

STUDI ISOTOP OKSIGEN-18 DAN DEUTERIUM UNTUK MENENTUKAN *LOCAL METEORIC WATER LINE* (LMWL) DI DAERAH CIWIDEY DAN SEKITARNYA

Oxygen-18 and Deuterium Isotope Study for Determining Local Meteoric Water Line (LmwL) in Ciwidey Area and Surroundings

Iwan Fahlevi Setiawan

Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Geologi, Mineral dan Batubara
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Jalan Jenderal Sudirman No. 623 Bandung 40211
Telp. (022) 6076756, Faks. (022) 6035506
E-mail: iwan.fahlevi@esdm.go.id

ABSTRAK

Ciwidey merupakan suatu daerah di Kabupaten Bandung bagian selatan yang mempunyai potensi sumber daya alam yang begitu melimpah. Di sana terdapat potensi wisata alam, perkebunan, pertanian, dan potensi panas bumi. Jika dimanfaatkan secara maksimal, potensi tersebut dapat membantu meningkatkan pembangunan di Kabupaten Bandung serta khususnya daerah Ciwidey. Curah hujan rata-rata di Bandung Metropolitan bagian selatan adalah 1500-4500 mm/th, sedangkan curah hujan tertinggi (3000-4500 mm/th) terdapat di bagian Barat daya, yaitu di daerah pegunungan, seperti Gunung Patuha, Gunung Powo, Gunung Sumbul, dan Gunung Kuda. Kondisi ini menarik untuk diteliti secara hidrogeologi, terutama kondisi *Local Meteoric Water Line* (LMWL). Metode untuk menentukan LMWL berdasarkan hasil analisis kandungan isotop stabil ^{18}O dan ^2H karena isotop air hujan mempunyai karakteristik khas, yaitu nilainya berbeda pada setiap elevasi. Pengambilan sampel air hujan dilakukan di empat tempat berbeda, yaitu KUD Ciwidey dengan ketinggian 1114m di atas permukaan laut (dpl), Desa Alam Endah (1300m dpl), Rancawalini (1770m dpl), dan Gunung Patuha (1948m dpl). Hasil analisis isotop stabil air hujan menghasilkan persamaan garis air meteorik lokal daerah Ciwidey dan sekitarnya, yaitu $\delta^2\text{H} = 7,55 \delta^{18}\text{O} + 12,06$ dengan $R^2=0,990$. Persamaan garis LMWL ini dapat dipergunakan sebagai standar untuk menentukan daerah resapan (*recharge area*) yang sangat bermanfaat dalam pengelolaan air tanah ataupun panas bumi di daerah Ciwidey dan sekitarnya.

Kata kunci: Ciwidey, isotop stabil, garis air meteorik lokal

ABSTRACT

Ciwidey is an area in the southern part of Bandung regency that has the potential for abundant natural resources, there is the potential for nature tourism, plantations, agriculture, geothermal, and if all the potential resources used maximally that will help development in Bandung regency and Ciwidey area especially. Average rainfall in the southern part of Bandung Metropolitan is 1500-4500 mm / yr, while the highest rainfall (3000-4500 mm / yr) is in the Southwest, namely in the magnification areas, such as Mount Patuha, Mount Powo, Mount Sumbul and Mount Kuda. This condition is interesting to be studied for the determination of *Local Meteoric Water Line* (LMWL). The method for determining LMWL is based on the analysis results of the stable isotope composition

of ^{18}O and ^2H because rainwater isotopes have unique characteristics that are valued differently at each elevation. Rainwater sampling was carried out in 4 (four) different places, namely Ciwidey KUD with a height of 1114m above sea level (asl), Alamendah Village (1300m asl), Rancawalini (1770m asl) and Mount Patuha (1948m asl). The results of the stable isotope analysis of rainwater produce the local air meteoric equation in Ciwidey and its surroundings, namely $\delta^2\text{H} = 7.55 \delta^{18}\text{O} + 12.06$ with $R^2 = 0.990$. This LMWL line equation can be used as a standard for determine recharge area which is very useful for groundwater management or geothermal management in Ciwidey area.

Keywords: Ciwidey, stable isotope, local meteoric water line

PENDAHULUAN

Kawasan Ciwidey dan sekitarnya yang secara administratif terletak di Kabupaten Bandung merupakan suatu kawasan yang kaya akan potensi alamnya. Di kawasan tersebut dapat ditemukan potensi energi panas bumi, mineral, wisata alam, perkebunan, dan pertanian. Potensi energi panas bumi Kabupaten Bandung cukup besar, yaitu sekitar 2.771 megawatt (MW). Dari jumlah tersebut yang sudah dimanfaatkan mencapai ± 697 MW yang tersebar di sekitar wilayah Kamojang, Wayang Windu, Darajat, Patuha, dan Area Cibuni (Perda Kabupaten Bandung No 27: 2016). Kondisi ini tidak terlepas dari posisi Indonesia yang dilalui oleh tiga lempeng aktif, yaitu *curasian plate*, *indian ocean-australian plate*, dan *pacific plate*. Dengan demikian, potensi panas bumi yang tersebar di Indonesia merupakan potensi terbesar di dunia. Di dalam suatu sistem panas bumi melibatkan tiga komponen utama yang meliputi sumber panas, reservoir, dan fluida. Fluida dalam hal ini air tanah mempunyai peranan penting. Di samping sebagai salah satu komponen dalam sistem panas bumi, air tanah juga bermanfaat untuk dikonsumsi oleh penduduk.

Secara hidrologi, curah hujan rata-rata di Bandung Metropolitan bagian selatan adalah 1500-4500 mm/th, sedangkan curah hujan tertinggi (3000-4500 mm/th) terdapat di bagian barat daya, yaitu di daerah pegunungan, seperti Gunung Patuha, Gunung Powo, Gunung Sumbul, dan Gunung Kuda. Kabupaten Bandung memiliki lima kawasan Cekungan Air Tanah (CAT) (Perda Kabupaten Bandung No 27: 2016), yaitu CAT Bandung-Soreang, CAT Cibuni, CAT Banjarsari, CAT Lembang, dan CAT Sclaawi-Sadangwangi. Keberadaan CAT ini sangat penting, terutama bagi pengelolaan air tanah (perizinan, pemanfaatan, pengawasan, dan pengendalian).

Dengan berbagai karakteristik geologi dan kebermanfaatan air tanah di daerah Ciwidey menjadi daya tarik tersendiri untuk melakukan penelitian mengenai oksigen-18 dan deuterium. Isotop oksigen-18 (^{18}O) dan deuterium (^2H) merupakan isotop alam yang telah banyak digunakan di bidang air tanah. Isotop ini umumnya digunakan sebagai parameter tambahan jika parameter kimia belum mampu menjawab permasalahan air tanah yang dihadapi (Pujiindiyati dkk, 2012). Analisis isotop stabil ini pun telah banyak digunakan untuk keperluan dalam menentukan asal mula air tanah, seperti yang telah dilakukan oleh Clark and Fritz (1997), Sugiharto (2002), serta Sudaryanto dan Lubis (2011). Hasil analisis isotop air hujan dapat berupa persamaan garis air meteorik lokal (*Local Meteoric Water Line/LMWL*) yang dapat digunakan sebagai salah satu acuan/dasar dalam penentuan daerah resapan. Data LMWL ini merupakan data pendukung yang dapat melengkapi data lainnya, seperti data geologi bawah permukaan, data geofisika, dan data geokimia dalam menentukan daerah resapan di suatu area. Dengan demikian, hal ini menjadi menarik bagi penulis untuk melakukan studi isotop di daerah Kabupaten Bandung bagian selatan sebagai bahan referensi

bagi para peneliti atau para pengambil kebijakan, terutama di bidang geotermal, air tanah, penataan ruang, dan bidang lainnya yang manfaatnya dapat dirasakan oleh semua orang.

Penggunaan isotop alam untuk memahami proses hidrologi pada sebuah *catchment* (daerah tangkapan) memberikan manfaat besar sebagai data penunjang bagi kepentingan penelitian. Hal ini disebabkan karena isotop memberikan gambaran yang jelas mengenai proses hidrologi yang terjadi pada sebuah *catchment* (Kendall dan Donnell, 1998). Isotop alam ^{18}O , ^2H , dan ^3H merupakan bagian molekul air alami yang jatuh bersamaan dengan air hujan atau salju yang dapat digunakan sebagai *tracers* hidrologi pada suatu *catchment* (Sklash, 1990 dalam Kendall dan Donnell, 1998).

Isotop merupakan atom yang mempunyai nomor atom sama, tetapi memiliki nomor massa yang berbeda. Mereka mempunyai jumlah proton (positif) dan elektron (negatif) yang sama, tetapi berbeda jumlah neutronnya. Pada prinsipnya, terdapat dua kelompok isotop.

- Isotop stabil, tidak berubah terhadap waktu, kecuali dipengaruhi oleh proses fisika kimia (seperti evaporasi dan kondensasi).
- Isotop tidak stabil, yang berubah terhadap waktu yang dikenal pula sebagai radioaktif.

Isotop ini dikelompokkan pula berdasarkan:

- Isotop alam, yang terbentuk secara alami.
- Isotop buatan, variasi komposisinya di alam dibuat oleh manusia.

Isotop alam yang umumnya digunakan bagi kepentingan hidrogeologi, di antaranya adalah isotop stabil deuterium (^2H), oksigen-18 (^{18}O), radioisotop tritium (^3H), dan karbon-14 (^{14}C). Pada tabel 1 dapat dilihat keberadaan isotop alam stabil serta kandungannya. Keberadaan di alam atom oksigen mempunyai tiga buah isotop, yaitu ^{16}O , ^{17}O , dan ^{18}O dengan nilai perbandingan ketiganya adalah 99,795: 0,24: 0,0374. Adapun untuk rasio $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ sebanding dengan 1/489 (IAEA, 1981).

Tabel 1. Isotop Alam Stabil (Clark dan Fritz, 1997)

Isotop	Rasio	(%) Keberadaan di Alam	Referensi (Rasio Kandungan)
^2H	$^2\text{H}/^1\text{H}$	0.015	VSMOW (1.5575×10^{-4})
^3H	$^3\text{H}/^4\text{H}$	0.000138	Atmosfir He (1.3×10^{-6})
^6Li	$^6\text{Li}/^7\text{Li}$	7.5	L-SVEC (8.32×10^{-2})
^{11}B	$^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$	80.1	NBS 951 (4.04362)
^{13}C	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	1.11	VPDB (1.1237×10^{-2})
^{15}N	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	0.366	Udara N_2 (3.677×10^{-3})
^{18}O	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	0.204	VSMOW (2.0672×10^{-2}) VPDB (2.0672×10^{-3})
^{34}S	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	4.21	CDT (4.5005×10^{-2})
^{37}Cl	$^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$	24.23	SMOC (0.324)
^{81}Br	$^{81}\text{Br}/^{79}\text{Br}$	49.31	SMOB
^{87}Sr	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr} = 7.0$ $^{86}\text{Sr} = 9.86$	Rasio absolut yang terukur

Tabel 2. Radioisotop Alam (Clark dan Fritz, 1997)

Isotop	Waktu Paruh (tahun)	Lambang
^3H	12.43	β^-
^{14}C	5730	β^-
^{36}Cl	301,000	β^-
^{39}Ar	269	β^-
^{85}Kr	10.72	β^-
^{81}Kr	210,000	ec
^{129}I	1.6×10^7	β^-
^{222}Rn	3.8 days	α
^{226}Ra	1600	α
^{230}Th	75,400	α
^{234}U	246,000	α
^{238}U	4.47×10^9	α

Hidrogen di alam juga mempunyai tiga buah isotop, yaitu ^1H , ^2H , dan ^3H . Isotop tritium (^3H) bersifat radioaktif memancarkan sinar β (Tabel 2). Adapun isotop ^1H (proton) dan ^2H disebut deuterium bersifat stabil. Rasio $^2\text{H}/^1\text{H}$ menggunakan *spectrometer massa* mempunyai nilai rasio sebanding dengan 1/5000 (IAEA, 1981).

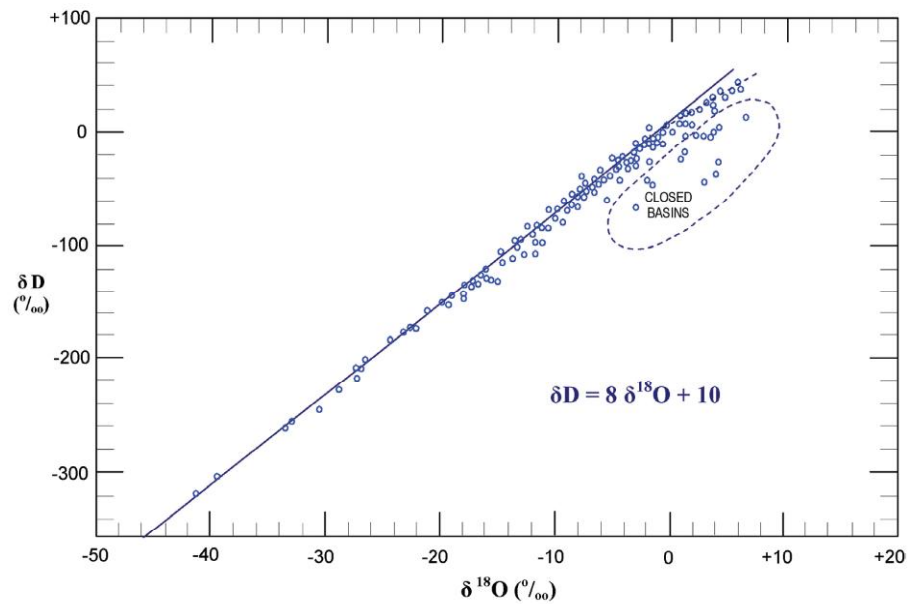
Isotop alam diukur berdasarkan rasio kelimpahan elemennya, rasio isotop (R) stabil dinyatakan dalam delta (δ) yang satuannya per mil/‰. Pengukuran isotop stabil ini tidak dapat dilakukan langsung dari air alami, tetapi menggunakan teknik spektrometri. Isotop komposisi air laut yang dikenal dengan *Standard Mean Ocean Water* (SMOW) dijadikan sebagai dasar perbandingan (Craig, 1961). Standar SMOW ini diambil dari air laut di berbagai tempat di lautan Atlantik dan Pasifik yang mempunyai nilai homogen (Gambar 1). Akan tetapi, pada akhir-akhir ini perbandingan isotop air meteorik alam dilakukan terhadap *Vienna Standard Mean Ocean Water* (Gat & Gonfiantini, 1981) yang merupakan hasil dari konvensi di Wina, Austria. Hasil konvensi tersebut disepakati bahwa nilai δ untuk ^{18}O dan ^2H masing-masing adalah 0 ‰. Secara matematis, persamaan perhitungan rasio relatif (δ) adalah:

$$\delta = ((R_{\text{contoh}} - R_{\text{SMOW}}) / R_{\text{SMOW}}) \times 1000 \text{ ‰}$$

Keterangan:

- δ : per mil; rasio $^2\text{H}/^1\text{H}$ dan $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ contoh terhadap SMOW
- R_{contoh} : rasio $^2\text{H}/^1\text{H}$ dan $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ contoh diukur pada spektrometer massa
- R_{SMOW} : rasio $^2\text{H}/^1\text{H}$ dan $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ SMOW pada spektrometer massa
- Standar SMOW ditetapkan melalui konvensi Wina yang mempunyai nilai relatif untuk $^{18}\text{O} = 0.0 \text{ ‰}$ dan untuk $^2\text{H} = 0.0 \text{ ‰}$
- Akurasi pengukuran biasanya $\pm 0.2 \text{ ‰}$ untuk $\delta^{18}\text{O}$ dan $\pm 2 \text{ ‰}$ untuk $\delta^2\text{H}$

Nilai rasio tersebut dibandingkan dengan nilai rasio isotop standar SMOW. Jika nilainya lebih kecil maka dinyatakan sebagai negatif per mil (-‰) atau lebih miskin (*depleted*). Sebaliknya, jika nilai rasionya lebih besar daripada nilai rasio standar SMOW maka nilai δ dinyatakan sebagai positif per mil (+‰) atau lebih kaya terhadap SMOW.



Gambar 1. Variasi Deuterium dan Oksigen-18 dari sungai, danau, hujan, dan salju diekspresikan sebagai per mil pengkayaan relatif ke *Standard Mean Ocean Water (SMOW)* (Craig, 1961)

Isotop alam yang mempunyai elemen sama dapat terbagi atau terpisah sebagai akibat reaksi termodinamika, bergantung pada tingkat reaksi dari setiap molekul yang berbeda. Fraksinasi merupakan proses umum terjadi pada isotop stabil, seperti H, B, C, O, N, S dan Cl. Hal ini dapat terjadi pada kondisi setimbang atau tidak setimbang serta dapat terjadi sebagai akibat dari difusi molekul. Perubahan rasio isotop selama proses evaporasi, kondensasi, kimia, dan biologi dinamakan fraksinasi isotop. Perubahan sebagai akibat proses alami tersebut dapat dijadikan acuan bagi kepentingan di bidang air tanah melalui metode perunut isotop alam stabil.

Hubungan antara kandungan isotop alam dan ketinggian dituangkan ke dalam suatu persamaan garis linier. Penghitungan persamaan tersebut dilakukan untuk mencari nilai *weighted mean value* dari stasiun pengamatan curah hujan suatu area dengan elevasi yang berbeda selama musim hujan. *Weighted mean value* diperoleh dengan menggunakan persamaan matematika (IAEA, 1981) sebagai berikut:

$$\delta_{H_1, H_2, H_3, \dots} = \frac{(\delta_1 \times M_1) + (\delta_2 \times M_2) + (\delta_3 \times M_3) + \dots}{M_1 + M_2 + M_3 + \dots}$$

Keterangan:

$\delta_{H_1, H_2, H_3, \dots}$: konsentrasi *weighted mean value* isotop pada elevasi tertentu

$\delta_1, \delta_2, \dots$: konsentrasi rasio isotop ^{18}O dan ^2H air hujan setiap bulan pada berbagai elevasi

$M_1, M_2, \dots$: jumlah curah hujan yang turun setiap bulan dalam milimeter (mm) pada berbagai elevasi

METODOLOGI

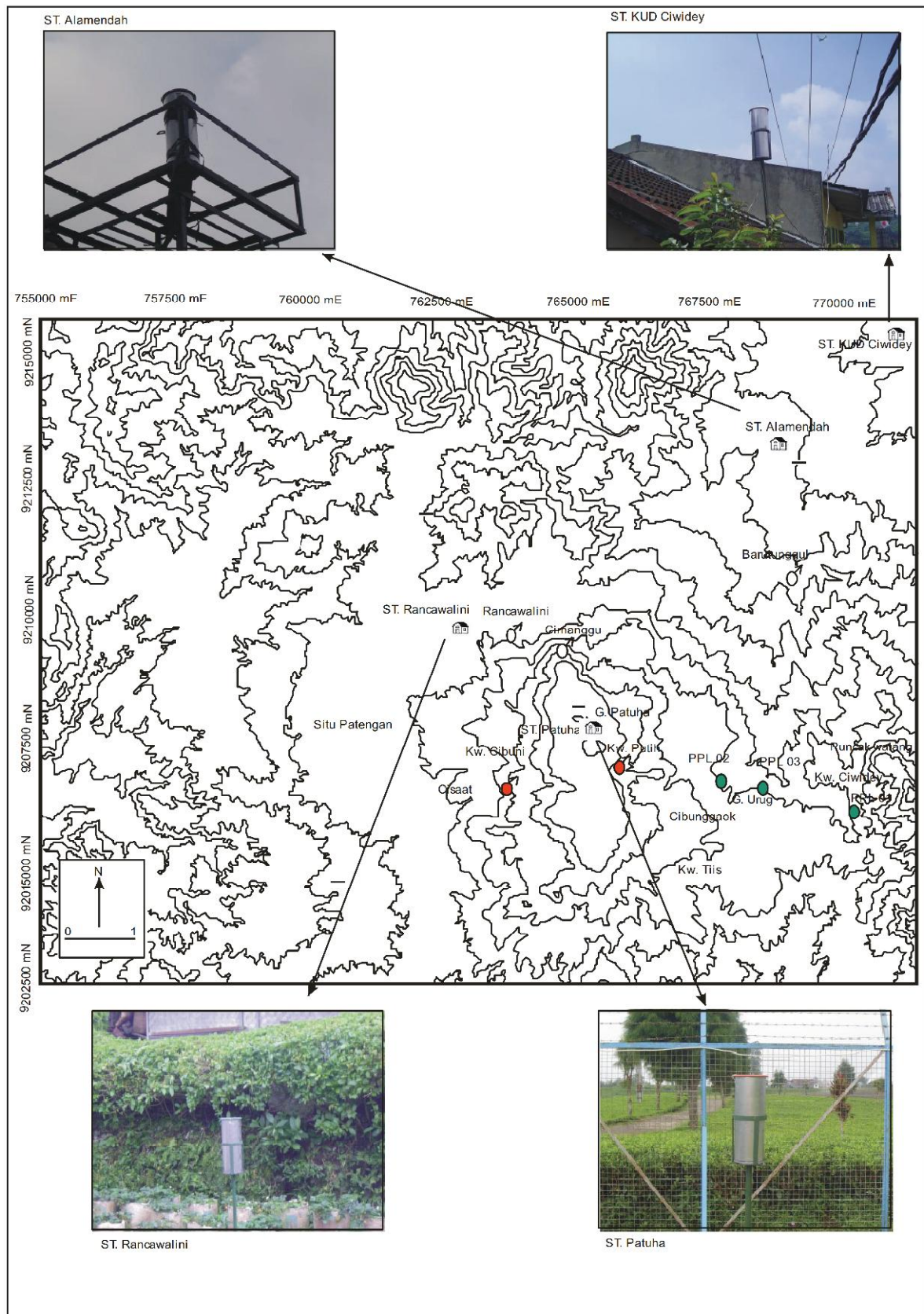
Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling mendukung satu dengan yang lainnya. Tahapan tersebut, yaitu.

1. Tahapan studi literatur meliputi pengumpulan data-data sekunder bagi kegiatan penelitian. Data-data tersebut berupa hasil penelitian terdahulu, jurnal, buku, peta, serta data sekunder lainnya.
2. Tahapan kegiatan lapangan, tahapan ini mencakup pengambilan data lapangan, terutama data-data isotop air hujan pada rentang waktu tertentu. Pengambilan sampel dilakukan diberbagai tempat dengan elevasi berbeda yang dapat mewakili subcekungan daerah Ciwidey dan sekitarnya.
3. Tahapan analisis laboratorium, pada tahapan ini sampel dan data yang telah diperoleh dikumpulkan untuk dianalisis. Analisis yang dilakukan terdiri dari.
 - a) Analisis data hidrologi untuk mengetahui musim hujan bagi kepentingan pengambilan sampel isotop air hujan.
 - b) Analisis sampel air hujan untuk dianalisis menggunakan isotop ^{18}O dan ^2H . Analisis isotop menggunakan alat spektrometer massa *triple collector* model SIRA-9, VG ISOGAS. Dalam analisis tersebut digunakan standar internasional SMOW (*Standar Mean Ocean Water*) yang secara konvensi ditetapkan mempunyai rasio relatif $\delta^{18}\text{O} = 0,0\text{‰}$ dan $\delta\text{D} = 0,0\text{‰}$.
4. Tahapan penyusunan tulisan

Pengambilan data sampel air hujan dilakukan untuk menganalisis isotop alam ^{18}O dan ^2H bagi penentuan *Local Meteoric Water Line* (LMWL). Untuk mendapatkan data air hujan yang memenuhi syarat dengan kaidah statistik dan pertimbangan keadaan meteorologi (IAEA, 1983) maka penempatan lokasi curah hujan pada daerah penelitian harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a) Jumlah stasiun curah hujan yang diteliti minimal ada empat ditempatkan pada elevasi berbeda. Stasiun tersebut berupa alat penampung curah hujan dan pencatat curah hujan.
- b) Perbedaan ketinggian pada dua elevasi stasiun curah hujan $< 200\text{m}$ agar diperoleh perbedaan data komposisi isotop di antara kedua stasiun tersebut.
- c) Monitoring atau pengamatan curah hujan minimal dilakukan setiap bulan selama musim hujan dengan mencatat jumlah curah hujan yang turun dan mengambil sampel untuk analisis.
- d) Pencegahan proses penguapan air hujan selama sebulan dalam penampungan dilakukan dengan penambahan zat parafin cair.

Pengambilan sampel dilakukan dari September–November 2009. Pemasangan alat pengumpul air hujan dilakukan dari daerah Ciwidey sampai dengan Gunung Patuha (Gambar 2) yang mempunyai ketinggian dari 1100m hingga 2200m dpl. Penentuan lokasi stasiun curah hujan didasarkan atas kriteria di atas serta pertimbangan keamanan alat pengumpul air hujan tersebut. Pengecekan dilakukan setiap seminggu sekali dengan menghitung jumlah air hujan yang tertampung dan setelah satu bulan diambil sampel sebanyak 50 ml ke dalam botol gelas tidak ada udara yang masuk ke dalam botol tersebut) untuk dianalisis kandungan isotopnya di kantor BATAN, Jakarta. Penentuan waktu pengambilan sampel didasarkan atas keadaan meteorologi daerah Ciwidey dan sekitarnya. Alasannya karena pada bulan-bulan tersebut merupakan musim hujan dengan intensitas dan durasi hujan yang tinggi sehingga dapat diperoleh sampel air hujan yang memadai untuk dianalisis kandungan isotop alam ^{18}O dan ^2H .



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Sampel Air Hujan
 (Sumber: Peta Rupabumi Digital Indonesia Lembar Rancabali, Lembar 1208-541)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengambilan sampel air hujan dari September–November 2009 dapat dilihat pada tabel 3, 4, dan 5 di bawah ini:

Tabel 3. Hasil Pengambilan Sampel Air Hujan dari September 2009

No	Stasiun Curah Hujan	Koordinat		Elevasi m (dpl)	September 2009		
		Latitude	Longitude		Hujan (mm)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
1	St. KUD Ciwidey	7°06'16"	107°27'26"	1114	20	5.9	-0.15
2	St. Alamendah	7°07'41"	107°26'01"	1300	15	10.6	-0.78
3	St. Rancawalini	7°08'45"	107°23'10"	1770	120	-16.7	-3.81
4	St. Patuha	7°11'00"	107°26'32"	1948	80	-50.9	-8.22

Tabel 4. Hasil Pengambilan Sampel Air Hujan dari Oktober 2009

No	Stasiun Curah Hujan	Koordinat		Elevasi m (dpl)	Oktober 2009		
		Latitude	Longitude		Hujan (mm)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
1	St. KUD Ciwidey	7°06'16"	107°27'26"	1114	214	-20.1	-4.32
2	St. Alamendah	7°07'41"	107°26'01"	1300	140	-16.8	-3.75
3	St. Rancawalini	7°08'45"	107°23'10"	1770	302	-27.1	-5.06
4	St. Patuha	7°11'00"	107°26'32"	1948	250	-26.6	-5.10

Tabel 5. Hasil Pengambilan Sampel Air Hujan dari November 2009

No	Stasiun Curah Hujan	Koordinat		Elevasi m (dpl)	November 2009		
		Latitude	Longitude		Hujan (mm)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
1	St. KUD Ciwidey	7°06'16"	107°27'26"	1114	290	-34.2	-6.01
2	St. Alamendah	7°07'41"	107°26'01"	1300	210	-37.3	-6.74
3	St. Rancawalini	7°08'45"	107°23'10"	1770	510	-42.2	-7.21
4	St. Patuha	7°11'00"	107°26'32"	1948	310	-46.4	-7.72

Data tersebut memperlihatkan variasi kandungan isotop yang berbeda pada setiap ketinggian. Dari empat stasiun curah hujan yang terletak pada ketinggian 1114 m (dpl) di Ciwidey hingga ketinggian 1.948 m (dpl) di Gunung Patuha, diperoleh data *weighted mean value*. Selanjutnya, data tersebut digunakan untuk mendapatkan persamaan regresi linier hubungan antara elevasi terhadap isotop ^{18}O dan ^2H serta persamaan garis air meteorik lokal (Tabel 6).

Tabel 6. Analisis Kandungan Isotop Stabil untuk Sampel Air Hujan

Sta. Curah Hujan	Lokasi Asal Sampel	Koordinat (UTM)		Elevasi dpl (m)	Weighted Mean Value	
		Longitude	Latitude		$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
1	St. KUD Ciwidey	107°27'26"	7°06'16"	1114	-26.9	-5.1
2	St. Alamendah	107°26'01"	7°07'41"	1300	-27.5	-5.3

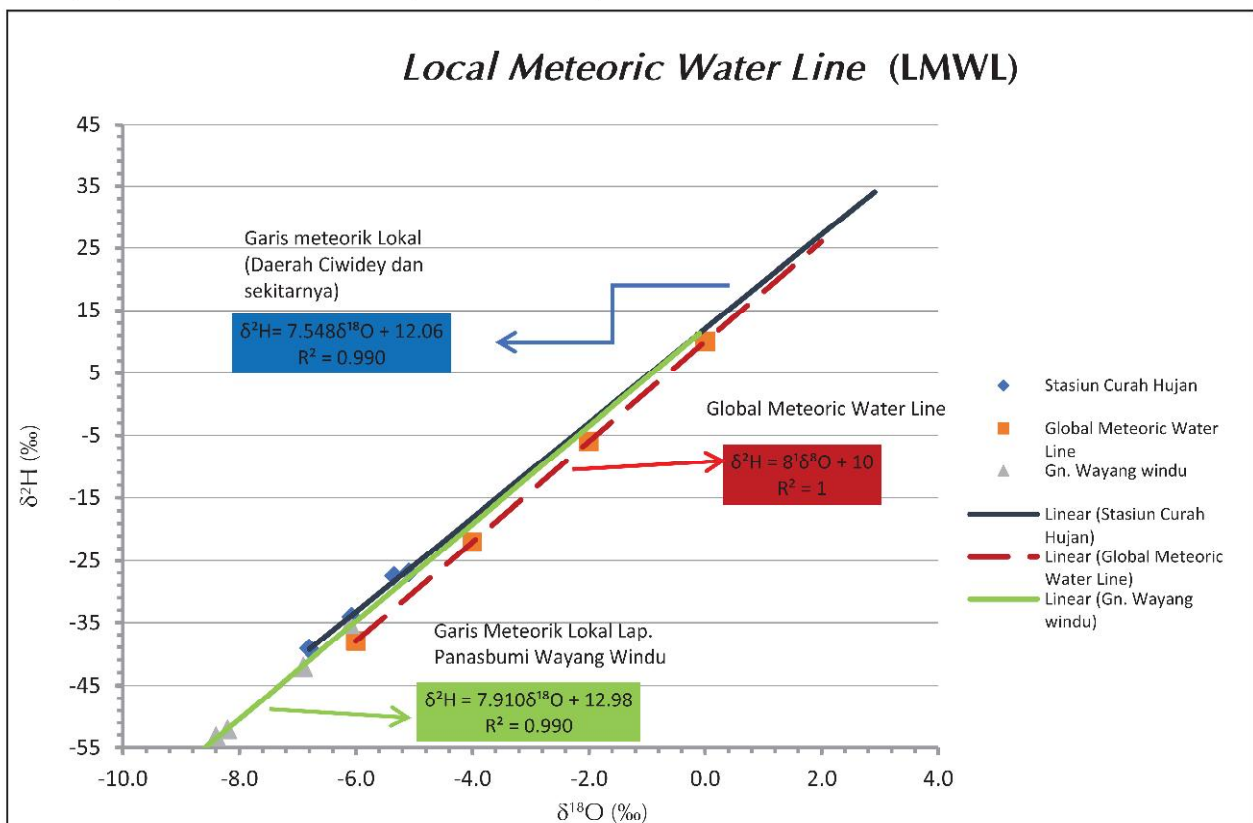
Sta. Curah Hujan	Lokasi Asal Sampel	Koordinat (UTM)		Elevasi dpl (m)	Weighted Mean Value	
		Longitude	Latitude		$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
3	St. Rancawalini	107°23'10"	7°08'45"	1770	-34.0	-6.1
4	St. Patuha	107°26'32"	7°11'00"	1948	-39.2	-6.8

Data *weighted mean value* dari Tabel 6 dibuat persamaan garis air meteorik lokal daerah Ciwidey dan sekitarnya. Hubungan antara isotop ^{18}O dan ^2H yang membentuk garis linier merupakan *Local Meteoric Water Line* (LMWL) daerah Ciwidey dan sekitarnya. Perhitungan tersebut menggunakan program excel, hasilnya adalah sebagai berikut (Persaman 1):

$$\delta^2\text{H} = 7,55 \delta^{18}\text{O} + 12,06 \quad (1)$$

$$R^2 = 0,99$$

Persamaan garis linier yang telah diperoleh tersebut (1) dibandingkan dengan persamaan garis air meteorik global (Gambar 2) maka pada kedua persamaan tersebut terdapat perbedaan pada nilai *Deuterium Excess* (DE). Nilai DE garis air meteorik global adalah 10, sedangkan nilai DE untuk garis air meteorik lokal pada daerah Ciwidey dan sekitarnya adalah 12,06 (Gambar 2). Perbedaan nilai DE dapat disebabkan oleh faktor geografi setempat (Dansgaard, 1964). Hal ini dapat dilihat dari lapangan panas bumi Wayang Windu yang terletak di sebelah timur lapangan Gunung Patuha mempunyai nilai DE sebesar 12,98 (Hendrasto, 2006).



Gambar 3. Hubungan isotop $\delta^2\text{H}$ terhadap $\delta^{18}\text{O}$ air hujan pada garis air meteorik lokal daerah Ciwidey dan sekitarnya, daerah Gunung Wayang Windu, dan garis air meteorik global. (Sumber: garis air meteorik lokal untuk lapangan Gunung Wayang Windu (Hendrasto, 2004), garis air meteorik global (Craig, 1961))

KESIMPULAN

Hasil pengujian isotop ^{18}O dengan ^2H sampel air hujan daerah Ciwidey dan sekitarnya maka diperoleh hubungan antara ^{18}O dengan ^2H yang membentuk garis linier. Hal tersebut merupakan *Local Meteoric Water Line* (LMWL) dengan persamaan sebagai berikut: $\delta^2\text{H} = 7,55 \delta^{18}\text{O} + 12,06$ dengan nilai $R^2 = 0,99$. Nilai *Deuterium Excess* (DE) daerah Ciwidey dan sekitarnya adalah 12,06 yang mempunyai nilai lebih besar dibandingkan dengan persamaan nilai garis air meteorik global. Hal ini menunjukkan bahwa faktor ketinggian, suhu udara, dan jumlah curah hujan yang berbeda dapat menyebabkan perbedaan nilai DE. Nilai DE yang lebih besar ini kemungkinan terjadi karena adanya sumber evaporasi yang lebih dekat dengan terjadinya presipitasi di daerah Ciwidey, yaitu dengan keberadaan Situ Patengan (Danau Patengan). Persamaan garis LMWL sangat bermanfaat bagi kepentingan penentuan daerah tangkapan (*recharge area*) air tanah di Sub-CAT Ciwidey dan sekitarnya. Dengan syarat harus mempertimbangkan berbagai data geologi, data bawah permukaan, data iklim, data kimia manifestasi panas bumi (bagi daerah panas bumi), dan lainnya. Dengan diketahuinya daerah tangkapan air tanah secara tepat, akan memudahkan dalam pengelolaan air tanah ataupun pengelolaan geotermal di daerah Ciwidey dan sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bandung, Pemerintah Kabupaten. 2016. *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bandung Tahun 2016–2036*. Soreang: Badan Perencanaan Pembangunan Daerah.
- Craig, H., 1961. *Isotopic Variations in Meteoric Waters*, Science, 133, hal. 1702–1703.
- Clark I. D., and P Fritz. 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Boca Raton: Lewis Publication.
- Dansgaard, W., 1964. Stable Isotopes, in Precipitation, Tellus, Swedish Geophysical Society, hal 436-468.
- Hendrasto, F., 2006. *Penentuan Daerah Resapan Sistem Panasbumi G. Wayang Windu*, Penerbit ITB, Tidak dipublikasikan.
- Gat, J. R. and Gonfiantini, R., ed 1981. *Stable Isotope Hydrology: deuterium and Oxygen –18 in the Water Cycle*, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, Technical Report Series No. 210, 1981. *Stable Isotope Hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle*, IAEA, Vienna, Austria.
- IAEA, Technical Report Series No. 91, 1983. *Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology*, IAEA, Vienna, Austria.
- Kendall, C, and J. J. McDonnell. 1998. *Isotopes Tracers in Catchment Hydrology*. Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Pujiindiyati, E. Ristin, Susetyo Novi Adi, and Agustin Rustam. 2012. "Studi Isotop Oksigen-18 dan Deuterium Pada Air Laut di Teluk Banten ." *Jurnal Teknik Lingkungan Edisi Khusus "Hari Bumi"* 123–131.
- Sudaryanto, and R Fajar Lubis. 2011. "Penentuan Lokasi Imbuhan Airtanah dengan Pelacak Isotop Stabil ^{18}O dan ^2H di Cekungan Air tanah Dataran Rendah Semarang, Jawa Tengah,." *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan Vol. 21 No. 2* pp. 121–129.
- Sugiharto. 6-7 November 2001. *Studi distribusi waktu tinggal pada proses pencampuran kontinu dengan model bejana berderet (Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional.