

DINAMIKA AIR TANAH DAN INTER RELASINYA DENGAN AIR SUNGAI DI CEKUNGAN BANDUNG

Satrio

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi BATAN

Jl. Cinere Pasar Jumat-Jakarta Selatan 12440

Telepon: 08568840120

email: trio_crb@yahoo.com

Abstract

At the present time, water scarcity in Bandung Basin has reached its critical point, marked with springs that stop discharging and lowering water table. The same condition can be seen on river water that heavily exposed by industrial waste along the river. Through environmental isotopes (^2H , ^{18}O and ^{14}C) approach, the condition of deep and shallow groundwater wells alongside the river can be known. This research was conducted by taking some samples of shallow groundwater, deep groundwater and river water (Citarum, Cikapundung, Cikeruh and Citarik). The amount of water sample needed for ^2H and ^{18}O isotopes analysis was 20 ml, whereas for ^{14}C isotope analysis, 60 liters of water sample needed to extract into BaCl_2 precipitation. Based on isotopes ^2H , ^{18}O and graphic ^2H vs ^{18}O data show that there are three of resident groundwater (shallow groundwater) which its groundwater have been mixing by river water. Whereas the result of isotope ^{14}C , does not show inter relation, either by shallow groundwater or river water. From iso-age contour, it could be concluded that the dynamics pattern of deep groundwater show movement derived from north and south mountains to north-west direction (Cimahi and Leuwigajah). These locations are industrial area with very high groundwater exploitation.

Keywords: groundwater, river water, isotope, Bandung

1. PENDAHULUAN

Cekungan Bandung merupakan kawasan yang berada sekitar 600 meter di atas permukaan laut. Wilayah yang berada dalam Cekungan ini meliputi Kota dan Kabupaten Bandung, sebagian Kota Cimahi dan sebagian Kabupaten Sumedang. Cekungan Bandung terdiri atas 3 cekungan air tanah (CAT), masing-masing CAT Bandung-Soreang, CAT Lembang, dan CAT Batujajar (Djumarna, 2004).

Pembangunan di kawasan Bandung dan sekitarnya telah berkembang dengan pesat yang ditunjukkan dengan tumbuhnya sektor perindustrian dan pemukiman. Industri tekstil, pengolahan makanan dan minuman serta industri rumah tangga telah memberikan kontribusi nyata terhadap perubahan kondisi air tanah dan air sungai di kawasan Bandung. Hal ini selain menyebabkan problem sosial juga menyebabkan terjadinya degradasi lingkungan, baik yang berasal dari aktivitas

pembangunan itu sendiri maupun dampak penambahan penduduk.

Kawasan Bandung dan wilayah sekitarnya yang terletak dalam kawasan cekungan Bandung saat ini terancam krisis air sebagai akibat pesatnya perubahan fungsi lahan konservasi menjadi kawasan pemukiman maupun industri yang mengambil air tanah untuk kebutuhannya. Dampak eksploitasi air tanah yang terus-menerus terutama oleh kalangan industri telah menyebabkan krisis air tanah di beberapa lokasi. Krisis air yang paling parah terjadi di kawasan Bandung Barat (Leuwigajah, Cibereum dan Dayeuhkolot) dan Bandung Timur (Ujung Berung dan Rancaekek) yang keduanya telah dikenal sebagai daerah industri. Kondisi ini ditunjukkan oleh menurunnya permukaan air tanah mencapai 60 m di wilayah Leuwigajah Bandung dan secara umum di kota Bandung telah mengalami penurunan antara 5 cm sampai 7,3 m per tahun (Bethy C. M., 2004).

Dengan latar belakang di atas, maka perlu adanya penelitian tentang dinamika air tanah dan hubungannya dengan air sungai pada cekungan Bandung tersebut yang dapat menjelaskan kondisi air tanah dan air sungai di Cekungan Bandung.

Sistem pendekatan masalah menggunakan ^{14}C , ^{18}O dan ^2H yang dilakukan dengan cara pengambilan sampel air sungai dan air tanah yang terdapat di Cekungan Bandung. Data hasil analisis isotop-isotop tersebut dievaluasi melalui grafik dan pembuatan peta kontur *iso-age* menggunakan program MapInfo sehingga memudahkan interpretasi.

2. METODOLOGI

Penelitian air tanah dan air sungai di Cekungan Bandung dilakukan menggunakan isotop lingkungan ^{14}C , ^{18}O dan ^2H yang dilengkapi pemetaan dengan program MapInfo yang dapat menampilkan gambaran dan informasi lengkap mengenai kondisi dari daerah penelitian.

Pengambilan sampel air

Sejumlah sampel air tanah, baik air tanah akuifer dangkal maupun air tanah akuifer dalam dan air sungai diambil secara acak. Sampel air tanah berasal dari sumur-sumur penduduk (akuifer dangkal) dan sumur-sumur bor dalam dari beberapa perusahaan. Sampel-sampel tersebut selanjutnya dianalisis kandungan isotopnya di laboratorium Hidrologi Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi BATAN Jakarta.

Analisis ^{18}O dan ^2H

Sampel air dari lapangan diambil 20 ml, sedangkan untuk analisis ^{18}O sebesar 2 ml dan ^2H 10 μl . Kebanyakan untuk pengulangan bila terjadi kegagalan analisis. ^{18}O dan ^2H (deuterium) dianalisis menggunakan spektrometer massa model SIRA-9, VG Isogas. Analisis ^{18}O dilakukan dengan mereaksikan 2 ml sampel air dengan gas CO_2 dalam botol gelas dan ditimbang pada suhu 30 °C

selama 8 jam dalam alat preparasi sampel Isoprep-18. Selanjutnya gas CO_2 dialirkan kedalam spektrometer massa untuk penentuan kandungan isotop stabilnya. Pengukuran kandungan ^2H (deuterium) dilakukan dengan mereaksikan 10 μl sampel air dengan 300 mg Zn aktif dalam kondisi vakum dan dipanaskan pada suhu 450 °C selama 30 menit sampai gas H_2 terbentuk dengan O tereduksi menjadi ZnO yang seterusnya gas H_2 dialirkan kedalam spektrometer massa.

Dengan berkembangnya peralatan spektrometer massa sekitar tahun 1950, penelitian dengan isotop stabil menjadi sangat mungkin untuk menentukan secara tepat rasio kelimpahan isotop. Dalam hal ini yang sangat menarik bagi peneliti adalah rasio isotop-isotop molekul air seperti $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dan $^2\text{H}/^1\text{H}$. Rasio yang ditimbulkan dikenal dengan delta (δ) dalam permill (‰) merupakan perbedaan relatif antara sampel dan standar yang dikenal dengan *Standard Mean Ocean Water* (SMOW) adalah sebagai berikut:

$$\delta\% = [(R - R_{\text{standar}}) / R_{\text{standar}}] \times 1000$$

di mana:

R dan R_{standar} adalah rasio isotop $^2\text{H}/^1\text{H}$ atau $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

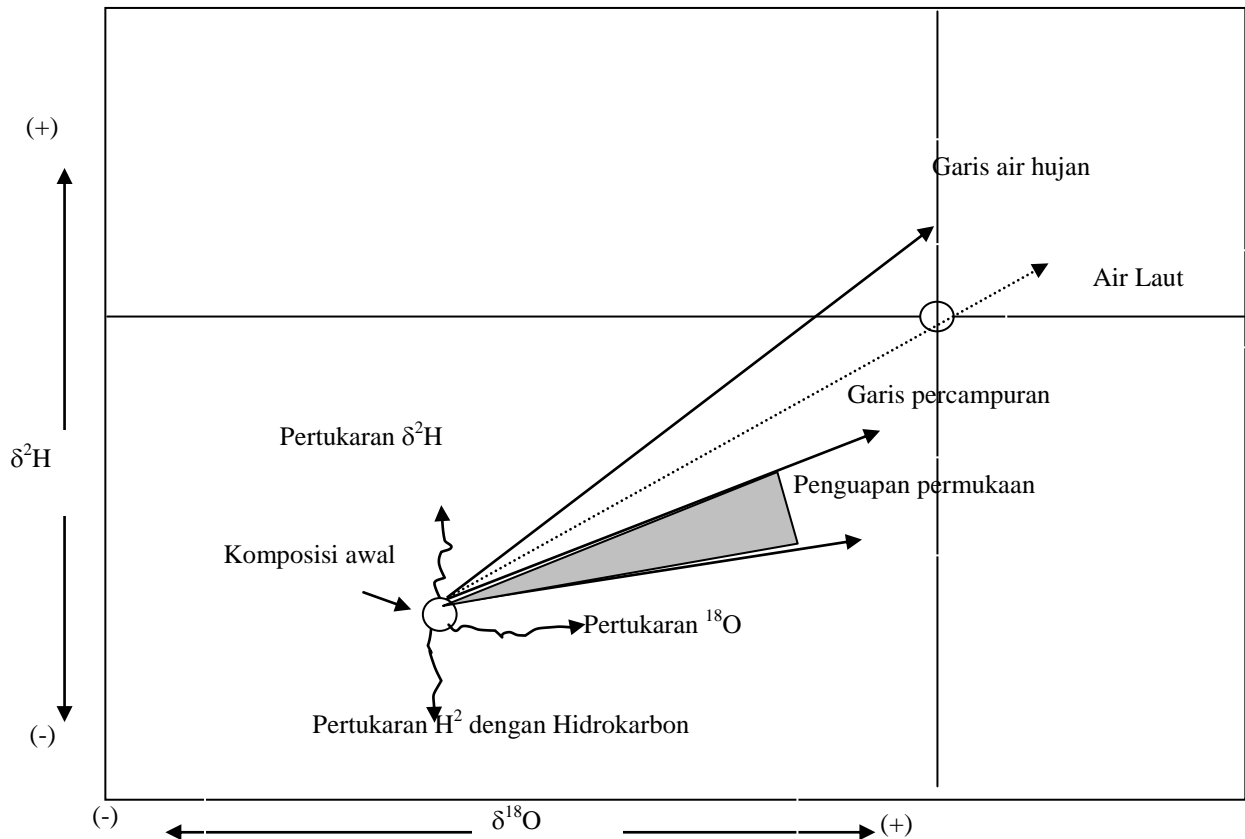
Variasi isotop air memiliki sedikit perbedaan dalam tekanan uap dan titik beku. Kedua sifat ini memberikan perbedaan konsentrasi ^{18}O dan ^2H dalam air untuk bermacam-macam tempat dalam siklus hidrologi. Kandungan isotop suatu senyawa berubah bila terjadi proses evaporasi, kondensasi, pembekuan, pencairan, reaksi kimia atau proses biologi yang umum dikenal dengan fraksinasi isotop (IAEA-TECDOC-713, 1993).

Pada prinsipnya analisis ^{18}O dan ^2H dalam penelitian dinamika air suatu daerah adalah berdasarkan perbedaan kandungan isotop stabil ^{18}O dan ^2H diantara sumber air yang terdapat di daerah penelitian seperti air sungai, air tanah, air danau, reservoir atau air laut. Kandungan isotop stabil ^{18}O dan ^2H dari air sungai akan terjadi pengkayaan yang

disebabkan oleh proses penguapan. Di lain pihak air tanah akuifer dangkal dan air tanah akuifer dalam di daerah tersebut dapat berasal dari imbuhan lokal ataupun regional yang akan memperlihatkan perbedaan diantara sumber-sumber air yang dipelajari (Verhagen B. T, dkk, 1997).

Air tanah yang berasal dari infiltrasi air hujan

ke dalam tanah, komposisi ^{18}O dan ^2H akan terletak pada garis meteorik (air hujan), kecuali air tanah tersebut mengalami perubahan misalnya mengalami pertukaran ^{18}O karena melewati magma, pencampuran atau telah mengalami proses penguapan. Grafik Gambar 1 memperlihatkan komposisi ^{18}O dan ^2H dalam berbagai proses (Syafalni dan Satrio, 2007).



Gambar 1. Perubahan Komposisi Isotop dalam Berbagai Proses

Analisis ^{14}C dan Pemetaan

Sampel air tanah akuifer dalam diambil langsung dari sumbernya untuk menghindari kontaminasi udara. Sampel air tersebut kemudian dimasukkan ke dalam tabung pengendap karbonat berkapasitas 60 liter. Proses pengendapan karbonat dilakukan dalam kondisi basa (pH sekitar 12) dengan cara menambahkan sejumlah larutan kimia seperti $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaOH (bebas CO_2), BaCl_2 dan Praestol sebagai pemercepat pengendapan. Dari proses ini diperoleh endapan sampel

dalam bentuk BaCO_3 . Endapan BaCO_3 yang diperoleh dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis kandungan ^{14}C dan ^{13}C (Mook, 2001). Analisis dilakukan menggunakan metode carbosorb dengan terlebih dahulu mereaksikan BaCO_3 dengan HCl 10% melalui reaksi:



CO_2 yang didapat dari reaksi di atas diserap oleh bahan penyerap CO_2 , yaitu carbosorb yang telah dicampur larutan sintilator, dimana

fungsi dari sintilator ini adalah untuk mengubah emisi β dari $^{14}\text{CO}_2$ menjadi foton-foton cahaya sehingga mudah dideteksi oleh alat pencacah (Nair dkk, 1995 dan Qureshi dkk, 1995).

Aktivitas ^{14}C dalam senyawa ^{14}CO dicacah menggunakan alat *Liquid Scintillation Counter* merek Packard 1900TR selama 20 menit sebanyak 50 putaran. Konversi dari hasil cacahan menjadi umur ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut (Gupta et.al., 1985):

$$t = (T_{1/2}/\ln 2) \ln (A_0/A_t)$$

di mana:

t = umur (tahun)

$T_{1/2}$ = waktu paruh ^{14}C (5730 tahun)

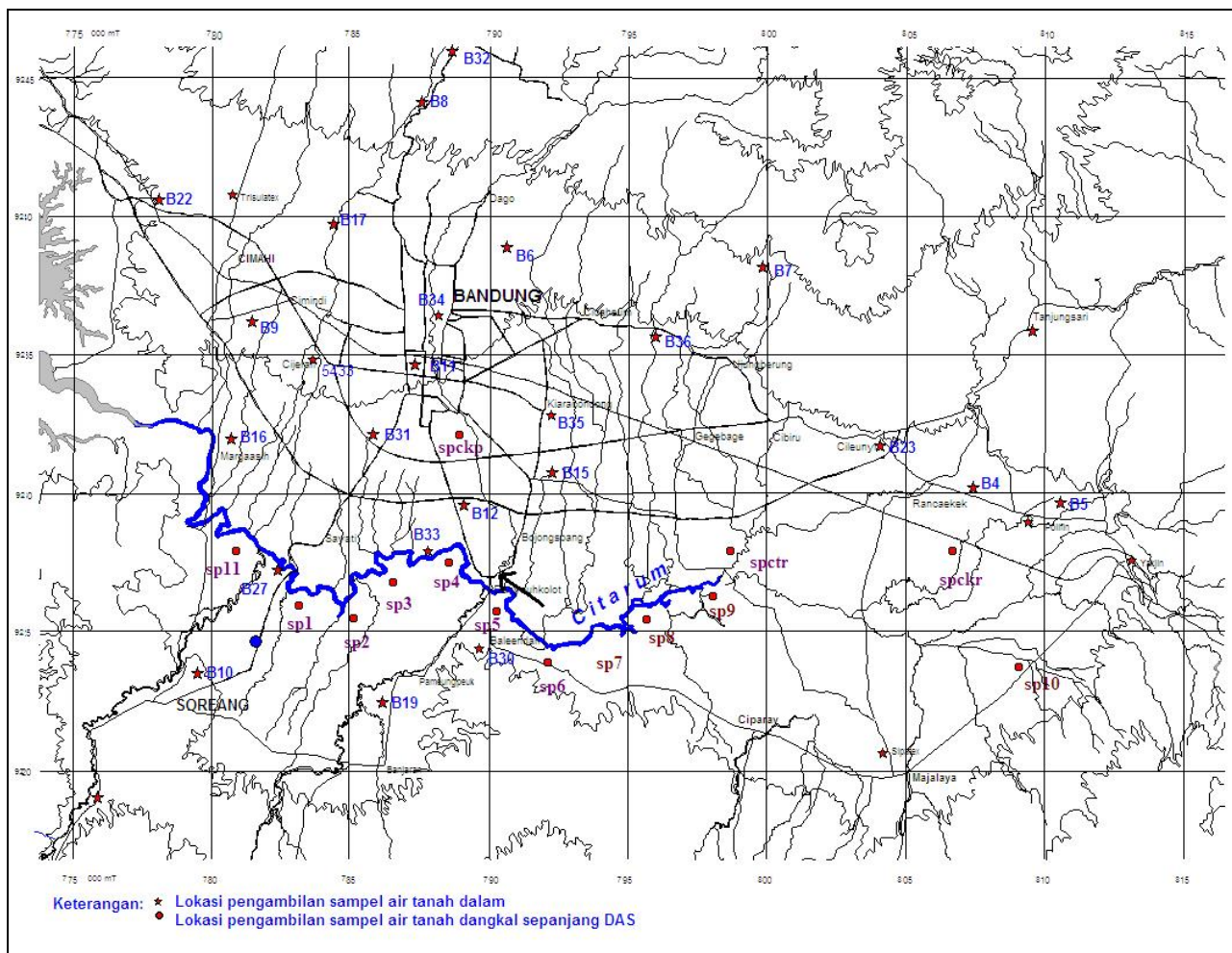
A_0 = Aktivitas awal

A_t = Aktivitas pada waktu t tahun

Analisis ^{14}C dilakukan untuk mendapatkan pola dinamika atau gerakan air tanah akuifer dalam di daerah penelitian, yaitu dengan menentukan umur air tanah yang diplotkan ke dalam peta daerah penelitian sehingga diperoleh peta *iso-ages*. Peta *iso-age* dibuat menggunakan program surfer dan MapInfo.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah penelitian secara geografis terletak pada koordinat UTM 91.97.704-92.55.149 Utara-Selatan dan 07.60.741-08.26.928 Barat - Timur yang mencakup sebagian wilayah Kabupaten Bandung, wilayah Kota Bandung, Sebagian Kabupaten Sumedang, dan Sebagian Kota Cimahi dengan luas sekitar 66,06 km². Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Sampel Air Tanah Dan Air Sungai

Cekungan ini menyediakan air bagi wilayah-wilayah tersebut di atas. Pengambilan air tanah dangkal di Cekungan Bandung diperkirakan sebesar 306 juta m³/tahun. Perkiraan volume pengambilan air tanah dangkal ini lebih kecil dibandingkan kemampuan imbuhan air tanah dangkal hasil perhitungan neraca air sebesar 368,5 juta m³/tahun. Perubahan kedudukan muka air tanah dangkal sangat dipengaruhi oleh musim dan besarnya curah hujan, sehingga indikasi adanya perubahan pola muka air tanah dangkal sebagai akibat pengambilan tidak dapat terlihat jelas.

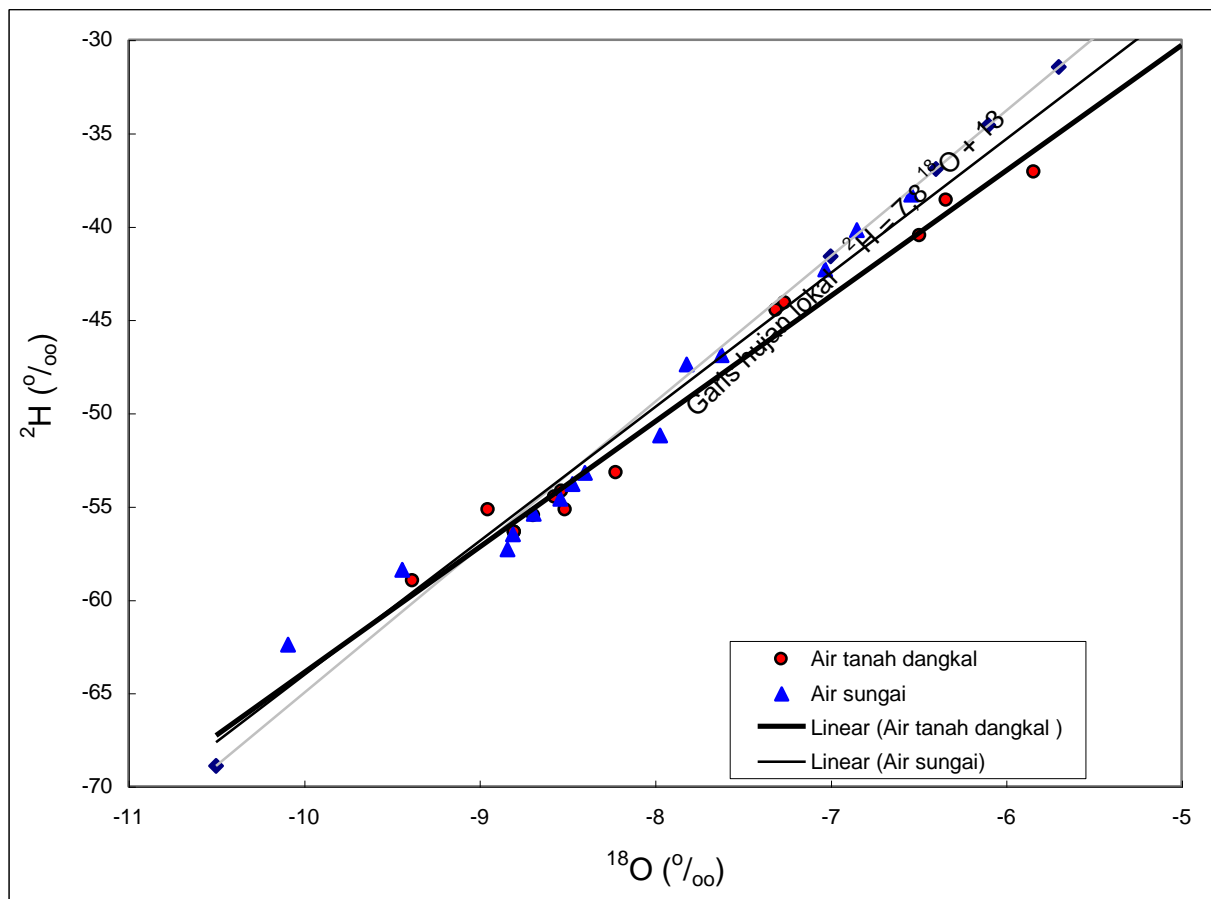
Kedudukan muka air tanah cenderung semakin dalam ke arah daerah pengambilan air tanahnya intensif dan membentuk kerucut muka air tanah yaitu di daerah Cimahi Selatan

(kedalaman maksimum lebih dari 100 m), Dayeuhkolot (kedalaman maksimum 34,50 m bmt), Rancaekek-Cimanggung (kedalaman maksimum 27,00 m bmt), Majalaya (kedalaman maksimum 43 m bmt), dan di beberapa tempat di Kota Bandung (kedalaman maksimum 13,22-73,52 m bmt). Kondisi muka air tanah sekarang ini dibandingkan muka air tanah pada tahun sebelumnya menunjukkan kecenderungan terjadinya penurunan, dengan kecepatan yang bervariasi (0,05-6,50 m/tahun).

Hasil analisis ¹⁸O dan ²H air sungai, air tanah di daerah Bandung dapat dilihat pada Tabel 1. Dari data tersebut terlihat bahwa karakteristik air tanah dangkal di sepanjang daerah aliran sungai memiliki kandungan ¹⁸O antara -9% hingga -8%.

Tabel 1. Hasil Analisis ¹⁸O dan ²H Air Sungai

Kode	Lokasi	Kedalaman (m)	Jarak ke sungai (m)	Elevasi (m)	¹⁸ O (‰)	² H (‰)
CTM1	Kopo	-	-	-	-8,40	-53,2
SP1	Kopo	10	25	662	-8,95	-55,2
CTM2	Ds Bj Tanjung Katapang	-	-	-	-8,84	-57,3
SP2	Ds Bj Tanjung Katapang	8	50	662	-8,22	53,2
CTM3	Ds Rancamanyar B1 Endah	-	-	-	-8,54	-54,6
SP3	Ds Rancamanyar B1 Endah	7	20	662	-8,51	-55,2
CTM4	Ds Citepus	-	-	-	-8,69	-55,4
SP4	Ds Citepus	8	15	662	-6,49	-40,5
CTM5	M Toha	-	-	-	-7,82	-47,4
SP5	M Toha	7	50	662	-8,80	-56,4
CTM6	Ds Sindangsari B1 Endah	-	-	-	-7,97	-51,2
SP6	Ds Sindangsari B1 Endah	6	60	663	-8,80	-56,4
CTM7	Ds Ciputat Bj Soang	-	-	-	-6,85	-38,4
SP7	Ds Ciputat Bj Soang	33	30	663	-8,57	-54,5
CTM8	Ds Bj Mas Solokan jr Patrol	-	-	-	-8,81	-56,5
SP8	Ds Bj Mas Solokan jr Patrol	4	15	663	-6,34	-38,6
CTM9	Ds Loteng Sumbersari	-	-	-	-8,47	-53,8
SP9	Ds Loteng Sumbersari	3	20	664	-7,26	-44,1
CTM10	Ds Cikawao Pacet	-	-	-	-10,09	-62,4
SP10	Ds Cikawao Pacet	6	10	805	-8,53	-54,2
CTM11	Ds Gelegong Ciharuman	-	-	-	-6,54	-38,3
SP11	Ds Gelegong Ciharuman	36	100	674	-5,84	-37,1
CKR	Cikeruh Jatinangor	-	-	-	-7,03	-42,3
SPckr	Cikeruh Jatinangor	2	20	667	-8,69	-55,5
CTR	Citarik Cicalengka	-	-	-	-9,44	-58,4
SPctr	Citarik Cicalengka	4	20	665	-9,38	-59,0
CKP	Viaduct Cikapundung	-	-	-	-7,62	-46,9
SPckp	Viaduct Cikapundung	7	7	680	-7,31	-44,5



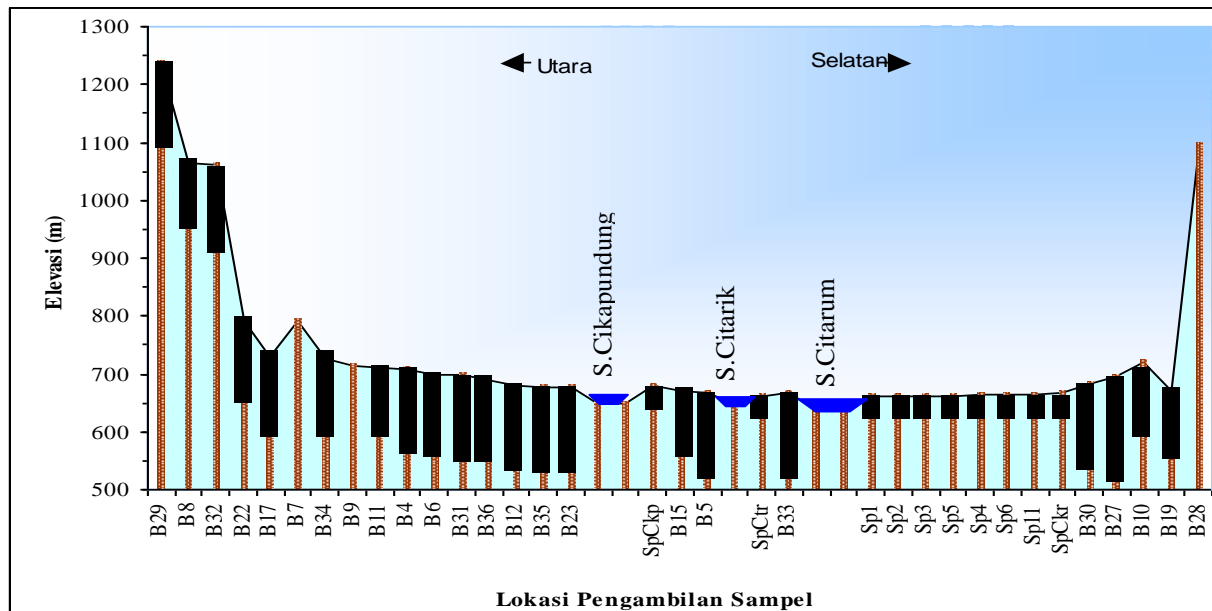
Gambar 3. Grafik Hubungan ^2H vs ^{18}O Air Tanah Dangkal Dan Air Sungai Kawasan Bandung

Data-data pada Tabel 1 selanjutnya dilakukan evaluasi dengan membentuk grafik hubungan ^{18}O dan ^2H pada sampel air tanah di daerah Bandung, dibandingkan terhadap air hujan baku Indonesia (Wandowo, 2004 dengan persamaan $\delta^2\text{H} = 7,8\delta^{18}\text{O} + 13$). Sedangkan Gambar 3 memperlihatkan hubungan ^2H vs ^{18}O air tanah dangkal dan air sungai kawasan Bandung.

Berdasarkan grafik di atas, ada tiga lokasi air tanahnya mengalami pencampuran dengan air sungai yaitu sumur penduduk di dekat sungai Cikapundung (SPCkp), sumur penduduk Desa Loteng Summersari (SP9) dan sumur penduduk Desa Bojong Mas (SP8) yang keduanya berada di dekat aliran sungai Citarum. Jarak sumur-sumur tersebut ke sungai antara 7 meter hingga 50 meter. Kemudian, satu sampel mengalami proses evaporasi yaitu sampel dengan lokasi Desa Gelegong Ciharuman

(SP11). Sampel-sampel dengan kandungan ^{18}O dan ^2H terletak di atas kanan garis hujan lokal diduga telah mengalami interaksi dengan H_2S yang mungkin berasal dari sungai yang tercemar. Sedangkan yang letaknya di atas garis hujan lokal sebelah kiri kemungkinan besar berasal dari air yang telah mengalami proses kondensasi atau pertukaran dengan CO_2 .

Tidak banyaknya sumur penduduk yang tidak tercampur dengan air sungai diduga disebabkan oleh adanya aktivitas pengerukan, pelebaran dan pelurusan secara berkala pada daerah aliran sungai sehingga muka air sumur penduduk kebanyakan menjadi lebih tinggi dari dasar sungai itu sendiri. Penampang posisi sumur-sumur dan elevasinya yang melintang dari utara hingga selatan pada Cekungan Bandung secara detail ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Posisi dan Elevasi Sumur Air Tanah (Dangkal dan Dalam) terhadap Sungai

Tabel 2. Hasil Analisis ^{14}C dari Beberapa Sumur Bor Dalam

No.	Kode	Lokasi	Kedalaman (m)	Elevasi (m)	pMC	Umur (tahun)
1	B4	PT. Kahatex Cicalengka	150	679	80,82	1291
2	B5	Coca Cola Rancaekek	150	686	64,74	3125
3	B6	STIE Widyatama Cikutra	150	882	86,24	754
4	B7	Mata air Sekehan Pjg Ujung Berung	-	792	90,94	315
5	B8	Hotel Gumalang Sari Jl. Setiabudi	120	1065	86,07	770
6	B9	PT. Tri Darmatex Lw Gajah	170	714	10,22	18388
7	B10	Masjid Al Fath Soreang	150	720	39,35	7241
8	B11	Bank Buana Jl. Sudirman	120	710	49,98	5263
9	B12	PT. BSTM Jl. Moh. Toha	150	681	20,58	12600
10	B15	PT. LUCAS Ciwastra	120	672	53,91	4639
11	B17	PT. Trijasa Jl. Kol. Supadio	150	731	59,67	3798
12	B19	PT Prodia Banjaran	120	672	81,45	1226
13	B23	Rumah Makan Ponyo	150	676	66,56	2898
14	B22	PT. WIKA Baros Cimahi	150	792	-	>35000
15	B27	PT. Waitex	180	695	26,09	10639
16	B28	Mata air RM Cihaliwung Ciwidey	-	1094	-	Modern
17	B29	Grand Hotel Lembang	150	1238	-	Modern
18	B30	PT. Delimatex Dayeuh Kolot	150	684	69,97	2485
19	B31	Kopo Plaza	150	698	50,10	5248
20	B32	Erdorado Lembang	150	1060	-	Modern
21	B33	PT. Inti Gunawantex	150	668	48,95	5438
22	B34	Hotel Grand Hyaat	150	725	28,18	10000
23	B35	PT. Pindad	150	675	61,50	3549
24	B36	PT. BTN Cicaheum	150	690	60,21	3726

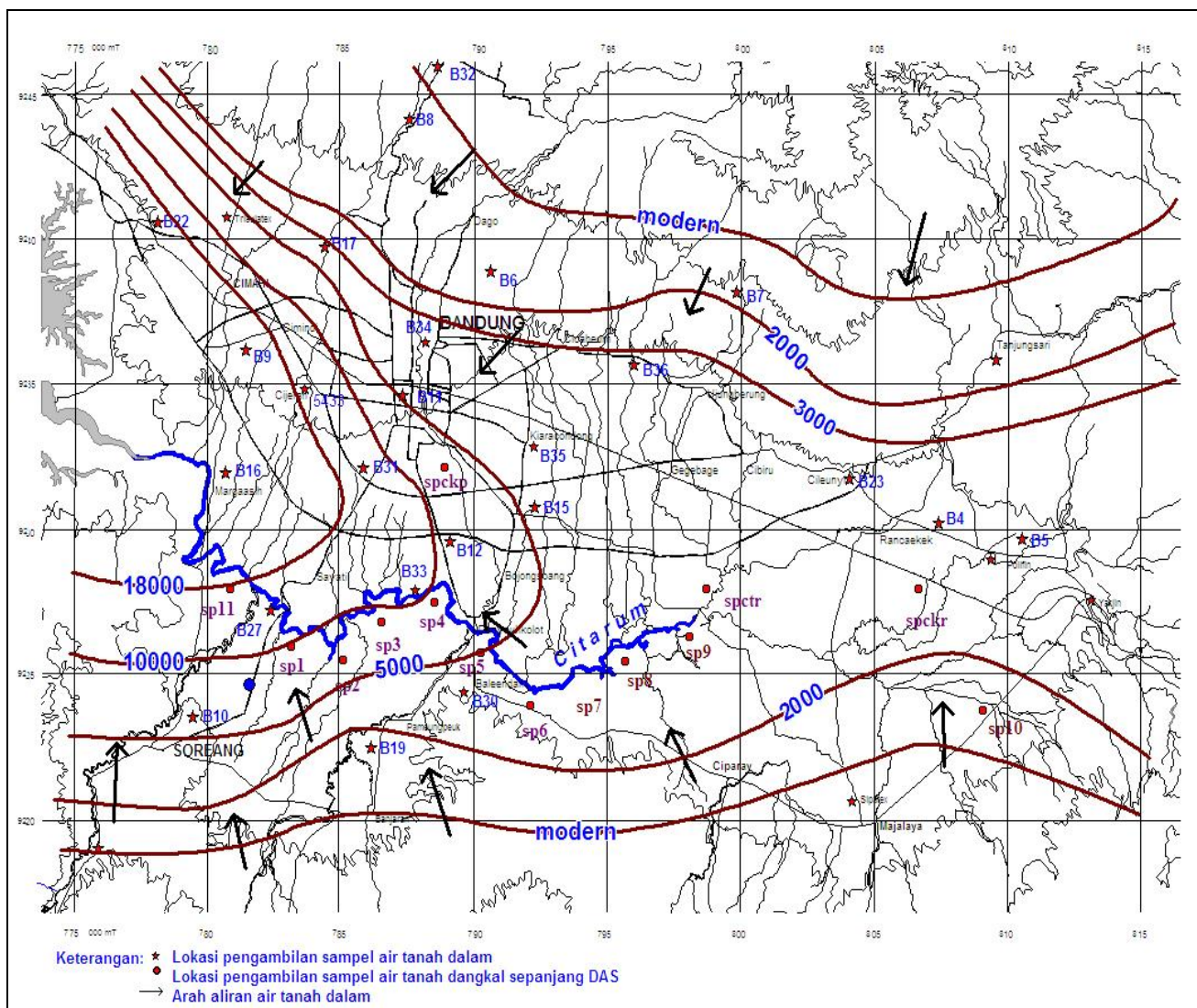
Keterangan:

- pMC (percent Modern Carbon) adalah nilai aktivitas (*residual activity*) dari ^{14}C sampel setelah dibandingkan dengan standarnya, yaitu SRM 4990C dari National Bureau Standard USA.
- Umur air tanah (*corrected age*) merupakan konversi dari aktivitas (pMC) terhadap aktivitas awal ^{14}C (R_{initial}) dimana untuk Cekungan Bandung nilainya sekitar 94,5 pMC.
- Batas umur maksimum yang masih bisa diukur adalah 35.000 tahun

Dari hasil analisis ^{14}C dapat diketahui bahwa air tanah Bandung pada umumnya berasal dari pegunungan yang berada di bagian Timur dan Selatan yang ditunjukkan dengan umur air Modern (*recharge area*). Umur air tertua ditemukan di daerah Leuwigajah, yaitu di sumur PT. WIKA Baros Cimahi dengan umur lebih dari 35.000 tahun. Sedangkan dari kontur umur air dapat diperoleh informasi bahwa pola dinamika air tanah akuifer dalam cenderung bergerak dari arah Utara dan Selatan menuju Barat Laut. Hal ini secara detail dapat dilihat pada Gambar 5. Pola kontur yang terbentuk sesuai dengan hasil penelitian terhadap

perubahan muka air tanah akuifer dalam. Air tanah akuifer dalam semakin menurun ke arah Barat Laut (Leuwigajah dan Cimahi) di mana daerah tersebut merupakan kawasan industri dengan eksploitasi terhadap air tanah yang sangat tinggi.

Berdasarkan data umur juga diperoleh informasi bahwa air tanah pada akuifer dalam tidak berhubungan langsung dengan air tanah pada akuifer dangkal, kecuali pada daerah imbuh yang umumnya berumur muda (<1500 tahun) hingga modern karena merupakan daerah tangkapan atau masukan air.



Gambar 5. Kontur Umur Air Tanah Akuifer dalam Cekungan Bandung

4. KESIMPULAN

Sebagian besar air tanah dangkal (sumur penduduk) yang berada di sepanjang daerah aliran sungai kawasan Bandung tidak mengalami inter relasi atau tidak berhubungan dengan air sungai. Hanya terdapat tiga lokasi yang air tanahnya mengalami pencampuran dengan air sungai, yaitu SP8 di Desa Bojong Mas Solokan Jero, SP9 di Desa Loteng Sumpersari dan SPckp di daerah Viaduct Kota Bandung.

Dari data umur dan kontur *iso-age* diperoleh informasi bahwa air tanah pada akuifer dalam tidak berhubungan langsung dengan air tanah dangkal yang berada di atasnya, kecuali pada daerah imbuh atau daerah masukan air seperti daerah sisi perbukitan utara (Setiabudi-Lembang, Ujung Berung dan sekitarnya) dan sisi perbukitan selatan (Rancaekek, Baleendah dan sekitarnya) yang umurnya relatif muda hingga modern.

Pola kontur umur air memperlihatkan bahwa pola aliran air tanah akuifer dalam secara umum berasal dari pegunungan pada bagian utara dan selatan. Arah alirannya cenderung bergerak menuju Barat Laut. Pola ini menunjukkan gambaran adanya dominasi pengambilan air tanah akuifer dalam oleh industri-industri di sekitar Leuwigajah dan Cimahi.

Selain itu juga dapat direkomendasikan kepada para pengambil keputusan agar melakukan pemantauan berkala terhadap sumur-sumur penduduk di daerah aliran sungai. Sehingga zat-zat pencemar yang kebanyakan berasal dari aktivitas industri dapat terpantau dengan baik. Pengerukan berkala juga diperlukan untuk membantu dalam memproteksi air sumur penduduk dari kemungkinan terjadinya pencemaran.

Setiap perusahaan seharusnya diwajibkan untuk membuat sumur resapan agar kerusakan air tanah pada akuifer dalam akibat

pengambilan air tanah secara terus-menerus dalam jumlah yang banyak dapat dikurangi. Selain itu perlu dilakukan pemantauan dan penelitian berkala terhadap perubahan muka air tanah serta pola dinamika air tanah di Cekungan Bandung agar perubahannya dapat terpantau dengan baik. Pembatasan terhadap pengambilan air tanah akuifer dalam juga perlu diatur agar terjadi keseimbangan kembali (*water balance*) sehingga dampak kerusakan terhadap kelangsungan sumberdaya air tanah dapat dikurangi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bethy, C. M., (2004), Pemantauan Kondisi dan Lingkungan Air Tanah di Cekungan Air Tanah Bandung-Soreang Jawa Barat, Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan Bandung.
- Djumarna, A., (2004), Cekungan Bandung Krisis Air, Harian Umum Pikiran Rakyat, Bandung.
- Gupta, Sushil, K. dan Polach, H., (1985), Radiocarbon Dating Practice at Australian National University, Handbook, Radiocarbon Laboratory, Research School of Pacific Studies, ANU, Canberra.
- IAEA-TECDOC-713, (1993), Nuclear Techniques in the Study of Pollutant Transport in the Environment, IAEA, Vienna.
- Mook, W. G., (2001), Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle, *International Hydrology Programme*, **39(5)**, IAEA-UNESCO, Paris.
- Nair, A.R., Sinha, U.K., Josep, T.B., and Rao, S.M., (1995), Radiocarbon Dating up to 37,000 Years Using CO₂ Absorption Technique, *Nuclear Geophysics*, **9(3)**, 263-268.

Qureshi, R.M., Aravena, R.O., Drimmie, R. dan Fritz, P., (1995), A Simple Preparatory Procedure for LSC ^{14}C Dating of Environmental Samples with Ages Younger than 29,000 Years, Prociding National. Symposium Spectroscopy for Material Analysis, Islamabad-Pakistan, April 4-6.

Syafalni dan Satrio (2007), Studi Air Tanah di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir Sampah Bantar Gebang Bekasi Jawa Barat, *Jurnal Purifikasi*, 8(2). 109-114.

Verhagen B. T. and Butler M.J., (1997), Environmental Isotope Studies of Urban and Waste Disposal Impact on Groundwater Resources in South Africa, Isotope Techniques in the Study of Environmental Change, Prociding Symposium IAEA, Vienna: 411-421.

Wandowo, (2000), Teknologi Isotop Alam untuk Evaluasi Dinamika Aliran Air Tanah: Studi Daerah Resapan dan Intrusi Air Laut Akuifer Jakarta dan Sekitarnya. Laporan Akhir RUT V.