

ANALISIS INTERKONEKSI HIDRAULIKA MATA AIR DENGAN SUMUR BOR DENGAN MENGACU MERAPI *METEORIC WATER LINE* (MMWL)

ANALYSIS OF HYDRAULICS SPRING WELL DRILLING INTERCONNECTION BY REFERENCING MERAPI *METEORIC WATER LINE* (MMWL)

Agus Budhie Wijatna^{*1)}, Sudarmadji²⁾, Sunarno³⁾, dan Heru Hendrayana⁴⁾

¹⁾Prodi Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana UGM

²⁾Prodi Geografi & Ilmu Lingkungan, Fakultas Geografi UGM

³⁾Prodi Teknik Fisika, Fakultas Teknik UGM

⁴⁾Prodi Teknik Geologi, Fakultas Teknik UGM

^{*)}E-mail: budiwijatna@yahoo.com

Abstrak

Mata air Umbul Lanang (MA-1) dan Umbul Wadon (MA-2) merupakan sumber air bersih bagi penduduk Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengoperasian 5 sumur bor baru (SB 1-5) yang lokasinya sama, yakni di lereng selatan Gunung Merapi, dikhawatirkan akan menurunkan debit kedua mata air. Sehubungan itu, dilakukan studi menentukan persamaan Merapi *Meteoric Water Line* (MMWL) untuk digunakan sebagai acuan dalam menganalisis bagaimana interkoneksi hidraulika antara SB dengan MA. Studi ini merupakan sebagian dari tema penelitian dinamika air tanah menggunakan isotop alam di lereng selatan Merapi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi isotop air tanah di SB-1, SB-2, SB-3, SB-4 mirip dengan di MA-1 dan MA-2, dan asal-usul air tanah adalah dari daerah resapan air yang terletak pada elevasi antara 1136 – 1260 m.dpl. Sedangkan komposisi isotop SB-5 berbeda dengan MA-1 dan MA-2. Kesimpulannya pengoperasian SB-1, SB-2, SB-3, SB-4 akan menurunkan debit MA-1 dan MA-2, sedangkan pengoperasian SB-5 tidak berpengaruh.

Kata kunci: interkoneksi hidraulika, komposisi isotop, meter di atas permukaan laut (m.dpl), MMWL

Abstract

The springs of Umbul Lanang (MA-1) and Umbul Wadon (MA-2) are clean water resources for the community of Yogyakarta Special Region. Operating of 5 new boreholes (SB 1-5) which is located at the same location on the southern slopes of Mount Merapi feared would reduce both of springs discharge. The objectives of this research was to determine a Merapi Meteoric Water Line (MMWL) which would be used as a reference to analyze how the hydraulic interconnection between SB and MA. This study was completed as part of a larger research of the dynamics groundwater studies using natural isotopes on the southern slope of Mount Merapi. The results showed that the isotopic composition of groundwater in the SB-1, SB-2, SB-3, SB-4 similar to the MA-1 and MA-2, and the origin of groundwater are come from the recharge zone which located at the elevation 1136 to 1260 m.asl. While the isotopic composition of SB-5 different with MA-1 and MA-2. It can be concluded that the operation of SB-1, SB-2, SB-3, SB-4 will decrease the discharge of MA-1 and MA-2, while SB-5 has no effect.

Keywords: hydraulic interconnection, isotopic composition, meters above sea level (m.asl), MMWL

1. PENDAHULUAN

Mata air Umbul Lanang (MA-1) dan Umbul Wadon (MA-2) secara administratif terletak di dusun Pangukrejo, Desa Umbulharjo, Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman Yogyakarta, dan terletak pada ketinggian 631 dan 634 meter di atas permukaan laut (m.dpl). Kedua mata air ini menarik untuk diteliti mengingat setelah erupsi Gunung Merapi tahun 2010, kedua mata air ini merupakan sumber air bersih di lereng selatan Merapi yang masih “hidup”, sementara puluhan mata air lainnya telah “mati” (Widodo, 2010). Umbul Wadon dengan debit rerata 265 liter/detik merupakan sumber air bersih yang memiliki fungsi strategis, karena pemanfaatan airnya bersifat lintas wilayah (*transboundary water use*), yakni untuk: (a) keperluan ribuan rumah-tangga di Kabupaten Sleman maupun Kota Yogyakarta, (b) industri kecil, (c) pariwisata/ perhotelan, dan (d) bahan baku air minum bagi Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Sleman, PDAM Tirta Marta Kota Yogyakarta, dan PDAM Anindya (Hartono, 2001). Sedangkan mata air Umbul Lanang dengan debit rerata 215 liter/detik, airnya mengalir ke Kali Kuning dan dimanfaatkan oleh penduduk setempat untuk irigasi bagi lebih dari 1250 ha lahan pertanian, perikanan dan peternakan.

Matinya sebagian besar mata air di lereng selatan Gunung Merapi akibat erupsi 2010 telah mendorong Pemerintah Kabupaten Sleman bekerjasama dengan Yayasan Amal milik salah satu TV Swasta Nasional untuk membuat 5 sumur bor (*boreholes*) sebagai substitusi berkurangnya pasokan air bersih dari mata air-mata air yang mati (Wijatna *et al.*, 2013). Sumur bor-sumur bor (SB) dengan kedalaman pengeboran 98-146 m dari permukaan tanah tersebut memiliki debit air rerata 9-10 liter/detik. Kelima sumur bor tersebut terletak pada elevasi antara 544 sampai 846 meter di atas permukaan laut (m.dpl). Secara administratif kelima sumur bor tersebut terletak di dusun Srunen (SB-1), Pagerjuran (SB-2), Ngepring (SB-3),

Kuweron (SB-4), dan di dusun Bubur (SB-5) Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Mengingat lokasi mata air Umbul Lanang (MA-1) dan Umbul Wadon (MA-2) serta ke-5 sumur bor tersebut sama-sama berada di lereng selatan Gunung Merapi, maka masyarakat pengguna mata air Umbul Wadon dan Umbul Lanang khawatir bahwa pengoperasian kelima sumur bor tersebut akan menurunkan debit kedua mata air tersebut. Sehubungan dengan itu maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pengoperasian kelima sumur terhadap keberlanjutan mata air Umbul Wadon dan Umbul Lanang sebagai sumber air bersih.

Secara teoritis, pengoperasian kelima sumur bor, mata air Umbul Wadon, dan mata air Umbul Lanang akan saling mempengaruhi jika terdapat interkoneksi hidrolik atau jika berasal dari sistem akuifer yang sama. Selama ini penelitian asal-usul air dilakukan dengan pendekatan topografi wilayah, geologi dan hidrogeologi. Namun pendekatan ketiga aspek tersebut belum dapat memastikan apakah air yang berada di hilir (*discharge area*) benar-benar berasal dari hulu (*recharge area*) atau bukan. Pendekatan ketiga aspek tersebut juga tidak dapat membuktikan apakah air tanah di mata air dan sumur bor berasal dari air hujan lokal atau berasal dari air hujan yang jatuh pada elevasi di atasnya (Juanda, 2004). Kesulitan membedakan asal-usul air dengan tiga pendekatan tersebut dikarenakan penentuan asal-usul air dilakukan berdasarkan analisis parameter-parameter penciri lapisan batuan pembentuk akuifer, tidak menganalisis parameter atau penciri yang melekat pada air tanah sedang diteliti.

Menurut Kresic (2010) dan Mazor (1997) air hujan (*precipitation*) atau air meteoric (*meteoric water*) yang jatuh dari atmosfer ke permukaan bumi akan memiliki komposisi isotop deuterium (δ^2H atau δD) dan oksigen-18 ($\delta^{18}O$) yang bervariasi sebagai fungsi elevasi, semakin tinggi elevasi semakin miskin (*depleted*) komposisi isotop beratnya, dan sebaliknya semakin rendah elevasi jatuhnya air

hujan semakin kaya (*enriched*) komposisi isotop beratnya. Dengan demikian komposisi isotop air hujan yang jatuh di hulu lebih miskin dibandingkan dengan komposisi isotop air hujan yang jatuh di hilir. Oleh karena bersifat spesifik sebagai fungsi elevasi, maka komposisi isotop (δ^2D dan $\delta^{18}O$) dalam air hujan mirip dengan “sidik jari” (*water finger print*), setiap sidik jari air membawa informasi asal-usul.

Jika sejak air hujan jatuh ke permukaan bumi, kemudian infiltrasi menjadi air tanah hingga ke luar melalui mata air atau sumur tidak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang ekstrem (misalnya pengaruh geothermal), maka komposisi isotop air hujan saat infiltrasi menjadi air tanah akan sama dengan komposisi isotop air tanah saat ke luar ke permukaan tanah (Quijano dan Dray, dalam NN, 1983; Kresic, 2010). Dengan demikian asal-usul air tanah di suatu tempat dapat diketahui berdasarkan komposisi isotopnya, namun karena air tanah berasal dari air hujan, maka diperlukan data variasi komposisi isotop air hujan sebagai fungsi elevasi di kawasan tersebut. Prinsip inilah yang kemudian menjadi landasan teori untuk mengetahui apakah air berasal dari akuifer yang sama atau tidak, mengetahui ada-tidaknya interkoneksi hidraulik antar beberapa sumber air, menentukan luas dan batas daerah resapan air, merencanakan pengembangan wilayah berbasis ketersediaan air.

Untuk mengetahui apakah air Umbul Wadon, Umbul Lanang, dan kelima sumur bor berada dalam satu sistem akuifer yang sama, maka diperlukan suatu persamaan yang menggambarkan variasi komposisi isotop (δ^2D dan $\delta^{18}O$) pada air hujan sebagai fungsi elevasi di lereng selatan Merapi. Karena lokasi penelitian di lereng Merapi, maka selanjutnya persamaan ini disebut persamaan Merapi *Meteoric Water Line (MMWL)*. Persamaan *MMWL* juga sangat bermanfaat bagi para peneliti yang menggunakan isotop alam sebagai perunut untuk meneliti dinamika air

dalam siklus hidrologi di kawasan Gunung Merapi.

2. METODA

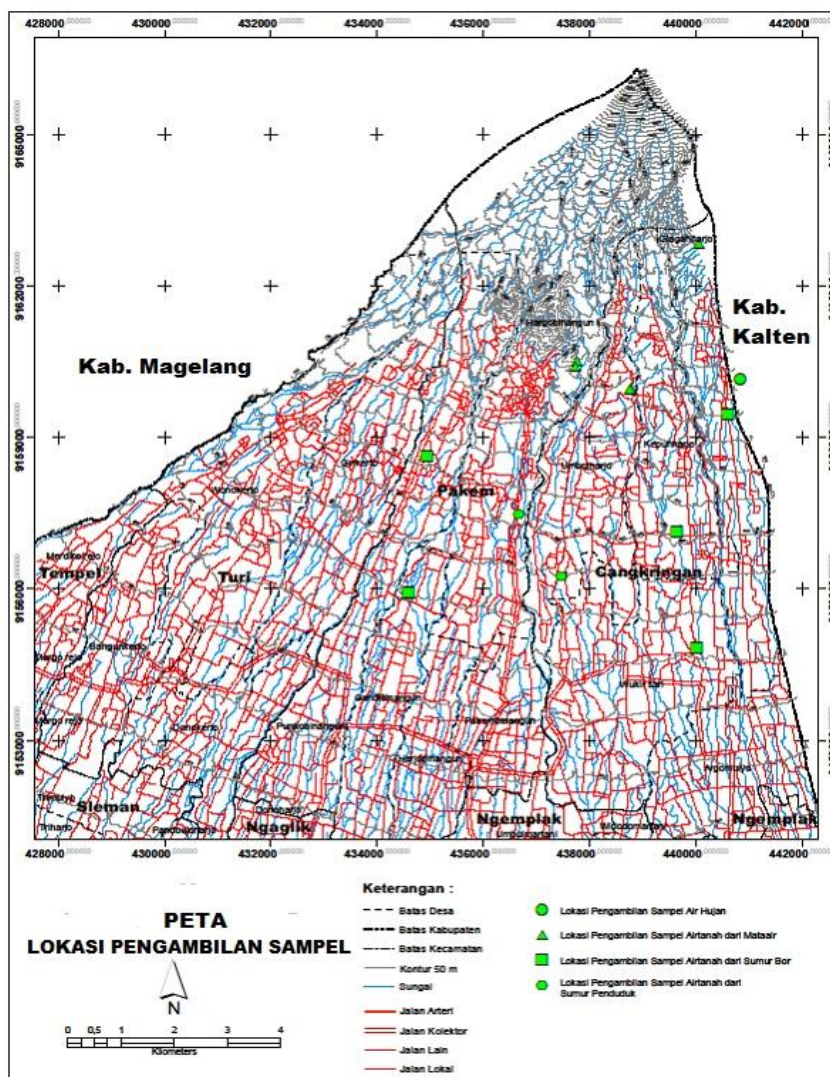
Metode Analisis Sampel Air Hujan Untuk Menentukan Persamaan MMWL

Penelitian ini diawali dengan menentukan persamaan Merapi *Meteoric Water Line (MMWL)*, yakni suatu persamaan yang menggambarkan variasi komposisi isotop (δ^2D dan $\delta^{18}O$) air hujan di lereng selatan Gunung Merapi. Persamaan *MMWL* akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan asal-usul air yang mengalir ke Umbul Wadon, Umbul Lanang, dan kelima sumur bor dengan cara menganalisis komposisi isotopnya. Persamaan *MMWL* ditentukan dengan melakukan pengambilan sampel air hujan di 5 lokasi yang elevasinya berbeda di lereng selatan Merapi. Pada saat pengambilan sampel, koordinat lokasi dicatat menggunakan *Global Positioning System (GPS)* Merk *Garmin*, untuk kemudian koordinat-koordinat lokasi pengambilan sampel tersebut di plot ke dalam peta dasar untuk mendapatkan *Peta Lokasi Pengambilan Sampel*.

Koordinat lokasi pengambilan sampel disajikan pada Tabel 1, sedangkan hasil *ploting* koordinat ke dalam peta dasar disajikan pada Gambar 1. Isotop berat D dan ^{18}O dalam senyawa air merupakan isotop alam yang sangat sensitif terhadap proses penguapan. Oleh karena itu, untuk meminimalisir penguapan dan memudahkan pengambilan sampel air hujan, maka di setiap lokasi yang telah ditetapkan diletakkan peralatan tadah hujan yang sebelumnya sudah diisi minyak parafin, dimana berat jenis (BJ) parafin lebih kecil dari BJ air (BJ parafin = 0,856 dan BJ air=1). Sehingga ketika air hujan masuk ke dalam bak penampung, maka lapisan minyak parafin akan terangkat ke atas membentuk lapisan yang menutup permukaan air. Dengan perlakuan seperti itu maka proses penguapan sampel air hujan di bak penampung oleh panas matahari dapat diminimalisir.

Tabel 1. Koordinat dan Elevasi Lokasi Pengambilan Sampel Air hujan

Nama Lokasi	Elevasi (m.dpl)	Koordinat UTM	
(1)	(2)	X (m)	Y (m)
Plawangan	1260	434210	9162361
Bebeng	1205	439300	9160713
Kinahrejo Utara	1136	436536	9153453
Stasiun Telemeteri Tek. Fisika UGM, Balerante	940	440835	9160132
Base Station Yogya	126	428916	9140476



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Air hujan dan Air tanah

Pengambilan sampel air hujan dilakukan dengan cara menenggelamkan botol ke dalam udara berukuran 30 ml ke dalam bak penampung air hujan dengan mulut botol menghadap ke bawah. Setelah botol penuh terisi air hujan dan di dalam botol tidak terdapat gelembung udara, kemudian botol

ditutup rapat ketika botol masih berada di dalam air. Pada setiap lokasi, sampel air hujan diambil 3x pada waktu yang berbeda, yakni pada bulan November 2011, Desember 2011, dan Februari 2012. Sampel-sampel air hujan tersebut kemudian dianalisis menggunakan spektrometer massa *SIRA-9 (Standard Isotop*

Ratio Analyzer-9) VG Isogas untuk ditentukan rasio (R_{smpel}) kelimpahan isotop deuterium (D^1/H) dan oksigen-18 ($^{18}O/^{16}O$), di Laboratorium Kebumihan dan Lingkungan Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN - Pasar Jum'at, JAKARTA. Namun karena nilai R_{smpel} sangat kecil, maka diberlakukan konvensi yang berlaku secara internasional dengan menyatakan rasio isotop D^1/H dan $^{18}O/^{16}O$ sampel air secara relatif terhadap rasio isotop D^1/H dan $^{18}O/^{16}O$ pada *Standard Mean Ocean Water (SMOW)* dan dinyatakan dengan notasi $(\delta D\%)_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O\%)_{SMOW}$, serta dihitung menggunakan persamaan (Payne, dalam NN, 1983, Mazor, 1997, dan Kresic, 2010):

$$\delta = \frac{R_{smpel} - R_{std}}{R_{std}} \times 1000\% \dots\dots\dots(1)$$

$$(\delta D)_{SMOW} = \frac{\left[\left(\frac{D}{H} \right)_{smpel} - \left(\frac{D}{H} \right)_{smow} \right]}{\left(\frac{D}{H} \right)_{smow}} \times 1000\% \dots\dots\dots(2)$$

$$(\delta^{18}O)_{SMOW} = \frac{\left[\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{smpel} - \left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{smow} \right]}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{smow}} \times 1000 \dots\dots(3)$$

dengan :

R_{smpel} = rasio isotop (D^1/H atau $^{18}O/^{16}O$) sampel air hujan

R_{std} = rasio isotop (D^1/H atau $^{18}O/^{16}O$) SMOW, untuk $(D^1/H)_{SMOW} = 1.5576 \cdot 10^{-4}$, dan $(^{18}O/^{16}O)_{SMOW} = 2.0052 \cdot 10^{-3}$

δ_{smow} = rasio isotop (D atau ^{18}O) sampel air relatif terhadap SMOW, %

$(\delta^2D)_{SMOW}$ = rasio D^1/H sampel air relatif terhadap SMOW, %

$(\delta^{18}O)_{SMOW}$ = rasio $^{18}O/^{16}O$ sampel air relatif terhadap SMOW, %

Hasil perhitungan rasio isotop $(\delta^2D)_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O)_{SMOW}$ menggunakan persamaan 2 dan 3 untuk masing-masing lokasi pengambilan sampel disajikan pada Tabel 3, kolom 3, 4, 6, 7, 9, dan kolom 10.

Di samping elevasi, rasio isotop $(\delta^2D\%)_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O\%)_{SMOW}$ air hujan juga tergantung pada presipitasi (P). Semakin tinggi presipitasi, rasio isotop $(\delta^2D\%)_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O\%)_{SMOW}$ dalam air hujan semakin *depleted*, dan sebaliknya semakin kecil presipitasi, rasio isotop $(\delta^2D\%)_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O\%)_{SMOW}$ dalam air hujan semakin *enriched*. Oleh karena itu untuk mendapatkan nilai presipitasi rerata yang representatif menggambarkan karakteristik presipitasi yang sebenarnya, maka di setiap lokasi dilakukan pengambilan sampel 3x, yakni pada musim hujan di bulan November dan Desember 2011, serta bulan Februari 2012. Karena di setiap lokasi dilakukan 3x pengambilan sampel, maka hasil perhitungan $(\delta^2D)_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O)_{SMOW}$ berdasarkan persamaan 2 dan 3 direratakan dengan mempertimbangkan pengaruh nilai presipitasi dengan menggunakan persamaan 4 dan 5 (Mazor, 1997 dan Kresic, 2010):

$$\delta^{18}O(\%)_{rerata} = \{ \Sigma P_i \cdot (\delta_i^{18}O)_{SMOW} \} / \Sigma P_i \dots\dots(4)$$

$$\delta D(\%)_{rerata} = \{ \Sigma P_i \cdot (\delta^{18}D)_{SMOW} \} / \Sigma P_i \dots\dots(5)$$

dengan:

$\delta^{18}O(\%)_{rerata}$ = rasio rerata isotop ^{18}O air hujan, %

$\delta D(\%)_{rerata}$ = rasio rerata isotop 2H air hujan, %

$(\delta_i^{18}O)_{SMOW} = (\delta^{18}O)_{SMOW}$ = rasio isotop ^{18}O air hujan bulan ke-i, %

$(\delta_i^{18}D)_{SMOW} = (\delta^2D)_{SMOW}$ = rasio isotop D air hujan bulan ke-i, %

P_i = nilai presipitasi antara sampel ke (i-1) dan ke (i), mm per bulan, data

diperoleh dari data BMKG propinsi DIY tahun 2000 sd. 2009.

Hasil perhitungan $\delta D(\text{‰})_{\text{rerata}}$ dan $\delta^{18}O(\text{‰})_{\text{rerata}}$ sampel air hujan menggunakan persamaan 4 dan 5 disajikan pada Tabel 3, kolom 12 dan 13.

Metode Analisis Sampel Air Tanah Untuk Mengetahui Asal-usulnya

Untuk mengetahui apakah air tanah di kelima sumur bor, mata air Umbul Wadon dan Umbul Lanang memiliki interkoneksi hidraulik dan berasal dari sistem akuifer yang sama, maka dilakukan pengambilan sampel air tanah di masing-masing sumber air tanah tersebut. Pada saat pengambilan sampel, koordinat lokasi dicatat menggunakan *Global Positioning System (GPS)* Merk *Garmin*, untuk kemudian koordinat-koordinat lokasi pengambilan sampel tersebut di plot ke dalam peta dasar untuk mendapatkan *Peta Lokasi Pengambilan Sampel*. Koordinat lokasi pengambilan sampel disajikan pada Tabel 2, sedangkan hasil *ploting* koordinat pengambilan sampel ke dalam peta dasar disajikan pada Gambar 1. Pengambilan sampel air tanah dari masing-masing sumur bor dilakukan dengan cara memompa air dari sumur bor dan menampungnya dalam bak penampungan.

Pengambilan sampel air sumur bor dari bak penampung dilakukan dengan cara menenggelamkan botol kedap udara berukuran 30 ml ke dalam bak penampung masing-masing air sumur bor dengan mulut botol menghadap ke bawah. Setelah botol penuh terisi air sumur bor dan di dalam botol tidak terdapat gelembung udara, kemudian botol ditutup rapat ketika botol masih berada di dalam air. Sedangkan pengambilan sampel air dari mata air dilakukan dengan cara mengambil dari sedekat mungkin dengan sumber keluarnya air dari dalam tanah dengan menggunakan botol yang berukuran sama. Sampel-sampel air tanah dari kelima sumur bor dan kedua mata air tersebut kemudian dianalisis dan diperhitungkan dengan menggunakan cara yang sama dengan analisis

sampel air hujan untuk mendapatkan nilai $(\delta^2D)_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O)_{SMOW}$. Hasil perhitungan komposisi isotop sampel air tanah disajikan dalam Tabel 4.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan MMWL

Hasil perhitungan rasio isotop $(\delta^2D)_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O)_{SMOW}$ menggunakan persamaan 2 dan 3 untuk masing-masing lokasi pengambilan sampel disajikan pada Tabel 3, kolom 3, 4, 6, 7, 9, dan 10. Dari Tabel 3 tampak bahwa semakin tinggi presipitasi semakin *depleted* nilai $(\delta^2D\text{‰})_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O\text{‰})_{SMOW}$, dan sebaliknya semakin rendah presipitasi semakin *enriched* nilai $(\delta^2D\text{‰})_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O\text{‰})_{SMOW}$. Oleh karena itu, dalam penelitian ini variasi rasio isotop sebagai fungsi presipitasi diperhitungkan dengan menggunakan persamaan 4 dan 5, sehingga diperoleh nilai rasio isotop rerata pada Tabel 3, kolom 12 dan 13.

Apabila nilai rerata $(\delta^2D\text{‰})_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O\text{‰})_{SMOW}$ pada Tabel 3, kolom 12 dan 13 di plot ke dalam grafik dengan elevasi sebagai sumbu-X dan rasio isotop $(\delta^{18}O\text{‰})$ dan $\delta D\text{‰}$ sebagai sumbu-Y, maka diperoleh Gambar 3. Dari Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa setiap kenaikan elevasi 100 m, maka rasio isotopnya akan turun $-0,1\text{‰}$ untuk $\delta^{18}O\text{‰}$ dan $-1,2\text{‰}$ untuk $\delta D\text{‰}$. Hasil penelitian ini tidak jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan Kresic (2010), yakni rasio isotop turun $-0,16\text{‰}/100\text{m}$ untuk $\delta^{18}O\text{‰}$ dan $-1,8\text{‰}/100\text{m}$ untuk $\delta D\text{‰}$. Sedangkan Merapi *Meteoric Water Line (MMWL)* didapatkan dengan cara *plotting* data hasil perhitungan $(\delta^2D\text{‰})_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O\text{‰})_{SMOW}$ pada Tabel 3, kolom 12 dan 13 ke dalam grafik dengan $\delta^{18}O\text{‰}$ sebagai absis dan $\delta D\text{‰}$ sebagai ordinat, sehingga diperoleh Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 diperoleh persamaan MMWL sebagai berikut:

$$(\delta D\text{‰})_{SMOW} = 8,332.(\delta^{18}O\text{‰})_{SMOW} + 15,06\text{‰},$$

$$(r^2 = 0,998) \dots\dots\dots(6)$$

Tabel 2. Koordinat dan elevasi lokasi pengambilan sampel air tanah

No.	Nama Lokasi	Elevasi (m.dpl)	X (m)	Koordinat UTM Y (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sumur Bor (SB)				
SB-1	Srunen	846	460572	9152567
SB-2	Pagerjurang	665	444561	9142816
SB-3	Ngepring	644	452529	9138279
SB-4	Kuweron	643	446637	9149021
SB-5	Bubur	544	450727	9133733
Mata Air (MA)				
MA-1	Umbul Lanang	634	452211	9149764
MA-2	Umbul Wadon	631	444257	9141126

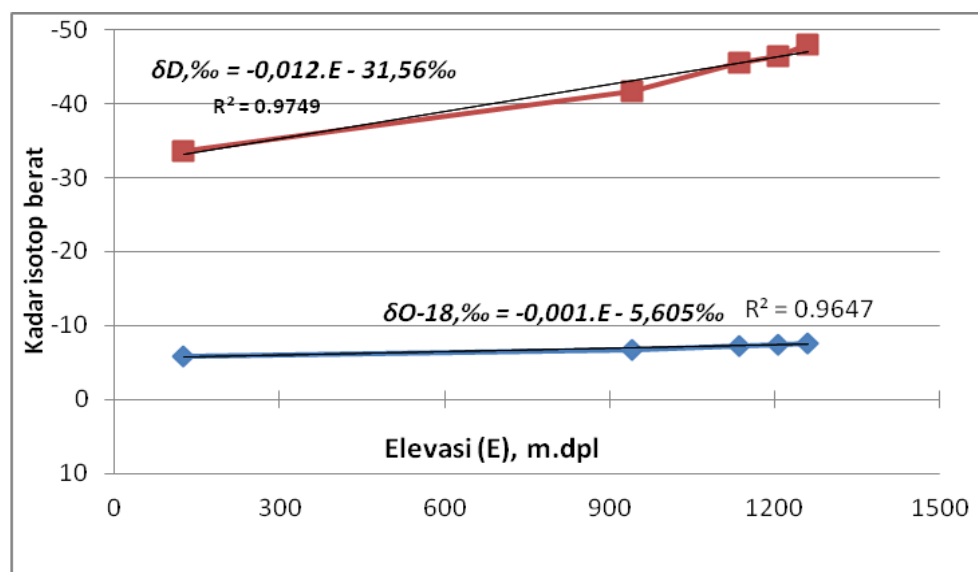
Tabel 3. Data hasil perhitungan $(\delta^2D)_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O)_{SMOW}$ pada air hujan di lima lokasi penelitian

Lo kasi **)	Elev. m.d pl	November 2011			Desember 2011			Februari 2012			Komposisi isotop rerata	
		Relatif terhadap SMOW									$\delta D, \%$	$\delta^{18}O, \%$
		$(\delta D)_1$ ‰	$(\delta^{18}O)_1$ ‰	P_1^{**} mm	$(\delta D)_2$ ‰	$(\delta^{18}O)_2$ ‰	P_2^{**} mm	$(\delta D)_3$ ‰	$(\delta^{18}O)_3$ ‰	P_3^{**} mm		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
(A)	1260	-47,98	-7,64	306	-47,48	-6,99	287	-48,49	-7,98	355	-48,02	-7,57
(B)	1205	-46,72	-7,34	306	-45,07	-6,96	287	-47,09	-7,84	355	-46,36	-7,41
(C)	1136	-45,69	-7,29	306	-45,09	-6,88	287	-45,98	-7,56	355	-45,62	-7,27
(D)	940	-41,69	-7,02	301	-41,04	-6,13	280	-42,01	-7,05	342	-41,61	-6,76
(E)	126	-32,14	-5,54	281	-33,89	-5,86	339	-34,09	-6,03	468	-33,52	-5,85

Catatan:

*) P = presipitasi mm/bln, data direratakan dari data BMKG Prop. DIY tahun 2000 sd. 2009

**) (A) = Plawangan; (B) =Bebeng; (C) = Kinahrejo Utara; (D) = Stasiun Telemeteri Teknik Fisika FT-UGM, Balerante; (E) = Base Station Yogya



Gambar 2. Grafik rasio isotop $(\delta^2D\%)_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O\%)_{SMOW}$ sebagai fungsi elevasi

Tabel 4. Data hasil perhitungan $(\delta^2D)_{SMOW}$, $(\delta^{18}O)_{SMOW}$ dan $(\delta^{13}C)_{PDB}$ dari Sumur Bor dan Mata Air

No.	Nama Lokasi	Elevasi (m.dpl)	$(\delta^2D)_{SMOW}$	Komposisi Isotop $(\delta^{18}O)_{SMOW}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sumur Bor (SB)				
SB-1	Srunen	846	-45.40	-7.40
SB-2	Pagerjuran	665	-43.70	-7.41
SB-3	Ngepring	644	-44.90	-7.39
SB-4	Kuweron	643	-44.10	-7.40
SB-5	Bubur	544	-40.30	-6.57
Mata Air (MA)				
MA-1	Umbul Lanang	634	-45.00	7.41
MA-2	Umbul Wadon	631	-46.10	7.41

Persamaan 6 yang diperoleh dalam penelitian ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Dansgaard (1964), yakni Garis Air Meteorik Global (*Global Meteoric Water Line, GMWL*) yang mengikuti persamaan:

$$\delta D, \text{‰} = 8. \delta^{18}O + 10\text{‰} \dots \dots \dots (7)$$

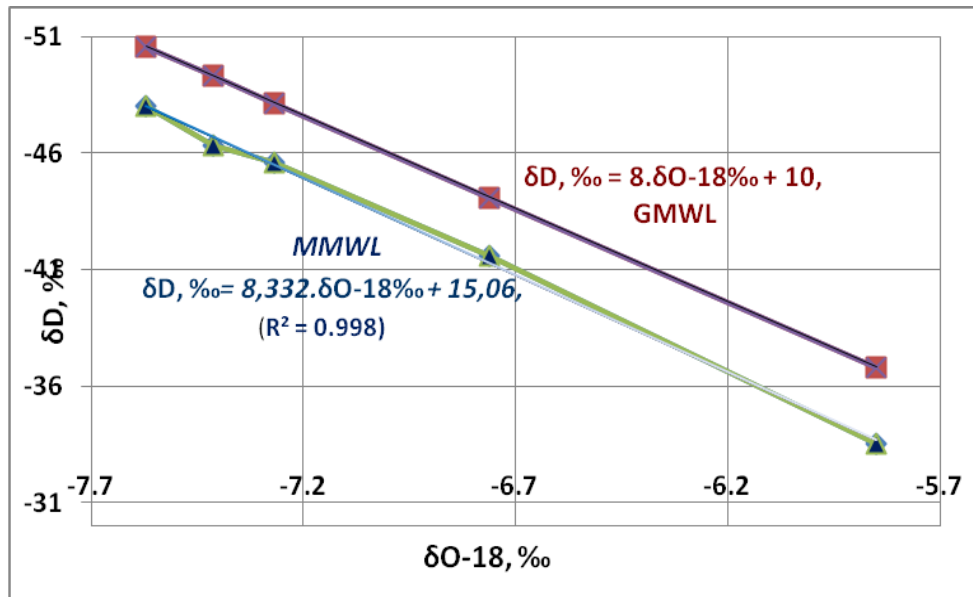
Global Meteoric Water Line diperoleh melalui pengukuran sampel air hujan, air sungai dan air danau yang diambil di beberapa negara di dunia, sedangkan MMWL ditentukan hanya berdasarkan sampel air hujan di lokasi yang lebih terbatas. Perbedaan nilai *deuterium excess (DE)* dalam penelitian ini (=15,06) terhadap GMWL (=10) disebabkan lereng Gunung Merapi yang berada di daerah tropis memiliki kelembaban udara (*relative humidity*) relatif tinggi. Kelembaban udara yang tinggi menyebabkan suhu permukaan rendah, sehingga energi kinetik evaporasi rendah. Oleh karena itu nilai *DE* pada MMWL menjadi lebih besar daripada nilai *DE* pada GMWL.

Keterkaitan Sumur Bor (SB) Dengan Mata Air (MA)

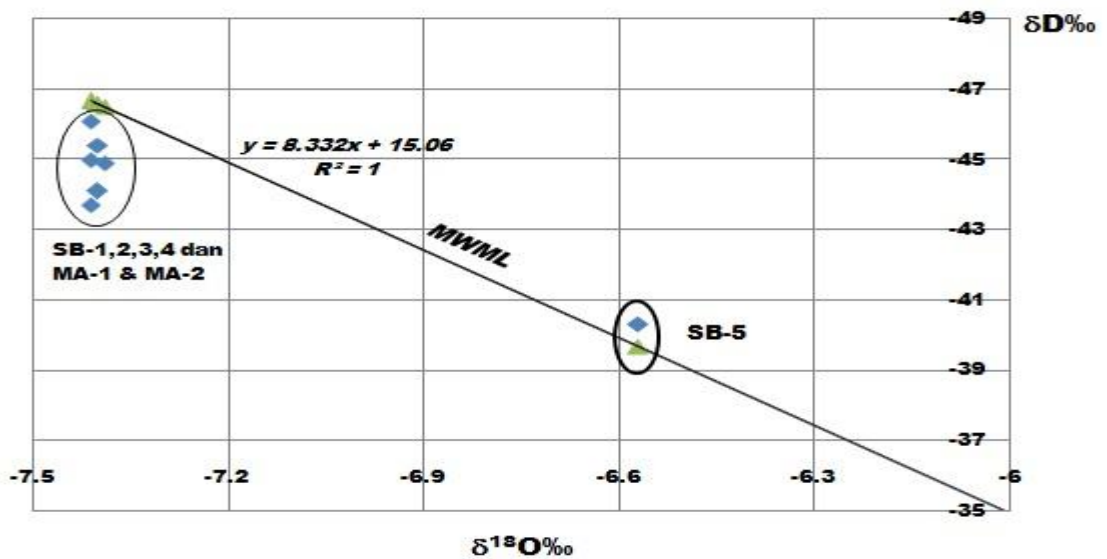
Hasil perhitungan $(\delta^2D)_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O)_{SMOW}$ dengan menggunakan persamaan 2 dan 3 untuk masing-masing sampel air tanah di masing-masing lokasi disajikan pada Tabel 4. Apabila nilai $(\delta^2D\text{‰})_{SMOW}$ dan $(\delta^{18}O\text{‰})_{SMOW}$ pada Tabel 4 di plot ke dalam grafik dengan $\delta^{18}O\text{‰}$ sebagai sumbu-X dan $\delta D\text{‰}$ sebagai sumbu-Y, maka akan diperoleh Gambar 4.

Gambar 4 memberikan informasi-informasi sebagai berikut: Koordinat isotop sumur bor SB-1, SB-2, SB-3, dan SB-4 berimpit dengan koordinat isotop mata air MA-1 dan MA-2, hal ini menunjukkan bahwa air tanah di SB-1 sd. SB-4 memiliki komposisi isotop ($\delta^{18}O$, δD) yang mirip dengan komposisi isotop air tanah di mata air MA-1 dan MA-2. Dengan demikian dapat dipastikan bahwa terdapat interkoneksi hidrologis dan air tanahnya berasal dari sistem akuifer yang sama. Koordinat isotop sumur bor SB-1, SB-2, SB-3, SB-4, MA-1, MA-2 berimpit dengan garis MMWL dan berdekatan dengan koordinat isotop air hujan di Plawangan-1260 m.dpl, Bebeng-1205 m.dpl dan Kinahrejo-1136 m.dpl.

Berdasarkan fenomena ini dapat dipastikan bahwa air tanah SB-1, SB-2, SB-3, SB-4, MA-1, dan MA-2 bukan berasal dari air hujan atau akuifer lokal, tetapi berasal dari akuifer yang berada di atasnya, yakni dari akuifer yang berada pada elevasi antara 1136-1260 m.dpl. Koordinat isotop sumur bor SB-1, SB-2, SB-3, dan SB-4 jauh berbeda dengan koordinat isotop sumur bor SB-5, hal ini menunjukkan bahwa air tanah di SB-1 sd. SB-4 memiliki komposisi isotop ($\delta^{18}O$, δD) yang berbeda dengan komposisi isotop air tanah di SB-5. Dengan demikian dapat dipastikan bahwa air tanah di SB-1 sampai SB-4 berasal dari akuifer yang berbeda dengan air tanah yang berada di SB-5. Koordinat isotop air tanah di sumur bor yang berada di dusun Bubur (SB-5) berimpit atau mendekati garis MMWL sehingga



Gambar 3. Grafik MMWL relatif terhadap GMWL



Gambar 4. Grafik koordinat isotop ($\delta^{18}\text{O}$, δD) sampel air tanah dari sumur bor (SB) dan mata air (MA) relatif terhadap MMWL.

diperkirakan air tanah yang mengisi SB-5 berasal dari air hujan atau akuifer lokal, bukan berasal dari akuifer yang berada di atasnya.

Prakiraan ini sesuai dengan data di lapangan yang menunjukkan bahwa debit SB-5 adalah yang terendah diantara lima sumur bor, dan ketinggian muka air tanahnya sangat fluktuatif tergantung pada musim.

4. KESIMPULAN

Persamaan Merapi *Meteoric Water Line* (MMWL) adalah:

$$(\delta\text{D}\text{‰})_{\text{SMOW}} = 8,332 \cdot (\delta^{18}\text{O}\text{‰})_{\text{SMOW}} + 15,06\text{‰},$$

$$(r^2 = 0.998),$$

Dan untuk setiap kenaikan elevasi 100m, rasio isotop air hujan di lereng selatan Merapi akan

mengalami penurunan $-0,1\text{‰}$ untuk $(\delta^{18}\text{O} \text{‰})_{SMOW}$ dan $-1,2\text{‰}$ untuk $(\delta D \text{‰})_{SMOW}$. Sumur bor di Dusun Srunen (SB-1), Pagerjurang (SB-2), Ngepring (SB-3), dan Kuweron (SB-4) memiliki interkoneksi hidraulik atau air tanahnya berasal dari akuifer yang sama dengan mata air Umbul Lanang (MA-1) dan Umbul Wadon (MA-2), yakni berasal dari akuifer di atasnya, terletak pada elevasi 1136-1260 m.dpl. Sumur bor di Dusun Bubur (SB-5) tidak memiliki interkoneksi hidraulik atau memiliki akuifer yang berbeda dengan SB-1, SB-2, SB-3, SB-4, MA-1, dan MA-2.

Air tanah di SB-5 berasal dari air hujan atau akuifer lokal. Dengan demikian pengoperasian sumur bor di Dusun Srunen (SB-1), Pagerjurang (SB-2), Ngepring (SB-3), dan Kuweron (SB-4) akan menurunkan debit mata air Umbul Lanang (MA-1) dan Umbul Wadon (MA-2), sedangkan pengoperasian sumur bor di dusun Bubur (SB-5) tidak mempengaruhi debit mata air Umbul Lanang (MA-1) dan Umbul Wadon (MA-2).

DAFTAR PUSTAKA

- Dansgaard, W. (1964). Stable isotopes in precipitation. *Tellus, Swedish Geophysical Society*. 436-468.
- Eriksson E. (1983). Stable Isotopes and Tritium Precipitation: Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. *Technical Reports Series*. (91). IAEA, Vienna.
- Juanda, Deny P. (2004). Pendugaan Asal Mula dan Aliran pada Akifer Bahan Vulkanik Berdasarkan Peruntukan Isotop Stabil. Studi Kasus Aliran Air Danau Aneuk Laot Aceh Darrusalam. *Jurnal Teknologi Mineral*. 9 (2). ITB Bandung.
- Hartono, M.D. (2001). Konflik Umbul Wadon: Upaya Membangun Gerakan Sosial di Hulu-Hilir. *Institute for Research and Empowerment (IRE)*, Yogyakarta
- Kresic N., dan Z. Stevanovic (2010). *Groundwater Hydrology of Springs. Engineering, theory, management, and sustainability*. Elsevier Inc., USA.
- Mazor, Emanuel (1997). *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology. The Applied Approach*. Marcel Dekker Ink. 2nd edition. USA. (9).168-194.
- NN (1983). Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. *Technical Reports Series*. IAEA, Vienna, 91 (2). 19-27. (18). 273-279 dan (19). 285-299.
- Payne, B.R. (1983). Introduction: Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. *Technical Reports Series*. (91). IAEA, Vienna.
- Quijano L., dan M. Dray (1983). Origin of Groundwater: Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. *Technical Reports Series*. (91). IAEA, Vienna.
- Widodo, A.C. (2010). Erupsi Merapi dan Hidrologi. Rumah Hijau, Art for Earth.
- Wijatna A.B., Sudarmadji, Sunarno, dan H. Hendrayana (2013). Tracing the Origin of Groundwater in springs with Environmental Isotopes in the Southern Slope of Mount Merapi, Indonesia. Submitted to *ASEAN Engineering Journal*. Bangkok, Thailand, Januari 2013.