

## **PENELITIAN POTENSI AIR TANAH DANGKAL PANTAI SELATAN DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA DENGAN TEKNOLOGI ISOTOP**

Paston Sidauruk, Alip dan Bungkus Pratikno  
Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta

### **ABSTRAK**

**PENELITIAN POTENSI AIR TANAH DANGKAL PANTAI SELATAN DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA DENGAN TEKNOLOGI ISOTOP.** Air tanah adalah salah satu sumber utama air yang dapat diandalkan untuk keperluan manusia seperti keperluan rumah tangga, pertanian, dan industri. Untuk itu, informasi potensi sumber daya air adalah sangat penting untuk merencanakan pembangunan suatu daerah. Salah satu teknik yang dapat diandalkan untuk menentukan potensi air tanah adalah teknik isotop, khususnya isotop alam. Penelitian kandungan dan komposisi isotop alam dari berbagai sumber air seperti air sumur, air hujan, dan air permukaan yang terdapat di daerah pantai selatan Yogyakarta telah dapat mengungkap daerah imbuhan dan hubungan antara air tanah dangkal daerah tersebut dengan dua buah sungai yang mengapit daerah yang diteliti yaitu Sungai Progo dan Sungai Winongo. Hasil yang diperoleh menunjukkan relasi yang kuat antara Sungai Progo dan Sungai Winongo dengan air tanah dangkal daerah Bantul. Kedua sungai tersebut khususnya Sungai Progo mempunyai peran yang sangat penting sebagai pengimbuhan terhadap air tanah dangkal di daerah Bantul. Air sungai tersebut mengimbuhan air tanah dangkal melalui persawahan yang terdapat disekitar daerah yang diteliti, hal ini dapat dilihat dari hubungan antara komposisi isotop yang menunjukkan adanya proses penguapan yang dialami oleh air tersebut sebelum masuk ke dalam tanah.

### **ABSTRACT**

**INVESTIGATION OF SHALLOW GROUNDWATER POTENTIAL IN SOUTHERN PART OF YOGYAKARTA USING ISOTOPE TECHNIQUE.** Groundwater is one of the main source for human needs such as municipal, agriculture, and industrial needs. For this reason, water resources potential information is very important in development plan of certain region such as Yogyakarta. Isotope technique is one of the available techniques that has been proven to provide such information. The study of stable isotopes content of various water sources such as groundwater outlets, rain water, and surface waters in the southern part of Yogyakarta has exposed the likelihood of recharge area and the relations between local groundwater and two main rivers (Progo and Winongo). The results show strong relation between the rivers and local phreatic groundwater. Both rivers especially Progo River has fed the shallow groundwater significantly. It is also shown that before entering the ground the water has undergone evaporation process. Apparently water may have pooled for sometime in the rice fields before entering the ground.

### **PENDAHULUAN**

Pertumbuhan jumlah penduduk dan industri serta peningkatan taraf hidup masyarakat yang diikuti oleh peningkatan kebutuhan air bersih perkapita telah mengakibatkan permintaan air bersih yang terus meningkat. Semua komponen air dalam siklus hidrologi yang tersedia untuk pemenuhan kebutuhan manusia (air danau, sungai, sungai bawah tanah, air tanah) harus dipertimbangkan dan dimanfaatkan secara optimal [1, 3, 5].

Informasi potensi sumber daya air tanah sebagai salah satu komponen dari sumberdaya air yang tersedia adalah sangat penting untuk me-

nunjang manajemen sumber daya air yang terpadu [1, 3, 5]. Untuk tujuan inilah penelitian ini dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk membantu PEMDA DIY Yogyakarta untuk mengelola sumber daya air tanah di daerah Bantul yang mencakup daerah seluas 60 km<sup>2</sup> yaitu daerah yang diapit oleh Sungai Progo di Barat dengan Sungai Opak di Timur.

Penyelidikan ini dilakukan menggunakan pendekatan analisis dan interpretasi kandungan isotop stabil <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H maupun hidro-kimia sampel air yang dikumpulkan dari berbagai sumber air seperti sumur penduduk, mata air, air hujan, dan air permukaan yang terdapat di sekitar daerah yang diteliti.

## TEORI DASAR

Beberapa notasi dan rumus yang berkaitan dengan kelimpahan relatif isotop alam dari contoh air akan dipaparkan berikut ini :

1. Kelimpahan relatif Deuterium ditulis dengan  $\delta_D$  dengan rumus [4]:

$$\delta_D = \left( \frac{R_{D(contoh)}}{R_{D(s\ tan\ dar)}} - 1 \right) \times 1000 \text{‰}$$

2. Kelimpahan relatif Oksigen-18 ditulis dengan  $\delta_{O-18}$  dengan rumus [4]:

$$\delta_{O-18} = \left( \frac{R_{O-18D(contoh)}}{R_{O-18(s\ tan\ dar)}} - 1 \right) \times 1000 \text{‰}$$

Dimana :

$\delta_D$  = Kelimpahan Deuterium

$\delta_{O-18}$  = Kelimpahan Oksigen-18

$$R_{O-18} = \frac{nH_2^{18}O}{nH_2^{16}O}; \quad R_D = \frac{nHD^{16}O}{nH_2^{16}O};$$

Para ahli telah membuktikan bahwa hubungan antara kelimpahan Deuterium ( $\delta_D$ ) dan Oksigen-18 ( $\delta_{O-18}$ ) suatu contoh air mengikuti hubungan linier dengan persamaan [4] :

$$\delta_D = 8 \delta_{O-18} + d$$

dimana  $d$  tergantung dari faktor geografis suatu daerah. Sedangkan untuk suatu contoh air yang telah mengalami penguapan harga slope mempunyai harga  $< 8$ . Sebagai contoh untuk air hujan yang diperoleh dari 91 stasiun bumi seluruh dunia diperoleh hubungan berikut [4] :

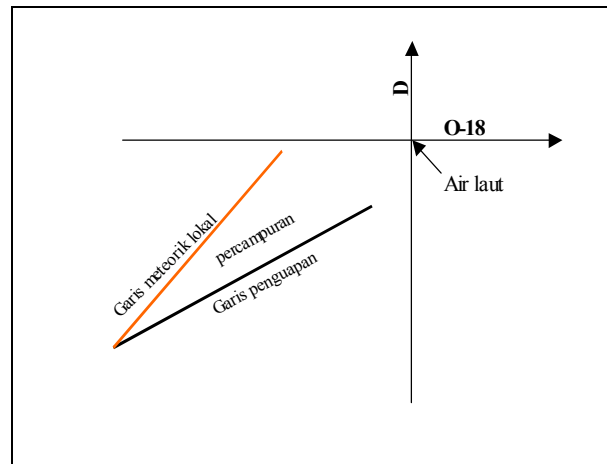
$$\delta_D = 8 \delta_{O-18} + 10$$

Persamaan di atas selanjutnya disebut dengan *Global Meteoric Water Line (MWL)*. Untuk Indonesia para peneliti BATAN melalui beberapa stasiun penadah hujan di beberapa tempat di Indonesia diperoleh hubungan  $\delta_D$  vs  $\delta_{O-18}$  sebagai berikut [2] :

$$\delta_D = 8 \delta_{O-18} + 14$$

Di atas telah disinggung bahwa air yang mengalami penguapan akan mempunyai slope lebih kecil dari 8. Untuk lebih jelasnya slope garis penguapan ini tergantung dari beberapa parameter diantaranya; suhu, kelembaban, dan kece-

patan angin. Sidauruk, P. [6] mendapatkan garis penguapan untuk suhu rata-rata 30 °C dan kelembaban relatif 57 % sbb:  $\delta_D = 4.54 \delta_{O-18} - 10.17$ . Sedangkan untuk suatu sumber air yang berasal dari percampuran antara air hujan (garis meteorik) dengan air waduk (garis penguapan) maka  $\delta_D$  dan  $\delta_{O-18}$  akan berada diantara garis meteoric dan garis penguapan tersebut (untuk lebih jelasnya lihat Gambar 1). Fenomena ini akan dipergunakan untuk menyelidiki karakteristik suatu air tanah seperti pengaruh air permukaan dengan air tanah tersebut.



Gambar 1: Garis meteorik lokal, penguapan dan percampuran

Kelimpahan relatif Oksigen-18 dan Deuterium dipengaruhi oleh beberapa factor seperti: factor *altitude*, factor *latitude*, dan factor *continental*. Yaitu semakin tinggi daerah tangkapan semakin besar jarak dari garis kahtulistiwa, dan semakin jauh jarak dari garis pantai maka semakin rendah kelimpahan relatif isotop stabilnya.

## METODE PENELITIAN

**Pengambilan contoh.** Contoh-contoh air secukupnya (~1 liter untuk analisis hidro-kimia dan 20 ml untuk analisis Deuterium dan Oksigen-18) dikumpulkan dari berbagai sumber air seperti sumur penduduk, mata air, air hujan, dan air permukaan yang terdapat di sekitar daerah yang diteliti.

Lokasi pengambilan contoh air ditampilkan dalam Gambar 2 dengan identitas contoh pada Tabel 1. Untuk mengamati perubahan komposisi isotop satabil  $^{18}O$  dan  $^2H$  maupun kandungan hidro-kimia dari sumber air sebagai fungsi waktu maka pengambilan contoh air dilakukan beberapa kali pengulangan dengan selang waktu rata-rata pengulangan adalah tiga bulan. Contoh air

Tabel 1: Penjelasan kode contoh.

No.	Kode Sampel	L o k a s i	K e t e r a n g a n
1	BT - 1	Ds. Banjarwaru, Kel. Gilang Harjo, Kec. Pandak	Sumur dangkal, kedalaman air 2 m, kemarau tidak kering, sistem pompa tertutup.
2	BT - 2	Ds. Piring Dua, Kel. Murtigading, Kec. Sanden	Sumur dangkal, kedalaman air 7 m, kemarau tidak kering, sistem pompa terbuka.
3	BT - 3	Ds. Daleman, Kel. Gading Harjo, Kec. Sanden	Sumur dangkal, kedalaman air 2 m, air jernih, kemarau tidak kering, sistem pompa terbuka.
4	BT - 4	Ds. Sambeng Tiga	Air saluran dari S. Progo
5	BT - 5	Ds. Kuwaru/ Pd. Simo, Kel. Poncosari, Kec. Srandakan	Sumur dangkal, kedalaman air 4 m, kemarau tidak kering, air jernih, sistem terbuka.
6	BT - 6	Ds. Dengokan, Kel. Srigading	Air sungai Winongo Kecil
7	BT - 7	Ds. Palihan Ngampilan, Kel. Sidomulyo, Kec. Bambanglipuro	Air sungai Winongo Kecil
8	BT - 8	Ds. Palihan Ngampilan, Kel. Sidomulyo, Kec. Bambanglipuro	Sumur dangkal, kedalaman air 1,5 m, air jernih.
9	BT - 9	Ds. Tangkil, Kel. Mulyodadi, Kec. Bambanglipuro	Air sungai Winongo Kecil
10	BT - 10	Ds. Kayen, Kel. Sendangsari, Kec. Pajangan	Sumur dangkal, kedalaman air 15 m, air jernih, kemarau tidak kering, sistem terbuka.
11	BT - 11	Ds. Jogokerten, Kel. Trimulyo, Kec. Sleman	Sumur dangkal, kedalaman air 4 m, kemarau tidak kering, sistem pompa terbuka.
12	BT - 12	Ds. Bendo, Kel. Trimurti, Kec. Srandakan	Air Sungai Progo
13	BT - 13	Ds. Gunungsaren Lor, Kel. Trimurti, Kec. Srandakan	Sumur dangkal, kedalaman air 4 m, kemarau tidak kering, air jernih, sistem pompa terbuka.

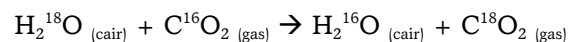
dimasukkan kedalam kontainer khusus yaitu kontainer dengan tutup kedap udara yang dapat mencegah penguapan selama penyimpanan dan transportasi dari lapangan sampai ke laboratorium.

Contoh-contoh air yang telah dikumpulkan kemudian di bawa ke laboratorium Hidrologi dan Kimia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi-BATAN untuk analisis komposisi isotop stabil <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H dari contoh tersebut.

**Metode Analisis.** Kelimpahan relatif molekul-molekul H<sub>2</sub><sup>18</sup>O (<sup>18</sup>O) dan HD<sup>16</sup>O (D atau <sup>2</sup>H) dalam contoh air diukur relatif terhadap suatu air standar internasional, SMOW (Standard Mean Ocean Water). Pengukuran kelimpahan relatif tersebut dilakukan dengan alat Spektrometer massa dengan persiapan berikut :

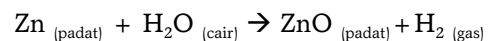
- Untuk pengukuran <sup>18</sup>O, contoh air direaksikan dengan gas CO<sub>2</sub> standar. Contoh air dan gas CO<sub>2</sub> standar dikocok selama 8 jam sampai

mencapai kesetimbangan dalam reaksi di bawah ini :



Selanjutnya gas CO<sub>2</sub> yang diperoleh akan dimasukkan ke dalam alat spektrometri massa.

- Sedangkan untuk pengukuran Deuterium, sebanyak 0,45 gr Zn dimasukkan ke dalam tabung reaksi khusus bersama-sama dengan contoh air yang akan dianalisis sebanyak 10 µl kemudian divakumkan, dengan terlebih dahulu dibekukan dengan N<sub>2</sub> cair sampai tekanan mencapai ± 10<sup>-2</sup> mbar. Tabung reaksi tersebut kemudian dimasukkan ke dalam blok pemanas pada suhu 520°C, dimana akan berlangsung reaksi sebagai berikut :



Selanjutnya gas H<sub>2</sub> yang diperoleh dari reaksi di atas diukur dengan alat spektrometer massa.

Tabel 2: Hasil analisis contoh air yang dikumpulkan.

No.	Kode Sampel	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)
1	BT - 1	-5.11	-34.2
2	BT - 2	-6.32	-39.4
3	BT - 3	-3.86	-26.4
4	BT - 4	-6.32	-36.4
5	BT - 5	-7.03	-41.2
6	BT - 6	-5.85	-36.1
7	BT - 7	-5.38	-29.3
8	BT - 8	-5.22	-31.5
9	BT - 9	-5.29	-27.7
10	BT - 10	-6.26	-35.0
11	BT - 11	-6.76	-39.2
12	BT - 12	-6.46	-38.1
13	BT - 13	-7.03	-43.6

Sebaran kelimpahan relatif Oksigen-18 ( $\delta_{\text{O-18}}$ ) dan Deuterium ( $\delta_{\text{D}}$ ) diberikan dalam Gambar 4 dan Gambar 5 secara berurutan. Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan kecenderungan yang hampir sama dimana kelimpahan relatif baik untuk Oksigen-18 maupun untuk Deuterium mempunyai kelimpahan yang relatif lebih *depleted* (rendah) pada sisi kedua sungai (Sungai Progo dan Winongo) yang mengapit daerah penelitian yang kemudian semakin tinggi ke arah tengah. Hal ini dapat menunjukkan bahwa kedua sungai khususnya sungai Progo mempunyai peran yang sangat tinggi sebagai pengimbu daerah yang diteliti. Kelimpahan relatif Oksigen-18 ( $\delta_{\text{O-18}}$ ) dan Deuterium ( $\delta_{\text{D}}$ ) dari air sungai secara umum akan lebih rendah dari air hujan setempat karena air sungai berasal dari daerah yang lebih tinggi. Sehingga dapat disimpulkan keadaan air tanah setempat sangat dipengaruhi oleh keadaan sungai Progo dan sungai Winongo. Menurut data ini dan informasi yang dikumpulkan dilapangan secara kuantitatif air tanah mempunyai potensi yang sangat besar. Yang perlu diperhatikan adalah kualitas air tanah tersebut. Karena waktu tinggal air di permukaan yaitu di persawahan relatif tinggi sebelum menyusup ke dalam tanah maka kemungkinan untuk tercemar sangat tinggi baik melalui kegiatan pertanian baik kegiatan manusia lainnya.

## KESIMPULAN

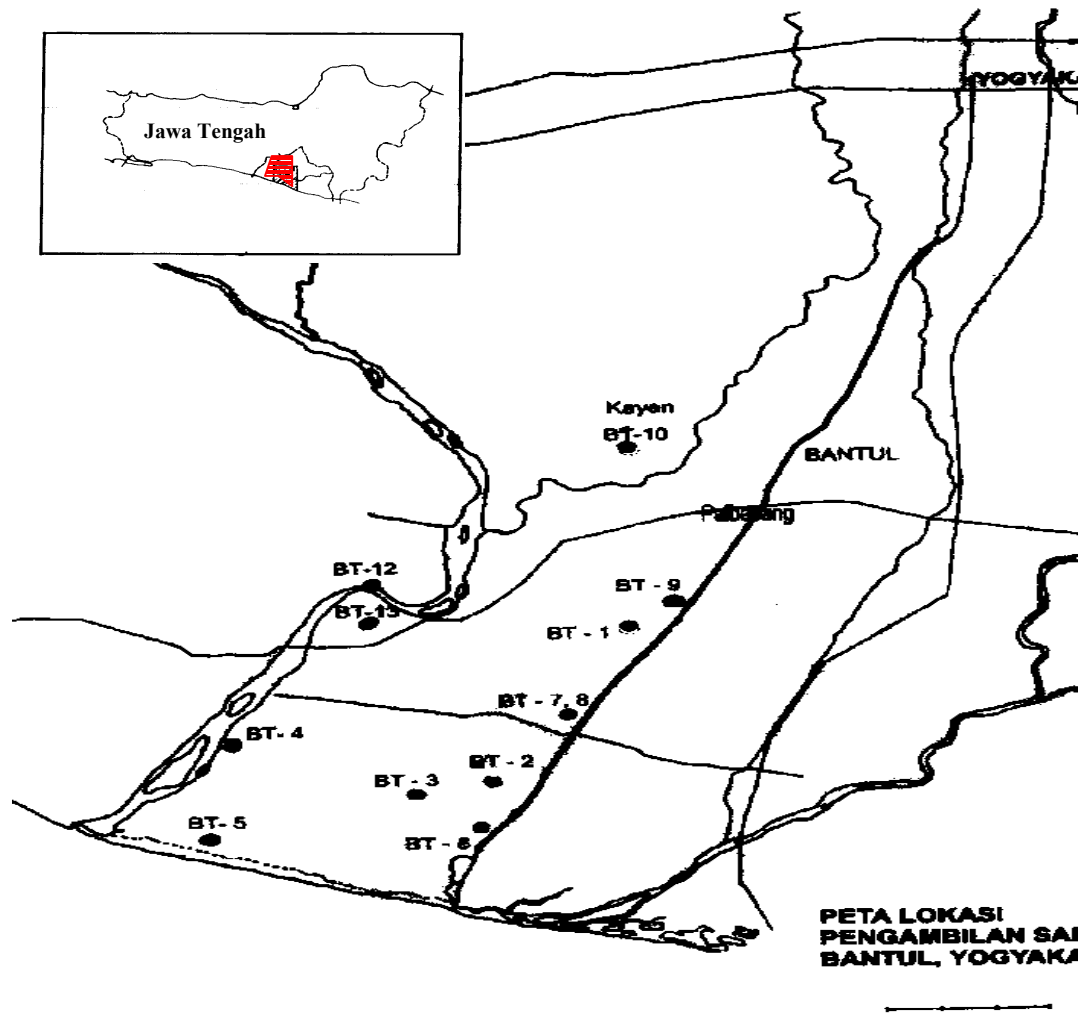
- Karakteristik air tanah di daerah pantai Selatan Yogyakarta khususnya daerah yang diapit oleh sungai Progo dan sungai Winongo yang mencakup daerah seluas 60 km<sup>2</sup> sangat dipengaruhi oleh keadaan kedua sungai tersebut

khususnya sungai Progo. Kedua sungai tersebut khususnya sungai Progo mempunyai peran yang sangat berarti sebagai pengimbu air tanah dangkal daerah tersebut.

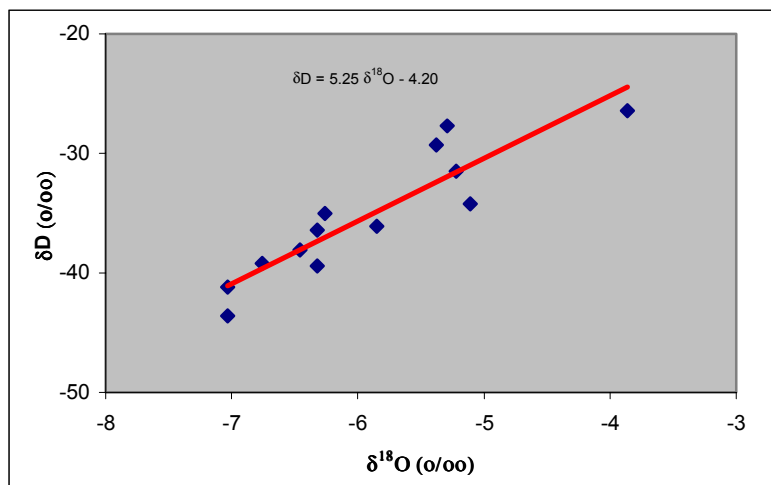
- Air yang berasal dari sungai tersebut menyusup kedalam pori tanah melalui genangan air di persawahan. Waktu tinggal air tersebut dalam genangan adalah relatif panjang (beberapa hari) sehingga kelimpahan relatif isotop stabil contoh air menunjukkan adanya proses penguapan sebelum menyusup.
- Karena peran sungai Progo dan Winongo sebagai pengimbu air tanah dangkal disamping air hujan setempat, sehingga memungkinkan untuk mengeksploitasi air tanah dangkal di daerah yang diteliti secara berkelanjutan (*sustainable exploitation*) dengan minimum pemakaian sebesar dengan pemakaian sekarang.

## DAFTAR PUSTAKA

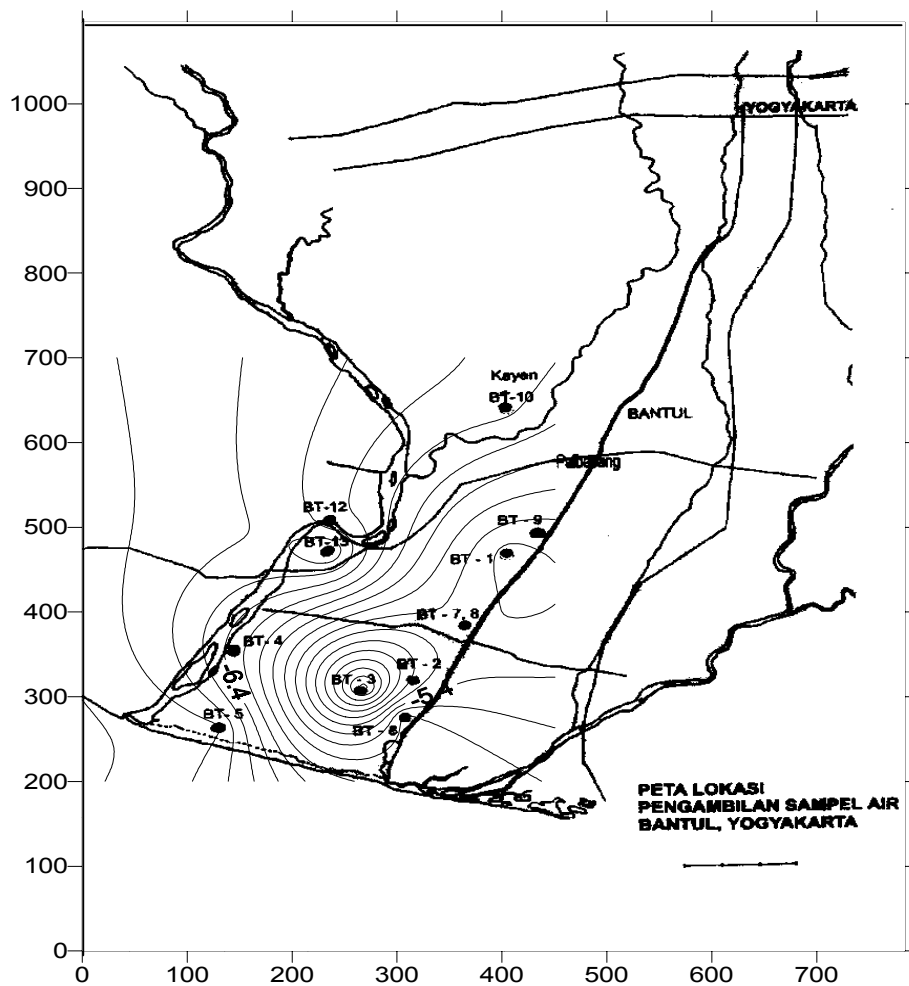
1. TODD, D.K., Groundwater Hydrology. John and Sons, New York (1980).
2. BAFI-BATAN, Studi rembesan waduk Bening-Nganjuk, Jawa Timur. Final Report, Jakarta (1984).
3. BEAR, J., Dynamics of fluids in porous media. American Elsevier, New York (1972).
4. HOEFS J., Stable isotop geochemistry. Springer verlag, Berlin - Heidelberg-New York (1980).
5. FETTER, C.W., Applied Hydrogeology. Merrill Publishing Co., Columbus, Ohio (1988).
6. SIDAURUK, P., Pengaruh proses penguapan terhadap perbandingan D/H dan <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O dalam air: Skripsi sarjana, Fakultas MIPA-UNAS, Jakarta (1987).



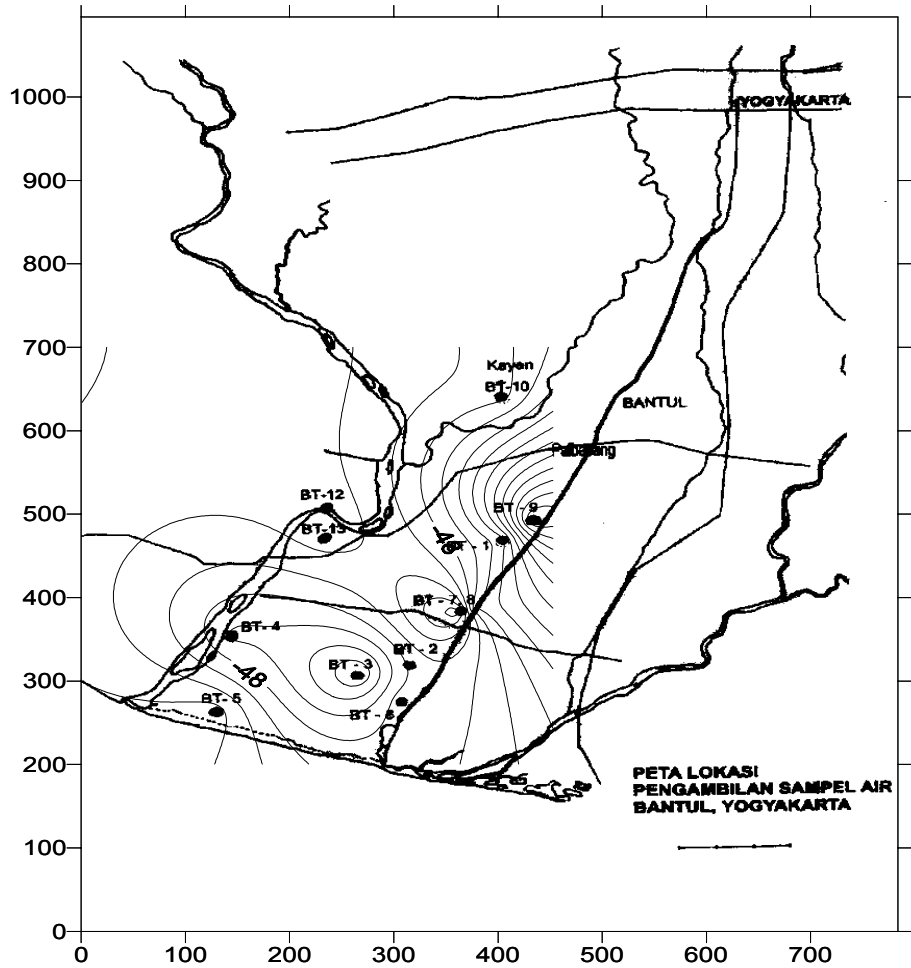
Gambar 2 : Lokasi pengambilan contoh di daerah Bantul



Gambar 3: Hubungan antara  $\delta_D$  vs  $\delta_{O-18}$  contoh air tanah Bantul



Gambar 4: Sebaran Oksigen-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) contoh air tanah daerah Bantul.



Gambar 5: Sebaran Deuterium ( $\delta_D$ ) contoh air tanah daerah Bantul.

## DISKUSI

HADI SUNTOKO

Untuk menentukan potensi air tanah banyak parameter yang dianalisis, apakah Anda mempertimbangkan masalah topografi, kecepatan aliran air tanah dan sumber air tanah dalam hubungan dengan porositas ?

PASTON SIDAURUK

Penelitian ini adalah bersifat kualitatif, di mana potensi air tanah diperkirakan dari jenis daerah imbuh, bentangan akuifer maupun umur air tanah tersebut. Potensi air tanah disimpulkan dari daerah imbuhnya. Hasil ini harus dilanjutkan dengan uji kuantitatif seperti uji bor (*will testing*), dalam uji inilah permeabilitas, porositas menjadi sangat penting.

SOFYAN YATIM

Kesempatan utama penelitian Anda adalah relasi yang kuat sungai Progo dan Sungai Winongo dengan air tanah dangkal daerah Bantul. Kesimpulan ini kelihatannya sangat logis mengingat daerah tersebut memang diapit oleh kedua sungai tersebut. Apakah ada kesimpulan lain dengan teknik isotop yang anda gunakan, tentang fraksi kontribusi kedua sungai tersebut terhadap air tanah daerah Bantul ?

PASTON SIDAURUK

Kesimpulannya adalah bahwa Sungai Progo dan Sungai Winongo adalah pengimbuah air tanah dangkal di daerah tersebut. Sesuatu yang logis belum tentu benar, seperti suatu daerah yang dialiri sungai belum tentu mengimbuah daerah tersebut malah kadang-kadang justru air tanah setempat yang mengalir ke sungai.

SUGIHARTO

Dari gambar (titik) yang disajikan diperlihatkan kontur air dari sungai Progo dan sungai Winongo yang berpusat pada satu titik, Apakah titik tersebut adalah titik pengamatan ? Seberapa jauhkah ( $\text{km}^2$ ) kontur tersebut menggambarkan potensi air dangkal diantara 2 sungai tersebut ?

PASTON SIDAURUK

Titik yang kelihatan seperti pusat kontur bukan merupakan titik pengamatan, tetapi menunjukkan daerah dengan konsentrasi Oksigen-18/Deuterium terbesar menurut interpolasi kontur tersebut. Daerah yang diteliti meliputi daerah  $60 \text{ km}^2$ . Kontur hanya menunjukkan bahwa Sungai Progo dan Sungai Winongo mengimbuah air air tanah dangkal setempat.