

PEMANFAATAN ISOTOP LINGKUNGAN DI DAERAH CEKUNGAN AIRTANAH BANDUNG

Oleh :

Fajar Hendrasto dan Bambang Sunarwan

Abstrak

Hal yang dilakukan dalam survey Survey untuk melakukan deliniasi daerah resapan adalah: Sampling *environment isotope*, yaitu ^{18}O , ^2H , dan ^3H yang terdapat pada mataair, sumurgali, dan sumur pantau dalam yang dipilih.

Dua isotop yang pertama akan digunakan untuk menentukan posisi ketinggian daerah resapan, sementara isotop yang ketiga akan digunakan untuk melakukan analisis umur airtanah.

Dalam hubungannya dengan penentuan ketinggian daerah resapan, air hujan pada berbagai ketinggian juga dilakukan pengambilan sampel dan dilakukan analisis untuk tujuan melakukan rekonstruksi *local meteoric water line*.

Air dari mataair yang keluar ke permukaan merupakan suatu komponen sistem hidrologi dalam siklus hidrologi. Pada dasarnya, siklus hidrologi melibatkan proses pendinginan awan dan kondensasi di atmosfer penyebab terjadinya hujan.

Air pada sistem akifer tergantung kondisi hidrogeologi setempat, bisa berasal dari air hujan yang terjadi di atas tanah atau dikenal sebagai resapan lokal (*local recharge*). Namun bisa juga berasal dari air hujan yang terjadi pada area lebih tinggi dan lebih jauh kemudian meresap ke dalam tanah yang mampu bersifat menyimpan selanjutnya mengalir sebagai airtanah.

Kata-kata Kunci : *mataair, sumurgali, dan sumur pantau , siklus hidrologi, environment isotope, local meteoric water line, (local recharge).*

1. PENDAHULUAN

Dalam siklus hidrogeologi dari sistem yang spesifik, komposisi isotop stabil dari molekul-molekul air adalah bervariasi dan akan tergantung suhu dari molekul tersebut terbentuk. Nilai-nilai yang hampir sama komposisi isotop stabil dari populasi air dalam sistem menunjukkan bahwa berawal dari sumber-sumber yang hampir sama .

Pemahaman sumberdaya air, dari mana asal-usul air , bagaimana bergerak serta karakteristik sampai pemanfaatannya merupakan hal yang vital untuk diketahui sebagai manajemen yang tepat. Teknologi isotop lingkungan menawarkan suatu kemungkinan yang begitu luas untuk mempelajari karakteristik dan proses dalam siklus air. Suatu kajian isotop stabil dalam molekul air mampu mengandung ^2H dan ^{18}O

yang lebih berat dari molekul normal termasuk kandungan ^1H dan ^{16}O .

1.1 Dasar Teori

Dalam kondensasi dan evaporasi, fraksinasi yang berat dan molekul akan terlibat. Kondensasi yang membentuk hujan turun dari awan akan mengalami pengkayaan dengan molekul berat dari pada awan yang tersisa di atmosfer. Hal ini disebabkan kebanyakan dari molekul berat akan lebih keluar dan bergerak ke bagian atas kearah yang lebih rendah suhunya. Air hujan yang berada pada suhu paling rendah akan lebih mengeluarkan komposisi isotop daripada air hujan pada suhu yang tinggi. Fenomena tersebut merupakan prinsip dasar dari suatu kajian untuk mengidentifikasi asal resapan dari airtanah.

Umur airtanah yang mengalir di dalam akifer dan ke luar sebagai air mataair menampakan

keberadaannya waktu air di dalam zona jenuh air dalam akifer. Disamping itu ada suatu proses perubahan CO₂ pada atmosfer dengan kandungan karbonat terlarut dalam air, sehingga kandungan ¹⁴C yang larut dalam air, sementara diketahui molekul air yang terkandung dalam atmosfer akan selalu konstan.

Pada saat air meresap ke dalam tanah, radioaktif ¹⁴C akan mengalami peluruhan secara eksponensial menurut paruh waktu (5730 tahun). Dengan pengukuran aktivitas ¹⁴C dalam airtanah, waktu keberadaan airtanah dalam akifer akan dapat diperhitungkan..

Teknik lain untuk penentuan umur airtanah adalah dengan mengukur kandungan tritium. Tritium (³H or T) atau radioisotope hydrogen menunjukkan kandungan yang berlimpah yakni sekitar (0 – 10⁻¹⁵) %. Unit /satuan pengukuran adalah tritium unit (TU) yang dinyatakan sebagai 1 atom terbentuk dalam 10¹⁸ atom-atom H. waktu paruhnya adalah sekitar 12.38 tahun untuk ³H yang meluruh ke ³H dengan suatu emisi suatu partikel β. Sama halnya dengan ¹⁴C, Tritium pun merupakan bagian dari siklus hidrologi. Idealnya, dengan diketahui ³H dalam curah hujan (sebagai sumber) dan penyebarannya dalam airtanah, akan dapat di dating air.

Pengambilan sample untuk pengukuran kandungan isotop bisa dilakukan dari banyak mataair pada berbagai elevasi atau ketinggian tertentu. Dengan demikian mataair yang dipilih berdasarkan topografi, kondisi geologi dan hidrogeologi menjadi faktor menentukan dalam memperoleh definisi atau kesimpulan yang baik mengenai daerah resapan.

1.2 Metodologi

Analisis komposisi isotop air hujan dimaksudkan mewakili korelasi komposisi isotop air hujan pada elevasinya. Suatu grafik mewakili korelasi tersebut akan digunakan untuk menafsirkan daerah resapan dari airtanah. Pengumpulan data air hujan di setting menurut elevasi yang berurutan di daerah kajian. Pengambilan data dilakukan satu sampai dua kali sebulan selama periode musim hujan. Korelasi linear yang didapat menjadi indeks isotop hujan yang jatuh dan berinfiltrasi ke tanah dan terkumpul sebagai airtanah.

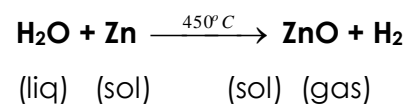
Analisis komposisi isotop stabil dari mataair pun di daerah kajian dilakukan. Korelasi terhadap elevasi yang sama dibuat untuk memperoleh gambaran dalam melakukan estimasi elevasi daerah resapan. Identifikasi serta analisis ¹⁴C and ³H (tritium) di daerah kajian untuk penentuan umur airtanah.

1.3 Identifikasi Isotop Stabil

Sekilas uraian dalam identifikasi isotop-isotop airtanah yang biasa dilakukan, antara lain;

1.3.1 Analisis ²H

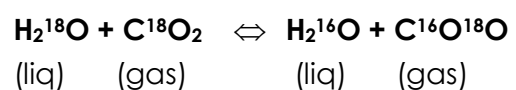
Suatu ²H dipersiapkan dari reaksi sebanyak 10 ml sample air dengan 0.25 gram Zinc aktif dalam suatu tube tertutup dipanaskan sampai 450oC sekitar 30 menit. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Gas hidrogen terbang atau tersimpan ke dalam tube khusus untuk selanjutnya dilakukan analisa menggunakan *mass spectrometer*.

1.3.2 Analisis ¹⁸O

Sebanyak 2 ml dari sample air direaksikan dengan gas CO₂. Pertukaran Oksigen-18 dari molekul air dan oksigen-16 dari gas akan CO₂ yang berperan serta, dengan reaksi;



Reaksi dilakukan dalam status isotop-18 dilakukan analisa menggunakan *mass spectrometer*.

1.3.3 Dating Tritium

Sampel mentah air dikumpulkan sebanyak 50 ml dalam botol poly ethylene. Analisis tritium membutuhkan distilasi dengan pengkayaan electrolytic dari kandungan tritium. Sample akan diubah ke bentuk ethane dan gas. Kemudian kandungan tritium dihitung dengan *liquid scintillation counter*.

Hasil identifikasi kandungan isotop airtanah dinyatakan atau dibandingkan dengan standar internasional (SMOW) (Craig, 1961) dalam satuan per mil. Persamaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\delta = \left(\frac{R_{contoh}}{R_{SMOW}} - 1 \right) \times 1000 \text{ ‰}$$

Dimana: δ adalah per mil berupa ratio D (deuterium) dan $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ air dan standar.

R_{contoh} adalah perbandingan D/H dan $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ contoh terukur.

R_{SMOW} adalah perbandingan D/H dan SMOW terukur.

Hasil pengukuran kandungan tritium dapat dilakukan perhitungan umur airtanah dengan perumusan sebagai berikut:

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{A_0}{A_{obs}}$$

Dimana: t adalah waktu keberadaan massa air dalam sistem airtanah.

$T_{1/2}$ adalah umur paruh.

A_0 adalah konsentrasi tritium asal.

A_{obs} adalah konsentrasi tritium dalam contoh terukur.

2. ISOTOP LINGKUNGAN UNTUK AIRTANAH CAT. BANDUNG.

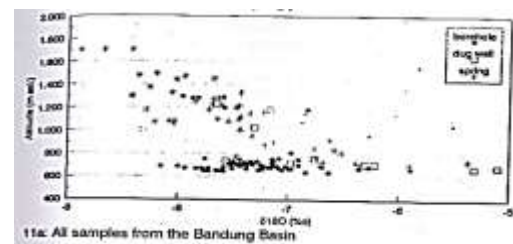
2.1. Isotop airtanah di CAT Bandung peneliti terdahulu

Sukrisno dan Wagner (1993) telah secara lengkap menelaah kandungan isotop airtanah di kawasan Cekungan Bandung. Terakhir Sunarwan dan Juanda (1998) pun telah mengkaji secara khusus untuk daerah Bandung utara dari lembang sampai Padalarang. Meskipun tidak begitu banyak referensi yang mengungkap kandungan isotop airtanah, namun dua penelitian tersebut sangat menentukan di dalam kajian ekosistem airtanah di cekungan Bandung.

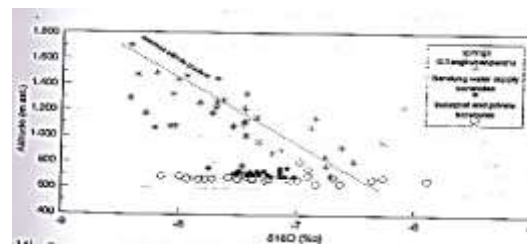
Hasil simulasi data isotop menunjukkan bahwa akifer bagian bawah mempunyai daerah resapan pada elevasi (1.050 sampai 1.300) m.asl (Gambar 1 dan 2). Sedangkan di bagian selatan Cekungan Bandung, daerah resapan untuk akifer bawah adalah pada

elevasi (1.100 sampai 1450) m.asl, terutama daerah Rancaekek. Terdapat perbedaan umur airtanah pada bagian barat dan timur di sentral Cekungan Bandung. Di timur (10.670 tahun BP) relative lebih tua dari di barat (940 tahun BP) pada Cekungan ini.

Identifikasi aliran berdasarkan isotop stabil Oksigen, Deuterium dan kandungan Tritium secara rinci diungkapkan Sunarwan dan Juanda (1998) seperti pada (Tabel 3 dan 4). Penelaahan teritegrasi dengan kondisi tipologi akifer (mengacu pada peta hidrogeologi regional) dan hidrokimia air dengan hasil berupa model aliran yang terjadi di bagian utara Cekungan Bandung (Gambar 3 dan 4).



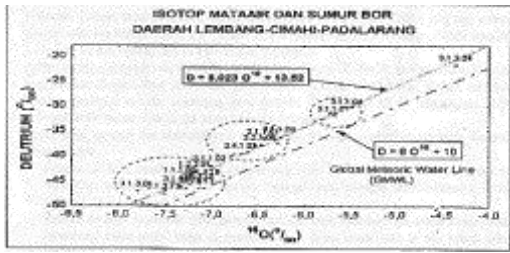
Gambar 1. Grafik sebaran kandungan isotop oksigen dan ketinggian contoh sampel yang diambil (Sukrisno dan Wagner, 1993).



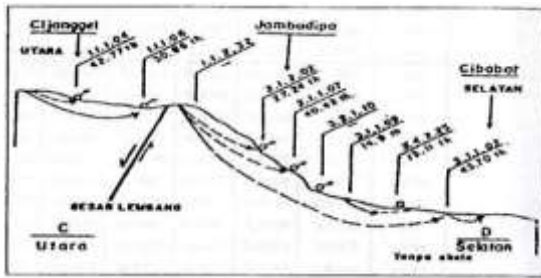
Gambar 2. Korelasi antara kandungan isotop oksigen dan ketinggian khusus di bagian utara dari Cekungan Bandung (Sukrisno dan Wagner, 1993).

2.2. Deduksi hasil penelitian terdahulu

Kondisi geometri dan kedetilan sistem akifer pada bagian lereng yang belum lengkap memunculkan beberapa penafsiran yang masih ragu-ragu. Sebagai contoh adanya hasil analisis data yang menunjukkan bagian timur lebih tua dari pada bagian barat, jelas memerlukan data karakter batuan di bagian upstream sebagai zona resapan. Data penelitian hasil Sukrisno dan Wagner (1993) belum menampilkan simulasi antara deuterium dan isotop oksigen, sehingga kejelasan dalam menghubungkan antara korelasi kandungan isotop oksigen dan ketinggian tidak muncul.



Gambar 3. Simulasi isotop Oksigen dan Deuterium di daerah utara n



Gambar 4. Model sistem aliran pada bagian lereng utara Cekungan Bandung (Sunarwan dan Juanda, 1998).

2.3. Kajian yang belum atau perlu dilaksanakan

Berdasarkan uraian sebelumnya, beberapa hal perlu dilakukan, antara lain;

- 1) Mencoba menelaah kembali dari data sekunder yang ada terutama grafik antara Deuterium dan Oksigen.
- 2) Pembuatan grafik atas populasi yang sama dalam simulasi korelasi atas data isotop Oksigen terhadap ketinggian.
- 3) Jika memungkinkan melakukan pengukuran atas kandungan isotop stabil atas contoh air hujan di daerah Cekungan Bandung.
- 4) Interpretasi atas hasil di atas yang melibatkan perkembangan titologi akifer yang lebih rinci dan informasi geologi hasil terkini.

2.4. Data Isotop Air dari Sumur Produksi, Sumur Gali dan Mataair

Tabel 3 memperlihatkan data analisis isotop stabil ^{18}O dan ^2H dari sumur dangkal atau sumur gali (kedalaman -2.m hingga -17.m.) dari sekitar Bandung. Sedangkan lokasi pengambilan sampel air untuk analisis isotop air hujan, mata air, air dari sumur produksi dan sumur gali diperlihatkan pada Gambar 5

Tabel 3. Hasil analisis ^{18}O dan ^2H dari sumur gali/dangkal

No	Kode	Lokasi	Kedalaman (m)	Waktu Pengambilan	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	Titik Titik
Sumur Gali dan Sumur Dangkal							
1	0001	Cikondong (Cikondong) (Sumur)	Sumur Dangkal	10/06/2006	-6.9	-10.9	
2	0002	Cikondong	Sumur Dangkal	10/06/2006	-7.9	-10.9	
3	0003	ML. Majalena	Sumur Dangkal	10/06/2006	-7.7	-10.9	
4	0004	IKH. Pasirjati	Sumur Dangkal	10/06/2006	-7.6	-10.9	
5	0005	Pasarjati	Sumur Dangkal	10/06/2006	-7.7	-10.9	
6	0006	Cikondong	Sumur Dangkal	10/06/2006	-7.7	-10.9	
7	0007	Pasarjati	Sumur Dangkal	10/06/2006	-7.9	-10.9	

Data analisis isotop stabil ^{18}O dan ^2H dari mataair (dingin) yang diperoleh dari sekitar Bandung, tercantum dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis ^{18}O dan ^2H dari mataair (dingin)

No	Kode	Lokasi	Kedalaman (m)	Waktu Pengambilan	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	Titik Titik
Sumur Gali dan Mataair							
1	0001	Cikondong (Cikondong) (Mataair)	Mataair (dingin)	10/06/2006	-6.9	-10.9	
2	0002	Cikondong	Mataair	10/06/2006	-7.9	-10.9	
3	0003	ML. Majalena (Cikondong)	Mataair	10/06/2006	-7.7	-10.9	
4	0004	IKH. Pasirjati	Mataair	10/06/2006	-7.6	-10.9	
5	0005	Pasarjati (Cikondong)	Mataair	10/06/2006	-7.7	-10.9	
6	0006	Cikondong (Cikondong)	Mataair	10/06/2006	-7.7	-10.9	

Hasil analisis isotop stabil $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ dari sumur-sumur produksi (sumur dalam) yang mempunyai kedalaman 60 m hingga 150 m (berdasarkan data kehadiran. saringan sumur bor) diperlihatkan pada Tabel . 5.

Tabel 5. Hasil analisis isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ dari sumur produksi.

No	Kode	Lokasi	Kedalaman (m)	Waktu Pengambilan	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	Titik Titik
Sumur Gali dan Sumur Produksi							
1	0001	Cikondong (Cikondong) (Sumur)	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-6.9	-10.9	
2	0002	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.9	-10.9	
3	0003	ML. Majalena	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
4	0004	IKH. Pasirjati	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.6	-10.9	
5	0005	Pasarjati	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
6	0006	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
7	0007	Pasarjati	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.9	-10.9	
8	0008	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
9	0009	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
10	0010	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
11	0011	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
12	0012	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
13	0013	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
14	0014	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
15	0015	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
16	0016	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
17	0017	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
18	0018	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
19	0019	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	
20	0020	Cikondong	Sumur produksi (60 m)	10/06/2006	-7.7	-10.9	



Gambar 5. Peta lokasi pengambilan sample isotop di CAT Bandung

3. PENAFSIRAN DATA ISOTOP

3.1. DAERAH RESAPAN ALAMI

Penentuan daerah resapan di CAT Bandung dilaksanakan dengan metoda analisis menggunakan isotop stabil. Langkah analisis yang dilakukan meliputi analisis isotop air hujan untuk memperoleh persamaan garis air meteorik lokal yang kemudian digunakan untuk menentukan daerah resapan.

3.1.1. Air Hujan

Data hasil analisis kandungan isotop stabil untuk air hujan pada daerah Bandung dan sekitarnya dapat dilihat pada Tabel 6. Tabel tersebut memperlihatkan data *weighted mean value* isotop air hujan dari delapan stasiun pengamatan curah hujan yang terletak pada elevasi 675 m dari permukaan laut (dpl) di Sta. Distamben-Jabar, di Kota Bandung hingga elevasi 1.340 m (dpl) di sebelah utara Kota Bandung, yaitu di Cikole, Tangkuban Perahu, sedangkan di bagian selatan terletak pada elevasi 1.440 m (dpl) di Desa Margamulya, Kecamatan Pangalengan.

Pada (Tabel 6 dan 7) digunakan untuk mendapatkan persamaan garis regresi linier hubungan antara elevasi terhadap isotop ^{18}O dan ^2H serta persamaan garis air meteorik lokal. Sedangkan data hasil analisis isotop stabil dari sampel air hujan bulanan dari periode bulan Oktober-Nopember 2006 hingga periode bulan Nopember-Desember 2006 tercantum pada Tabel 2.

3.1.2. Garis Air Meteorik Lokal

Berdasarkan data dari tabel di atas, dapat dibuat persamaan garis air meteorik lokal hubungan antara isotop ^{18}O dengan ^2H . Dengan perhitungan persamaan garis regresi linier menggunakan program *excel*, diperoleh persamaan garis air meteorik lokal untuk daerah Bandung sebagai berikut (Gambar 6):

$$\delta^2\text{H} = 7,987 \delta^{18}\text{O} + 13,75 \quad (\text{Persamaan.1})$$

$$R^2 = 0,99$$

Tabel 6. Analisis kandungan isotop stabil ($\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$) untuk sampel air hujan.

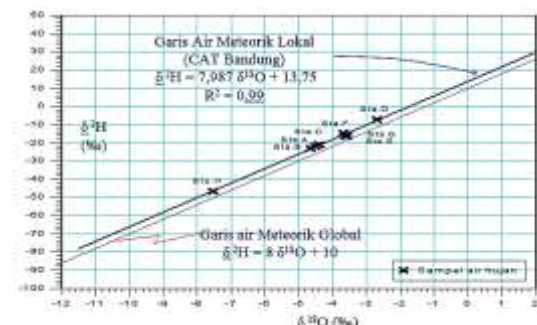
No. Sta	Tipe	Lokasi	Elevasi (m)	Desember 2006		Oktober 2006		Rata-rata	
				$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
A	1340	Cikole	1340	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
B	1340	Lembang	1340	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
C	1340	Jaring	1340	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
D	675	Cikole	675	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
E	675	Distamben-Jabar	675	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
F	675	Distamben-Jabar	675	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
G	1440	Desa Margamulya	1440	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
H	1440	Desa Margamulya	1440	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5

Tabel 7. Analisis isotop stabil sampel air hujan bulanan bulan Oktober 2006 s/d Desember 2006 pada daerah CAT Bandung

No. Sta	Tipe	Lokasi	Elevasi (m)	Desember 2006				Oktober 2006			
				$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
A	1340	Cikole	1340	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
B	1340	Lembang	1340	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
C	1340	Jaring	1340	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
D	675	Cikole	675	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
E	675	Distamben-Jabar	675	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
F	675	Distamben-Jabar	675	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
G	1440	Desa Margamulya	1440	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5
H	1440	Desa Margamulya	1440	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5	12,2	-4,5

Apabila persamaan garis air meteorik lokal (Persamaan.1) dibandingkan terhadap persamaan garis air meteorik global (Persamaan: $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$), 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 Bandung adalah 13,75 (Gambar 6).

Nilai DE pada berbagai tempat sangat bervariasi, dipengaruhi oleh faktor geografi setempat (Dansgaard, 1964). Sebagai contoh lapangan panas bumi Kamojang mempunyai nilai DE sebesar 16,48 (Abidin, 2003), dan lapangan panas bumi Wayang Windu dengan nilai DE sebesar 12,98 (Hendrasto, 2005).



Gambar 6. Hubungan isotop $\delta^2\text{H}$ terhadap $\delta^{18}\text{O}$ air hujan pada garis air meteorik lokal daerah Bandung dan garis air meteorik global. Sumber: Garis air meteorik global (Craig, 1961).

3.1.3. Hubungan Antara Elevasi Dengan Kandungan Isotop

Hubungan linier antara elevasi (E) terhadap kandungan isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ air hujan yang diperoleh dari 8 (delapan) stasiun pengamatan curah hujan di sekitar Bandung ditentukan melalui persamaan garis regresi linier menggunakan program komputer (*excel*). Berdasarkan perhitungan tersebut diperoleh persamaan garis linier $\delta^{18}\text{O}$ terhadap elevasi (E) sebagai berikut:

$$E = -141,561 \delta^{18}\text{O} + 452,667 \quad (\text{Persamaan 2})$$

$$R^2 = 0,57$$

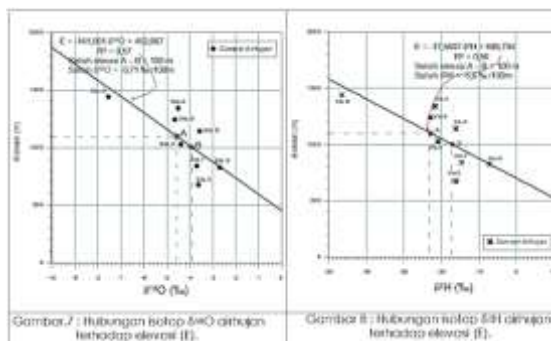
Sedangkan persamaan garis linier ^2H terhadap elevasi (E) adalah:

$$E = -17,5607 \delta^2\text{H} + 699,704 \quad (\text{Persamaan 3})$$

$$R^2 = 0,56$$

dimana: E = elevasi ; dalam meter (m) di atas permukaan laut (dpl)
 R^2 = koefisien determinasi

Gambar 7 dan 8 memperlihatkan bentuk grafik dari Persamaan 2 dan 3 yang memperlihatkan hubungan linier antara elevasi (E) terhadap isotop dengan koefisien arah negatif.



Semakin tinggi elevasi lokasi air hujan turun, maka konsentrasi isotop ^{18}O dan ^2H semakin berkurang (*depleted*). Berdasarkan perhitungan dari Persamaan 2 dan Persamaan 3 tersebut diperoleh bahwa nilai pengurangan komposisi isotop ^{18}O dan ^2H dari daerah Bandung untuk setiap kenaikan 100 m, adalah sebesar 0,71 ‰ untuk ^{18}O (Gambar 7) dan sebesar 5,6 ‰ untuk ^2H (Gambar 8).

Selanjutnya nilai pengurangan isotop per-kenaikan 100 m elevasi tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah resapan fluida di daerah Bandung. Plotting

hubungan antara isotop ^{18}O terhadap ^2H pada Gambar 9. memperlihatkan adanya 3 (tiga) garis linier lainnya selain garis air meteorik lokal yang telah dibahas di atas. Ketiga garis tersebut adalah:

- Garis dari isotop sumur produksi, disebut Garis 1,
- Garis dari isotop mataair (dingin), disebut Garis 2 dan
- Garis dari isotop sumur gali/dangkal, disebut Garis 3.

Persamaan Garis 1 (dari isotop sumur produksi) yang diperoleh dengan program *excel*, adalah:

Persamaan Garis 1 (dari isotop sumur produksi) yang diperoleh dengan program *excel*, adalah:

$$\delta^2\text{H} = 7,08 \delta^{18}\text{O} + 8,13 \quad (\text{Persamaan 4})$$

$$R^2 = 0,73$$

Persamaan yang membentuk garis regresi linier dengan *slope* sebesar 7,08 tersebut menunjukkan adanya pengkayaan di dalam $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ dibandingkan terhadap air meteorik.

Persamaan Garis 2 daerah Bandung dari isotop mataair (dingin) yang diperoleh dengan program *excel*, adalah sebagai berikut:

$$\delta^2\text{H} = 6,69 \delta^{18}\text{O} + 4,23 \quad (\text{Persamaan 5})$$

$$R^2 = 0,97$$

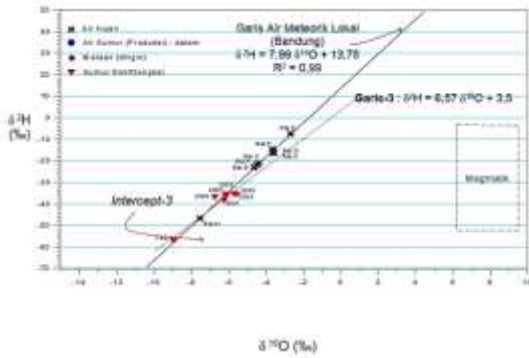
Persamaan yang membentuk garis regresi linier dengan *slope* sebesar 6,69 tersebut juga menunjukkan adanya pengkayaan di dalam $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ dibandingkan terhadap air meteorik.

Sedangkan persamaan Garis 3 dari isotop sumur gali/dangkal yang diperoleh dengan program *excel*, adalah sebagai berikut:

$$\delta^2\text{H} = 6,57 \delta^{18}\text{O} + 3,503 \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$R^2 = 0,92$$

Persamaan yang membentuk garis regresi linier dengan *slope* sebesar 6,57 tersebut juga menunjukkan adanya pengkayaan di dalam $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ dibandingkan terhadap air meteorik.



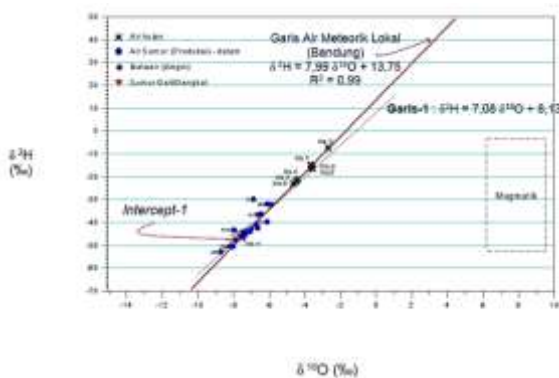
Gambar 9. Hubungan isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ air meteorik lokal, sumur produksi, mataair dan sumur gali.

Hubungan antara Garis 1 dengan garis air meteorik lokal pada Gambar 10 dan 11 menunjukkan adanya perpotongan pada sebuah titik potong (*intercept 1*), yaitu pada posisi: -6.19‰ untuk ^{18}O dan -35.75‰ untuk ^2H .

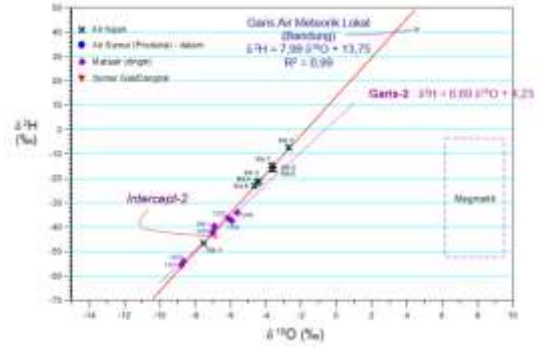
Hubungan antara Garis 2 dengan garis air meteorik lokal pada Gambar 10 dan 11, menunjukkan adanya perpotongan pada sebuah titik potong yang berbeda (*intercept 2*), yaitu pada posisi: -7.37‰ untuk ^{18}O dan -45.13‰ untuk ^2H .

Sedangkan hubungan antara Garis 3 dengan garis air meteorik lokal (Gambar 10 dan 8) memperlihatkan adanya perpotongan pada titik potong yang berbeda (*intercept 3*), yaitu pada posisi: -7.21‰ untuk ^{18}O dan -43.81‰ untuk ^2H .

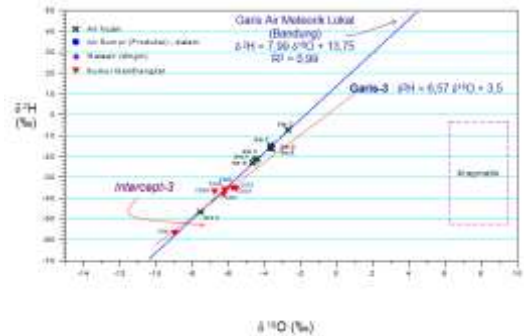
Ke-tiga titik potong tersebut merupakan komposisi isotop dari infiltrasi air hujan pada elevasi tertentu untuk sumur produksi (dalam), mataair (dingin) dan sumur gali /sumur dangkal (IAEA, 1983, Panichi & Gonfiantini, 1978, Celati dkk., 1973).



Gambar 10. Hubungan isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ air meteorik lokal dan sumur produksi



Gambar 11. Hubungan isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ air meteorik lokal dan mataair

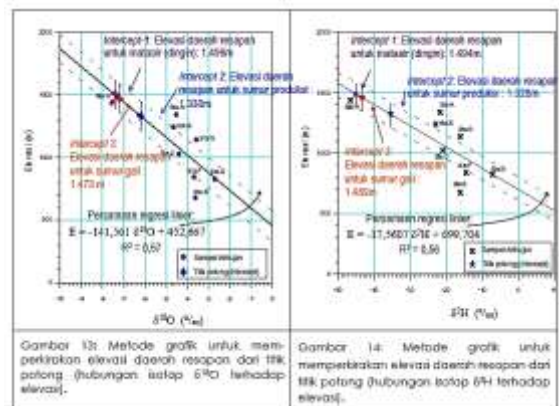


Gambar 12. Hubungan isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ air meteorik local dan sumur gali/dangkal

4. IDENTIFIKASI DAERAH RESAPAN

Tiga titik potong pada Gambar 4 tersebut menunjukkan terdapatnya 3 (tiga) daerah resapan pada elevasi yang berbeda. Daerah resapan pertama adalah untuk sumur produksi, daerah resapan kedua untuk mataair, sedangkan daerah resapan ketiga adalah untuk sumur gali/dangkal.

Identifikasi elevasi daerah resapan pada daerah Bandung dan sekitarnya dilakukan dengan cara pengeplotan pada grafik hubungan antara elevasi (E) dengan isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ air hujan, yaitu berdasarkan interval taksiran elevasi sehubungan dengan analisis statistik (regresi linier) (Gambar 13 dan Gambar 14).



Gambar 13: Metode grafik untuk memperlihatkan elevasi daerah resapan dari titik potong (hubungan isotop $\delta^{18}\text{O}$ terhadap elevasi).

Gambar 14: Metode grafik untuk memperlihatkan elevasi daerah resapan dari titik potong (hubungan isotop $\delta^2\text{H}$ terhadap elevasi).

Dari penentuan titik elevasi daerah resapan untuk sumur produksi yang dilakukan dengan cara pengeplotan titik potong-1 ke dalam grafik hubungan antara elevasi (E) dan kandungan isotop, diperoleh elevasi 1.330m (dpl) untuk isotop $\delta^{18}\text{O}$ (Gambar 13) dan elevasi 1.328 m.dpl untuk isotop $\delta^2\text{H}$ (Gambar 14).

Dari penentuan daerah resapan untuk mata air yang dilakukan dengan cara memasukkan titik potong-2 ke dalam grafik hubungan antara elevasi (E) dan kandungan isotop, diperoleh kisaran elevasi 1.496m (dpl) untuk isotop $\delta^{18}\text{O}$ (Gambar 5.13) dan elevasi 1.492m (dpl) untuk isotop $\delta^2\text{H}$ (Gambar 14).

Sedangkan dari penentuan daerah resapan untuk sumur dangkal/gali yang dilakukan dengan cara memasukkan titik potong-3 ke dalam grafik hubungan antara elevasi (E) dan kandungan isotop, diperoleh kisaran elevasi 1.473m (dpl) untuk isotop $\delta^{18}\text{O}$ (Gambar 5.8) dan elevasi 1.469m (dpl) untuk isotop $\delta^2\text{H}$ (Gambar 14).

Tabel 8. Penentuan elevasi daerah resapan CAT Bandung

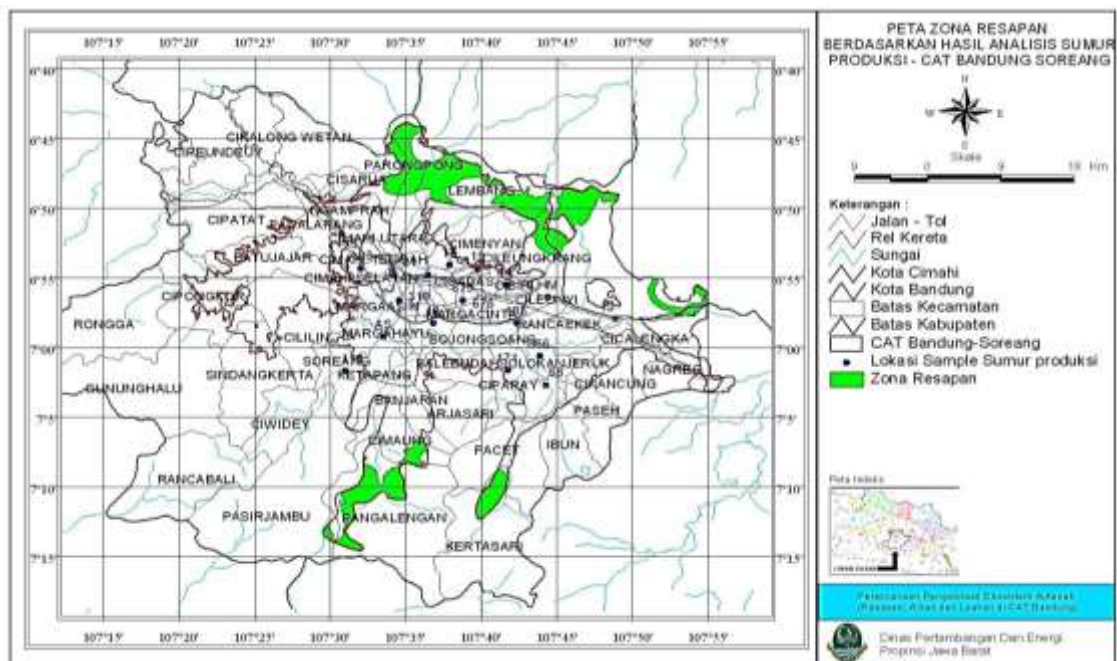
Intersept	Elev. terendah isotop $\delta^{18}\text{O}$ m (dpl)	Elev. terendah isotop $\delta^2\text{H}$ m (dpl)	Elevasi rata-rata m (dpl)
Intersept 1 (Elevasi mata air meluas lokal terhadap Gais-1)	1.300	1.328	1.329
Intersept 2 (Elevasi mata air meluas lokal terhadap Gais-2)	1.496	1.492	1.494
Intersept 3 (Elevasi mata air meluas lokal terhadap Gais-3)	1.473	1.469	1.471

Sesungguhnya elevasi *recharge* air hujan pada suatu daerah tidak terjadi pada satu titik elevasi tetapi terjadi pada suatu kisaran elevasi antara 200-300m. Untuk mendapatkan nilai kisaran elevasi dibutuhkan statistik komposisi isotop *recharge* (Abidin, 2003).

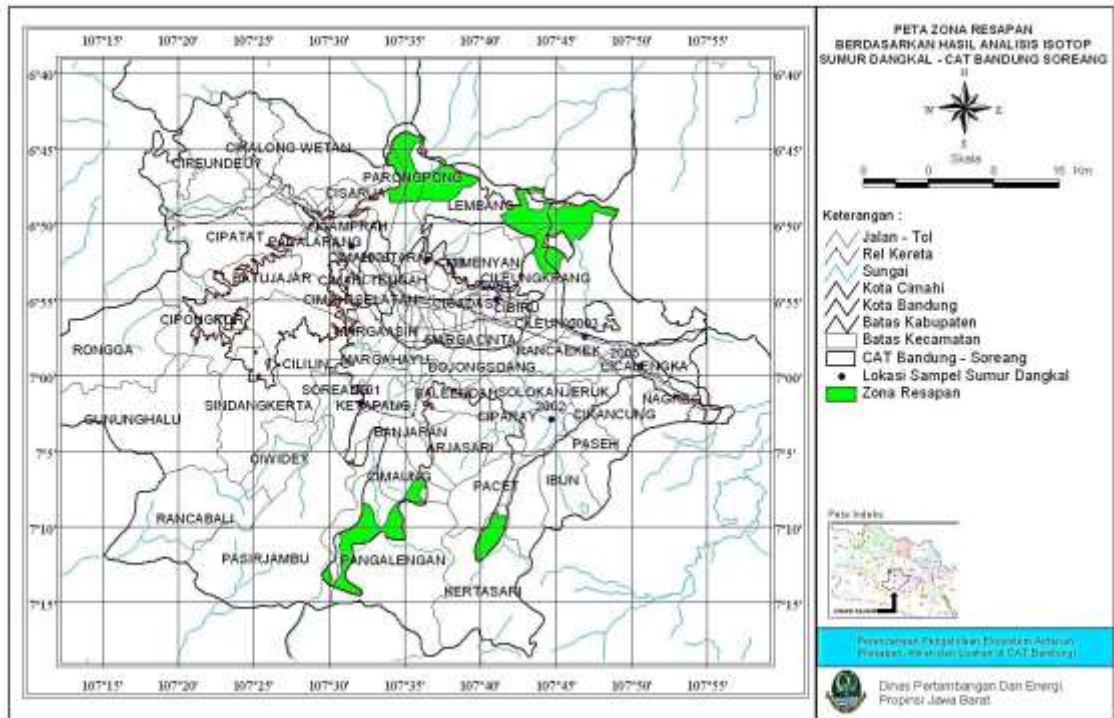
Tabel 9. Kisaran elevasi daerah resapan CAT Bandung, jika mengacu pada kisaran $\pm 200\text{m}$ pada titik elevasi *recharge* seperti tercantum pada Tabel .6 dan kisaran elevasi pada Gambar 13 dan 14.

Daerah Resapan	Elevasi terendah m (dpl)	Elevasi tertinggi m (dpl)
Untuk Sumur Produksi	1.229	1.429
Untuk Mataair (dingin)	1.394	1.594
Untuk Sumur Dangkal/Gali	1.371	1.571

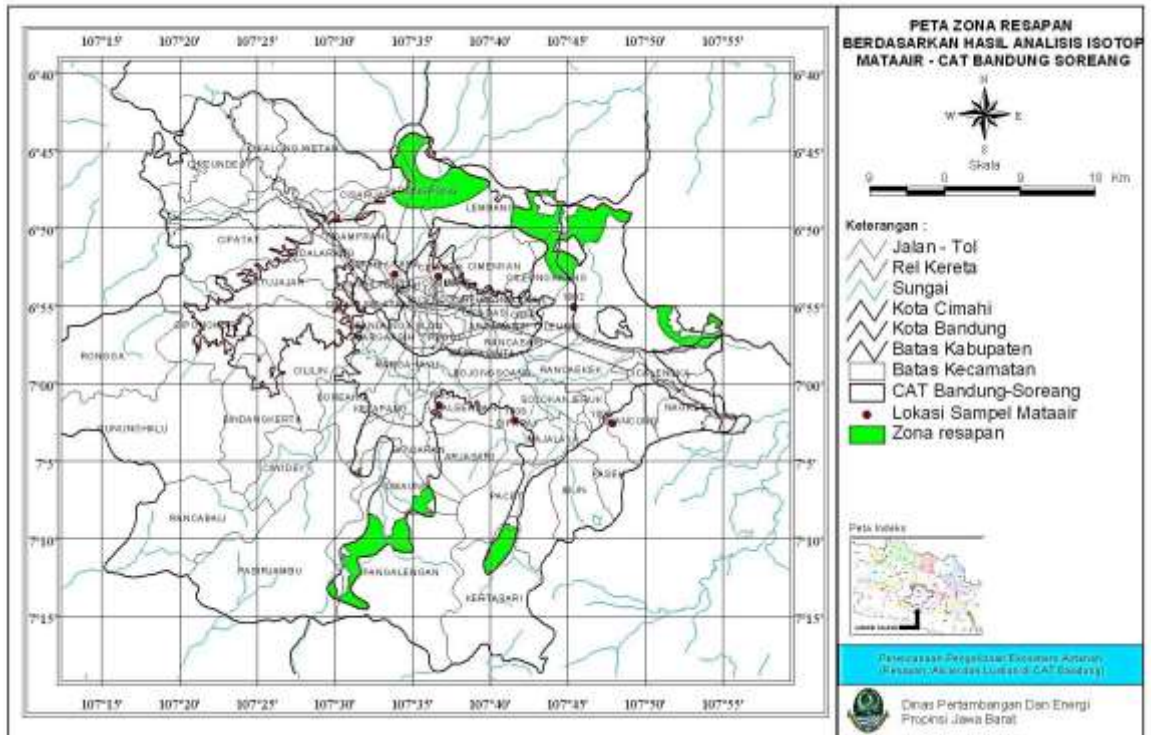
Berdasarkan analisis di atas, dilakukan deliniasi daerah resapan CAT Bandung untuk sumur produksi, sumur dangkal dan mata air (Gambar 15-17). Untuk daerah resapan CAT Bandung secara keseluruhan dibuat berdasarkan titik elevasi terendah (1.229 m dpl) dan titik tertinggi (1594). Luas daerah resapan CAT Bandung adalah 190,1 km². Peta daerah resapan CAT Bandung dapat dilihat pada Gambar 13.



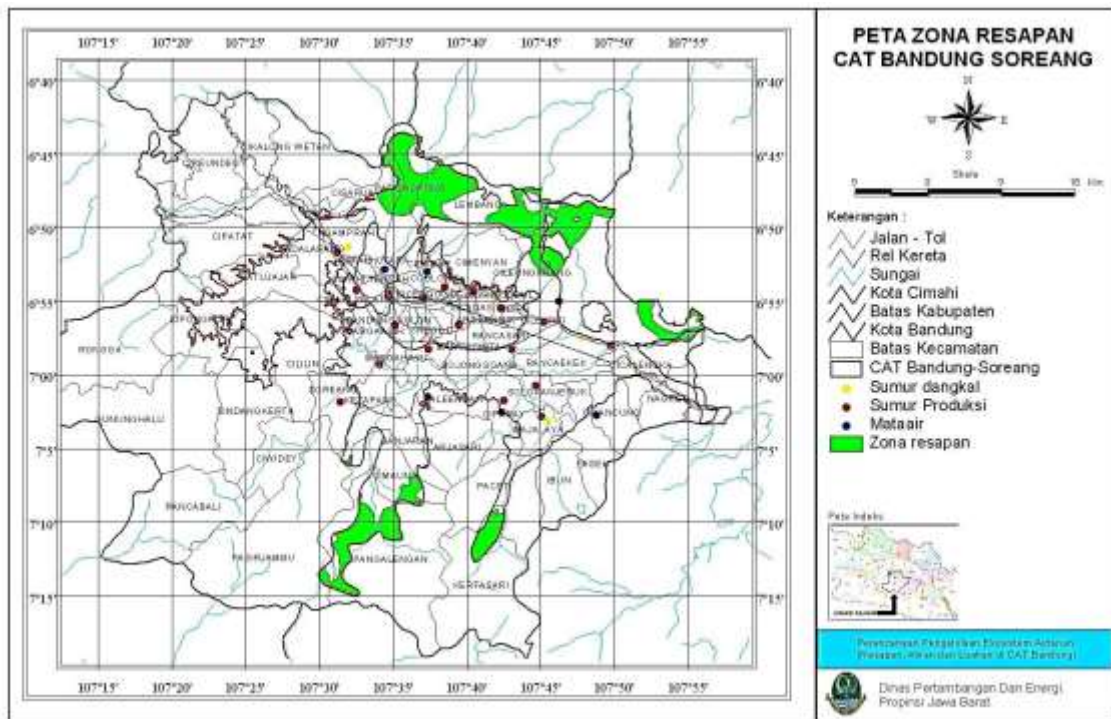
Gambar 15 Peta zona resapan berdasarkan analisis isotop sumur produksi CAT Bandung



Gambar 16. Peta zona resapan berdasarkan analisis isotop sumur dangkal CAT Bandung



Gambar 17. Peta zona resapan berdasarkan analisis isotop mataair CAT Bandung



Gambar 18. Peta zona resapan CAT Bandung

DAFTAR PUSTAKA

- 1]. Abidin, Z., 2003, Karakterisasi Reservoir Panasbumi Untuk Manajemen Lapangan Uap di Lapangan Kamojang, Jawa Barat, Disertasi Doktor, FMIPA, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta (tidak dipublikasikan).
- 2]. Bambang Sunarwan, Penerapan Metoda Hidrokimia Isotop Oksigen 18 (^{18}O), Deutrium (^2H) dan Tritium (^3H) Dalam Karakterisasi Akifer Airtanah Pada sistem Akifer bahan Vulkanik, Thesis S.2 – ITB, Tidak dipublikasi.
- 3]. Cellati, R.P., Noto., Panichi, C., Squarci, P., dan Taffi, L., 1973, Interaction Between The Steam Reservoir and Surrounding Aquifer in the Larderello Geothermal Fields, *Geothermics*, vol. 2, No. 3-4, hal. 174 – 185.
- 4]. Craig, H., 1961, Isotopic Variations in Meteoric Waters, *Science*, 133, hal. 1702 – 1703.
- 5]. Dansgaard, W., 1964, Stable Isotopes, in Precipitation, *Tellus*, Swedish Geophysical Society, hal. 436-468.
- 6]. Djarwanto dan Subagyo Pangestu., 2000, Statistik Induktif. Edisi ke-4, Penerbit PT BPFE, Yogyakarta, 371 hal.
- 7]. Fritz, P., dan Fontes, J.Ch., 1980, Handbook of Environmental Isotopes, Geochemistry, vol. 1, Elsevier Scientific, Publishing Company, Amsterdam – Oxford - New York, 532 hal.
- 8]. Hendrasto, Fajar., 2005, Penentuan Daerah Resapan Sistem Panasbumi Gunung Wayang Windu, Jawa Barat, Thesis Magister Bidang Hidrogeologi, ITB (tidak dipublikasikan)
- 9]. Geyh, M.A., 1990, Isotopic Hydrogeological Study in the Bedugul Basin, Indonesia, Project Report No. 10; Project CTA 108, Environmental Geology for Landuse and Regional Planning, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bedugul, (tidak dipublikasikan)
- 10]. Hoefs, J., 1987, Stable Isotope Geochemistry, edisi ke-3, Springer Verlag, Heidelberg, hal 117-130.
- 11]. IAEA, Technical Report Series No. 91, 1983, Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, IAEA, Vienna, Austria.
- 12]. IAEA, Technical Report Series No. 210, 1981, Stable Isotope Hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle, IAEA, Vienna, Austria.

- 13]. Nicholson, K., 1993, Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 206 hal.
- 14]. Panichi, C., dan Gonfiantini, 1978, Environmental Isotopes in Geothermal Studies, Geothermics, vol. 6, No.3/4, hal. 143 – 161.
- 15]. Sembiring, R.K., 2003, Analisis Regresi, Edisi ke-2, Penerbit ITB, Bandung, 315 hal.
- 16]. Truesdell, A.H., dan Hulston, J.R., 1980, Isotopic Evidence on Environment of Geothermal System (dalam Fritz, P., dan Fontes, J.Ch., editor), Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, vol.1, Elsevier, N.Y., hal. 179 – 225.

PENULIS

- 1) **Fajar Hendrasto**, Staf Pengajar Program Studi Teknik Geologi, TRISAKTI.
- 2) **Bambang Sunarwan**, Staf Pengajar Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik - UNPAK BOGOR.