

**STUDI KONEKTIVITAS AKUIFER ANTARA SUMUR BOR  
DENGAN SUMBER DAYA AIR DI BAWAHNYA**  
*(Study of Aquifer Connectivity between Boreholes with Water Resources  
Underneath)*

**Agus BudhieWijatna<sup>\*</sup>, Sudarmadji<sup>\*\*</sup>, Sunarno<sup>\*\*\*</sup>, dan Heru Hendrayana<sup>\*\*\*</sup>**  
<sup>\*</sup>Sekolah Pasca Sarjana/Fakultas Teknik UGM; email: gusbudiftugm@gmail.com  
<sup>\*\*</sup>Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia  
<sup>\*\*\*</sup>Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia,

**Abstrak**

Untuk memenuhi kebutuhan air bersih bagi penduduk di daerah bekas bencana letusan Gunung Merapi, Kabupaten Sleman, DIY, telah dibuat 5 sumur bor di Dusun Srunen (BH1), Pagerjurgan (BH2), Ngepring (BH3), Kuweron (BH4), dan di Dusun Bubur (BH5). Pembuatan sumur bor pada elevasi antara 544 sampai 846 m.dpl, dengan kedalaman antara 98–146 m dan debit pengambilan airtanah rerata 9–10 liter per detik tersebut dikawatirkan akan mempengaruhi kondisi muka airtanah sumur gali di Dusun Pendowoharjo (W7), Ngaglik (W8), Gebang (W9), Condong Catur (W10), sumur UGM (W11) dan mempengaruhi debit umbul (mataair) Ngepas (S8), Umbul Jogopaten (S9), Umbul Pajangan (S10), Umbul Londo (S11), Umbul Permai (S12), dan Umbul Seturan (S13), yang berada pada elevasi 148–329 m.dpl. Secara teoritis, pengambilan airtanah di sumur bor akan berpengaruh jika terdapat interkoneksi hidrolik antara sumur bor dengan sumur gali dan mataair.

Pada penelitian ini, interkoneksi hidrolik antara sumur bor dengan sumur gali dan mataair dilakukan menggunakan isotop lingkungan ( $D$ ,  $^3H$  dan  $^{18}O$ ). Penelitian diawali dengan menentukan lokasi pengambilan sampel airtanah berdasarkan peta topografi dan kondisi hidrologi; sampel airtanah diambil dari sumur bor, sumur gali dan mataair sebanyak 30 ml dan 1.000 ml; rasio isotop  $\delta D$  dan  $\delta^{18}O$  pada sampel airtanah diukur dengan *liquid-water stable isotope analyzer LGR DLT-100*, sedangkan kadar tritium diukur dengan *Liquid Scintillation Counter (LSC) Tri Carb 1900 TR*. Genesis sampel airtanah ditentukan berdasarkan komposisi isotop ( $\delta^{18}O$ ,  $\delta D$ ) dengan mengacu pada persamaan *Merapi Meteoric Water Line (MMWL)*; sedangkan untuk memastikan adanya interkoneksi hidrolik, maka hasil pengukuran kadar tritium dianalisis dengan *tritium dating method*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa genesis airtanah di BH1, BH2, BH3, dan BH4 berbeda dengan genesis airtanah sumur gali dan mataair di bawahnya. Sehingga dapat disimpulkan airtanah sumur bor di BH1, BH2, BH3, dan BH4 tidak memiliki interkoneksi hidrolik dengan airtanah di sumur gali W7, W8, W9, W11 dan W12, maupun airtanah di mataair S8, S9, S10, S11, S12, dan S13. Sedangkan airtanah di sumur bor BH5, W7, S11 dan S12 memiliki genesis yang sama, dengan rasio isotop berkisar antara  $\square 40,40\%$  sd.  $\square 39,20\%$  untuk  $\delta D$  dan  $\square 6,59\%$  sd.  $\square 6,51\%$  untuk  $\delta^{18}O$ , sehingga diperkirakan airtanah di BH5 memiliki interkoneksi hidrolik dengan airtanah di W7, S11 dan S12. Kadar tritium di BH5 = 2,9TU lebih muda daripada umur tritium di W7 (= 1,7TU), S11(=2,5TU) dan S12 (= 1,4TU), sehingga diperkirakan airtanah di BH5 mengalir ke W7, S11 dan S12. Sedangkan komposisi isotop airtanah di S8, S9, dan S10 adalah  $\square 36,65\%$  sd.  $\square 35,98\%$  untuk  $\delta D$  dan  $\square 6,19\%$  sd.  $\square 6,09\%$  untuk  $\delta^{18}O$ . Nilai komposisi isotop airtanah di S8, S9, dan S10 hampir berimpit dengan garis *MMWL*, sehingga dapat disimpulkan sebagian besar airtanah di S8, S9, dan S10 berasal dari air hujan lokal.

### Abstract

To meet the needs of clean water for the people in the former of mount Merapi eruption disaster area at Sleman Regency, it has been made five boreholes at Dusun Srunen (BH1), Pagerjurang (BH2), Ngepring (BH3), Kuweron (BH4), and at Dusun Bubur (BH5). The groundwater abstraction of 9–10 liters.sec<sup>-1</sup> on each boreholes which located at an elevation of between 544 to 846 m.asl, with depths of between 98 to 146 m is feared will influence water-level of the dug wells at Dusun Pendowoharjo (W7), Ngaglik (W8), Gebang (W9), Condong Catur (W10), wells UGM (W11) and also will influence water-level of the springs of Ngepas (S8), springs of Jogopaten (S9), springs of Pajangan (S10), springs of Londo (S11), springs of Permai (S12), and the springs of Seturan (S13) which located at an elevation of 148–329 m.dpl. Theoretically, groundwater abstraction on boreholes will take effect if there is a hydraulic interconnection between the boreholes with dug wells and springs.

The hydraulic interconnection between the boreholes with dug wells and springs investigated using natural isotopes (D, <sup>3</sup>H and <sup>18</sup>O). The research initiated by determining the location of groundwater sampling based on topographic maps and hydrological conditions; groundwater samples taken from boreholes, dug wells and springs as much as 30 ml and 1.000 ml;  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  isotope ratios of groundwater samples were measured using a Liquid-Water Stabel Isotope Analyzer LGR DLT -100, while the tritium levels were measured by Liquid Scientillation Counter (LSC) Tri Carb 1900 TR. Isotope ratios of  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  were analyzed by referring to Merapi Meteoric Water Line (MMWL) to determine the genesis of groundwater samples, whereas the rate of tritium were analyzed using tritium dating method to ensure the hydraulic interconnection.

The results of this research is the isotopic composition of groundwater in the BH1, BH2, BH3, and BH4 different with isotopic composition of groundwater in dug wells (W) and springs (S). It is indicated that there is no a hydraulic interconnection of groundwater system between BH1, BH2, BH3, and BH4 with groundwater system of W7, W8, W9, W10 and W11 and the S8, S9, S10, S11, S12, and S13. While groundwater in BH5, W7, S11 and S12 have the same genesis with isotope ratios ranged from  $\square 6,59\%$  to  $\square 6,51\%$  for  $\delta^{18}O$  and  $\square 40,40\%$  to  $\square 39,2\%$  for  $\delta D$ , therefore it is estimated that there is a hydraulic interconnection between BH5 with W7, S11 and S12. Levels of tritium in BH5 = 2,9TU is younger than W7 (= 1,7TU), S11 (-2,5TU) and S12 (= 1,4TU), it is estimated that groundwater in BH5 flows to Pendowoharjo well (W7) Londo springs (S11) and Permai springs (S12).

Isotopic composition of groundwater in S8, S9, and S10 ranged from  $\square 6,19\%$  to  $\square 6,09\%$  for  $\delta^{18}O$  and  $\square 36,65\%$  to  $\square 35,98\%$  for  $\delta D$ . These isotope ratios are similar to the isotopic composition of rainfall on MMWL. Therefore, the most of the groundwater in the S8, S9, and S10 derived from local rainfall.

*Keywords: environmental isotope, isotope composition, hydraulic interconnections, MMWL.*

### PENGANTAR

Dalam rangka memenuhi kebutuhan air bersih bagi penduduk yang tinggal di kawasan bekas bencana letusan Gunung Merapi, yayasan salah satu TV swasta nasional telah membuat lima sumur bor (borehole, BH) yang terletak di Dusun Srunen (BH1), Pagerjurang (BH2), Ngepring (BH3), Kuweron (BH4), dan di Dusun Bubur (BH5) Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Sumur bor dengan kedalaman pengeboran antara 98–146 m, dibuat pada elevasi

antara 544 sampai 846 meter di atas permukaan laut (m.dpl), dan masing-masing sumur bor menghasilkan debit rerata 9–10 liter per detik [Hartono, 2001]. Diantara ke-5 sumur bor tersebut terdapat mataair Umbul Wadon dan Umbul Lanang (Gambar 1); sedangkan di bawahnya atau di selatan lokasi sumur bor, yang secara horizontal berjarak antara 0,5 km sampai dengan 2,5 km, pada elevasi 148–329 m.dpl, terdapat beberapa sumur penduduk, yakni: di Dusun Pendowoharjo (W7), Dusun Ngaglik (W8), Dusun Gebang (W9), Dusun Condong Catur (W10),

sumur UGM (W11) dan beberapa mataair, yakni: Umbul Ngepas (S8), Umbul Jogopaten (S9), Umbul Pajangan (S10), Umbul Londo (S11), Umbul Permai (S12), dan Umbul Seturan (S13). Menurut Hartono [2001], sumur gali dan mataair tersebut di atas merupakan sumber air bersih bagi penduduk setempat. Pengguna sumur gali (W) dan mataair (S) khawatir pengambilan airtanah melalui sumur bor (BH) akan mempengaruhi kondisi muka airtanah (water table) hingga di bawah dasar sumur gali dan di bawah level ketinggian mataair. Secara teoritis, pengambilan airtanah di sumur bor akan mempengaruhi kondisi muka airtanah sumur gali dan mataair jika terdapat interkoneksi hidraulik antara sumur bor dengan sumur gali dan mataair. Interkoneksi hidraulik antara lima sumur bor dengan mataair Umbul Lanang dan Umbul Wadon telah diteliti oleh Wijatna AB dkk. [2013b]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hanya sumur bor BH1, BH2, BH3, dan BH4 yang memiliki interkoneksi hidraulik dengan mataair Umbul Lanang dan Umbul Wadon sedangkan sumur bor BH5 tidak memiliki interkoneksi hidraulik dengan kedua mataair tersebut. Sementara itu, bagaimana interkoneksi hidraulik antara sumur bor BH1, BH2, BH3, BH4, dan BH5 dengan sumur-sumur gali (W) dan mataair-mataair (S) yang berada di bawahnya, belum pernah diteliti.

Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk mengetahui ada-tidaknya interkoneksi hidraulik antara ke-5 sumur bor (BH) dengan sumur gali (W) dan mataair (S) yang berada di bawahnya. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode perunut isotop lingkungan (method of natural isotopes tracer). Penelitian ini menarik dilakukan mengingat data Pemerintah Kabupaten Sleman [NN, 2011a] menunjukkan bahwa

di daerah penelitian ini terdapat beberapa sumur gali dan 56 mataair (springs belt), 21 diantaranya memiliki debit > 10 liter per detik, terutama pada musim penghujan.

## TINJAUAN PUSTAKA

Airtanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau lapisan batuan di bawah permukaan tanah. Keberadaan airtanah tergantung pada ada atau tidaknya lapisan tanah atau formasi batuan yang dapat menyimpan dan melalukan airtanah yang disebut akuifer. Menurut Todd [1980] dan Kresic [2010], formasi geologi yang dapat berfungsi sebagai akuifer antara lain adalah endapan alluvial, batuan vulkanik, batuan beku, batuan metamorfose dan batu gamping. Sekitar 90% endapan alluvial di lereng selatan Merapi terdiri dari material lepas seperti pasir, kerikil, dan kerakal yang merupakan lapisan akuifer yang potensial [Purnama dkk., 2007]. Pembentukan dan penyebaran airtanah di lereng selatan Merapi dapat diklasifikasikan menjadi tiga satuan, yakni (a) kawasan puncak gunungapi dengan material penyusunnya adalah lava, bongkah, dan bahan piroklastik, (b) kawasan tubuh gunungapi dengan material penyusun utama adalah bahan piroklastik yang telah memadat dan munculnya beberapa mataair di daerah ini karena perubahan porositas tanah atau adanya tekuk lereng, dan (c) kawasan kaki gunungapi [Purbohadiwidjojo dalam Wilopo, 1999]. Hasil pemboran air bawah tanah dan ciri-ciri litologi [NN, 2011b; NN, 2011c] menunjukkan bahwa daerah di lereng selatan Merapi merupakan Endapan Vulkanik Merapi Muda yang terdiri dari: Formasi Yogyakarta di bagian atas, dengan ketebalan  $\pm 42\text{m}$  dan Formasi Sleman di bagian bawahnya, dengan ketebalan  $\pm 36\text{m}$ . Semakin ke selatan,

ketebalan Endapan Vulkanik Merapi Muda semakin tipis. Berdasarkan formasi dan litologi batuan juga diketahui bahwa kondisi akuifer di daerah ini memiliki sistem akuifer berlapis banyak (multilayer aquifer) dan di bagian bawah kedua formasi ini dialasi oleh lapisan Endapan Vulkanik Merapi Tua yang berumur Plistosen Atas, sehingga kedua formasi ini membentuk sistem akuifer bebas (unconfined aquifer) dan sistem akuifer setengah bebas (semi-unconfined aquifer) dengan potensi akuifer sedang sampai dengan baik Hendrayana [2012]. Kedua sistem akuifer tersebut memiliki sifat-sifat hidraulika yang sama dan saling berhubungan sehingga dapat disatukan menjadi satu sistem akuifer tunggal yang disebut dengan Sistem Akuifer Merapi (SAM).

Penggunaan isotop lingkungan sebagai perunut dalam studi airtanah di kawasan di mana terdapat SAM sudah pernah dilakukan. Penggunaan isotop lingkungan sebagai perunut biasanya bersifat komplementer terhadap teknik konvensional yang sudah ada, terutama ketika pendekatan topografi, geologi, dan hidrogeologi masih belum memberikan jawaban yang memuaskan terhadap permasalahan yang dihadapi. Muharini [2011] telah menggunakan isotop lingkungan (D dan  $^{18}O$ ) untuk mengetahui kesamaan komposisi isotop airtanah di Mataair Demangan di Kecamatan Depok, Mataair Tirtoadi di Kecamatan Mlati, dan Mataair Sibedug di Kecamatan Sayegan yang sama-sama berada di dalam SAM. Hasil penelitian menunjukkan adanya kesamaan komposisi isotop deuterium (D) dan ( $^{18}O$ ) pada airtanah yang diambil di Mataair Tirtoadi dan Mataair Sibedug, sedangkan airtanah di Mataair Demangan memiliki komposisi isotop yang berbeda. Sehingga diperkirakan terdapat interkoneksi

hidraulik antara Mataair Tirtoadi dengan Mataair Sibedug, sedangkan dengan Mataair Demangan, kedua mataair tersebut diperkirakan tidak memiliki interkoneksi hidraulik. Perdana [2012] juga telah menggunakan isotop D,  $^{18}O$  dan tritium ( $^3H$ ) untuk menentukan pola aliran airtanah di sekitar mataair (umbul) Seturan yang juga berada dalam SAM di lereng selatan Merapi. Kadar isotop D dan  $^{18}O$  digunakan untuk mengetahui ada-tidaknya interkoneksi hidraulik antara Umbul Seturan dan airtanah sumber air di sekitarnya, sedangkan tritium ( $^3H$ ) digunakan untuk mengetahui umur airtanah dan menentukan arah aliran airtanah yang berasal dari sistem akuifer yang sama atau yang memiliki interkoneksi hidraulik. Hasil analisis menunjukkan bahwa genesis airtanah di Sumur Gebang sama dengan genesis airtanah di Umbul Seturan. Hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa umur airtanah di Sumur Gebang lebih muda dari umur airtanah di Umbul Seturan, sehingga diperkirakan airtanah di Sumur Gebang mengalir ke Umbul Seturan dengan waktu tempuh  $\pm 288,5$  hari, kecepatan linear aliran airtanah sebesar 9,654 meter per hari, dan konduktivitas hidraulik sebesar  $5,881.10^{-3}$  meter per hari.

## LANDASAN TEORI

### Isotop dalam Air

Air dengan unsur kimia utama hidrogen (H) dan oksigen (O) mempunyai rumus kimia  $H_2O$ . Hidrogen memiliki 3 isotop, yakni protium ( $^1H$ ; 99,985%), deuterium ( $^2H$  atau D;  $\sim 0,015\%$ ), tritium ( $^3H$ ). Oksigen juga memiliki 3 isotop, yakni  $^{16}O$  (99,759%),  $^{17}O$  (0,037%),  $^{18}O$  (0,204%). Rasio isotop dinyatakan dengan notasi R. Nilai R untuk D/ $^1H$  dan  $^{18}O/^{16}O$  dalam molekul air tergantung

pada kelembaban, tekanan, dan suhu lingkungan di sekitarnya. Karena setiap lokasi memiliki kelembaban, tekanan, dan suhu lingkungan yang spesifik, maka variasi R dalam air dapat digunakan sebagai petunjuk asal-usul air maupun studi hidrologi lainnya. Sebagai contoh, air yang berasal lokasi yang sama, memiliki nilai R yang sama, dan sebaliknya. Sedangkan air yang telah mengalami evaporasi akan memiliki nilai R yang lebih besar daripada air sebelum mengalami evaporasi.

Karena nilai R sangat kecil, maka untuk memudahkan diberlakukan konvensi yang berlaku secara internasional dengan menyatakan rasio isotop  $\delta D$  dan  $\delta^{18}O$  (satuan per mill, ‰) dalam air relatif terhadap air laut (Standard Mean Ocean Water, SMOW) melalui persamaan [Payne, 1983; Mazor, 1997; Kresic, 2010]:

$$\delta_{smp} = \{(R_{smp} - R_{std}) / R_{std}\} \times 1000 \dots \quad (1)$$

dengan  $\delta_{smp}$  = rasio isotop  $\delta D$  dan  $\delta^{18}O$  sampel air relatif terhadap SMOW;  $R_{smp}$  = rasio isotop  $D/H$  dan  $^{18}O/^{16}O$  sampel air;  $R_{std}$  = rasio isotop  $D/H$  atau  $^{18}O/^{16}O$  air laut (SMOW).

Secara teoritis rasio isotop  $\delta D$  dan  $\delta^{18}O$  pada air hujan bervariasi sebagai fungsi elevasi, jumlah curah hujan, dan garis lintang [Eriksson, 1983; Mazor, 1997; Kresic, 2010]. Berdasarkan hasil pengukuran rasio isotop  $\delta D$  dan  $\delta^{18}O$  sampel air hujan yang diambil dari beberapa stasiun tadah hujan di berbagai negara di dunia, International Atomic Energy Agency (IAEA) dan World Meteorological Organization (WMO) menetapkan persamaan yang menyatakan variasi rasio isotop air hujan sebagai fungsi elevasi dan disebut Global Meteoric Water Line (GMWL) [Craig, 1961]:

$$\delta D = 8,0 \delta^{18}O + 10‰ \dots \dots \dots \quad (2)$$

Sedangkan penelitian Wijatna dkk. [2013a] melalui 5 lokasi tadah hujan yang diletakkan di lereng selatan Gunung Merapi (pada elevasi antara 126–1.260 m.dpl) mendapatkan *Local Meteoric Water Line (LMWL)* di kawasan Merapi bagian selatan dan selanjutnya disebut *Merapi Meteoric Water Line (MMWL)* adalah sebagai berikut:

$$\delta D = 8,332 \delta^{18}O + 15,068‰ \dots \dots \dots \quad (3)$$

Persamaan *MMWL* ini sangat bermanfaat untuk studi hidrologi yang memanfaatkan isotop alam sebagai perunut, khususnya di lereng selatan Gunung Merapi, yakni untuk menentukan asal-usul, kecepatan aliran airtanah, serta penentuan daerah resapan air.

### Analisis Konsentrasi Isotop Stabil

Gambar 2 adalah contoh hasil plotting koordinat atau komposisi isotop ( $\delta^{18}O$ ,  $\delta D$ ) sampel air ke dalam diagram salib sumbu  $\delta^{18}O$  versus  $\delta D$  yang menghasilkan grafik GMWL untuk studi hidrologi.

Gambar 2 menginformasikan hal-hal sebagai berikut.

Komposisi isotop ( $\delta^{18}O$ ,  $\delta D$ ) sampel air dapat diklasifikasi menjadi 2 kelompok, yakni A dan B. Terpisahnya air kelompok A dan B menunjukkan isotop sampel air kelompok A dan B berasal dari daerah resapan yang elevasinya berbeda [Eriksson, 1983; Mazor, 1997].

Komposisi isotop ( $\delta^{18}O$ ,  $\delta D$ ) sampel airtanah kelompok A lebih kaya (enriched) daripada isotop sampel airtanah B (depleted), sehingga dapat dipastikan bahwa sampel airtanah A berasal dari daerah resapan yang elevasinya lebih rendah daripada daerah resapan B [Wijatna dkk., 2013b].

Komposisi isotop sampel air A dan B berimpit dengan garis GMWL. Hal ini menunjukkan airtanah di A maupun di B sebagian besar berasal dari air hujan lokal.

Metode isotop lingkungan dapat digunakan untuk membedakan antara air kuno (connate water) atau air yang terjebak dalam batuan dalam waktu lama (paleowater) dengan air modern maupun air hujan.

Metode isotop lingkungan juga memungkinkan untuk menganalisis apakah di suatu lokasi/ sumber air telah terjadi percampuran (*mixing*) antara airtanah modern dengan air kuno maupun kemungkinan terjadinya intrusi air laut.

### Analisis Konsentrasi Radioisotop Tritium

Tritium ( $^3\text{H}$ ) adalah isotop hidrogen yang bersifat radioaktif; meluruh (decay) dengan waktu paro (half life),  $T_{1/2} = 12,43$  tahun menjadi isotop gas mulia  $^3\text{He}$  dengan memancarkan radiasi beta ( $\beta$ ) berenergi  $E_{\beta} \text{ maks} = 18,6 \text{ keV}$ . Pengukuran radioaktivitas tritium dilakukan dengan menggunakan Liquid Scintillation Counter (LSC) Tri Carb 1900 TR. Hasil pengukuran radioaktivitas tritium dinyatakan dalam satuan tritium unit (TU), dimana satu TU = satu atom tritium ( $^3\text{H}$ ) per 10<sup>18</sup> atom protium ( $^1\text{H}$ ). Hasil pengukuran radioaktivitas tritium dianalisis dengan metode penanggalan tritium (tritium dating methods) [Mazor, 1997; Kresic, 2010] untuk menentukan umur, arah aliran dan kecepatan linear airtanah dengan menggunakan rumus:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \dots\dots\dots$$

dengan

$A_0$  = aktivitas atau umur tritium mula-mula, TU

$A_t$  = aktivitas atau umur tritium setelah t tahun, TU

$\lambda$  = konstanta peluruhan, per tahun

t = interval waktu, tahun.

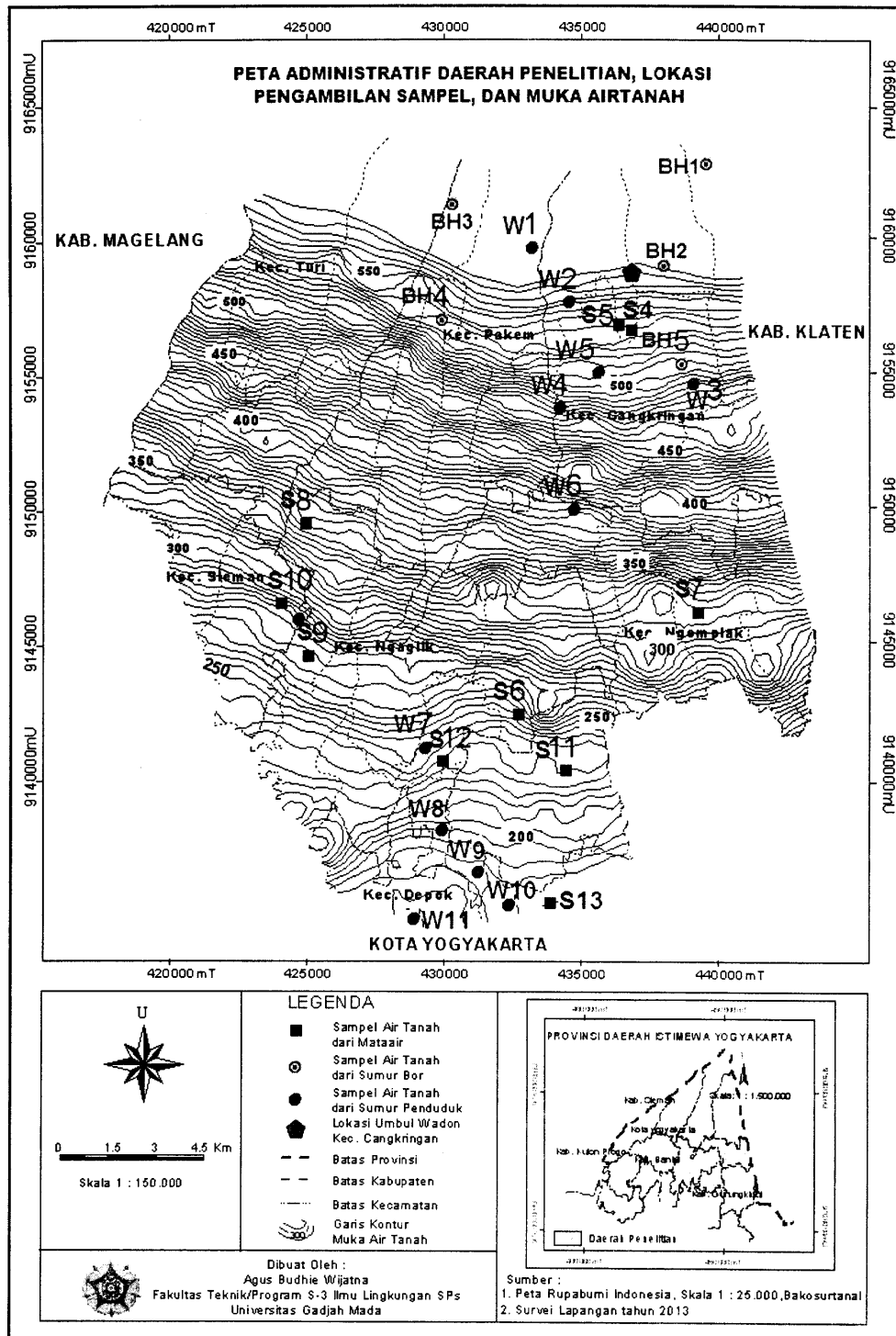
Mengingat lokasi sumur bor di Dusun Srunen (BH1) berada pada elevasi tertinggi, maka pada penelitian ini umur tritium airtanah di BH1 dijadikan acuan

sebagai umur tritium mula-mula, yakni sebesar  $4,96 \pm 0,3 \text{ TU}$ . Secara teoritis, pengambilan air airtanah di kelompok sumur bor (BH) akan mempengaruhi kondisi muka airtanah di kelompok mataair (S) dan kelompok sumur gali (W) apabila airtanah di ketiga kelompok sumber air tersebut memiliki interkoneksi hidraulik. Secara isotopik, kelompok sumur bor memiliki interkoneksi hidraulik dengan kelompok mataair dan kelompok sumur gali jika airtanah di sumur bor memiliki genesis airtanah yang sama atau memiliki komposisi isotop ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ ) yang sama dengan komposisi isotop ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ ) airtanah di mataair dan sumur gali [Quijano, 1983; Scholl et.al, 1995], dan airtanah di sumur bor memiliki umur yang lebih muda atau memiliki kadar tritium ( $^3\text{H}$ ) yang lebih besar daripada kadar tritium airtanah di mataair dan sumur gali [Fonte, 1983 ; Mazor, 1997].

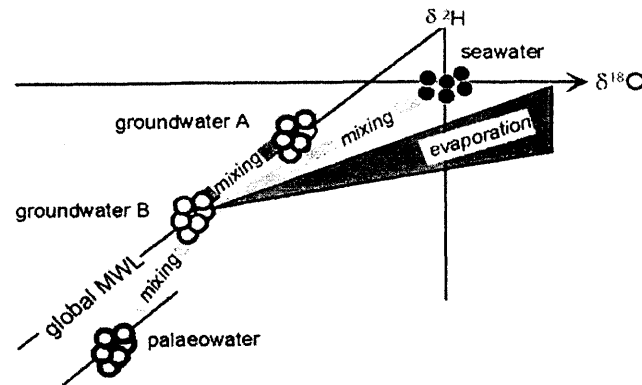
### KONDISI DAERAH PENELITIAN

Secara administratif daerah penelitian meliputi tujuh kecamatan di Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta, yakni: Kecamatan Turi, Pakem, Cangkringan, Sleman, Ngaglik, Ngemplak dan Kecamatan Depok, dengan batas-batas administratif: sebelah utara dibatasi kerucut puncak Merapi, sebelah barat dibatasi Kabupaten Kulonprogo; sebelah timur dibatasi Kabupaten Klaten; dan sebelah selatan dibatasi Kota Yogyakarta (Gambar 1).

Secara hidrologi, daerah penelitian berada di antara daerah aliran sungai (DAS) Progo di bagian barat dan DAS Opak di bagian timur dengan geomorfologi berbukit-bukit. Ditinjau dari pola aliran airtanahnya, maka airtanah mengalir dari utara ke selatan, dengan aliran airtanah yang menyebar membentuk pola radial sentrifugal mengikuti bentuk



Gambar 1. Peta administratif daerah penelitian, lokasi pengambilan sampel, dan peta muka airtanah.



Gambar 2. Interpretasi komposisi isotop air relatif terhadap *GMWL* [Gat, 2010]

lereng. Pola aliran airtanah menyebar seperti ini merupakan ciri khas morfologi gunungapi strato [Juanda, 2006; Purnama dkk., 2007]. Umumnya potensi airtanah di daerah penelitian terdapat di lapisan batuan yang berpori dan belum terkonsolidasi sempurna, berselang-seling dengan lapisan-lapisan batuan hasil endapan aliran lava yang bersifat kedap air. Potensi airtanah juga terdapat pada rekahan-rekahan batuan yang terbentuk oleh kekar-kekar sehingga di daerah penelitian muncul beberapa mataair.

Menurut Hendrayana [2012], cekungan airtanah yang didominasi oleh sistem akuifer tidak tertekan, umumnya terdiri atas 3 zona, yakni: zona daerah imbuhan (*recharge area*), zona peralihan (*transition zone*), dan zona daerah luahan (*discharge area*). Secara hidrogeologi, ketiga zona ini memiliki sifat-sifat hidraulik yang sama dan saling berhubungan (Gambar 3), serta memiliki karakteristik sebagai berikut [Hendrayana, 2012]:

Daerah imbuhan airtanah terletak di atas morfologi tekuk lereng pertama hingga ke kerucut puncak Merapi, pada elevasi 700 sd 2.968 m.dpl. Pada tekuk lereng pertama banyak dijumpai mataair yang posisinya melingkari tubuh gunungapi membentuk pola seperti sabuk (*spring belt*). Daerah ini juga dicirikan

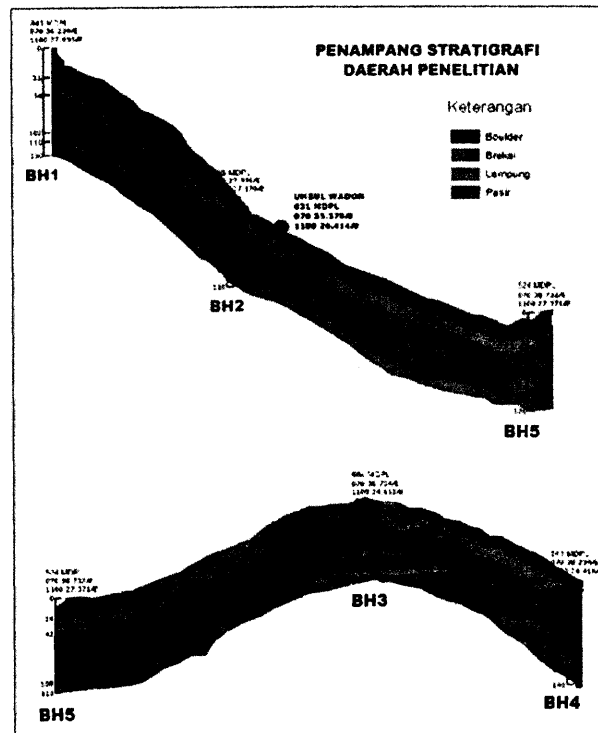
oleh garis kontur elevasi muka airtanah yang sangat rapat, sehingga sulit dipetakan.

Daerah transisi berada di bawah tekuk lereng pertama kaki gunungapi dan di bawah sabuk mataair, pada elevasi 700 sd 200 m.dpl, dengan garis kontur elevasi muka airtanah yang relatif lebih agak jarang dan mudah dipetakan.

Daerah luahan mulai dari morfologi kaki gunungapi hingga dataran kaki gunungapi dan dataran alluvial, pada elevasi 200 sd 0 m.dpl, dengan kemiringan lereng <10%, dan semakin ke selatan semakin gradient muka airtanah semakin kecil, sehingga semakin ke selatan kecepatan perkolasi airtanah semakin lambat.

Sedangkan menurut NN [2011b dan 2011c], stratigrafi pemboran inti lima sumur bor di daerah penelitian menunjukkan bahwa hingga kedalaman pengeboran -146 m belum mencapai lapisan kedap air, namun menembus lensa-lensa lempung tipis. Stratigrafi sumur bor juga menunjukkan bahwa lapisan pembentuk akuifer adalah boulder, breksi, pasir, dan lapisan lempung yang tipis di bagian terbawah dari pengeboran (Gambar 3). Fenomena ini menunjukkan bahwa akuifer daerah penelitian termasuk tipe akuifer bebas atau akuifer setengah bebas. Dengan demikian airtanah pada





Gambar 3. Sebaran akuifer dan posisi sumur bor pada penampang stratigrafi daerah penelitian.

sumur dan mataair di daerah ini kebanyakan berasal dari akuifer bebas.

### METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan dengan metode survey lapangan dan analisis sampel airtanah di laboratorium. Survey lapangan dilaksanakan berdasarkan peta topografi wilayah dan peta hidrogeologi, dengan membawa Global Positioning System (GPS) Merk Garmin dan pita ukur. Global Positioning System digunakan untuk mengetahui koordinat lokasi pengambilan sampel airtanah dan pita ukur digunakan untuk mengukur ketinggian level muka airtanah sumur. Hasil pengukuran koordinat lokasi dan ketinggian muka airtanah disajikan pada Tabel 1. Data koordinat lokasi pengambilan sampel airtanah pada Tabel 1 kemudian di plot ke

dalam Peta Administratif Daerah Penelitian sehingga diperoleh Peta Lokasi Pengambilan Sampel Airtanah sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.

Pengambilan sampel airtanah dilakukan saat musim kemarau dan saat cuaca cerah, yakni antara bulan Mei-September 2011. Pemilihan waktu tersebut bertujuan agar sampel airtanah yang diambil tidak terkontaminasi oleh isotop air hujan. Pengambilan sampel airtanah dari mataair diupayakan sedekat mungkin dengan lokasi keluarnya airtanah ke permukaan tanah, sedangkan pengambilan sampel airtanah dari sumur dangkal dan sumur bor dilakukan dengan cara dipompa kemudian ditampung di bak penampung. Sampel airtanah diambil dari mataair dan bak penampung dengan menggunakan botol sampel yang terbuat dari plastik, berukuran 30 ml dan 1.000 ml. Sampel

Tabel 1. Data koordinat dan elevasi lokasi pengambilan sampel air, serta level muka airtanah

No.	Kode Lokasi	Nama Lokasi	Koordinat UTM		Ketinggian Lokasi (m.dpl)	Muka Airtanah (m.dpl)
			Easting	Northing		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Mataair [Wijatna, 2011; Muharini, 2011]						
1	S-8	Umbul Ngepas	440234	914954	329	329
2	S-9	Umbul Jogopaten	431289	914928	270	270
3	S-10	Umbul Pajangan	562580	853969	235	235
4	S-11	Umbul Londo	434663	914606	223	223
5	S-12	Umbul Permai	432029	914286	205	204
6	S-13	Umbul Seturan	436599	914145	148	148
Sumur Gali [Wijatna, 2011; Muharini, 2011]						
7	W-7	Sumur Pendowoharjo	431227	9149309	272	268
8	W-8	Sumur Ngaglik	434571	9146089	217	215
9	W-9	Sumur Gebang	435616	9143511	174	163
10	W-10	Sumur Condong Catur	434667	9142864	161	154
11	W-11	Sumur UGM	431913	9141263	148	NA
Sumur Bor [Wijatna dkk, 2013]						
12	BH-1	Srunen	460572	9152567	846	829
13	BH-2	Pagerjuran	444561	9142816	665	650
14	BH-3	Ngepring	452529	9138279	644	625
15	BH-4	Kuweron	446637	9149021	643	624
16	BH-5	Bubur	450727	9133733	544	534

airtanah dalam botol ukuran 30 ml untuk bahan analisis isotop deuterium (D) dan oksigen-18 ( $^{18}\text{O}$ ), sedangkan sampel airtanah dalam botol ukuran 1.000 ml untuk bahan analisis kadar tritium ( $^3\text{H}$ ). Pengambilan sampel airtanah dari mataair dan bak penampung dilakukan dengan cara menenggelamkan botol ke dalam airtanah sampai botol terisi penuh dan tidak lagi terdapat gelembung udara di dalam botol sampel, kemudian botol ditutup rapat pada saat botol masih terendam dalam airtanah.

Pengukuran rasio isotop  $\delta D$  dan  $\delta^{18}\text{O}$  serta kadar tritium dalam sampel airtanah dilakukan di Laboratorium Kebumihan dan Lingkungan, Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR) BATAN, Jakarta. Pengukuran rasio isotop  $\delta D$  dan  $\delta^{18}\text{O}$  dilakukan dengan menggunakan peralatan *Liquid-*

*Water Stabel Isotope Analyzer (LWSIA)-LGR DLT-100 system*, sedangkan pengukuran kadar tritium dalam sampel airtanah dilakukan dengan menggunakan peralatan *Liquid Scientillation Counter (LSC) system*. Hasil pengukuran rasio isotop  $\delta D$  dan  $\delta^{18}\text{O}$  serta kadar tritium disajikan pada Tabel 2, kolom 4, 5, dan 6. Data hasil pengukuran rasio isotop  $\delta D$  dan  $\delta^{18}\text{O}$  sampel airtanah pada Tabel 2, kolom 4 dan 5 di *plot* ke dalam diagram salib sumbu  $\delta^{18}\text{O}-\delta D$  yang sama dengan diagram yang digunakan untuk menggambarkan grafik *MMWL* sehingga diperoleh Gambar 4. Kemudian posisi komposisi/ koordinat rasio isotop ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta D$ ) airtanah relatif terhadap garis *MMWL* pada Gambar 4 dianalisis untuk mendapatkan gambaran genesis sampel airtanah.

Sedangkan untuk memastikan ada-tidaknya interkoneksi hidraulik antara sampel airtanah di sumur bor, mataair dan sumur gali yang memiliki genesis sama, maka dilakukan analisis hasil pengukuran kadar tritium pada Tabel 2, kolom 6 dengan metode tritium dating.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran koordinat lokasi pengambilan sampel dengan menggunakan GPS dan hasil pengukuran level muka airtanah pada mataair dan sumur dengan menggunakan pita ukur adalah sebagai berikut (Tabel 1).

Dari Tabel 1 tampak bahwa sumur bor – sumur bor (BH) yang berada dalam satu sistem akuifer yang sama yakni Sistem Akuifer Merapi (SAM) dengan mataair (S) dan sumur gali (W) memiliki level

muka airtanah yang berbeda, semakin ke selatan level muka airtanahnya semakin rendah. Dengan demikian semakin ke selatan gradient hidrauliknya semakin kecil. Adanya gradient hidraulik ini menyebabkan airtanah mengalir secara gravitasi dari zona sumur bor di sebelah utara ke zona mataair dan zona sumur gali yang berada di sebelah selatan atau di bawahnya. Pemetaan aliran airtanah yang dilakukan Wilopo [1999] menunjukkan bahwa garis kontur muka airtanah di lereng selatan Merapi mempunyai kedudukan relatif sejajar dan melingkar, semakin ke selatan semakin rendah dan merenggang. Penurunan gradient topografi yang disertai penurunan gradient hidraulika menyebabkan semakin ke selatan kecepatan aliran airtanah semakin pelan. Gradient aliran airtanah seperti ini merupakan karakteristik morfologi

Tabel 2. Konsentrasi isotop  $\delta^{18}O$ ,  $\delta D$ , and  $^3H$  sampel airtanah

No.	Nama Lokasi	Muka Airtanah (m.dpl)	Isotope Stabil		Radioisotop -Tritium, TU
			$\delta D$ , ‰	$\delta^{18}O$ , ‰	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Mataair [Wijatna, 2011; Muharini, 2011]					
S-8	Umbul Ngepas	329	-36,65	-6,19	
S-9	Umbul Jogopaten	270	-36,22	-6,15	2,60 ± 0,10
S-10	Umbul Pajangan	235	-35,98	-6,09	2,00 ± 0,15
S-11	Umbul Londo	223	-40,30	-6,55	2,50 ± 0,22
S-12	Umbul Permai	204	-40,02	-6,51	1,40 ± 0,12
S-13	Umbul Seturan	148	-35,80	-5,64	2,20 ± 0,21
Sumur Gali [Wijatna, 2011; Muharini, 2011]					
W-7	Sumur Pendowoharjo	268	-40,40	-6,59	1,70 ± 0,09
W-8	Sumur Ngaglik	215	-37,96	-6,36	2,00 ± 0,09
W-9	Sumur Gebang	163	-38,90	-6,00	2,30 ± 0,24
W-10	Sumur Condong Catur	154	-37,98	-6,27	NA
W-11	Sumur UGM	NA	-40,20	-6,80	1,50 ± 0,07
Sumur Bor [Wijatna dkk, 2013]					
BH-1	Srunen	829	-44,78	-7,18	4,96 ± 0,30
BH-2	Pagerjuran	650	-44,10	-7,10	4,20 ± 0,20
BH-3	Ngepring	625	-43,85	-7,07	3,20 ± 0,40
BH-4	Kuweron	624	-43,77	-7,06	3,00 ± 0,10
BH-5	Bubur	534	-39,20	-6,51	2,90 ± 0,12

airtanah di daerah gunungapi strato seperti Merapi.

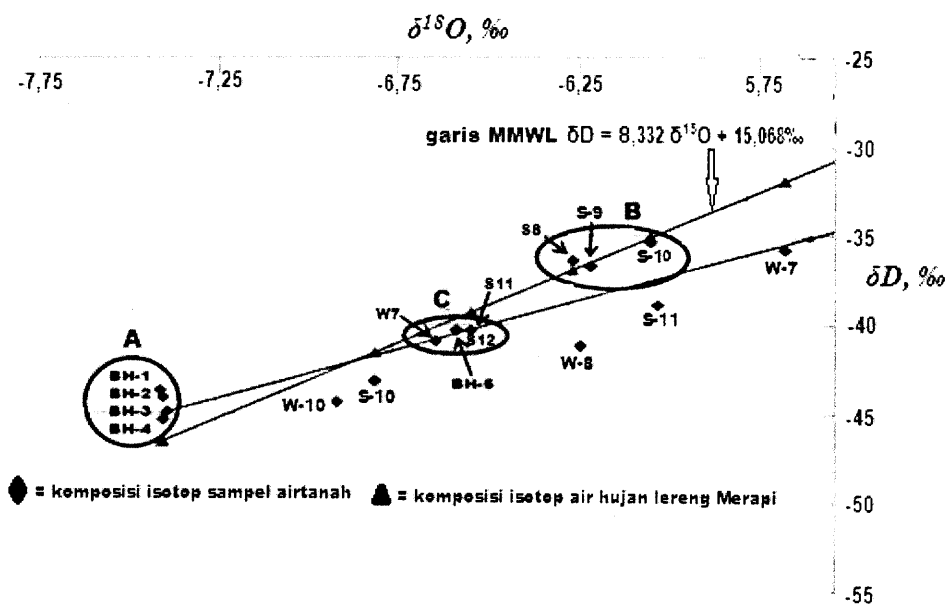
Untuk mengetahui apakah terdapat interkoneksi hidraulik antara sumur bor dengan mataair dan sumur gali maka dilakukan pengukuran rasio isotop  $\delta D$  dan  $\delta^{18}O$  dan kadar tritium yang terkandung dalam sampel airtanah. Hasil pengukuran rasio isotop  $\delta D$  dan  $\delta^{18}O$  disajikan pada Tabel 2, kolom 4 dan 5, sedangkan hasil pengukuran kadar tritium ( $^3H$ ) disajikan pada Tabel 2, kolom 6.

Data koordinat atau komposisi isotop ( $\delta^{18}O$ ,  $\delta D$ ) pada Tabel 2, kolom 3 dan 4 di plot ke dalam diagram salib sumbu  $\delta^{18}O$ - $\delta D$  sehingga menghasilkan Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 diperoleh informasi sebagai berikut:

Sampel airtanah kelompok A (sumur bor BH1, BH2, BH3, dan BH4) memiliki komposisi isotop ( $\delta^{18}O$ ,  $\delta D$ ) yang berbeda dengan komposisi isotop sampel airtanah yang diambil dari sumur bor

BH5, sumur gali (W7 sd. W11) maupun dari mataair (S8 sd. S13), sehingga dapat disimpulkan bahwa airtanah di sumur bor BH1, BH2, BH3, dan BH4 tidak memiliki interkoneksi hidraulik dengan airtanah yang berada di sumur bor BH5, sumur gali (W7 sd. W11) maupun mataair (S8 sd. S13). Dengan demikian pengambilan airtanah di BH1, BH2, BH3, dan BH4 tidak akan mempengaruhi kondisi muka airtanah di sumur bor BH5, sumur gali (W7 sd. W11) maupun mataair (S8 sd. S13) di bawahnya.

Komposisi sampel airtanah ( $\delta^{18}O$ ,  $\delta D$ ) kelompok B yang terdiri dari S8, S9, dan S10 berimpit atau mendekati koordinat titik-titik pada garis air meteorik Merapi (Merapi Meteoric Water Line, MMWL). Karena MMWL merupakan garis yang menggambarkan variasi komposisi isotop air hujan sebagai fungsi elevasi di lereng selatan Gunung Merapi [Wijatna dkk, 2013a], maka berimpitnya atau dekatnya



Gambar 4. Grafik komposisi isotop ( $\delta^{18}O$ ,  $\delta D$ ) sampel airtanah dari sumur bor (BH), sumur gali (W) dan mataair (S) relatif terhadap MMWL

koordinat sampel airtanah dari S8, S9, dan S10 dengan garis MMWL menunjukkan bahwa sebagian besar airtanah yang mengisi S8, S9, dan S10 berasal dari air hujan lokal [Kresic. 2010]. Dengan demikian pengambilan airtanah di sumur bor BH1, BH2, BH3, BH4, dan BH5 diperkirakan tidak akan mempengaruhi level muka airtanah kelompok B (S8, S9, dan S10).

Sampel airtanah kelompok C yang terdiri dari BH5, W9, dan S13 memiliki komposisi isotop ( $\delta^{18}O, \delta D$ ) yang mirip; hal ini mengindikasikan airtanah kelompok C (BH5, W7, S11 dan S12) memiliki genesis yang sama atau memiliki interkoneksi hidrolik.

Dari Tabel 2, kolom 6 tampak bahwa airtanah di BH5 yang muka airtanahnya lebih tinggi memiliki kadar tritium =  $2,9 \pm 0,12$  TU, lebih tinggi daripada kadar tritium di W7 =  $1,7 \pm 0,09$  TU, S11 =  $2,50 \pm 0,22$  TU dan S12 =  $1,4 \pm 0,12$  TU, yang muka airtanahnya lebih rendah. Karena BH5, W7, S11 dan S12 memiliki komposisi isotop ( $\delta^{18}O, \delta D$ ) yang mirip dan umur airtanah di BH5 lebih muda daripada umur airtanah di W7, S11 dan S12, maka diperkirakan terdapat interkoneksi hidrolik antara BH5, W7, S11 dan S12, dimana aliran airtanah yang melewati sumur bor BH5 juga mengalir melewati Sumur Pendowoharjo (W7), Umbul Londo (S11) dan Umbul Permai (S12).

### KESIMPULAN

1. Airtanah di daerah penelitian dapat diklasifikasi menjadi menjadi 3 kelompok, yakni airtanah kelompok A (sumur bor BH1, BH2, BH3, dan BH4) dengan rasio isotop berkisar antara  $-7,18\%$  sd.  $-6,51\%$  untuk  $\delta^{18}O$  dan  $-44,78\%$  sd.  $-39,20\%$  untuk  $\delta D$ ; kelompok B (S8, S9, dan S10) berkisar antara  $-6,19\%$  sd.  $-6,09\%$  untuk  $\delta^{18}O$  dan  $-36,65\%$  sd.  $-35,98\%$  untuk  $\delta D$ ; kelompok C (BH5, W7, S11 dan S12) berkisar antara  $-6,59\%$  sd.  $-6,51\%$  untuk  $\delta^{18}O$  dan  $-40,40\%$  sd.  $-39,2\%$  untuk  $\delta D$ ;
2. Meskipun sumber airtanah kelompok A, B, dan kelompok C berada dalam sistem akuifer yang sama, namun karena komposisi isotopnya berbeda, maka diperkirakan airtanah di kelompok A, B, dan C berasal dari elevasi yang berbeda.
3. Berdasarkan kesimpulan 2, maka pengambilan airtanah di sumur bor Srunen (BH1), Pagerjuran (BH2), Ngepring (BH3), dan Kuweron (BH4) diperkirakan tidak akan mempengaruhi muka airtanah sumur bor Bubur (BH5), sumur gali (W7 sd. W11) maupun mataair (S8 sd. S13) yang lokasinya berada di bawah atau di selatannya.
4. Karena airtanah di sumur bor dusun Bubur (BH5), sumur gali di Pendowoharjo (W7), Umbul Londo (S11) dan Umbul Permai (S12) memiliki komposisi isotop ( $\delta^{18}O, \delta D$ ) yang mirip, maka antara BH5, W7, S11 dan S12 terdapat interkoneksi hidrolik.
5. Karena komposisi isotop airtanah ( $\delta^{18}O, \delta D$ ) di Umbul Ngepas (S8), Umbul Jogopaten (S9), dan Umbul Pajangan (S10) berimpit atau mendekati garis air meteorik Merapi (*Merapi Meteoric Water Line, MMWL*), maka dapat disimpulkan bahwa airtanah yang mengisi Umbul Ngepas (S8), Umbul Jogopaten (S9), dan Umbul Pajangan (S10) sebagian besar berasal dari dari air hujan lokal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Craig H., 1961. "Isotopic Variations in Meteoric Waters", Science 133, 1702-17,03.
- Eriksson E., 1983. "Stabel isotopes and Tritium in Precipitation" dalam *Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology*. Technical Reports Series No. 91. IAEA, Vienna, 1983. (2):19-27.
- Fonte J.-Ch., 1983. "Dating of Groundwater" dalam *Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology*. Technical Reports Series No. 91. IAEA, Vienna, 1983. (19):285-293.
- Gat J.R., 2010. "Isotope Hydrology, a Study of Water Cycle" Series on Environmental and Management, Vol.6. Imperial College Press., London.
- Hartono, MD., 2001. "Konflik Umbul Wadon: Upaya Membangun Gerakan Sosial di Hulu-Hilir"., Institute for Research and Empowerment (IRE), Yogyakarta.
- Hendrayana H., 2012. "Cekungan airtanah Yogyakarta-Sleman". Paper pada Sidang Pleno Dewan Sumberdaya Air DIY, 13 September 2012, di Yogyakarta.
- Hendrayana H., 2013a. "Potensi, Pemanfaatan dan Pengelolaan Airtanah CAT Yogyakarta-Sleman" Laporan Hasil Kerjasama antara Dinas PU, Perumahan Energi SDM DIY-FT-UGM.
- Hendrayana H., 2013b. "Zona Pemanfaatan dan Pengambilan Airtanah di Kab. Sleman". Laporan Hasil Kerjasama antara Dinas PU, Perumahan Energi SDM DIY-FT-UGM.
- Juanda, Deny P., 2004. "Hidrogeologi Kawasan Gunungapi dan Karst di Indonesia" Pidato Ilmiah Guru Besar ITB,
- Kresic N. dan Stevanovic Z., 2010. "Groundwater Hydrology of Springs. Engineering, theory, management, and sustainability". Elsevier Inc., USA. (3):91-104.
- Mazor E., 1997. "Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology. The Applied Approach". MerceL Dekker Ink. 2<sup>nd</sup> edition. USA, (9):168-194.
- Muharini A., dan Wijatna AB., 2011. "Pergunaan Isotop dan Carbon Dating untuk Studi Keterkaitan antara Mataair Demangan di Kecamatan Depok dengan Water Spring Belt Merapi.". Laporan Penelitian DIKS Fakultas Teknik UGM.
- Murtiarto H, 2002. "Analisis Dampak Perubahan Landuse Pada Recharge Area Lereng Gunung Merapi Bagia Selatan Terhadap Ketersediaan Airtanah di Yogyakarta". Thesis S2 Fakultas Geografi UGM.
- NN, 2011a. "Profile of Sleman Regency". Report of Statistical Bureau of Sleman Regency.
- NN, 2011b. *Laporan Pembuatan Sumur Dalam di Dsn. Kuweron & Dsn. Ngepring, Kec. Pakem, Kabupaten Sleman*. CV Cita Selaras Mandiri. Yogyakarta.
- NN, 2011c. *Laporan Akhir Pembuatan Sumur Dalam di Ds. Kepuharjo, Ds.Srunen, dan Ds. Wukirsari, Kec.Cangkringan, Kabupaten Sleman*. CV Geokarya. Yogyakarta.
- Payne BR., 1983. "Introduction" dalam *Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology*. Technical Reports Series No. 91. IAEA, Vienna, 1983. (2):1-15.
- Perdana, Andiko, 2012. "Aplikasi Teknologi Isotop Alam untuk Analisis Pola Aliran Airtanah Menuju Umbul Seturan" Skripsi S1 Program Studi Teknik Nuklir, JTF-FT UGM.

- Purbohadiwidjojo MM (1967), dalam Wilopo, W., 1999. "Perencanaan Konservasi Air Bawah Tanah di Cekungan Yogyakarta, DIY". Skripsi S1 Teknik Geologi, FT-UGM.
- Purnama, S., Suyono., Sulaswono, B., 2007. "Sistem Akuifer dan Potensi Airtanah DAS Opak". Forum Geografi, Vol 21, No. 2, Desember 2007:pp 111-122
- Quijano L. dan Dray M., 1983. "Origin of Groundwater" dalam *Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology*". Technical Reports Series No. 91. IAEA, Vienna, 1983. (18):273-275.
- Scholl M.A., Ingebritsen S.E., Janik C.J. and Kauahikua J.P. 1995. "An Isotope Hydrology Study of the Kilauea Volcano Area, Hawaii" Water-Resources Investigations Report 95-4213. US Geological Survey, Menlo Park, California USA
- Todd, D.K., 1980. "Groundwater Hydrology" John Wiley & Sons, New York
- Wijatna AB. dan Wijayanti Ester, 2011. "Studi Pendugaan Pola dan Kecepatan Aliran Airtanah di Kecamatan Ngemplak Menggunakan Isotop Alam". Laporan Penelitian DIKs Fakultas Teknik UGM
- Wijatna AB., Sudarmadji, Sunarno, Hendrayana H., 2012. "Analisis Interkoneksi Hidraulika Mataair dengan Sumur Bor dengan Mengacu MMWL". Jurnal Purifikasi, Vol. 13, No.1, Juli 2012. Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS.
- Wijatna AB., Sudarmadji, Sunarno, Hendrayana H., 2013a. "Studi Variabilitas Isotop Airhujan sebagai Fungsi Elevasi untuk Mendapatkan Merapi Meteoric Water Line". Forum Teknik, Majalah Ilmiah Teknologi, Vol. 35, No.1, Edisi Januari 2013. Fakultas Teknik UGM.
- Wijatna AB., Sudarmadji, Sunarno, Hendrayana H., 2013b. "Tracing the Origin of Groundwater in Springs with Environmental Isotopes in the Southern Slope of Mount Merapi, Indonesia". Submitted to ASEAN Engineering Journal on Januari 2013, Bangkok, Thailand.
- Wilopo W., 1999. "Perencanaan Konservasi Air Bawah Tanah di Cekungan Yogyakarta" Skripsi S1 Jurusan Teknik Geologi, FT-UGM.