

**Sistem Imbuhan Air Tanah Daerah Karst Wonosari – Baron,  
Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta  
Berdasarkan Analisis Isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$**

***Groundwater Recharge System of Wonosari - Baron Karst Area,  
Gunungkidul Regency, Yogyakarta Special Region,  
Based on Isotope Analysis of  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$***

Taat Setiawan, Soeharti Isnaini, Novi M. A. Asghaf, dan Idham Effendi

Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Badan Geologi, KESDM  
Jalan Diponegoro 57 Bandung, Jawa Barat - Indonesia  
Naskah diterima 23 Juli 2018, selesai direvisi 23 November 2018, dan disetujui 26 November 2018  
e-mail : taat\_setia@yahoo.com

### ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi sistem imbuhan air tanah karst Wonosari-Baron, Gunungkidul, berdasarkan analisis isotop stabil ( $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$ ). Hasil penelitian mengindikasikan beberapa karakter sistem imbuhan air tanah. Air tanah pada dataran karst Wonosari mengindikasikan keterkaitan dengan sistem imbuhan yang bersifat lokal dari dataran karst Wonosari dan sistem imbuhan menengah dari perbukitan yang mengelilingi dataran karst Wonosari tersebut. Air tanah pada mata air permanen dan sistem sungai bawah tanah Bribin-Seropan mengindikasikan keterkaitan dengan sistem imbuhan air tanah yang bersifat regional dari perbukitan bukan karst di bagian timurlaut daerah penelitian. Air tanah pada kompleks mata air Baron dan Ngobaran menunjukkan keterkaitan dengan sistem imbuhan yang bersifat regional dari daerah perbukitan bukan karst dan sistem imbuhan yang bersifat lokal baik dari dataran karst Wonosari maupun dari perbukitan karst Gunungsewu.

**Kata kunci :** isotop stabil, imbuhan air tanah karst, Gunungkidul.

### ABSTRACT

*This research was conducted to identify the Wonosari-Baron karst groundwater recharge system, Gunungkidul, based on stable isotope ( $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$ ) analysis. The results of the research indicate several characteristics of the groundwater recharge system. Groundwater at the karst plateau of Wonosari indicates a connection with the local recharge system from the karst plateau of Wonosari and the intermediate recharge system from the hills surrounding its area. Groundwater at the permanent springs and underground river systems of Bribin-Seropan indicates a connection with the regional groundwater recharge system from non-karst hills in the northeastern part of the research area. Groundwater in the complex of the Baron and Ngobaran springs shows a connection with the regional recharge system from non-karst hills area and local recharge systems from the karst plateau of Wonosari and Gunungsewu karst hills area.*

**Keywords :** stable isotope, karst groundwater recharge, Gunungkidul.

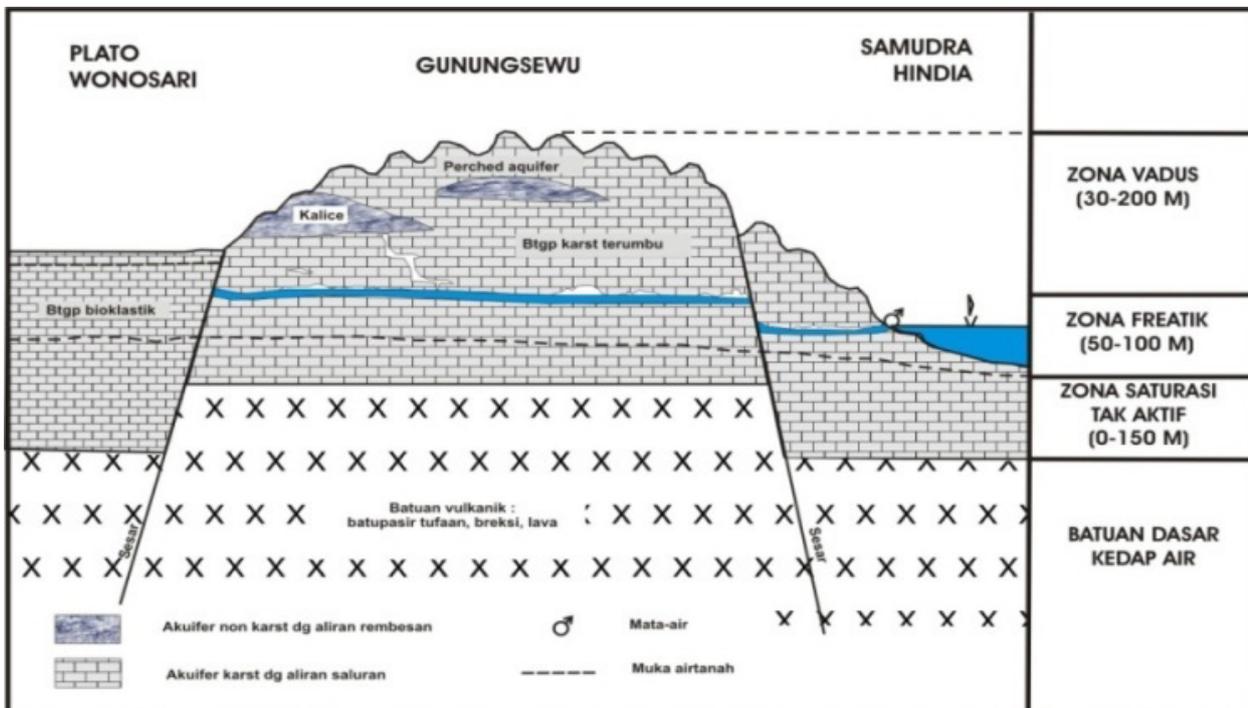
**PENDAHULUAN**

Kabupaten Gunungkidul sangat terkenal dengan bentang alam karst yang didalamnya berkembang fenomena karst seperti kerucut karst, dolina, polje, ponor, mata air karst, serta gua-gua yang berasosiasi dengan sistem sungai bawah tanah. Kabupaten Gunungkidul merupakan daerah yang setiap tahunnya mengalami bencana kekeringan hidrologis sehingga mempunyai keterbatasan akses terhadap air bersih (Anonim, 2007). Salah satunya akuifer yang mempunyai arti penting di daerah ini adalah batugamping Formasi Wonosari (Sir MacDonald & Partners, 1979). Kusumayudha (2005) menyebutkan bahwa batugamping Formasi Wonosari yang secara litofasies terdiri atas batugamping bioklastik dan batugamping terumbu merupakan lapisan pembawa air (akuifer). Daerah dataran Wonosari ditempati oleh batugamping bioklastik (*wackestone*), sedangkan daerah perbukitan karst ditempati oleh batugamping terumbu (*packestone dan boundstone*).

Berdasarkan pemisahan zona hidrodinamik, pola lepasan, dan sebaran mataair yang ada, sistem hidrogeologi di daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga sub-sistem, yaitu Sub-sistem Panggang di barat, Sub-sistem Wonosari-Baron di tengah,

dan Sub-sistem Sadeng di timur (Kusumayudha, 2005). Pada Sub-sistem Wonosari-Baron terdapat perbedaan muka air tanah yang sangat mencolok antara dataran karst Wonosari dengan perbukitan karst Gunungsewu. Di bagian utara, air tanah dijumpai pada kedalaman 5-10 m, sedangkan di bagian selatan dapat mencapai 150 m atau lebih. Berdasarkan atas hal tersebut, lapisan pembawa air pada Sub-sistem Wonosari-Baron dapat dibagi menjadi dua, yaitu akuifer Wonosari dan akuifer Gunungsewu (Gambar1).

Berdasarkan atas keunikan air tanah pada Sub-sistem Wonosari – Baron tersebut di atas, maka sangat menarik untuk dilakukan penelitian mengenai kondisi hidrogeologi daerah tersebut, termasuk sistem imbuhan air tanahnya. Salah satu metode dalam studi hidrogeologi adalah dengan menggunakan isotop pembentuk molekul air itu sendiri yaitu atom hidrogen (<sup>1</sup>H, <sup>2</sup>H, <sup>3</sup>H) dan atom Oksigen (<sup>16</sup>O, <sup>17</sup>O, <sup>18</sup>O) (Mazor, 2004; Goldscheider & Drew, 2007). Kelimpahan isotop hidrogen untuk <sup>1</sup>H sekitar 99,985%, <sup>2</sup>H sekitar 0,015%, dan <sup>3</sup>H kurang dari 0,001%, sedangkan isotop oksigen untuk <sup>16</sup>O sekitar 99,63%, <sup>17</sup>O sekitar 0,0375%, dan <sup>18</sup>O sekitar 0,1995% (IAEA, 1981). Pada air hujan, <sup>18</sup>O akan mengalami penurunan sekitar 0,15 ‰



Gambar 1. Model hidrogeologi konseptual Sub-sistem Wonosari - Baron arah utara – selatan (Kusumayudha, 2005).

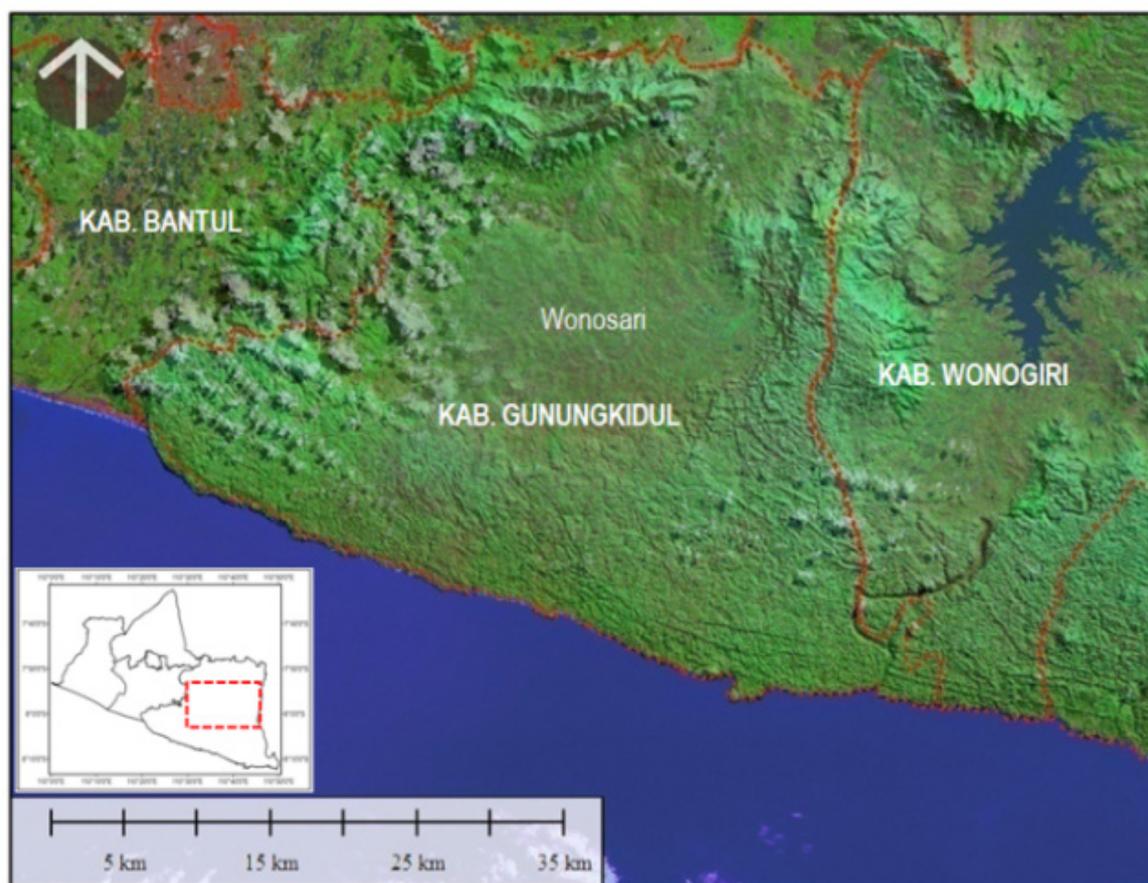
hingga  $0,5\text{‰}$  dan  $^2\text{H}$  akan mengalami penurunan antara  $1\text{‰}$  hingga  $4\text{‰}$  per 100 m kenaikan elevasi (Clark, 2015).

Isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  merupakan penjejak alami karena bersifat konservatif (Kendall drr., 1995; Pu et al, 2013; dan Murillo, 2015), yaitu tidak terpengaruh oleh proses interaksi air-batuan pada suhu rendah (Marfia drr., 2004). Hal tersebut menjadikan dasar mengapa isotop digunakan sebagai penjejak dalam studi air tanah, termasuk untuk studi resapan dan aliran air tanah (Blasch, 2007; Mukherjee drr., 2007; dan Singh, 2013) dan pencampuran air tanah dari sumber yang berbeda (Coplen, 1993).

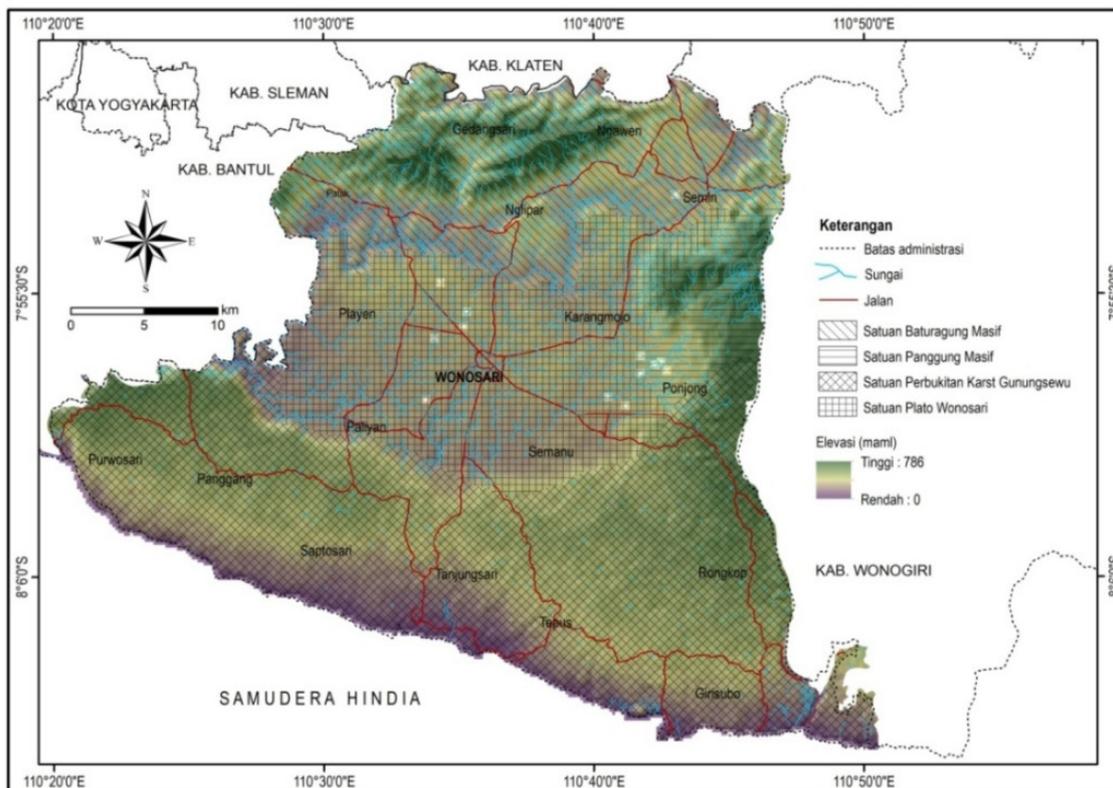
Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi sistem imbuhan air tanah karst, khususnya Sub-sistem Wonosari Baron, Kabupaten Gunungkidul, berdasarkan analisis komposisi isotop stabil  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  pada contoh air tanah sumur bor, mataair, dan sungai bawah tanah. Sedangkan lokasi penelitian secara administrasi masuk dalam wilayah Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta, terletak pada koordinat

$110^{\circ}28'12''$  -  $110^{\circ}50'24''$  BT dan  $7^{\circ}46'48''$ - $8^{\circ}12'36''$  LS (Gambar2). Daerah ini pada bagian utara berbatasan dengan Kabupaten Klaten dan Kabupaten Sukoharjo (Provinsi Jawa Tengah), bagian timur dengan Kabupaten Wonogiri (Provinsi Jawa Tengah), bagian barat dengan Kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman (DIY), dan bagian selatan dengan Samudera Hindia.

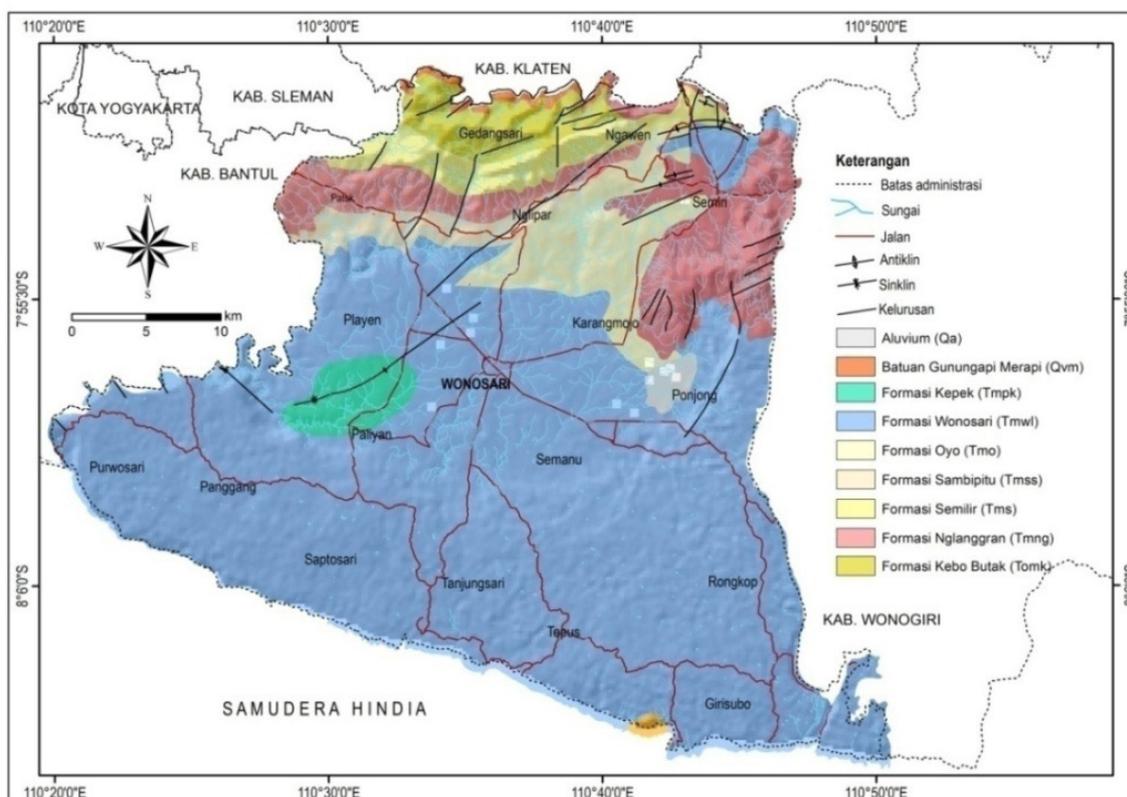
Secara fisiografis daerah Kabupaten Gunungkidul dan sekitarnya termasuk ke dalam Zona Pegunungan Selatan Jawa Timur (DIY, Jawa Tengah dan Jawa Timur) (Bemmelen, 1949). Zona Pegunungan Selatan ini oleh Van Bemmelen (1949) dibagi menjadi tiga sub-zona, yaitu rangkaian punggung Baturagung – Panggung dan Plopop di bagian utara, Plato Wonosari di bagian tengah, dan sub-zona Gunungsewu di bagian selatan (Gambar3). Kusumayudha (2005) menyebutkan bahwa Plato Wonosari dan Perbukitan Karst Gunungsewu dialasi oleh batuan dasar produk vulkanik yang terdiri atas Formasi Kebo-Butak, Formasi Semilir, dan Formasi Nglanggran (Gambar4). Di atas



Gambar 2. Lokasi penelitian



Gambar 3. Fisiografi daerah penelitian (Van Bemmelen, 1949)



Gambar 4. Peta geologi daerah penelitian (Modifikasi dari Surono drr., 1992 dan Rahardjo drr., 1995)

batuan dasar tersebut secara setempat – setempat, khususnya di wilayah Panggang, didapatkan napal Formasi Sambipitu. Batuan vulkanik beserta napal tersebut di atas secara hidrogeologi bersifat kedap air, sehingga dapat bertindak sebagai batuan alas kedap air dalam sistem hidrogeologi daerah Gunungsewu.

Batuan karbonat yang menumpang di atas batuan dasar menurut urutan pelapisan (sequence) stratigrafi dapat dibagi menjadi empat bagian yang masing-masing dibatasi oleh suatu bidang ketidakselarasan. Batugamping Formasi Wonosari yang menempati Plato Wonosari merupakan batugamping klastik dan berlapis, sedangkan yang menempati daerah karst Gunungsewu berfasies terumbu (Sir MacDonald & Partners, 1984). Jurus pelapisan batuan di daerah penelitian mengarah barat – timur dengan kemiringan lapisan ke selatan (Surono dr., 1992 dan Rahardjo dr., 1995).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan analisis komposisi isotop stabil  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  terhadap contoh air dari obyek hidrogeologi berupa mata air karst, sungai bawah tanah, dan sumur bor (Gambar 5). Analisis komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  terhadap contoh air dilakukan dengan menggunakan *Instrument Picarro L-2130-i*. Kelimpahan molekul  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dalam air tidak diukur secara mutlak tetapi berupa kelimpahan relatif terhadap suatu standar. Kelimpahan relatif molekul  $\text{HD}^{16}\text{O}$  disebut dengan kelimpahan relatif deuterium ( $\delta D$ ), dan kelimpahan relatif  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  disebut dengan kelimpahan relatif  $^{18}\text{O}$  ( $\delta O_{-18}$ ). Kelimpahan relatif  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  pada molekul air diukur relatif terhadap suatu standar internasional SMOW (*Standard Mean Ocean Water*), dengan rumus sebagai berikut (Eriksson, 1983):

Kelimpahan relatif  $^2\text{H}$  ditulis dengan  $\delta D$ , dengan rumus :

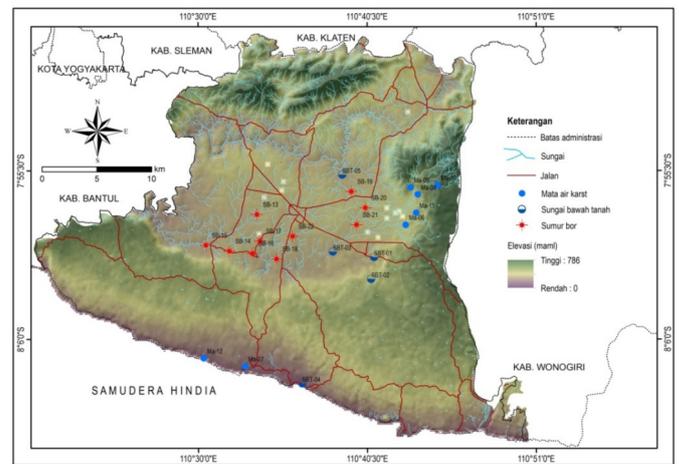
$$\delta_D = \left( \frac{R_{D(\text{contoh})}}{R_{D(\text{standar})}} - 1 \right) \times 1000\% \quad \dots\dots (1)$$

Kelimpahan relatif  $^{18}\text{O}$  ditulis dengan  $\delta O_{-18}$ , dengan rumus :

$$\delta_{O-18} = \left( \frac{R_{O-18(\text{contoh})}}{R_{O-18(\text{standar})}} - 1 \right) \times 1000\% \quad \dots\dots (2)$$

Notasi  $R_D$  dan  $R_{O-18}$  adalah perbandingan antara kelimpahan molekul  $\text{HD}^{16}\text{O}$  dan  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  terhadap molekul  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ .

Asal-usul sumber air tanah daerah penelitian dapat diketahui dengan mengplotkan komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  contoh air tanah pada garis air meteorik lokal (LMWL). *Persamaan garis meteorik lokal merupakan garis referensi yang digunakan untuk mengetahui genetika dan pergerakan air tanah serta proses-proses yang terjadi pada suatu daerah (Mazor, 2004)*. Dalam melakukan analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  di daerah penelitian digunakan persamaan air meteorik di Indonesia dengan rumus  $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 14$  (Dagstan, 1999).



Gambar 5. Lokasi pengambilan contoh air

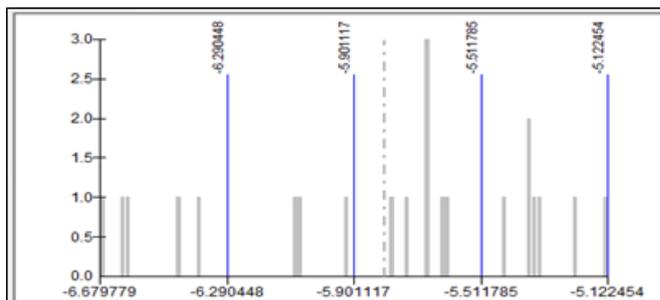
## HASIL DAN DISKUSI

Hasil pengujian isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yang terdiri atas 22 contoh baik dari mata air (Ma.), sungai bawah tanah (SBT), dan sumur bor (SB) dapat dilihat pada Tabel-1. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa nilai komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  untuk contoh air dari mata air dan sungai bawah tanah berkisar antara  $-6,68\text{‰}$  hingga  $-5,33\text{‰}$  dengan rata-rata  $-6,07\text{‰}$  dan standar deviasi  $0,48\text{‰}$ , sedangkan untuk contoh air dari sumur bor berkisar antara  $-5,79\text{‰}$  hingga  $-5,12\text{‰}$  dengan rata-rata  $-5,50\text{‰}$  dan standar deviasi  $0,224\text{‰}$ . Nilai komposisi isotop  $^2\text{H}$  untuk contoh air dari mata air dan sungai bawah tanah berkisar antara  $-42,31\text{‰}$  hingga  $-33,86\text{‰}$  dengan rata-rata  $-38,13\text{‰}$  dan standar deviasi  $3,00\text{‰}$ , sedangkan untuk contoh air dari sumur bor berkisar antara  $-36,66\text{‰}$  hingga  $-32,60\text{‰}$  dengan rata-rata  $-34,64\text{‰}$  dan standar deviasi  $1,428\text{‰}$ .

Berdasarkan atas hasil analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$

terlihat bahwa nilai standar deviasi contoh air yang berasal dari mata air dan sungai bawah tanah lebih besar dibanding dengan contoh air dari sumur bor. Hal tersebut menunjukkan rentang nilai komposisi isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H pada contoh air dari mata air dan sungai bawah tanah lebih bervariasi dibanding contoh dari sumur bor yang relatif seragam. Klasifikasi pengelompokan komposisi isotop <sup>18</sup>O dilakukan menggunakan metode *equal interval* yaitu pembagian nilai dari data ke dalam grup yang memiliki rentang nilai yang sama. Berdasarkan atas klasifikasi tersebut maka contoh air tanah di daerah penelitian dibagi menjadi 4 kelompok (Gambar 6).

Hasil pengeplotan komposisi isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H terhadap garis air meteorik di Indonesia menunjukkan bahwa contoh air yang berasal dari mata air, sungai bawah tanah, dan sumur bor memiliki penyimpangan terhadap garis air meteorik di wilayah Indonesia (Gambar 7). Hal tersebut kemungkinan berkaitan dengan proses evaporasi sekunder mengingat daerah penelitian



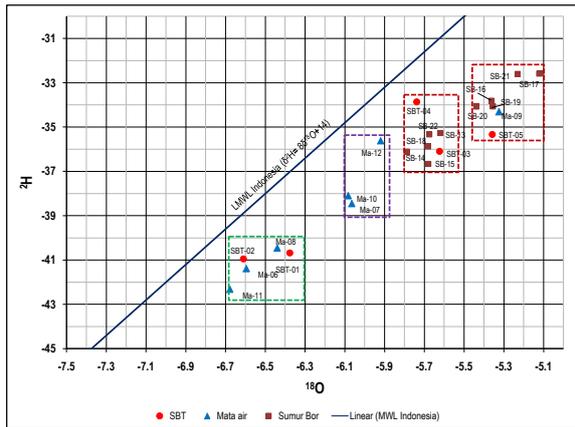
Gambar 6. Pembagian nilai isotop 18O menggunakan metode equal interval.

memiliki tutupan lahan yang relatif gersang, yaitu dominan semak belukar.

Berdasarkan atas grafik pengeplotan isotop 18O dan 2H menunjukkan secara umum ada empat kelompok contoh air berdasarkan atas komposisi isotop 18O dan 2H. Contoh air dengan komposisi isotop 18O dan 2H relatif rendah antara lain pada Ma. Gedaren, Ma. Ponjong, Ma. Beton, SBT

Tabel 1. Hasil analisis komposisi isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H contoh air daerah penelitian

ID	X	Y	Nama Obyek Hidrogeologi	Elv (maml)	<sup>18</sup> O (‰ SMOW)	<sup>2</sup> H (‰ SMOW)
SBT-01	464969	9114036	SBT Gua Seropan, Semanu	160	-6,38	-40,68
SBT-02	464651	9111530	SBT Gua Bribin, Semanu	184	-6,61	-40,96
SBT-03	460278	9114667	SBT Kalisuci, Semanu	211	-5,62	-36,10
SBT-04	456774	9099527	SBT Sundak, Tepus	3	-5,74	-33,86
SBT-05	461348	9123502	SBT Gua Pindul, Kr. Mojo	159	-5,36	-35,34
Ma-06	468585	9117746	Ma. Ponjong, Ponjong	217	-6,60	-41,38
Ma-07	450258	9101486	Ma. Baron, Tanjungsari	0	-6,07	-38,44
Ma-08	469956	9121240	Ma. Beton, Ponjong	240	-6,44	-40,44
Ma-09	469144	9122038	Ma. Nggremeng, Ponjong	241	-5,33	-34,29
Ma-10	472231	9122296	Ma. Bendungan, Ponjong	453	-6,08	-38,09
Ma-11	469781	9119123	Ma. Gedaren, Ponjong	235	-6,68	-42,31
Ma-12	445547	9102406	Ma. Ngobaran, Saptosari	9	-5,92	-35,61
SB-13	451600	9118910	SB BGL, Wonosari	175	-5,62	-35,27
SB-14	448458	9114701	SB BGL, Paliyan	186	-5,79	-36,11
SB-15	445778	9115373	SB PDAM, Paliyan	145	-5,68	-36,66
SB-16	451103	9114441	SB P2AB, Paliyan	170	-5,36	-34,07
SB-17	451961	9115863	SB P2AB, Wonosari	173	-5,12	-32,59
SB-18	453842	9113808	SB BGL, Wonosari	169	-5,68	-35,88
SB-19	462376	9121549	SB P2AB, Karangmojo	182	-5,36	-33,81
SB-20	463975	9119687	SB P2AB, Karangmojo	199	-5,44	-34,08
SB-21	462979	9117727	SB P2AB, Karangmojo	184	-5,23	-32,60
SB-22	455678	9116404	SB P2AB, Wonosari	174	-5,67	-35,33



Gambar 7. Plot isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  contoh air terhadap garis air meteorik lokal (Indonesia) di daerah penelitian

Bribin, dan SBT Seropan (Tabel 2). Contoh air tersebut memiliki komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  rata-rata  $-6,540/00$  dengan standar deviasi 0,13, sedangkan komposisi isotop  $^2\text{H}$  rata-rata  $-41,15$  0/00 dengan standar deviasi 0,73. Contoh air dengan komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  rendah hingga sedang antara lain pada Ma. Baron, Ma. Ngobaran, dan Ma. Bendungan (Tabel 3). Contoh air tersebut memiliki

komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  rata-rata  $-6,020/00$  dengan standar deviasi 0,09, sedangkan komposisi isotop  $^2\text{H}$  sebesar  $-37,38$  0/00 dengan standar deviasi 1,55 0/00.

Contoh air dengan komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  relatif sedang hingga tinggi antara lain pada SBT Kalisuci, SBT Sundak, dan sebagian sumur bor yang terletak di bagian tengah hingga selatan dataran Wonosari (SB-13, SB-14, SB-15, SB-18, dan SB-22) (Tabel 4). Contoh air tersebut memiliki komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  rata-rata  $-5,69/00$  dengan standar deviasi 0,06, sedangkan komposisi isotop  $^2\text{H}$  rata-rata  $-35,60/00$  dengan standar deviasi 0,91. Contoh air dengan komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  relatif tinggi antara lain pada SBT Gua Pindul, Ma. Nggremeng, sebagian kecil sumur bor yang terletak di bagian selatan dan semua sumur bor yang terletak di timurlaut dataran Wonosari (SB-16, SB-17, SB-19, SB-20, dan SB-21) (Tabel 5). Contoh air tersebut memiliki rata-rata komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  sebesar  $-5,31/00$  dengan standar deviasi 0,1, sedangkan rata-rata komposisi isotop  $^2\text{H}$  sebesar  $-33,83/00$  dengan standar deviasi 0,97.

## Diskusi

Tabel 2. Contoh air dengan komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  relatif rendah

ID	Nama Obyek Hidrogeologi	$^{18}\text{O}$ (0/00)	$^2\text{H}$ (0/00)
SBT-01	SBT Gua Seropan	-6,38	-40,68
SBT-02	SBT Gua Bribin	-6,61	-40,96
Ma-06	Ma. Ponjong	-6,60	-41,38
Ma-08	Ma. Beton	-6,44	-40,44
Ma-11	Ma. Gedaren	-6,68	-42,31
Rata-rata		-6,54	-41,15
Standar deviasi		0,13	0,73

Tabel 3. Contoh air dengan komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  relatif rendah hingga sedang

ID	Nama Obyek Hidrogeologi	$^{18}\text{O}$ (0/00)	$^2\text{H}$ (0/00)
Ma-07	Ma. Baron	-6,07	-38,44
Ma-10	Ma. Bendungan	-6,08	-38,09
Ma-12	Ma. Ngobaran	-5,92	-35,61
Rata-rata		-6,02	-37,38
Standar deviasi		0,09	1,55

Tabel-4. Contoh air dengan komposisi isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H relatif sedang hingga tinggi

ID	Nama Obyek Hidrogeologi	<sup>18</sup> O (‰)	<sup>2</sup> H (‰)
SBT-03	SBT Kalisuci	-5,62	-36,10
SBT-04	SBT Sundak	-5,74	-33,86
SB-13	SB BGL-PAG Tahun 2013	-5,62	-35,27
SB-14	SB BGL-PAG Tahun 2013	-5,79	-36,11
SB-15	SB PDAM Paliyan	-5,68	-36,66
SB-18	SB BGL-PAG Tahun 2011	-5,68	-35,88
SB-22	SB P2AB	-5,67	-35,33
Rata-rata		-5,69	-35,60
Standar deviasi		0,06	0,91

Tabel-5. Contoh air dengan komposisi isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H relatif tinggi

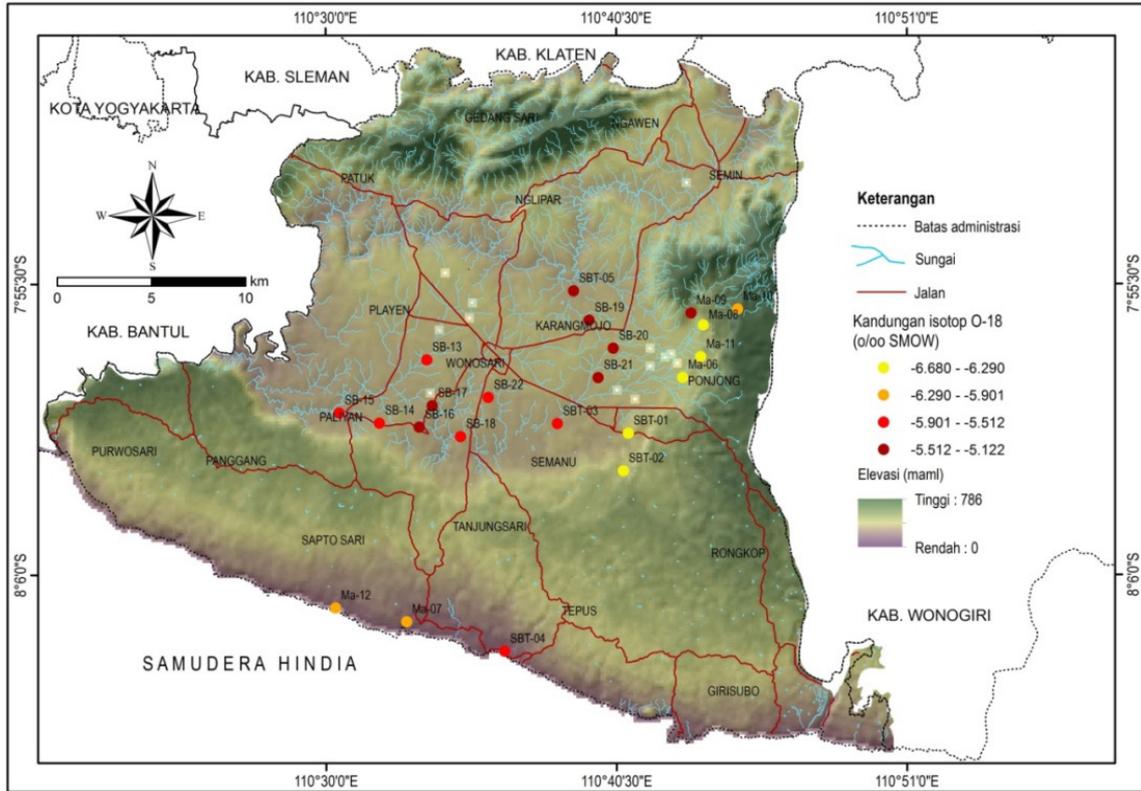
ID	Nama Obyek Hidrogeologi	<sup>18</sup> O (‰)	<sup>2</sup> H (‰)
SBT-05	SBT Gua Pindul	-5,36	-35,34
Ma-09	Ma. Nggremeng	-5,33	-34,29
SB-16	SB P2AB	-5,36	-34,07
SB-17	SB P2AB	-5,12	-32,59
SB-19	SB P2AB	-5,36	-33,81
SB-20	SB P2AB	-5,44	-34,08
SB-21	SB P2AB	-5,23	-32,60
Rata-rata		-5,31	-33,83
Standar deviasi		0,10	0,97

Klasifikasi komposisi isotop <sup>18</sup>O seperti telah dijelaskan di atas secara spasial terlihat bervariasi (Gambar 8). Variasi spasial komposisi isotop <sup>2</sup>H relatif sama dengan isotop <sup>18</sup>O tersebut. Contoh air dengan komposisi isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H relatif tinggi antara lain pada SBT Gua Pindul, Ma. Nggremeng, sebagian kecil sumur bor yang terletak di bagian selatan dan semua sumur bor yang terletak di bagian timurlaut dataran Wonosari. Relatif tingginya komposisi isotop tersebut kemungkinan berkaitan dengan imbuhan air tanah bersifat lokal, yaitu berasal dari daerah dataran karst Wonosari untuk contoh air dari sumur bor dan SBT Gua Pindul, dan untuk Ma. Nggremeng berasal dari perbukitan karst di sekitarnya.

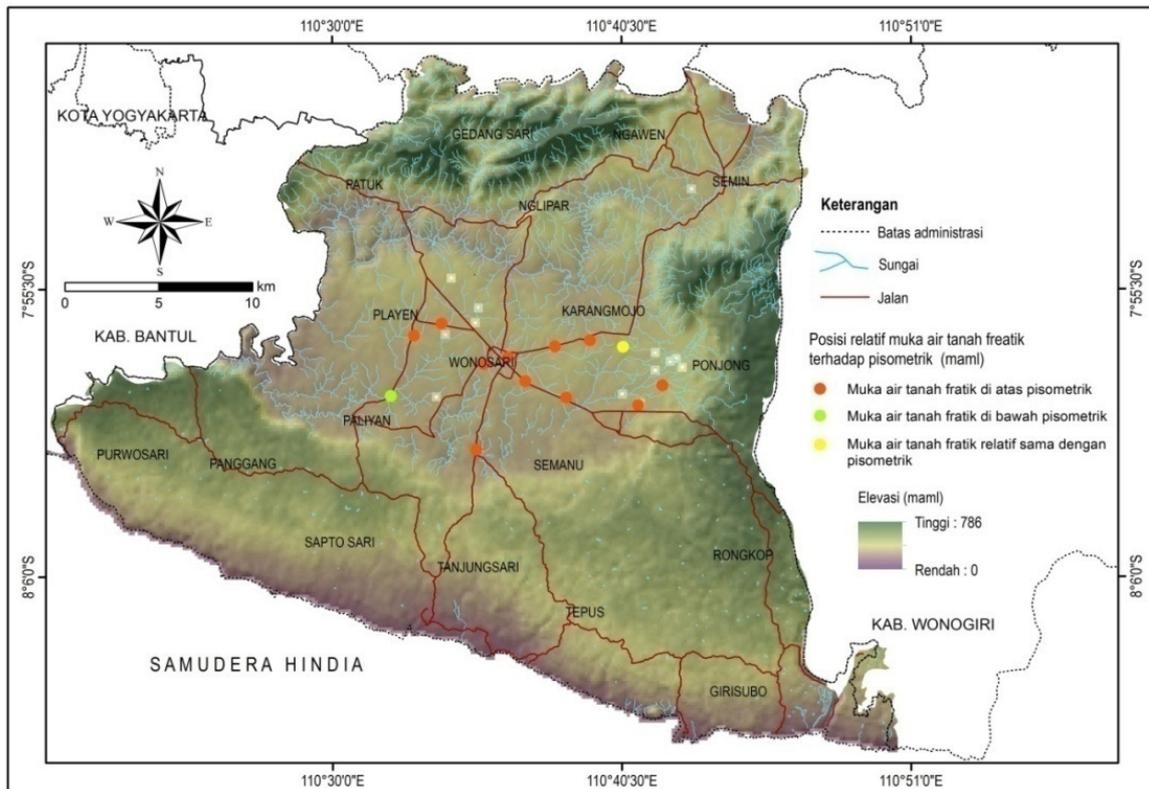
Contoh air dengan komposisi isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H relatif sedang hingga tinggi antara lain pada SBT Kali Suci, SBT Sundak, dan sebagian besar sumur bor yang terletak di bagian tengah

hingga selatan dataran Wonosari. Kemungkinan air tanah pada sumur bor dan sungai bawah tanah tersebut berasal dari sistem imbuhan air tanah yang bersifat lokal hingga menengah, yaitu dari daerah dataran karst Wonosari dengan perbukitan karst di sekitarnya. Karakter dataran karst Wonosari yang dikelilingi oleh perbukitan secara fisiografis membentuk cekungan Wonosari dan secara hidrologis sangat berperan dalam mengumpulkan dan meresapkan air hujan menjadi air tanah.

Karakter dataran karst sebagai daerah imbuhan air tanah juga ditunjukkan oleh posisi relatif muka air tanah bebas (freatik) terhadap muka air tanah tertekan (pisometrik). Dari 13 lokasi perbandingan antara posisi muka air tanah freatik dengan pisometrik menunjukkan bahwa sebagian besar, yaitu 11 lokasi menunjukkan kedudukan muka air tanah freatik di atas atau lebih tinggi dari pisometrik, satu lokasi menunjukkan muka air tanah



Gambar 8. Peta kelas komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  contoh air di daerah penelitian



Gambar 9. Kedudukan relatif muka air tanah freatik terhadap pisometrik di daerah dataran karst Wonosari

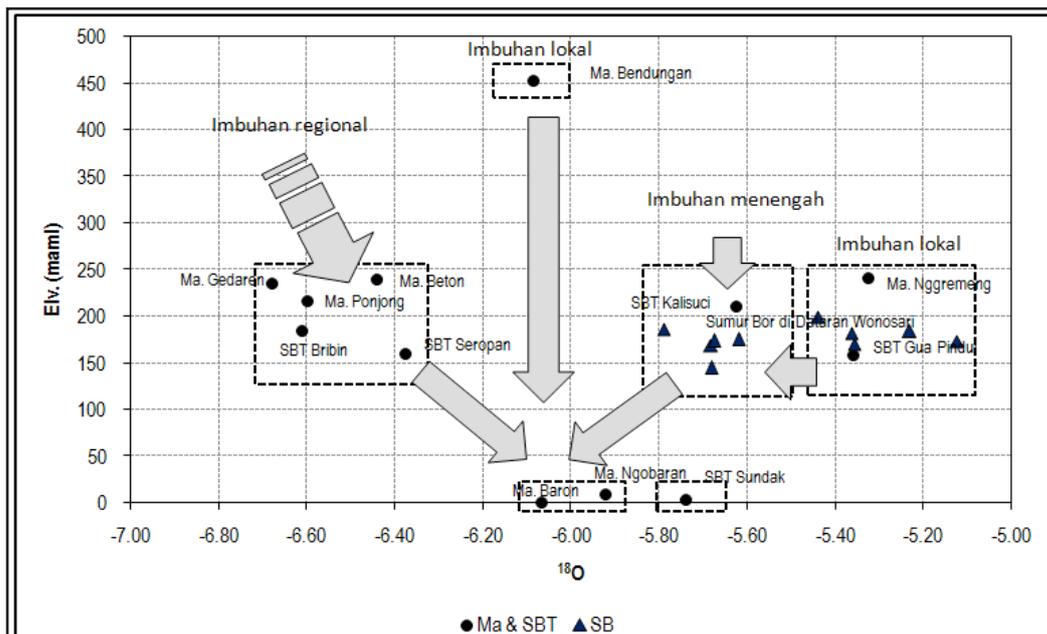
freatik di bawah atau lebih rendah dari pisometrik, dan satu lokasi menunjukkan muka air tanah freatik relatif sama dengan pisometrik (Gambar 9). Berdasarkan atas hal tersebut terlihat bahwa relatif lebih tingginya kedudukan muka air tanah freatik dibanding muka pisometrik menunjukkan bahwa daerah dataran karst Wonosari dan sekitarnya memungkinkan terjadinya pergerakan air tanah dari akuifer bebas menuju akuifer di bawahnya.

Mata air dan sungai bawah tanah dengan komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  relatif rendah terutama terdapat pada mata air permanen dengan debit relatif besar (debit minimum berkisar antara 20 hingga 100 l/det.) seperti pada Ma. Gedaren, Ma. Ponjong, dan Ma. Beton, serta dari sungai bawah tanah SBT Bribin dan SBT Seropan. Mata air dan sungai bawah tanah tersebut berada di bagian timur daerah penelitian, yaitu pada perbatasan antara satuan dataran karst dengan satuan perbukitan karst yang terletak pada elevasi 215 hingga 240 maml. Komposisi isotop tersebut lebih rendah dibanding pada Ma. Bendungan yang berada pada level elevasi 450 maml. Hal tersebut memungkinkan bahwa air tanah pada mata air dan sungai bawah tanah berasal dari elevasi di atas 450 maml, yaitu daerah perbukitan bukan karst yang secara litologi tersusun atas batuan gunungapi tua (*allogenic recharge*). Adji (2012) menyebutkan bahwa sistem SBT Bribin bermula dari Sungai Pentung yang

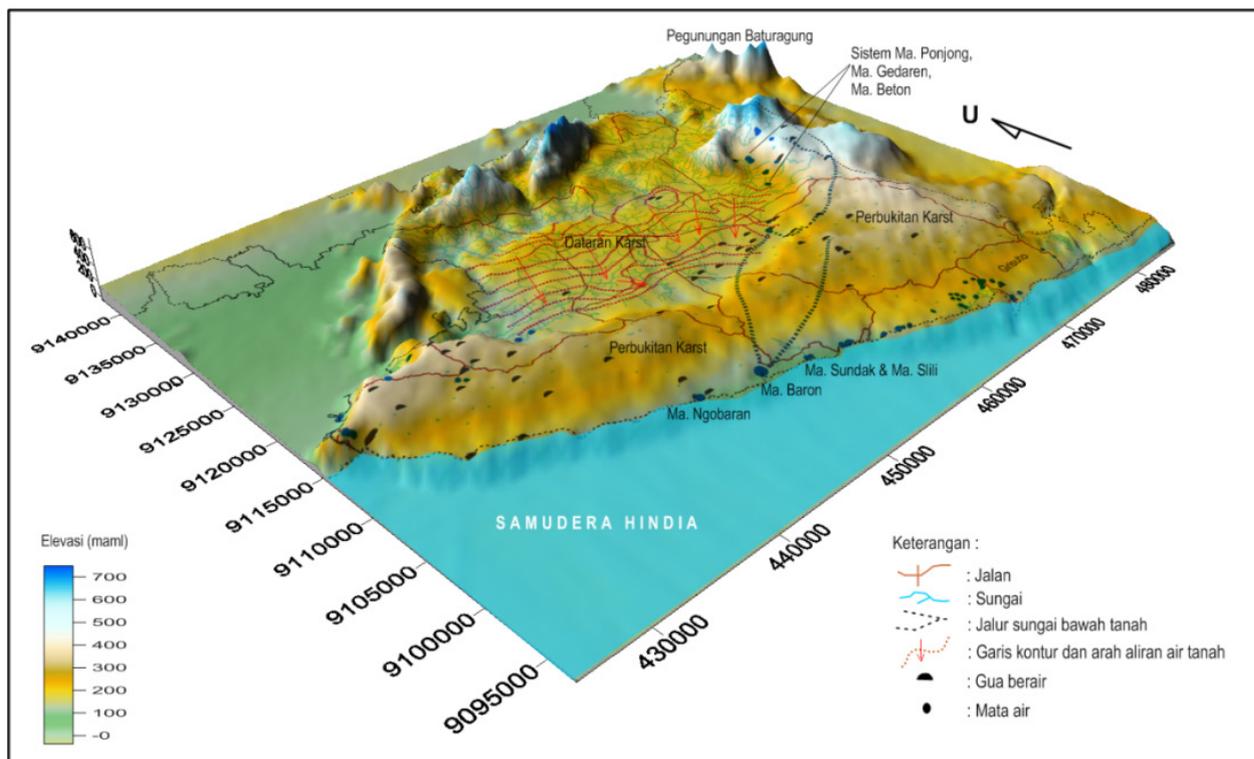
berasal dari daerah bukan karst masuk ke ponor di daerah Sawahombo dan terakhir di Gua Bribin dengan debit yang semakin besar ke arah hilir.

Mata air dan sungai bawah tanah tersebut memiliki pola penyebaran yang relatif sama dengan arah umum sesar utama di daerah penelitian, yaitu berarah relatif utara – selatan seperti yang dapat dilihat pada peta geologi (Gambar4). Selain itu, menurut Srijono dan Aldila (2006), daerah Ponjong merupakan suatu bentukan Polje yang secara genesis dikontrol oleh sesar sebagai pembatas terhadap perbukitan tersesarkan di sebelah utara, dan sesar di sebelah timur berbatasan dengan perbukitan karst. Hal tersebut menunjukkan bahwa mata air - mata air yang ada tersebut merupakan satu sistem sehingga memiliki komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  relatif sama.

Contoh air dengan dengan komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  relatif rendah hingga sedang terdapat pada mata air utama yang kemunculannya dikontrol oleh *regional base level* berupa muka air laut, yaitu Ma. Baron dan Ma. Ngobaran. Mata air tersebut memiliki debit yang sangat besar dan bersifat permanen, tercatat saat musim kemarau sekitar 7688 l/det pada Ma. Baron dan sekitar 180 l/det pada Ma. Ngobaran. Mata air ini juga memiliki komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yang sama dengan Ma. Bendungan yang berasal dari elevasi 450 maml. Berdasarkan atas hal tersebut, kemungkinan air



Gambar 10. Grafik hubungan antara komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  terhadap elevasi lokasi contoh air tanah



Gambar 11. Model konseptual sistem imbuan dan lepasan air tanah karst Wonosari-Baron, Gunungkidul

tanah pada mata air ini berasal dari pencampuran antara sistem imbuan air tanah regional dari perbukitan bukan karst (di atas 450 maml) dengan imbuan air tanah yang bersifat lokal pada daerah dataran karst Wonosari. Ilustrasi penjelasan di atas dapat dilihat dari grafik hubungan antara komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  terhadap elevasi di daerah penelitian (Gambar 10).

Pencampuran antara imbuan air tanah yang bersifat lokal dan regional tersebut di atas dapat dilihat dari pola aliran air tanah daerah penelitian yang secara umum bergerak dari arah utara menuju selatan, yaitu dari dataran Wonosari menuju perbukitan karst (Gambar 12). Sistem sungai bawah tanah di daerah penelitian menurut Sir MacDonald & Partners (1984) terdiri atas beberapa sistem seperti sistem sungai bawah tanah, diantaranya adalah sistem SBT Bribin dan sistem SBT Suci-Grubug. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Sir MacDonald & Partners (1984) melalui metoda *tracing* menggunakan zat pewarna membuktikan bahwa sistem penyaluran di daerah Gunungkidul bagian tengah akan bergerak melalui bawah permukaan dan bermuara di Ma. Baron. Berdasarkan atas beberapa hal tersebut menunjukkan bahwa mata air Baron merupakan daerah lepasan air tanah yang berasal

baik dari resapan air tanah yang bersifat lokal pada satuan dataran karst Wonosari dan perbukitan karst Gunungsewu, hingga resapan air tanah yang bersifat regional dari perbukitan bukan karst di bagian timur laut daerah penelitian. Penjelasan tersebut dapat dilihat pada model konseptual sistem imbuan dan lepasan air tanah daerah penelitian (Gambar 11).

## KESIMPULAN

Hasil analisis isotop stabil ( $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$ ) pada contoh air dari mataair, sumur bor, dan sungai bawah tanah mengindikasikan beberapa karakter sistem imbuan air tanah karst Sub-sistem Wonosari-Baron. Air tanah pada dataran Wonosari memiliki komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  relatif tinggi hingga sedang menunjukkan keterkaitan dengan sistem imbuan lokal dari daerah dataran karst Wonosari hingga sistem imbuan menengah dari daerah perbukitan di sekitar dataran karst tersebut. Air tanah pada mata air permanen dan sistem sungai bawah tanah Bribin – Seropan memiliki komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  relatif rendah menunjukkan keterkaitan dengan sistem imbuan yang bersifat regional dari daerah perbukitan bukan karst (*allogenic recharge*). Air tanah dengan komposisi

isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  relatif rendah hingga sedang terdapat pada mata air permanen berdebit besar, yaitu kompleks mata air Baron dan Ngobaran yang dikontrol oleh *regional base level* berupa muka air laut. Air tanah tersebut kemungkinan berkaitan dengan sistem imbuhan regional dari daerah perbukitan bukan karst dan sistem imbuhan lokal baik dari dataran karst Wonosari maupun dari perbukitan karst Gunungsewu.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan terbitnya makalah ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan yang telah memfasilitasi kegiatan ini. Ucapan terimakasih disampaikan pula kepada Dewan Redaksi yang telah menerbitkan tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bappeda Kab. Gunungkidul, 2007. Penyusunan Neraca Sumberdaya Air Kabupaten Gunungkidul. *Laporan Akhir*, Bappeda Kab. Gunungkidul, Yogyakarta.
- Adji, T.N., 2012. Wet season hydrochemistry of Bribin Cave in Gunung Sewu Karst, Indonesia. *Environmental Earth Sciences* 67, 1563–1572.
- Blasch, K.W., Bryson, J.R., 2007. Distinguishing sources of ground water recharge by using  $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ . *Ground Water*, 45, 294–308.
- Clark, I., 2015. *Groundwater Geochemistry and Isotopes*. Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, US.
- Coplen T., 1993. Use of environmental isotopes. In *Regional Groundwater Quality*. In: Alley WM, editors. Van Nostrand Reinhold, New York, p. 227–254.
- Dagstan., 1999. *Studi Asal Usul Air Rembesan/ Bocoran Waduk Jatiluhur, Wlingi, dan Ngancar dengan Teknik Isotop Alam*. Laporan Akhir, DAGSTAN, Jakarta.
- Eriksson, E., 1983. Stable Isotopes and Tritium in Precipitation, Guide Book on Nuclear Techniques in Hydrology. *Technical Report series* no. 91, IAEA, Vienna.
- Goldscheider dan Drew., 2007. *Methods in Karst Hydrogeology*. Taylor & Francis Group, London, UK.
- IAEA., 1981. Stable Isotope Hydrology. *Technical Report Series No. 210*, IAEA, Vienna.
- Kendall C., McDonnell J J., 1998. Isotopes tracers in catchment hydrology. *Elsevier Science*. B.V, Amsterdam, Netherlands.
- Kusumayudha, S.B., 2005. *Hidrogeologi Karst dan Geometri Fraktal di Daerah Gunungsewu*. Adicita Karya Nusa, Yogyakarta.
- Marfia, A.M., Krishnamurthy, R.V., Atekwana, E.A., Panton, W.F., 2004. Isotopic and geochemical evolution of groundwater and surface waters in a karst dominated geological setting: a case study from Belize, Central America. *Appl Geochem* 19: 937-946
- Mazor, E., 2004. *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*. Third Edition, Marcel Dekker, New York.
- Mukherjee, A., Fryar, A.E., Rowe, H.D., 2007. Regional-scale stable isotopic signatures of recharge and deep groundwater in the arsenic affected areas of West Bengal, India. *J Hydrol* 334:151-161.
- Murillo, R.S., Brooks, E., Elliot, J.W. and Bolla, J., 2015. Isotope Hydrology and Baseflow Geochemistry in Natural and Human-Altered Watersheds in the Inland Pacific Northwest, USA. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 51, 231-254.
- Pu, T., He, Y., Zhang, T., Wu, J., Zhu, G., Chang, L., 2013. Isotopic and geochemical evolution of ground and river waters in a karst dominated geological setting: A case study from Lijiang basin, South-Asia monsoon region. *Appl. Geochem.* 33, 199–212.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, Rosidi, H.M.D., 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, skala 1:100.000*. Pusat Pengembangan dan Penelitian Geologi, Bandung.
- Singh, M., Kumar, S., Kumar, B., Singh, S., Singh, I.B., 2013. Investigation on the hydrodynamics of Ganga Alluvial Plain using environmental isotopes: A case study of the Gomati River Basin, northern India. *Hydrogeol. J.*, 21, 687–700.
- Sir MacDonald and Partners., 1979. *Gunungkidul Groundwater Project Final Report : Geohydrology, Vol. 3A*. Groundwater Development Project, Directorate General of Water Resources Development Project (P2AT), Ministry of Publicworks, Government of Indonesia.

- Sir MacDonald and Partners, 1984. *Greater Yogyakarta Groundwater Resource Study, Volume III*. Groundwater Development Project, Directorate General of Water Resources Development Project (P2AT), Ministry of Publicworks, Government of Indonesia.
- Srijono dan Aldilla, N., 2006. Geogenesis Polje-Purba Ponjong Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Gunung Sewu-Indonesian Cave and Karst Journal*, Vol. 2 No. 1, HIKESPI, Indonesia.
- Surono, Toha, B., Sudarno, I., Wirjosujono, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro, Jawa, skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia, Part I General Geology*. The Hague, the Netherlands.