menggunakan AAS dan spektrometer UV-VS.

Metode Analisis ^{18}O dan D. Hasil analisis radioisotop D/H dan oksigen-18/oksigen-16 dinyatakan dalam perbedaan relatif ratio (5) yang dibandingkan terhadap standar internasional SMOW dalam satuan per mil (3, 4).

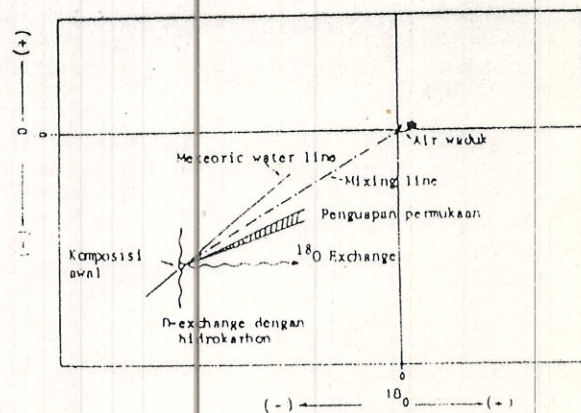
$$\delta = \left(\frac{R_{\text{sampel}}}{R_{\text{SMOW}}} - 1 \right) \times 1000 \text{ ‰}$$

δ = permil ratio D/H dan $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ sampel terhadap SMOW.

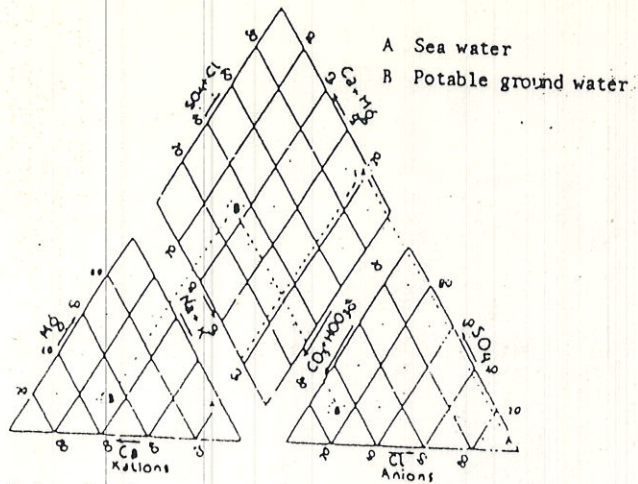
R_{sampel} = ratio D/H dan $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ sampel diukur pada spektrometer massa.

R_{SMOW} = ratio D/H dan $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ SMOW diukur pada spektrometer massa.

Di dalam air, kandungan D dan ^{18}O mempunyai hubungan linear. Untuk air hujan (meteoric water) hubungan linear tersebut memenuhi persamaan $D = 8\text{O} + 10$. Untuk air tanah, tentu saja berasal dari air hujan, letaknya dalam grafik adalah sepanjang garis meteorik. Kecuali terhadap air tanah yang mengalami perubahan karena mengalami pencampuran dengan air laut atau dengan air reservoir (air genangan), proses penguapan seperti air laut atau air reservoir atau air yang melalui magma (geothermal), maka letaknya pada grafik hubungan D terhadap ^{18}O akan menyimpang dari garis meteorik (lihat gambar). Dengan demikian melalui grafik (Gb.-a) data dianalisis sehingga dapat diinterpretasikan sesuai dengan kejadian yang ada pada air tanah.



Gambar 1. Grafik hubungan antara ^{18}O dan D (4).



Gambar 2. Diagram piper Trilinier dan diagram Stiff (5).

Analisis Hidrokimia. Analisis hidrokimia dilakukan untuk membantu mengungkapkan asal-usul air atau adanya intrusi air laut atau kontaminasi lainnya dalam air tersebut. Umumnya unsur-unsur yang dianalisis berupa kation-anion yang larut sebagai garam mineral. Garam mineral tersebut diukur dalam bentuk ion Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , dan Cl^- . Kandungan hidrokimia pada tiap lapisan akifer mempunyai ciri khusus, tergantung pada batuan yang dilaluinya. Hal ini disebabkan air hujan yang masuk ke dalam tanah akan mengalami perkolasi dan mengalami interaksi dengan batuan tersebut, kemudian melalui mekanisme kesetimbangan terjadi peristiwa pelarutan dan pertukaran ion.

Hasil analisis kandungan ion mineral dinyatakan dalam satuan ppm atau dapat juga dinyatakan dalam bentuk epm. Untuk interpretasi data dalam hidrologi hasil tersebut diubah dalam bentuk diagram piper trilinier dan di-

agram stiff (Gb. b) (5). Diagram tersebut memperlihatkan pola atau bentuk khas dari masing-masing sumber, suatu bentuk kesetimbangan kation-anionnya.

Analisis Tritium. Tritium adalah radioisotop alam yang terbentuk oleh interaksi antara neutron kosmik dan unsur nitrogen di atmosfer. Isotop ini masuk dalam siklus hidrologi dalam bentuk HTO (tritiated water) bersama air hujan. Tritium adalah radioisotop pemancar β (umur paroh 12,43 tahun). Konsentrasi tritium dalam air umumnya rendah sekali sehingga untuk memudahkan pengukuran dilakukan pemekatan terlebih dulu, yaitu dengan metode elektrolisis (tritium electrolytic enrichment). Untuk mengetahui kandungan tritiumnya, hasil pemekatan tadi dicacah dengan pencacah sintilasi cair (liquid scintillation counter) dan hasilnya dinyatakan dalam TU = Tritium Unit. Fluks neutron kosmik dan nitrogen di atmosfer mempunyai nilai yang konstan sehingga dengan mengetahui kandungan tritium dalam sampel air akan dapat diketahui umur dari air tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$A_t = A_0 e^{-0.693 t/T_{1/2}}$$

dimana : A_t = konsentrasi tritium dalam sampel air.

A_0 = konsentrasi tritium mula-mula (misalnya air hujan).

$T_{1/2}$ = umur paruh tritium

t = umur dari sampel air.

Dalam penelitian hidrologi tritium digunakan untuk menentukan umur air tanah maksimum 35 tahun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deuterium dan Oksigen-18. Hasil analisis deuterium (D) dan oksigen-18 (^{18}O) yang diperoleh dari 37 sampel terdiri atas 26 sampel air tanah, 9 sampel air sungai garang dan 2 sampel air laut dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai ^{18}O dan D air tanah pada formasi geologi aluvium (delta garang), formasi damar dan formasi breksi vulkanik masing-masing :

$(-6,14 \pm 0,21) \text{ } ^\circ\text{/}\text{oo}$; $(-35,84 \pm 3,45) \text{ } ^\circ\text{/}\text{oo}$; $(-6,35 \pm 0,21) \text{ } ^\circ\text{/}\text{oo}$; $(-38,54 \pm 1,76) \text{ } ^\circ\text{/}\text{oo}$; $(-6,78 \pm 0,06) \text{ } ^\circ\text{/}\text{oo}$; dan $(-43,0 \pm 0,3) \text{ } ^\circ\text{/}\text{oo}$.

Secara statistik ada perbedaan yang nyata antara kandungan ^{18}O air tanah aluvium dan breksi vulkanik, tetapi antara air tanah aluvium dan damar tidak terlihat perbedaan yang nyata, terutama pada air tanah aluvium pada kedalaman 60-100 m.

Pada grafik 1 hubungan antara D dan ^{18}O memperlihatkan garis linear air tanah dengan persamaan garisnya: $D = 6,69 \text{ } ^{18}O + 3,9$ dengan $r = 0,89$ dan garis air sungai dengan persamaan garis $D = 5,7 \text{ } ^{18}O - 1,52$ dengan $r = 0,97$. Bila dibandingkan dengan air meteorik, maka nilai slope air tanah dan air sungai menunjukkan nilai lebih kecil dari 8.

Dal ini menggambarkan adanya proses perubahan air tanah yang mungkin disebabkan oleh evaporasi atau percampuran dengan air laut. Pada sungai terlihat jelas perbedaan nilai ^{18}O dan D antara daerah hulu (Up Stream) dan daerah hilir (Down Stream). Pada daerah down stream terlihat jelas adanya pengaruh air laut memperkaya nilai ^{18}O dan D (6).

Hidrokimia. Hasil analisis hidrokimia dapat dilihat pada Tabel 1. Interpretasi analisis dibuat dalam bentuk grafik piper trilinear dan diagram stiff. Pada grafik dapat terlihat bahwa air tanah damar memperlihatkan sifat karbonat sekunder (HCO_3 , Ca, Mg), sedangkan aluvium memperlihatkan sifat karbonat primer (Na, K, HCO_3). Adanya intrusi air laut terlihat jelas dengan naiknya kandungan klor baik pada air tanah tepi pantai seperti sumur bor no. 24, 40, 34.

Grafik 2 hubungan antara klor dan ^{18}O memperlihatkan adanya hubungan antara kenaikan klorida akibat intrusi dengan pengkayaan ^{18}O . Dari diagram Stiff (grafik 3) memperlihatkan pola-pola air tanah dari masing-masing akifer. Ketiga akifer menunjukkan pola yang berbeda.

Tritium. Nilai kandungan tritium air tanah breksi vulkanik 2,5 TU, formasi damar 3-4 TU dan di alluvium ± 1 TU. Nilai kandungan tritium (TU) air tanah formasi damar ternyata lebih be-

sar daripada nilai TU di formasi aluvium. Hal ini menunjukkan bahwa umur air tanah di formasi damar lebih muda dari air tanah formasi aluvium. Data ini dapat menopang tentang asal-usul air tanah di daerah delta garang (alluvium).

KESIMPULAN

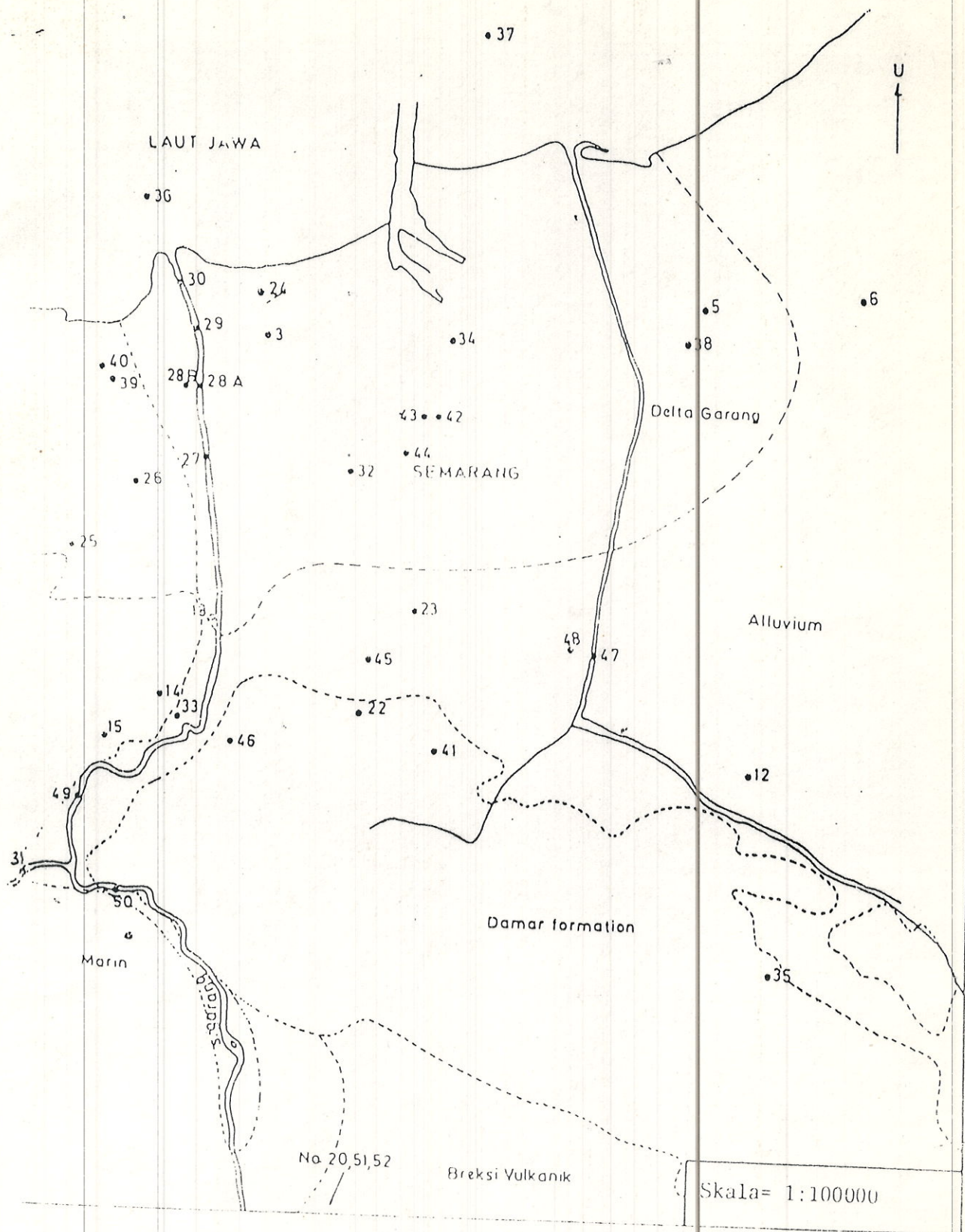
1. Data isotop stabil ^{18}O dan D menunjukkan adanya perbedaan daerah masukan air tanah (recharge area) antara air tanah aluvium dangkal, aluvium dalam, formasi damar, dan breksi vulkanik.
2. Data oksigen-18 memperlihatkan bahwa kemungkinan besar air tanah akifer alluvium dan delta Garang pada kedalaman di bawah 60 m berasal dari akifer formasi damar. Data ini juga ditopang oleh data kandungan tritiumnya TU.
3. Adanya pengaruh intrusi air laut terhadap air tanah di delta Garang pada kedalaman 100 m yang letaknya kira-kira 1-2 km dari pantai dapat ditunjukkan dengan jelas oleh data oksigen-18 dan kandungan klorida. Pengaruh intrusi ini terutama terlihat pada sumur bor 24, 34, dan 40.

DAFTAR PUSTAKA

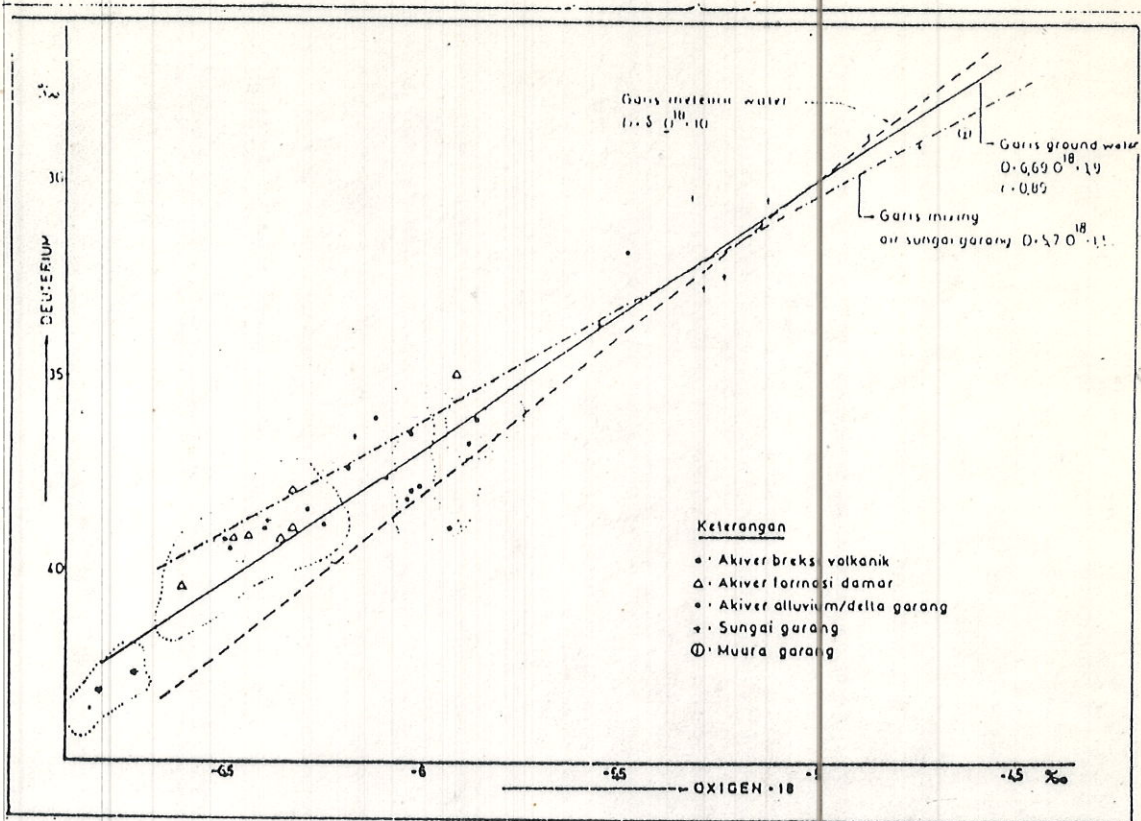
1. THANDEN, R.E., SUMADIRJA, G., and RICHARDS, P.W., Geologic Map Semarang Quadrangles, Java, Scale 1:100.00 (1985).
2. WANDOWO, Groundwater Studies in Jakarta and Vicinity, Centre for the application Isotopes and Radiation, National Atomic Energy Agency, Jakarta (1985).
3. DANSGAARD, W., Stable isotopes in precipitation, Tellus XVI (1964) 4.
4. IAEA, Stable Isotope Hydrology (Technical Reports Series No. 210), IAEA, Vienna, 1981.
5. DAVIS, S.N., and DeWIEST, R.J.M., Hydrogeology, John Wiley & sons, Inc., New York, London, Sydney (1966).
6. BAHT, A.H., (1986), Komunikasi Pribadi.

Tabel 1. Data analisis isotop alum dan hidrokimia air tanah Semarang.

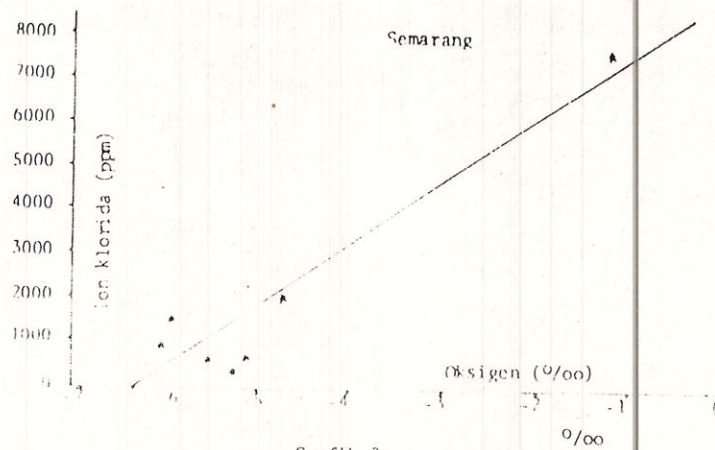
Kode	Kedalaman (m)	Mg ²⁺ (ppm)	¹⁸ O (‰)	D (‰)	Tritium (unit)	Cl (ppm)	Na (ppm)	Formasi Geologi
43	6	39,25	-5,86	-36,12		221,25	265,5	Delta garang
44	7	23,88	-5,88	-36,77		52,0	88,0	Delta garang
39	37	11,75	-6,29	-38,46		93,75	161,50	Delta garang
3	65	2,25	-6,19	-37,31	1,22 ± 0,27	32,15	140,0	Delta garang
34	87	5,5	-6,01	-37,82	0,32 ± 0,46	130,75	171,0	Delta garang
42	86	4,13	-6,40	-38,91		28,0	142,0	Delta garang
24	99	8,5	-6,09	-37,56	1,07 ± 0,46	177,0	164,0	Delta garang
38	90	8,5	-6,49	-39,45		15,0	138,0	Delta garang
5	100	1,0	-6,03	-36,4	3,15 ± 0,37	30,4	134,0	Delta garang
32	100	6,25	-6,12	-36,0	2,80 ± 0,47	86,75	121,0	Delta garang
40	27	111,25	-6,04	-38,10		986,25	521,29	Delta garang
48	7	114,0	-6,03	-37,91		17,47	146,5	Alluvium
25	15	51,13	-5,48	-31,8	3,61 ± 0,37	129,75	193,0	Alluvium
23	10	26,0	-5,93	-38,9	3,12 ± 0,35	1620,0	372,0	Alluvium
26	80	15,5	-6,20	-39,6	3,05 ± 0,36	89,1	89,0	Alluvium
51	0	7,75	-6,39	-38,74		1,68	9,5	Garang River
50	0	8,5	-6,18	-36,52		20,75	20,5	Garang River
31	0	9,38	-4,88	-28,8	3,58 ± 0,35	9,28	19,6	Garang River
49	0	7,75	-5,32	-30,4		5,88	20,0	Garang River
13	0	26,5	-5,29	-32,7	4,7 ± 0,38	148,5	11,0	Garang River
27	0	63,25	-5,55	-33,7		722,5	275,0	Garang River
28	0	48,75	-5,24	-32,4		455,0	227,0	Garang River
29	0	63,25	-5,13	-30,5		755,0	283,0	Garang River
30	0	139,5	-4,75	-29,1		2160,0	510,0	Garang River
-	0	1083	-4,64	-28,72		6829,0	9000,0	Muara garang
37	0	268,63	-1,27	-6,45		7695,31	9750,0	Laut
6	100	1,5	-6,25	-38,8	0,81 ± 0,48	29,10	45,0	Alluvium
45	100	14,63	-6,50	-39,2		22,17	01,5	Alluvium
12	80	10,38	-6,33	-38,9	3,14 ± 0,38	68,13	79,0	Damar
33	90	25,38	-6,44	-39,1	4,04 ± 0,39	33,1	34,5	Damar
46	10	17,5	-6,61	-40,5		12,08	24,5	Damar
41	25	15,88	-6,48	-39,15		15,6	33,0	Damar
15	65	26,0	-6,33	-37,9	1,04 ± 0,3	8,98	21,8	Damar
22	100	24,45	-6,36	-39,2		17,26	25,5	Damar
35	100	21,5	-5,91	-35,0	0,32 ± 0,5	13,35	25,5	Damar
52	0	1,88	-6,27	-41,21		0,23	7,0	Br. Vulkanik
20	80	1,5	-6,13	-41,8	2,52 ± 0,17	6,5	9,1	Br. Vulkanik



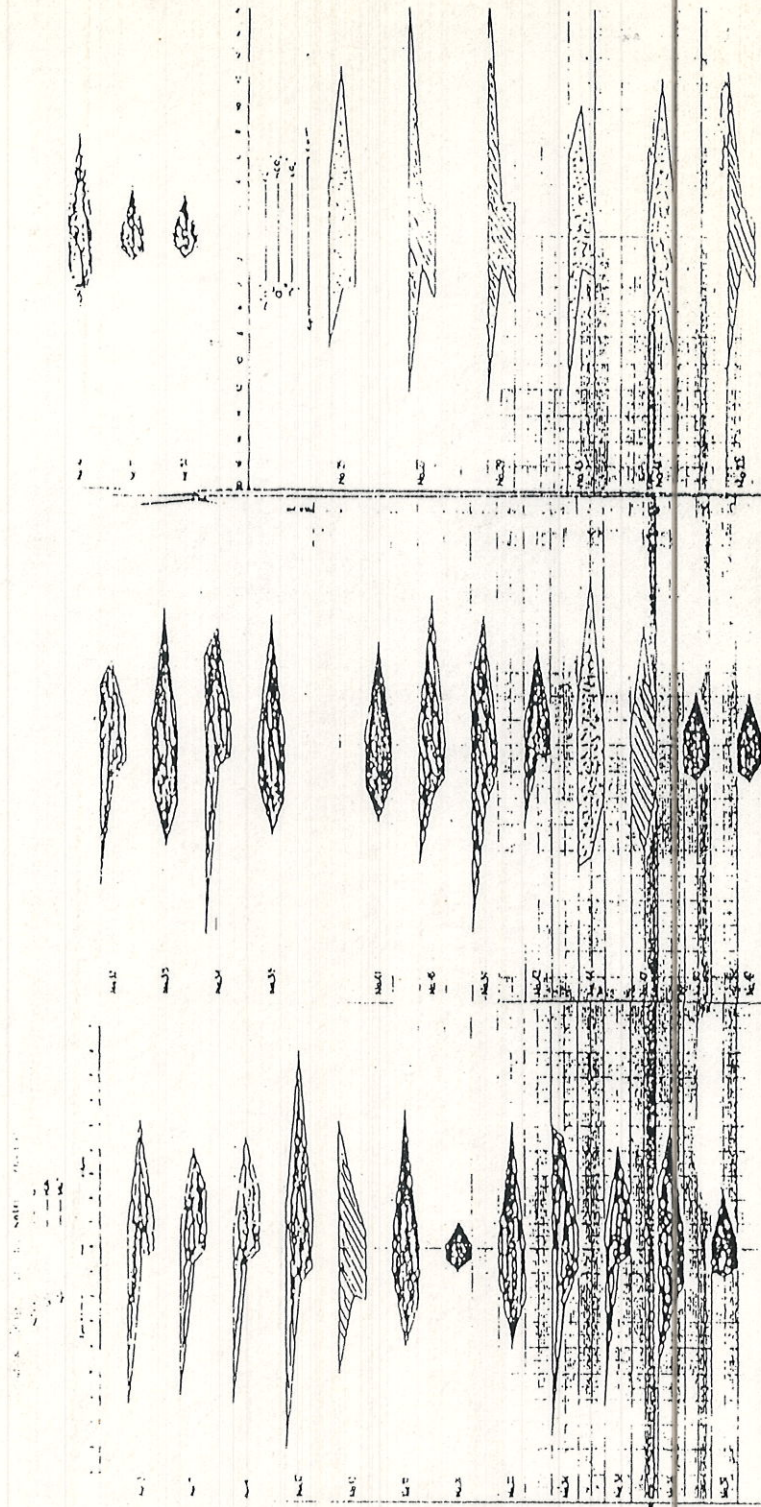
Peta titik sampling air tanah



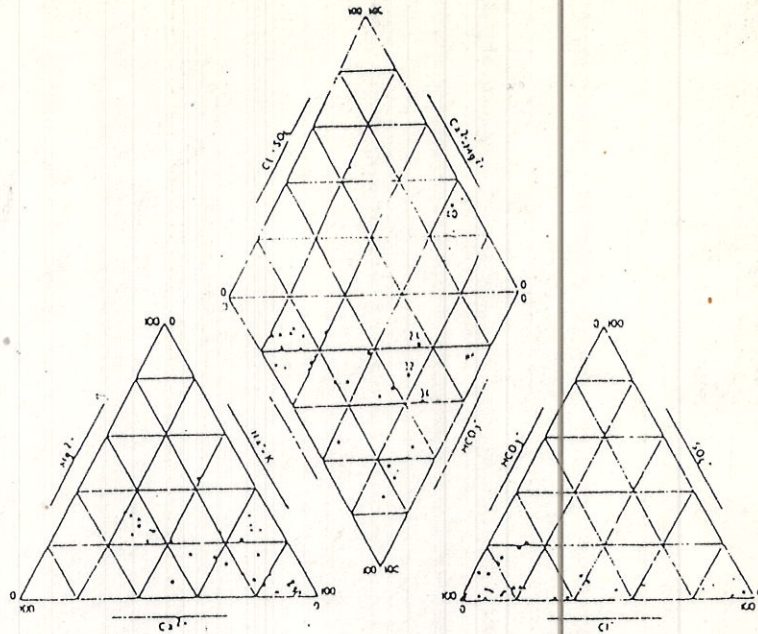
Grafik 1



Grafik 2



Grafik 3. Diagramm Stiff



Grafik 4. Diagram piper Friliner

DISKUSI

CANDRAWATI :

Apakah tenggang waktu pengukuran (dari Semarang ke Pasar Jumat) tidak mempengaruhi hasil analisis hidrokimia dengan AAS dan UV-Vis, karena pH dan karbonat mudah sekali berubah ?

INDROJONO :

Tenggang waktu pengukuran + 3 hari. Pengukuran karbonat, pH, temperatur, biasanya dilakukan langsung di lapangan, sedang kation dan anion lainnya, yaitu Hg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , dan SO_4^{2-} cukup stabil.

ROCHESTRY SOFYAN :

Apakah penelitian serupa akan dilakukan juga untuk penyelidikan penebaran air laut di Jakarta Utara dan penurunan permukaan air danau Toba ?

INDROJONO :

Memang ada niat untuk melakukan penelitian penurunan air danau Toba dengan isotop alam, tetapi karena jauhnya lokasi dan dana terbatas, kemungkinan realitasnya masih lama, kecuali ada pihak yang bersedia membiayai.

P.E. HEHANUSA :

Anda membuat pengelompokan air tanah berdasarkan analisis kimia dan juga telah diperoleh pengelompokan air tanah berdasarkan diagram Piper. Apakah kedua pengelompokan ini mempunyai korelasi dan berapa koefisien korelasinya ?

INDROJONO :

Saya melakukan penelitian ini berdasarkan isotop alam, sedangkan hidrokimia sebagai perampung data-data isotop stabil terhadap adanya intrusi air laut.