

Genesa Airtanah Asin Pada Akifer Dalam di Daerah Pesisir Jakarta Berdasarkan Analisis Isotop Oksigen dan Hidrogen

Theopila Listyani^{1*} dan Baskoro Rochuddi²

¹ Jurusan Teknik Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Yogyakarta, Indonesia

² Pusat Kajian Pesisir dan Laut Tropis, Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro Semarang, Indonesia

Abstrak

Keberadaan airtanah asin di daerah pesisir Jakarta seringkali dianggap sebagai akibat adanya intrusi air laut pada akifer airtanah. Kandungan isotop oksigen dan hidrogen contoh airtanah yang didukung oleh data TDS airtanah, kondisi geologi dan hidrogeologi dianalisis untuk mengetahui genesa airtanah asin di daerah penelitian. Hasil analisis menunjukkan bahwa : Airtanah asin pada Akifer II merupakan air konat, khususnya yang berada di utara garis pantai purba 4.500 tahun lalu. Airtanah yang terletak antara garis pantai 4.500 dan 40.000 tahun yang lalu merupakan air konat yang sudah dipengaruhi recharge lokal. Sedangkan airtanah yang terletak di selatan garis pantai 40.000 tahun lalu merupakan air konat yang bercampur dengan airtanah yang telah mengalami evolusi.

Kata kunci : airtanah asin, isotop, air konat, evolusi.

Abstract

Saline groundwater in coastal area of Jakarta oftenly belived as a result of sea water intrusion to groundwater aquifer. Oxygen dan hydrogen isotope composition together with data on TDS, geology and hydrogeology have been analyzed to understand the origin of saline groundwater in the research area. Result of this analysis shows that: Saline groundwater in Aquifer II is connate water, especially in the north of paleo coast line of 4,500 years ago. Groundwater between paleo coast line of 4,500 and 40,000 years ago is connate water which has been mixed with local recharge. Whereas, groundwater in the south of paleo coast line of 40,000 years ago is connate water which has been mixed with evolutionary groundwater.

Key words: saline groundwater, isotope, connate water, evolution.

Pendahuluan

Airtanah asin di daerah Jakarta Utara dan Kota terutama di daerah dekat pantai (pesisir) serta di Kepulauan Seribu (Gambar 1) selama ini seringkali diinterpretasikan dan dihubungkan dengan intrusi air laut karena eksploitasi airtanah yang berlebihan. Secara teoritis terbentuknya airtanah asin dapat diakibatkan oleh beberapa kemungkinan, antara lain : intrusi air laut, air fosil (konat) serta evolusi air tanah hasil leaching batuan. Hutasoit dan Pindratno (1997) telah merangkum beberapa hasil penelitian dari beberapa peneliti sebagai berikut: Soenarto dan Widjaya (1985) percaya bahwa intrusi air laut yang menyebabkan salinitas tinggi pada akifer dangkal. Tjahjadi menyebutkan bahwa intrusi yang disebabkan pengambilan airtanah telah mencapai daratan sejauh 10-15 km untuk aifer dangkal dan 5-10 km untuk

akifer dalam. Hal yang sama juga diungkapkan Naryanto, dkk. (1995). Menurut Tirtomihardjo (1994) salinitas terutama disebabkan oleh intrusi air laut disamping tipe batuan yang merupakan penyebab salinitas pada akifer dangkal. Sementara IWACO (1994) menyimpulkan bahwa salinitas tinggi sudah terbentuk sebelum adanya gangguan manusia pada jarak yang cukup jauh dari laut (air fosil). Pada akifer dangkal, salinitas berasal dari infiltrasi air laut pada waktu sekitar 4500 tahun yang lalu (Holosen) pada saat Jakarta bagian utara masih ditutupi air laut. Untuk akifer dalam, salinitas disebabkan oleh gabungan air konat Pleistosen dan infiltrasi vertikal dari airlaut Holosen. Pendapat tersebut didukung dari hasil penelitian Dinas Pertambangan DKI Jakarta dan PT Sapta Daya Karyatama (1997) berdasarkan analisis hidrokimia dan isotop ¹⁸O dan ²H. IWACO

menganggap bahwa salinasi juga berhubungan dengan kompresi lapisan lempung. Reduksi tekanan airtanah pada akifer menyebabkan keluarnya air dari pori-pori lempung (*squeezing out*) sehingga meningkatkan konsentrasi klorida.

Studi terhadap isotop stabil pada Cekungan Airtanah Jakarta telah dilakukan beberapa peneliti, antara lain Syafalni *dkk.* (1989) untuk mengidentifikasi adanya penyusupan air laut, baik pada akifer dangkal maupun dalam. Menurutnya penyusupan air laut terutama terjadi pada akifer dengan kedalaman 41 -150 m dan mencakup daerah yang sangat luas. Wandowo (1985) menggunakan data isotop alam untuk mengetahui sumber airtanah di Jakarta yang meliputi recharge serta leakages airtanah tetapi tidak menghubungkannya dengan keberadaan airtanah asin.

Dari hal tersebut di atas, untuk lebih memastikan proses terbentuknya airtanah asin di Cekungan Airtanah Jakarta pada akifer dalam yaitu pada Zona Akifer II, maka pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap isotop stabil yaitu oksigen-18 (^{18}O) dan deuterium (D) untuk mengetahui komposisi isotopik airtanah. Dari analisis isotop ini diharapkan dapat diketahui secara lebih jelas hal-hal yang berhubungan dengan genesa airtanah asin di daerah penelitian.

Materi dan Metoda

Evolusi isotopik airtanah menyebabkan perubahan kandungan isotop ^{18}O dan D selama perjalanannya. Selama evolusi airtanah, salinitas airtanah akan meningkat dengan ditandai oleh peningkatan TDS. Dalam penelitian ini evolusi isotopik airtanah juga akan ditinjau dari perkembangan TDS yang terjadi pada Cekungan Airtanah Jakarta.

Untuk mengetahui evolusi isotopik airtanah, dalam penelitian ini dilakukan analisa kandungan isotop stabil ^{18}O dan ^2H (deuterium) karena kedua isotop tersebut dapat berfungsi sebagai indikator sumber airtanah (Freeze dan Chery, 1979).

Dalam penelitian ini dilakukan berbagai analisis terhadap :

Data sekunder:

- Data geologi (geologi permukaan dan bawah permukaan)
- Data hidrogeologi
- Data isotop airtanah

Data primer:

- Data lapangan : pengukuran fisik (tinggi muka airtanah, temperatur dan EC)
- Data laboratorium: analisis hidrokimia dan isotop airtanah

Kelimpahan isotop diukur dengan rasio deviasi standar (Fritz dan Fontes, 1980 *dalam* Domenico dan Schwartz, 1990) sebagai berikut:

$$\delta = \frac{(R_{\text{sampel}} - R_{\text{standar}})}{R_{\text{standar}}} \times 1000$$

δ = deviasi dari standar (‰)

R = rasio isotopik, contoh: $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

Hubungan antara $\delta^{18}\text{O}$ dan δD air presipitasi mengikuti persamaan garis air meteorik. Dari hasil penelitian global Craig (1961) membuat persamaan untuk air meteorik sebagai berikut: $\delta\text{D} = \delta^{18}\text{O} + 10 \text{‰}$. Hasil penelitian Clayton *dkk.* (1966) menunjukkan bahwa genesa airtanah asin dapat berasal dari recharge lokal yang kemudian mengalami evolusi.

Kesimpulan tersebut berdasarkan fakta-fakta hubungan antara TDS dengan $\delta^{18}\text{O}$ dan δD . Peningkatan TDS diikuti oleh kandungan isotop airtanah yang makin berat, terutama pada $\delta^{18}\text{O}$. Ekstrapolasi data $\delta^{18}\text{O}$ ke arah airtanah dengan salinitas rendah akan berhubungan dengan komposisi isotop air meteorik lokal dan tidak dengan isotop air laut. Plot antara $\delta^{18}\text{O}$ dan δD menunjukkan bahwa airtanah dengan salinitas paling rendah mendekati air meteorik, sedangkan airtanah dengan salinitas lebih tinggi menunjukkan adanya pengayaan $\delta^{18}\text{O}$. Hubungan antara $\delta^{18}\text{O}$ dengan δD menunjukkan bahwa airtanah asin yang diteliti membentuk garis regresi yang tidak memotong titik air laut, yang berarti airtanah tidak berhubungan dengan air laut. Airtanah yang diteliti menunjukkan pengayaan $\delta^{18}\text{O}$ yang besar sedangkan pengayaan δD relatif kecil.

Hasil dan Pembahasan

Data primer berupa contoh airtanah diambil di dua lokasi yaitu pada sumur bor Babakan dan Sunter di DKI Jakarta pada Zona Akifer II. Lokasi Babakan terletak di bagian selatan daerah penelitian dan dipilih untuk mewakili airtanah tawar pada fase awal perjalanan airtanah, sedangkan daerah Sunter terletak di utara yang merupakan airtanah asin dan terdapat pada fase yang lebih lanjut. Dengan demikian data primer akan sesuai dengan aliran airtanah regional, sehingga kedua lokasi ini dapat menunjukkan proses yang terjadi dalam perjalanan airtanah dari selatan ke utara.

Hasil analisis laboratorium kandungan isotop airtanah pada lokasi penelitian disajikan pada tabel I. Dalam penelitian ini juga digunakan data dari DGTL (1997) dan Syafalni *dkk.* (1989) untuk melengkapi data isotop tersebut. Lokasi pengambilan contoh airtanah diperlihatkan pada Gambar 2.

Tabel 1. Hasil analisis isotop contoh airtanah.

Nomor Urut	Sumur	Zona Akifer	Kedalaman (m)	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	δD ‰	TDS (eq/l)
1	Babakan	I	22 - 45	-5,21	-28,2	0,005
2		II	53 - 65	-6,20	-35,6	0,008
3	Sunter	I	35,5 - 58	-3,91	-22,2	0,574
4		II	80 - 106,5	-5,74	-32,4	0,161
5		III	134 - 172	-5,55	-31,5	0,113

Korelasi TDS terhadap $\delta^{18}\text{O}$ untuk Akifer II sebesar 0,71 sedangkan terhadap δD adalah 0,12 (Gambar 3). Dengan demikian pemngkatan salinitas airtanah pada akifer ini berhubungan dengan pemngkatan $\delta^{18}\text{O}$, tetapi garis hubungan TDS terhadap $\delta^{18}\text{O}$ sangat landai dengan gradien 1,92 sehingga hubungan peningkatan $\delta^{18}\text{O}$ dan TDS pada akifer ini tidak sebesar pada Akifer I. Gradien garis ini masih termasuk dalam kisaran gradien pada airtanah yang diteliti Clayton *dkk.* (1966). Hal ini menunjukkan hubungan yang baik antara peningkatan salinitas airtanah dengan peningkatan $\delta^{18}\text{O}$.

Isotop airtanah pada Akifer II membentuk persamaan $\delta\text{D} = 6,07 \delta^{18}\text{O} + 1,10$ (Gambar 4). Ekstrapolasi dari garis regresi ini memotong titik air laut sehingga menunjukkan bahwa airtanah pada akifer ini berhubungan dengan air laut. Ekstrapolasi garis regresi yang melalui titik air laut memberi kemungkinan genesa airtanah yang berupa air konat atau percampuran dengan air laut. Airtanah asin yang terdapat pada akifer ini kemungkinan adalah air laut masa lampau (Holosen) yang terinfiltrasi ke bawah. IWACO (1994b) menunjukkan bahwa muka air laut mengalami kenaikan yang cepat pada 12.000 tahun yang lalu dan mengalami puncaknya pada 4.500 tahun yang lalu sebelum akhirnya berada pada posisi sekarang. Pada saat mengalami kenaikan yang cepat itu air laut menginfiltrasi dengan mudah ke akifer dangkal yang merupakan kipas vulkanik karena pada saat itu belum tertutup oleh endapan lempung laut. Selain itu, pengambilan airtanah secara besar-besaran pada saat ini akan mengakibatkan terjadinya pembentukan airtanah asin / salinasi melalui tiga proses berikut ini (IWACO, 1994b) yaitu pembentukan airtanah asin berkaitan dengan kompresi lapisan lempung laut; salinasi berkaitan dengan transport air konat Pleistosen secara horisontal dari bawah Laut Jawa ke arah darat pada akifer dalam dan transport air asin yang terinfiltrasi selama Holosen secara vertikal ke bawah. Kompresi lapisan lempung yang mengakibatkan adanya *squeezing out* airtanah asin

didukung oleh data amblesan tanah di Jakarta, terutama pada endapan rawa, sungai dan pantai di Jakarta Utara (Disbang DKI Jakarta dan LPM-ITB, 1997). Sedangkan aliran air konat dari bawah Laut Jawa ke daerah penelitian didukung oleh kedudukan muka airtanah pada Akifer II yang memungkinkan terjadinya aliran airtanah ke arah kerucut penurunan (*cone depression*) airtanah di Jakarta Utara. Selanjutnya bukti air konat pada Akifer II juga didukung oleh Wandowo (1985) yang menyatakan bahwa umur airtanah pada akifer ini berkisar 1.856 sampai 46.716 tahun. Sedangkan IWACO (1994b) menyatakan umur airtanah pada akifer ini di utara Pasarminggu berkisar dari 1.550 hingga 33.300 tahun.

Kandungan $\delta^{18}\text{O}$ Akifer II berkisar (-6,54 - -4,17) ‰ sedangkan δD sebesar (-39,2 - -25,5) ‰ (Gambar 5 dan 6). Pola kontur $\delta^{18}\text{O}$ dan δD pada akifer ini berbentuk menjeri diseluruh daerah penelitian, dengan anomali berupa pemusatan di bagian barat laut Depok. Proses peningkatan $\delta^{18}\text{O}$ airtanah Akifer II dipengaruhi oleh air laut masa lampau seperti pembahasan sebelumnya, peningkatan ini berkaitan dengan perubahan garis pantai dari selatan ke utara. Penelitian Zaim *dkk* (1997) melihat adanya perubahan garis pantai di Jakarta dimana sekitar 40.000 tahun yang lalu muka air laut berada paling tidak sekitar 25-35 m di atas muka air laut sekarang hingga mencapai kedudukan 4-5m di atas muka air laut sekarang pada waktu 4.500 tahun yang lalu. Berdasarkan kedudukan garis pantai purba 4.500 serta 40.000 tahun yang lalu, maka untuk airtanah Akifer II dilakukan analisis hubungan $\delta^{18}\text{O}$ dengan δD secara terpisah di selatan dan utara garis pantai tersebut. Ekstrapolasi garis regresi dari hubungan $\delta^{18}\text{O}$ dengan δD airtanah yang terletak di utara garis pantai 4.500 tahun yang lalu memotong titik air laut, berarti airtanah tersebut merupakan air konat (Gambar 7). Airtanah yang berada di utara garis pantai 40.000 tahun yang lalu menunjukkan garis regresi yang bergeser mendekati garis meteorik lokal (Gambar 8) sehingga disimpulkan bahwa airtanah ini merupakan air konat yang sudah dipengaruhi recharge lokal. Hubungan $\delta^{18}\text{O}$ dengan

δD airtanah di selatan garis pantai 40.000 tahun yang lalu menghasilkan garis yang bergeser menjauhi titik air laut (Gambar 9), menandai adanya proses evolusi. Evolusi ini diduga terjadi akibat reaksi airtanah terhadap batugamping Tersier yang menyusun Cekungan Airtanah Jakarta. Pola kontur yang relatif menjorok ke utara pada beberapa daerah menunjukkan adanya recharge lokal yang membawa airtanah dengan kandungan isotop ringan. Aliran recharge lokal yang memiliki kecepatan lebih besar akan menghasilkan pola kontur yang menjorok ke utara.

Kesimpulan

Dari analisis isotop airtanah yang dilakukan untuk mengetahui genesa airtanah asin pada daerah penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Peningkatan salinitas airtanah pada semua akifer lebih berkaitan dengan peningkatan $\delta^{18}O$ daripada δD .
- Airtanah pada Akifer II berhubungan dengan air laut pada masa lampau (air konat), dengan variasi sebagai berikut:
 - ✓ Airtanah yang terdapat di utara garis pantai purba 4.500 tahun yang lalu adalah air konat.
 - ✓ Airtanah yang terdapat diantara garis pantai purba 40.000 dan 4.500 tahun yang lalu merupakan air konat yang telah bercampur dengan recharge lokal.
 - ✓ Airtanah yang terdapat di selatan garis pantai purba 40.000 tahun yang lalu merupakan air konat yang telah bercampur dengan airtanah yang mengalami evolusi yang terjadi akibat reaksi airtanah dengan batugamping Tersier.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bp. Ir. M. Harris Pindratno, SE, MM dan Ir. L.M. Hutasoit, Ph.D. yang telah banyak membantu mulai pengumpulan data sampai dengan analisa data selama penelitian ini dilaksanakan.

Daftar Pustaka

Craig, 1961, Isotopic Variations in Meteoric Waters, American Association for the Advancement of Science, 133 (3465).

Dinas Pertambangan DKI Jakarta dan Direktorat Geologi Tata Lingkungan, 1996, *Studi Intrusi Air Asin pada Akifer I, II, III di Wilayah Jakarta*, Final Report. tidak dipublikasikan.

Dinas Pertambangan DKI Jakarta dan PT Sapta Daya Karyatama, 1997, Observasi Intrusi Air Asin/ Laut di Wilayah DKI Jakarta. Laporan Akhir, tidak dipublikasikan.

Dinas Pertambangan DKI Jakarta dan LPM ITB, 1997, *Pemetaan Zonasi Penurunan di Wilayah DKI Jakarta*. Laporan Akhir, tidak dipublikasikan.

Domenico, P.A. and Schwartz, F.W., 1990, *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley & Sons, New York.

Drever, J.L., 1988, *The Geochemistry of Natural Waters*, 2nd ed., Prentice Hall Inc., New Jersey.

Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979, *Ground-water*, Prentice-Hall Inc., New Jersey.

Hutasoit, L.M. and Pindratno, M.H., 1997, *Ground-water Salinity and Its Management in Jakarta*, Workshop on Coastal and Nearshore, Geological / Oceanographical Assesment of Jakarta Bay, A Basis for Coastal Zone Management and Development, Jakarta

IWACO dkk, 1994, *Jabotabek Water Resources Management Study*, Executive Summary, Vol. I and VI, Ministry of Public Works, Directorate General of Water Resources Development, Unpublished.

IWACO dkk, 1994b, *Jabotabek Water Resources Management Study*, Vol. 7, Annex 12 : Groundwater Salinity, Ministry of Public Works, Directorate General of Water Resources Development, Unpublished.

Listyani, T., 1999, Analisis Isotop Oksigen dan Hidrogen serta Hubungannya dengan Genesa Airtanah Asin pada Cekungan Airtanah Jakarta. Thesis Magister ITB Bandung, tidak dipublikasikan.

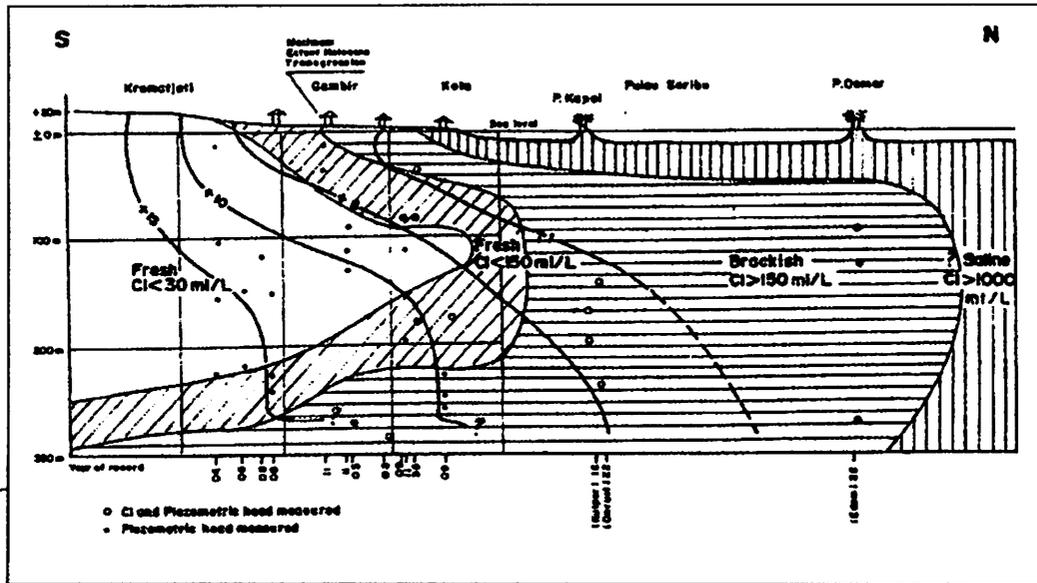
Rochaddi, B., 1998, Pengaruh Heterogenitas Akifer terhadap Kenaikan Muka Airtanah akibat Injeksi di Sunter dan Babakan, DKI Jakarta. Thesis Magister ITB Bandung, tidak dipublikasikan.

Syafalni, dkk., 1989, Identifikasi Penyusupan Air Laut di Jakarta dengan Metode Isotop Alam. Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta, tidak dipublikasikan.

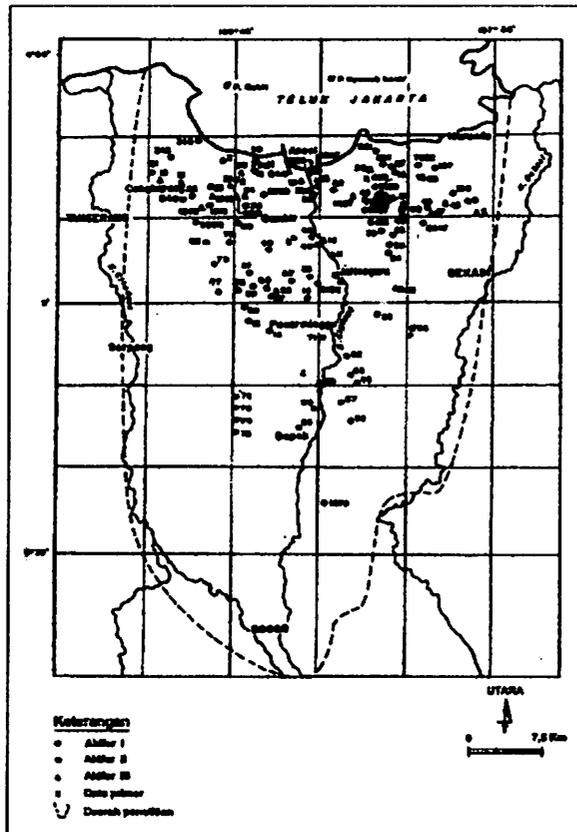
Wandowo, 1985, *Groundwater Studies in Jakarta and Vicinity*, Centre for the Application of Isotopes and Radiation, National Atomic Energy Agency, Unpublished.

Wandowo, 1998, Teknologi Isotop Alam untuk Evaluasi Dinamika Aliran Airtanah : *Studi Resapan dan Intrusi Air Laut Akifer Jakarta dan sekitarnya*, Laporan RUT V, Dewan Riset Nasional, Jakarta, tidak dipublikasikan.

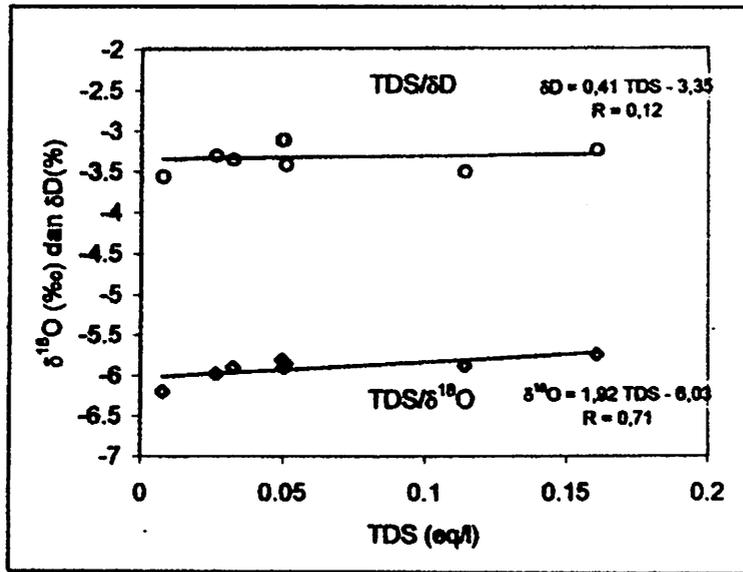
Zaim, Y. et al, 1997, *Perkembangan Garis Pantai Jakarta serta Kaitannya dengan Masalah Intrusi Air Laut*. Proc. IAGI - XXVI, Jakarta.



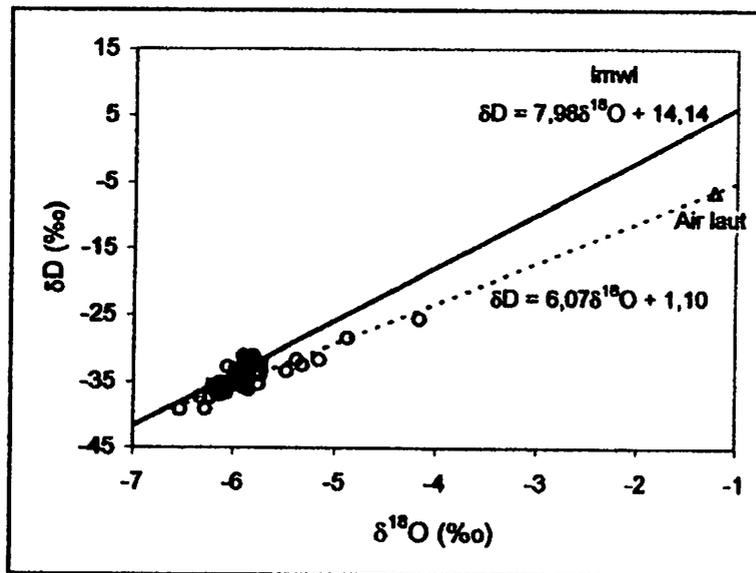
Gambar 1. Penyebaran konsentrasi klorida dan airtanah asin di Jakarta berdasarkan data sumur tua DGTL tahun 1904-1922 (IWACO, 1994b).



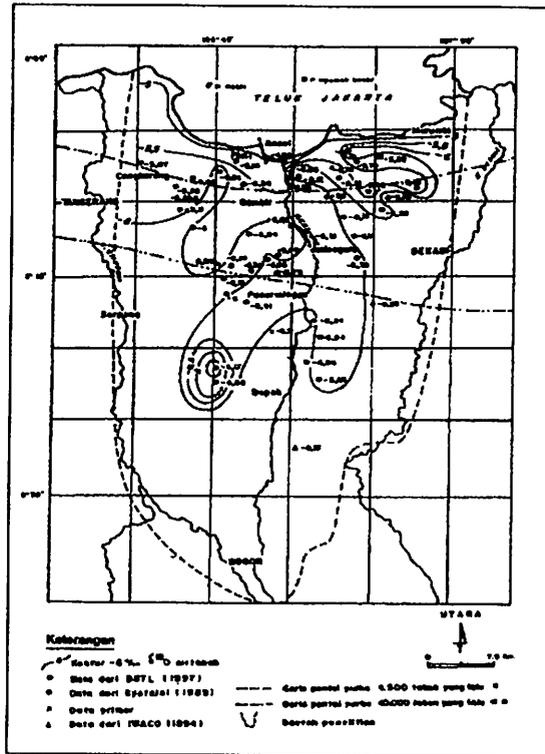
Gambar 2. Lokasi contoh airtanah untuk analisis isotop.



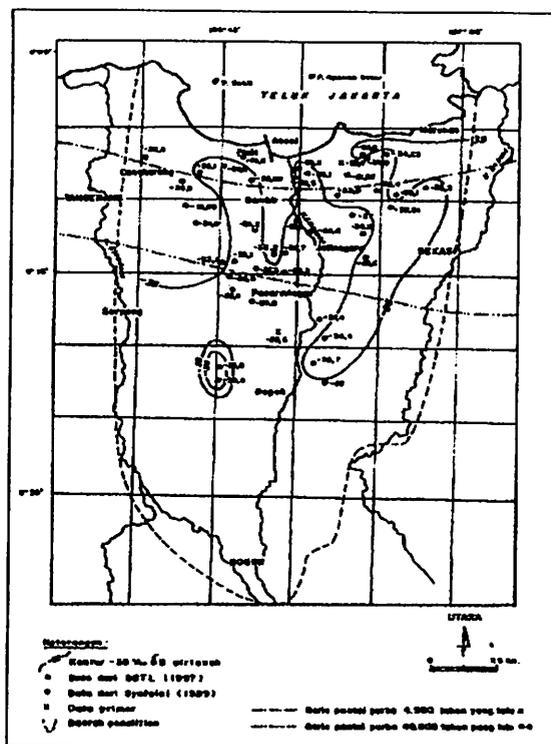
Gambar 3. Grafik hubungan $\delta^{18}O$ dan δD dengan TDS airtanah pada Akifer II.



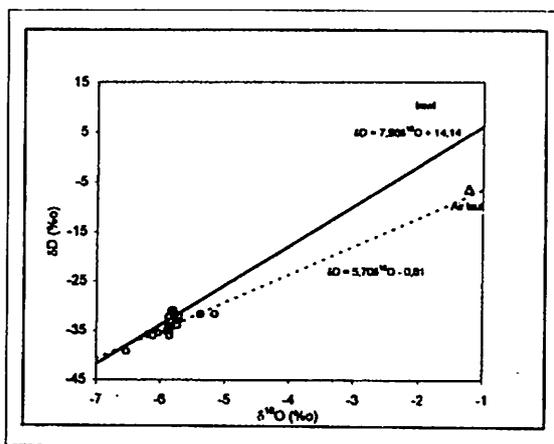
Gambar 4. Grafik hubungan $\delta^{18}O$ dengan δD airtanah pada Akifer II.



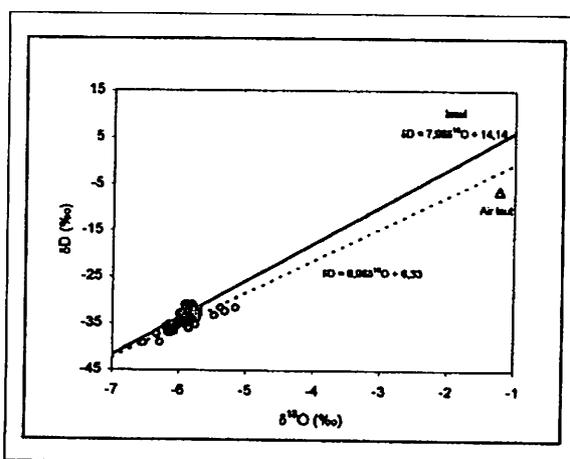
Gambar 5. Peta kontur $\delta^{18}O$ airtanah Akifer II



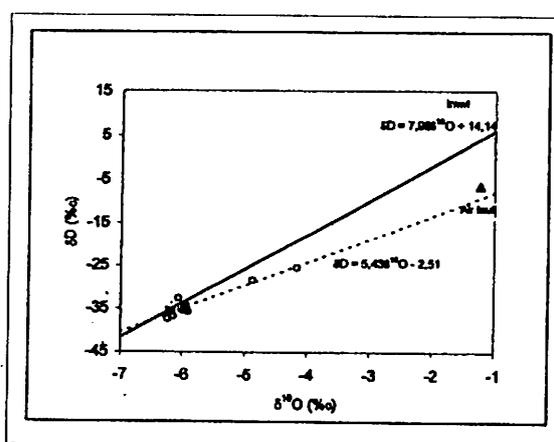
Gambar 6. Peta kontur δD airtanah Akifer II.



Gambar 7. Grafik hubungan $\delta^{18}\text{O}$ dengan δD airtanah pada Akifer II yang berada di utara garis pantai 4.500 tahun yang lalu.



Gambar 8. Grafik hubungan $\delta^{18}\text{O}$ dengan δD airtanah pada Akifer II yang berada di utara garis pantai 40.000 tahun yang lalu.



Gambar 9. Grafik hubungan $\delta^{18}\text{O}$ dengan δD airtanah pada Akifer II yang berada di selatan garis pantai 40.000 tahun yang lalu.