

APLIKASI ISOTOP ALAM (^{18}O , ^2H DAN ^{14}C) UNTUK STUDI DINAMIKA AIR TANAH DAN HUBUNGANNYA DENGAN AIR SUNGAI DI DAERAH BANDUNG*E. Ristin Pujiindiyati dan Satrio*

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi–BATAN

Jl. Lebak Bulus Raya Kotak Pos 7002 JKSKL-Jakarta

E-mail: ristinpi@batan.go.id

Diterima: 17 Juni 2013

Direvisi: 16 September 2013

Disetujui: 29 Oktober 2013

ABSTRAK

APLIKASI ISOTOP ALAM (^{18}O , ^2H DAN ^{14}C) UNTUK STUDI DINAMIKA AIR TANAH DAN HUBUNGANNYA DENGAN AIR SUNGAI DI DAERAH BANDUNG. Muka air tanah di Cekungan Bandung telah mengalami penurunan sejak tahun 1990 yakni sebesar 1-2 m di pusat cekungan sedangkan di daerah miring sebesar 15 m. Gejala penurunan air tanah ini dikhawatirkan terus mengalami penurunan seiring dengan pertambahan jumlah sumur dalam (> 40 m) dari 96 sumur pada tahun 1970 hingga saat ini diperkirakan lebih dari 4700 sumur. Oleh karena itu, penelitian hubungan antara air tanah dan air permukaan, penentuan daerah imbuhan air tanah di Cekungan Bandung sangat penting dilakukan. Isotop alam stabil seperti ^2H dan ^{18}O ; dan isotop alam radioaktif ^{14}C dapat dimanfaatkan untuk keperluan tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan 24 contoh air tanah-dalam, 28 contoh air tanah-dangkal dan air sungai (Citarum, Cikapundung, Cikeruh, dan Citarik). Berdasarkan hasil hubungan antara $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$, sebagian besar air tanah-dangkal di sepanjang Sungai Citarum tidak berhubungan dengan air sungai akan tetapi ada tiga titik lokasi yang terindikasi percampuran yakni air tanah dekat Sungai Cikapundung, SP 9 (Desa Loteng Sumpersari) dan SP 8 (Desa Bojong Mas) yang berdekatan dengan Sungai Citarum. Hasil analisis isotop ^{14}C menunjukkan bahwa air tanah-dalam tidak berhubungan dengan air tanah-dangkal dan air sungai. Garis kontur umur sama menunjukkan bahwa pola dinamika air tanah-dalam di Cekungan Bandung berasal dari daerah perbukitan di sebelah utara dan selatan menuju ke arah barat laut sehingga di kedua daerah tersebut disarankan sebagai zona konservasi. Kecepatan pergerakan air tanah-dalam berkisar antara 0,25–3 m/tahun.

Kata kunci: isotop alam, air tanah, Cekungan Bandung**ABSTRACT**

APPLICATION OF NATURAL ISOTOPS (^{18}O , ^2H AND ^{14}C) TO STUDY THE DYNAMICS OF GROUND WATER IN CONNECTION WITH RIVER WATER IN BANDUNG AREA. Water table in the center of Bandung basin has been decreased around 1-2 m/year since 1990 whereas in the slope has been decreased at higher level of 15 m. Water level decreasing are going to increase continuously because of increasing number of deep wells (>40 m). In 1970, there were 96 deep wells which have been registered, but now number of deep wells is estimated of more than 4700. Therefore, a study of interrelationship between groundwater and surface water, and determination of recharge area for Bandung basin are crucial research to be conducted. Stable isotopes in nature such as ^2H and ^{18}O , and radioactive isotope of ^{14}C can give important information about groundwater dynamic pattern. In this research, 24 deep groundwater samples, 28 shallow groundwater and river water samples (Citarum, Cikapundung, Cikeruh and Citarik rivers) and shallow groundwater along the rivers were collected. Results from plotting $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ showed that most of shallow groundwater did not relate to river water except three locations, they are Loteng Sumpersari and Bojong Mas groundwater near to Citarum river, and groundwater near to Cikapundung river. Isotope ^{14}C analysis indicated that deep groundwater of Bandung basin did not show relationship either by shallow groundwater or river water. Its iso-age line contour determined that dynamic

pattern of deep groundwater in Bandung basin comes from northern and southern hills to direction of north-west area such that both areas are suggested as conservation zone. Rate of deep groundwater movement predicted from iso-age contour is around 0.25 to 3 m/year.

Keywords: natural isotopes, groundwater, Bandung Basin

PENDAHULUAN

Kota Bandung adalah ibukota provinsi Jawa Barat. Secara geografis, kota Bandung terletak pada $7^{\circ} 19' - 6^{\circ} 24'$ lintang selatan dan $106^{\circ} 51' - 107^{\circ} 51'$ bujur timur dengan luas wilayah 2.340,88 km² yang terbagi dalam 31 kecamatan. Kota ini terletak pada dataran tinggi dengan ketinggian mencapai 768 m dpl. Populasi penduduk di kota Bandung adalah 7.622.905 jiwa dan merupakan kota terpadat ke empat setelah Jakarta, Surabaya, dan Medan^[1].

Kota Bandung berada pada cekungan yang terbagi dalam 3 sub-cekungan yakni Bandung-Soreang, Lembang, dan Batujajar^[2]. Ada tujuh sungai yang mengalir di Cekungan Bandung dan yang terbesar adalah Sungai Citarum yang juga salah satu sungai terbesar di Pulau Jawa. Air tanah di Cekungan Bandung berasal dari tiga reservoir utama dengan total volume mencapai 6.147 juta m³ yang meliputi luas cekungan air tanah 1.730 km². Luasan ini dibatasi oleh patahan Lembang di sebelah utara, batuan tersier *impermeable* di sebelah barat dan penghalang air permukaan di sebelah selatan dan timur^[3]. Air tanah ini dimanfaatkan sebagai sumber utama air minum dan mendukung pertanian, industri, dan perikanan.

Sebagaimana kota besar lainnya, kota Bandung berkembang sangat cepat selama 25 terakhir ini. Hal ini terlihat dari semakin maraknya sektor perumahan, industri, perhotelan, perkantoran, dan lain-lain. Tentu kebutuhan akan sumber air bersih yang berasal dari air tanah semakin meningkat. Di sisi lain luasan tanah yang kedap air semakin bertambah sehingga terjadi penurunan luasan resapan air. Guna memenuhi kebutuhan air bersih, pada umumnya air tanah dieksploitasi dari sumber air tanah-dangkal dan air tanah-dalam dengan cara pemompaan. Terkadang kapasitas pengambilan air tanah tersebut tidak terkendali tanpa memperhitungkan kecepatan infiltrasinya. Air tanah dapat dengan mudah diperoleh, murah, dan berkualitas tinggi^[4]. Oleh karena air tanah diperlukan untuk berbagai tujuan maka pengelolaan air tanah dimasukkan dalam pengembangan sosial ekonomi suatu kota modern dan umumnya merupakan tahap awal dalam pengembangan kota^[4].

Eksplorasi air tanah yang berlebih pada akuifer Cekungan Bandung telah menimbulkan gejala penurunan muka air tanah hingga beberapa meter selama beberapa tahun belakangan ini. Menurut penelitian yang dilakukan Matahelumual (2004) pada tahun 2002, muka air tanah di kota Bandung telah mengalami penurunan 5 cm hingga 7,3 m per tahun dan batas air rata-rata berada 100 m di bawah permukaan tanah. Oleh karena itu, identifikasi daerah resapan dan arah pergerakan air tanah di kota Bandung sangat mendesak untuk dilakukan. Hal ini sangat penting untuk perencanaan pengelolaan sumber daya air yang berkesinambungan^[5].

Gejala penurunan muka air tanah karena pengambilan air tanah yang berlebih di kota Bandung dapat mengakibatkan efek yang beruntun yakni penurunan tekanan piezometri air tanah. Apabila ini terjadi maka akan ada penyusupan air tanah-dangkal (*shallow groundwater*) ataupun air permukaan (*surface water*) ke dalam akuifer air tanah-dalam (*deep groundwater*). Pada umumnya air tanah-dalam mempunyai kualitas air yang sangat baik untuk memenuhi kebutuhan air minum karena telah melalui berbagai tahap penyaringan dalam formasi tanah dan batuan. Di sisi lain, air tanah-dangkal apalagi air permukaan sangat rentan terhadap aktifitas di permukaan, misalnya tercemar oleh limbah pabrik atau rumah tangga, sehingga umumnya berkualitas lebih rendah untuk sumber air minum. Tentu penyusupan atau interaksi air permukaan ke akuifer air tanah-dalam sangat tidak dikehendaki.

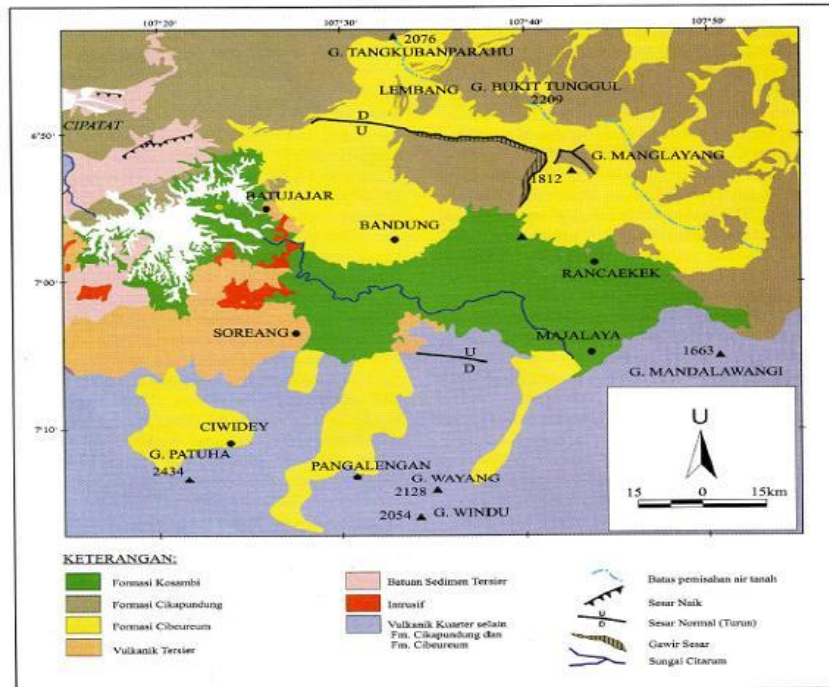
Proses interaksi antara air tanah-dalam, air tanah-dangkal dan air permukaan (misal: sungai) sangat rumit, dimana air sungai dapat mengisi ke badan air tanah atau sebaliknya air sungai memperoleh air dari air tanah di sepanjang alirannya. Perunut lingkungan (*environmental tracers*) menggunakan isotop alam berguna untuk mempelajari interaksi antara air tanah dan air permukaan. Isotop alam dalam senyawa air (H_2O) yang digunakan adalah oksigen-18 (^{18}O) dan deuterium (2H) yang keduanya bersifat stabil. Karbon-14 (^{14}C) bersifat radioaktif yang dihasilkan oleh alam dari reaksi antara sinar kosmis dan gas N_2 di atmosfer. Parameter isotop menyediakan data independen yang dapat berkolaborasi atau bahkan dapat membantah data konvensional, misalnya data kimia^[6,7]. Dalam rangka lebih memahami cekungan air tanah Bandung, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pergerakan air tanah, daerah resapan, dan interrelasi air tanah dengan air sungai yang bisa dilakukan dengan menggunakan isotop alam.

HIDROLOGI CEKUNGAN BANDUNG

Secara geologi, Cekungan Bandung berada di bagian utara barisan gunung berapi yang merupakan bagian wilayah Bogor. Cekungan ini dikelilingi oleh kompleks gunung berapi dimana bagian utara berbatasan dengan kompleks Tangkuban Perahu yang meliputi Gunung Burangrang 2076 m dpl (di atas permukaan laut), Gunung Tangkuban Perahu 2064 m dpl, Gunung Manglayang 1800 m dpl, Bukit Jarian 1282 m dpl. Di sebelah selatan, Cekungan Bandung berbatasan dengan kompleks Patuha Malabar yang meliputi Gunung Malang 1256 m dpl, Gunung Cakra 1807 m dpl, Gunung Malabar 2321 m dpl dan Tangsi Nangsi 1514 m dpl. Di sebelah timur, Cekungan Bandung berbatasan dengan Gunung Karenceng 1736 m dpl dan Gunung Mandalawangi 1676 m dpl, sedangkan di sebelah barat Cekungan Bandung meliputi Gunung Lagadar, Gunung Lalakon, dan Gunung Padakasih. Oleh karena itu, secara litologi Cekungan Bandung terbentuk dari hasil material gunung api kuarter dan hanya sebagian kecil yang terbentuk dari deposit danau masa lampau (*paleo lake*). Batuan/endapan gunung api menempati bagian atas cekungan sedangkan deposit danau menempati bagian dasar cekungan dengan ketebalan hingga 100 m. Elevasi Cekungan Bandung berkisar antara 700 m hingga 300 m dpl^[5]. Curah hujan rata-rata tahunan di Cekungan Bandung bervariasi dari 1000 mm di daerah pertengahan hingga tenggara kota Bandung, hingga 3500 mm di sebelah utara dan kurang dari 3000 mm di bagian selatan. Musim hujan terjadi dari bulan November hingga April. Suhu rata-rata adalah 22.6 °C dan nilai evapotranspirasi adalah 1060 mm/tahun^[3].

Bandung memiliki beberapa sungai yang bermuara di sungai utama yaitu Sungai Citarum dan melalui berbagai deposit yang berbeda dengan sifat hidrolik yang berbeda dari utara hingga selatan. Tiga macam deposit yang berbeda secara nyata ditemukan di Formasi Cibeurem, Formasi Cikapundung, dan Formasi Kosambi, seperti terlihat pada Gambar 1. Semua deposit tersebut terbentang pada dinding sungai (kanan dan kiri) dan dasar sungai, dimana karakteristik tanah adalah permeabilitas tinggi^[8]. Arah aliran air tanah adalah dari barisan gunung di sebelah utara dan selatan Sungai Citarum. Berdasarkan evaluasi isotop alam (^{18}O dan 2H) dalam air tanah, sumber utama resapan air tanah pada Cekungan Bandung terdapat di sebelah utara. Delimon mengklasifikasikan data isotop air tersebut ke dalam empat kelompok^[9]. Kelompok A dari kompleks Patuha Malabar di selatan Bandung mewakili air tanah-dalam dengan komposisi isotop paling ringan. Kelompok B mempunyai komposisi isotop agak berat yang diidentifikasi berasal dari lereng pegunungan di sebelah utara hingga ke patahan Lembang. Kelompok C dan D (berturut-turut dari tenggara dan timur) diidentifikasi sebagai aliran air tanah-dangkal yang berasal dari sistem resapan lokal. Perbedaan antara kedua kelompok ini disebabkan oleh jenis air hujan dan jenis vegetasi di sekitar daerah tersebut^[9].

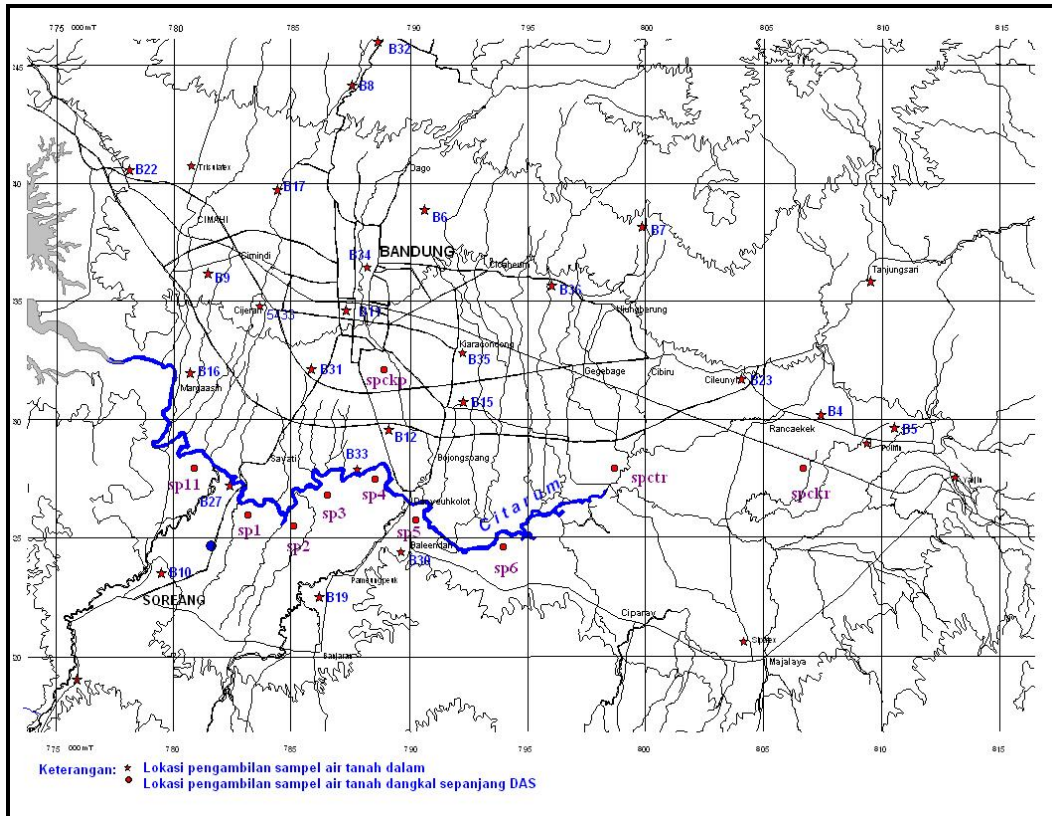
Pada tahun 1990 tinggi air tanah di pusat cekungan telah menurun 1-2 m di bawah permukaan tanah sedangkan di daerah miring, tinggi air tanah telah mengalami penurunan hingga 15 m di bawah permukaan. Pada tahun 1970 terdapat 96 sumur dalam yang terdaftar, 971 pada tahun 1990 dan pada tahun 1995 diestimasikan terdapat lebih dari 4700 sumur dalam. Pada awal tahun 1900 tinggi piezometri adalah antara 20 m hingga 25 m di atas permukaan kemudian pada saat ini tinggi piezometri telah mencapai 50 m di bawah permukaan. Kepala piezometri telah mengalami penurunan terus dengan kecepatan antara 2-4 m/tahun sehingga mengubah sistem arah aliran air tanah^[10].



Gambar 1. Geologi pada daerah tangkapan Cikapundung yang berhubungan dengan Cekungan Bandung^[8].

TATA KERJA

Pada penelitian ini wilayah yang diamati adalah kota Bandung dengan titik-titik pengambilan sampel tertera pada Gambar 2. Sebanyak 24 sampel air tanah-dalam, 28 sampel air tanah-dangkal dan air sungai diambil untuk diteliti. Isotop stabil $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ diukur relatif terhadap standar SMOW (*Standard Mean Ocean Water*) dalam satuan permil (‰) dengan menggunakan Spektrometer massa SIRA-9, VG-Isogas. Sampel air terlebih dulu disetimbangkan dengan gas CO_2 murni selama 24 jam sehingga terjadi pertukaran oksigen. Gas CO_2 hasil kesetimbangan dialirkan ke spektrometer massa untuk diukur nilai $\delta^{18}\text{O}$. Demikian halnya dengan gas H_2 , hasil reduksi sampel air dengan Zn dialirkan ke spektrometer massa untuk pengukuran nilai $\delta^2\text{H}$ ^[11].



Gambar 2. Peta lokasi pengambilan air tanah-dalam, air tanah-dangkal dan air sungai di Cekungan Bandung.

Analisis ^{14}C , sebanyak 60 L sampel air ditambahkan NaOH , $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, BaCl_2 , dan Praestol untuk mendapatkan endapan BaCO_3 . Penambahan HCl dalam kondisi vakum diperoleh gas CO_2 yang kemudian diabsorbsikan ke Carbosorb untuk diukur aktivitas ^{14}C dalam alat LSC (*Liquid Scintillation Counter*). Satuan yang digunakan untuk pengukuran aktivitas ^{14}C adalah PMC (*Persen Modern Carbon*) yakni aktivitas residu sampel ^{14}C setelah dihitung terhadap standar SRM 4990 C dari *National Bureau Standard USA*.

Umur air tanah dihitung dengan formula sebagai berikut^[11,12]:

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

Dimana:

t = umur (tahun)

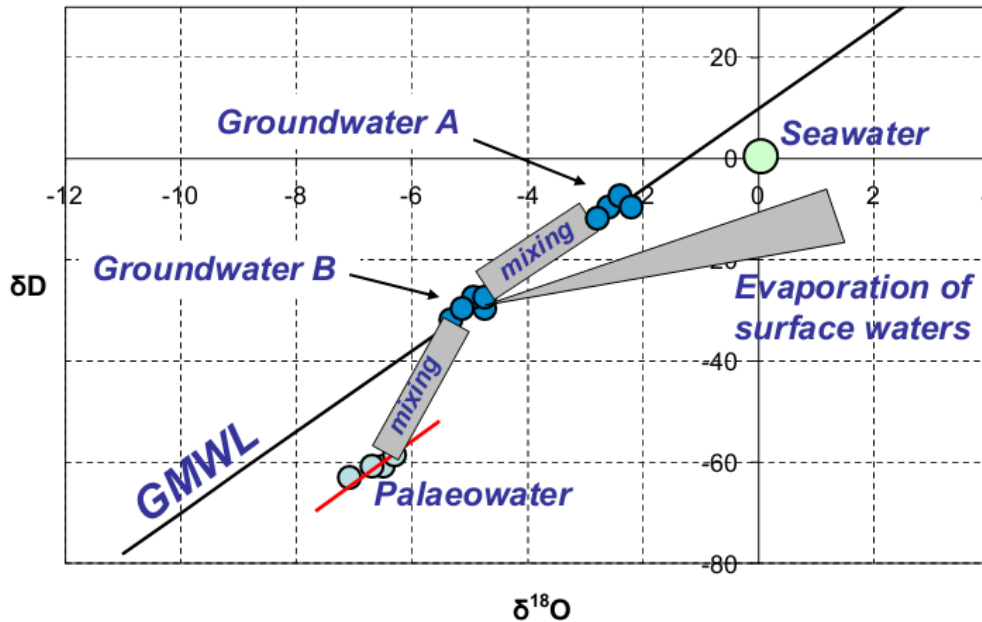
$T_{1/2}$ = waktu paro ^{14}C (5730 tahun)

A_0 = aktivitas awal

A_t = aktivitas pada waktu t tahun

Dari analisis ^{14}C , garis umur yang sama (*iso-age*) yang menggambarkan pola dinamika wilayah yang diteliti dapat dibuat.

Untuk analisis $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ dalam sistem air tanah, komposisi isotop air tanah dikontrol oleh proses meteorologi. Proses pertukaran isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ dapat diterangkan melalui diagram seperti tertera pada Gambar 3 dimana garis meteorik dapat berdeviasi ke arah *slope* yang lebih rendah tergantung pada kelembaban relatifnya. Beberapa lingkungan geologi yang ekstrem seperti reaksi antara air tanah dan matrik akuifer atau gas-gas di permukaan dapat mengubah arah garis $\delta^{18}\text{O}$ terhadap $\delta^2\text{H}$ ^[11].



Gambar 3. Proses pertukaran isotop yang mengubah komposisi air hujan^[11].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Interrelasi Air Tanah

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik air tanah di Cekungan Bandung dan interelasinya dengan air sungai. Sekitar 28 contoh air Sungai Citarum dan air tanah-dangkal di sepanjang Sungai Citarum dianalisis kandungan isotop ^{18}O dan ^2H sedangkan 24 contoh air tanah-dalam dianalisis isotop ^{14}C untuk penentuan umurnya. Data pengukuran fisik secara *insitu* dan nilai isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ air permukaan tertera pada Tabel 1 sedangkan data *insitu* dan aktivitas ^{14}C dan umur air tanah-dalam tertera pada Tabel 2.

Tabel 1. Data pengukuran fisik dan isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ pada air tanah-dangkal dan air Sungai Citarum di Cekungan Bandung

Kode	Lokasi	Longitude	Latitude	Dalam (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	Kond. $\mu\text{S/cm}$
CTM1	Kopo	107° 32' 23"	6° 43' 12"	River	-8.40	-53.2	362
SP1	Kopo	107° 33' 30"	6° 42' 57"	10	-8.95	-55.2	445
CTM2	Ds Bj Tanjung Katapang	107° 34' 20"	6° 42' 59"	River	-8.84	-57.3	384
SP2	Ds Bj Tanjung Katapang	107° 34' 30"	6° 42' 42"	8	-8.22	53.2	497
CTM3	Ds Rancamanyar Bl Endah	107° 35' 17"	6° 43' 30"	River	-8.54	-54.6	390
SP3	Ds Rancamanyar Bl Endah	107° 35' 18"	6° 43' 19"	7	-8.51	-55.2	389
CTM4	Ds Citepus	107° 36' 18"	6° 43' 54"	River	-8.69	-55.4	459
SP4	Ds Citepus	107° 36' 19"	6° 43' 41"	8	-6.49	-40.5	451
CTM5	M Toha	107° 37' 24"	6° 42' 55"	River	-7.82	-47.4	535
SP5	M Toha	107° 37' 10"	6° 42' 50"	7	-8.80	-56.4	1188
CTM6	Ds Sindangsari Bl Endah	107° 38' 15"	6° 41' 59"	River	-7.97	-51.2	511
SP6	Ds Sindangsari Bl Endah	107° 38' 13"	6° 42' 35"	6	-8.80	-56.4	682
CTM7	Ds Ciputat Bj Soang	107° 39' 04"	6° 42' 16"	River	-6.85	-38.4	447
SP7	Ds Ciputat Bj Soang	107° 39' 17"	6° 42' 12"	33	-8.57	-54.5	1423
CTM8	Ds Bj Mas Solokan jr Patrol	107° 40' 02"	6° 42' 57"	River	-8.81	-56.5	357
SP8	Ds Bj Mas Solokan jr Patrol	107° 40' 03"	6° 42' 43"	4	-6.34	-38.6	575
CTM9	Ds Loteng Sumbersari	107° 41' 14"	6° 43' 20"	River	-8.47	-53.8	486
SP9	Ds Loteng Sumbersari	107° 41' 20"	6° 43' 07"	3	-7.26	-44.1	573
CTM10	Ds Cikawao Pacet	107° 47' 03"	6° 42' 04"	River	-10.09	-62.4	170
SP10	Ds Cikawao Pacet	107° 47' 06"	6° 41' 55"	6	-8.53	-54.2	259
CTM11	Ds Gelegong Ciharuman	107° 32' 31"	6° 44' 09"	River	-6.54	-38.3	338
SP11	Ds Gelegong Ciharuman	107° 32' 17"	6° 43' 51"	36	-5.84	-37.1	615
CKR1	Cikeruh Jatinangor	107° 46' 00"	6° 43' 51"	River	-7.03	-42.3	164
SPckr1	Cikeruh Jatinangor	107° 45' 49"	6° 43' 53"	2	-8.69	-55.5	438
CTR	Citarik Cicalengka	107° 41' 49"	6° 43' 47"	River	-9.44	-58.4	81
SPctr	Citarik Cicalengka	107° 41' 41"	6° 43' 53"	4	-9.38	-59.0	192
CKP	Viaduct Cikapundung	107° 36' 45"	6° 45' 56"	River	-7.62	-46.9	263
SPckp	Viaduct Cikapundung	107° 36' 17"	6° 45' 50"	7	-7.31	-44.5	396

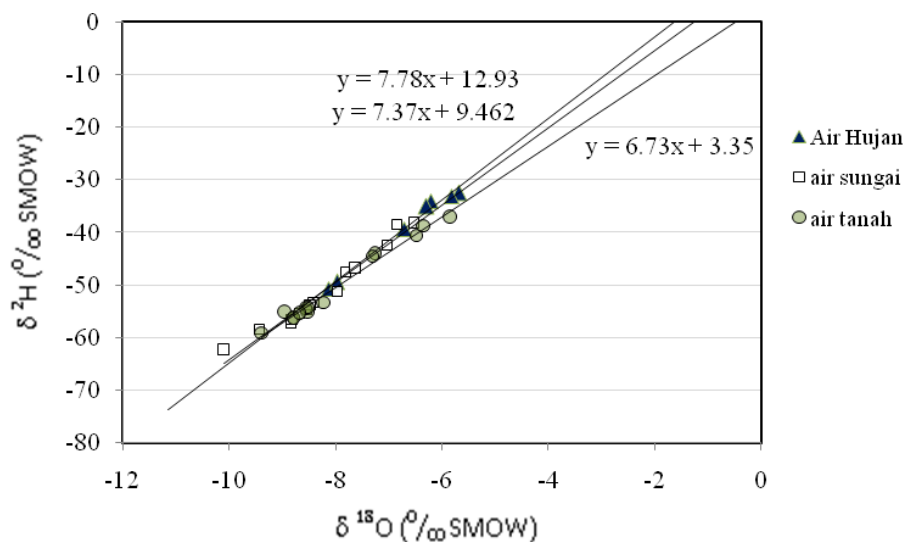
Tabel 2. Pengukuran *insitu* dan umur air tanah-dalam di Cekungan Bandung

No.	Kode	Lokasi	Longitude	Latitude	Dalam (m)	Kond. $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH	pMC	Umur (years)
1	B4	PT. Kahatex Cicalengka	107° 46' 16"	6° 44' 56"	250	583	7.04	80.82	1291
2	B5	Coca Cola Rancaekek	107° 47' 55"	6° 44' 41"	150	1972	7.00	64.74	3125
3	B6	STIE Widyatama Cikutra	107° 37' 27"	6° 48' 60"	150	364	8.08	86.24	754
4	B7	MA Sekehan Panjang Ujung Berung	107° 42' 18"	6° 48' 39"	S	217	7.70	90.94	315
5	B8	Hotel Gumalang Sari Jl.Setiabudi	107° 35' 53"	6° 51' 27"	120	321	7.90	86.07	770
6	B9	PT.Tri Darmatex Lw Gajah	107° 32' 37"	6° 47' 42"	170	479	8.05	10.22	18388
7	B10	Masjid Al Fath Soreang	107° 31' 31"	6° 41' 46"	150	399	7.64	39.35	7241
8	B11	Bank Buana Jl.Sudirman	107° 35' 45"	6° 46' 59"	120	428	7.82	49.98	5263
9	B12	PT.BSTM Jl.Moh.Toha	107° 36' 37"	6° 44' 39"	150	601	7.55	20.58	12600
10	B15	PT.LUCAS Ciwastra	107° 38' 18"	6° 45' 11"	120	479	8.09	53.91	4639
11	B17	PT.Trijasa Jl.Kol.Supadio	107° 34' 13"	6° 49' 23"	150	424	8.28	59.67	3798
12	B19	PT Prodia Banjaran	107° 35' 21"	6° 41' 16"	>40	n.a.	n.a.	81.45	1226
13	B23	Rumah Makan Ponyo	107° 44' 31"	6° 45' 37"	90	416	6.50	66.56	2898
14	B22	PT. WIKA Baros Cimahi	107° 30' 55"	6° 49' 45"	>40	n.a.	n.a.	<0	>35000
15	B27	PT. Waitex	107° 33' 05"	6° 43' 30"	180	570	7.00	26.09	10639
16	B28	RM Cihaliwung Ciwidey	107° 29' 40"	6° 39' 40"	S	170	6.0	>100	Modern
17	B29	Grand Hotel Lembang	107° 35' 57"	6° 52' 17"	120	333	6.5	>100	Modern
18	B30	PT. Delimatex Dayeuh Kolot	107° 36' 53"	6° 42' 12"	>40	412	7.32	69.97	2485
19	B31	Kopo Plaza	107° 34' 56"	6° 45' 49"	>40	n.a.	n.a.	50.10	5248
20	B32	Erdorado Lembang	107° 36' 26"	6° 52' 16"	>40	n.a.	n.a.	>100	Modern
21	B33	PT. Inti Gunawantex	107° 35' 56"	6° 43' 49"	150	n.a.	n.a.	48.95	5438
22	B34	Hotel Grand Hyaat	107° 36' 10"	6° 47' 49"	>40	n.a.	n.a.	28.18	10000
23	B35	PT. Pindad	107° 38' 16"	6° 46' 10"	>40	n.a.	n.a.	61.50	3549
24	B36	PT. BTN Cicaheum	107° 40' 17"	6° 47' 30"	>40	n.a.	n.a.	60.21	3726

n.a = tidak dianalisis

Hasil $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ dinyatakan dalam satuan per mil ($^0/_{00}$) yang menunjukkan rasio kandungan isotop ^{18}O terhadap ^{16}O untuk $\delta^{18}\text{O}$ sedangkan $\delta^2\text{H}$ merupakan rasio ^2H terhadap ^1H . Nilai keduanya adalah relatif terhadap standar air laut rata-rata (SMOW-Standard Mean Ocean Water). Hasil dari analisis $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ untuk air tanah-dangkal dan air Sungai Citarum diperlihatkan pada Gambar 4. Garis air meteorik lokal (LMWL-Local Meteoric Water Line) yang digunakan dalam diagram ini menurut penelitian yang telah dilakukan oleh

Wandowo yakni $\delta^2\text{H} = 7,8 \delta^{18}\text{O} + 13$ ^[13]. Tampak pada gambar tersebut semua titik air tanah-dangkal tersebar pada sepanjang garis $\delta^2\text{H} = 6,73 \delta^{18}\text{O} + 3,4$. Slope pada garis ini telah bergeser ke arah lebih kecil dari garis awal LMWL. Karakteristik air tanah-dangkal ini berasal dari air permukaan yang telah terevaporasi yang meresap sebagai air tanah-dangkal atau adanya pencampuran air dalam sistem (antara air tanah-dangkal dan air permukaan). Hal sebaliknya terjadi pada air sungai dimana distribusi titik-titiknya terletak pada kisaran air meteorik lokal atau dekat garis sumber air hujan yakni $\delta^2\text{H} = 7,37 \delta^{18}\text{O} + 9,5$ yang menunjukkan bahwa air sungai dominan berasal dari air hujan.



Gambar 4. Hubungan antara $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ pada air tanah-dangkal dan air sungai di Bandung.

Pada Gambar 4 terdapat tiga titik air tanah-dangkal yang berdekatan dengan garis air sungai, yang diindikasikan adanya kontribusi dari air sungai. Air tanah-dangkal SPCKp diindikasikan telah mengalami proses pencampuran dengan air Sungai Cikapundung. Air tanah-dangkal di lokasi Loteng Sumber Sari (SP9) dan Bojong Mas (SP8) yang keduanya terletak di Bandung Timur, juga diindikasikan adanya pencampuran dengan air Sungai Citarum didekatnya. Jarak antara air tanah-dangkal dan air sungai ini kira-kira 10 hingga 50 m. Hubungan hidrodinamika antara air tanah-dangkal dan air Sungai Cikapundung telah diteliti oleh Puradimaja dan Lubis^[8]. Ada tiga jenis hubungan tersebut: jenis 1 yaitu di hulu sungai tidak ada interaksi antara air sungai dengan akuifer, jenis 2 yaitu di bagian tengah sungai diindikasikan bahwa air tanah mengisi air sungai, jenis 3 yaitu di bagian hilir diindikasikan bahwa air sungai mengisi air tanah. Dalam penelitian tersebut juga disimpulkan bahwa air tanah-dangkal dan air sungai harus dikelola secara integral karena badan air permukaan adalah bagian integral dari sistem aliran air tanah.

Kualitas Air Tanah

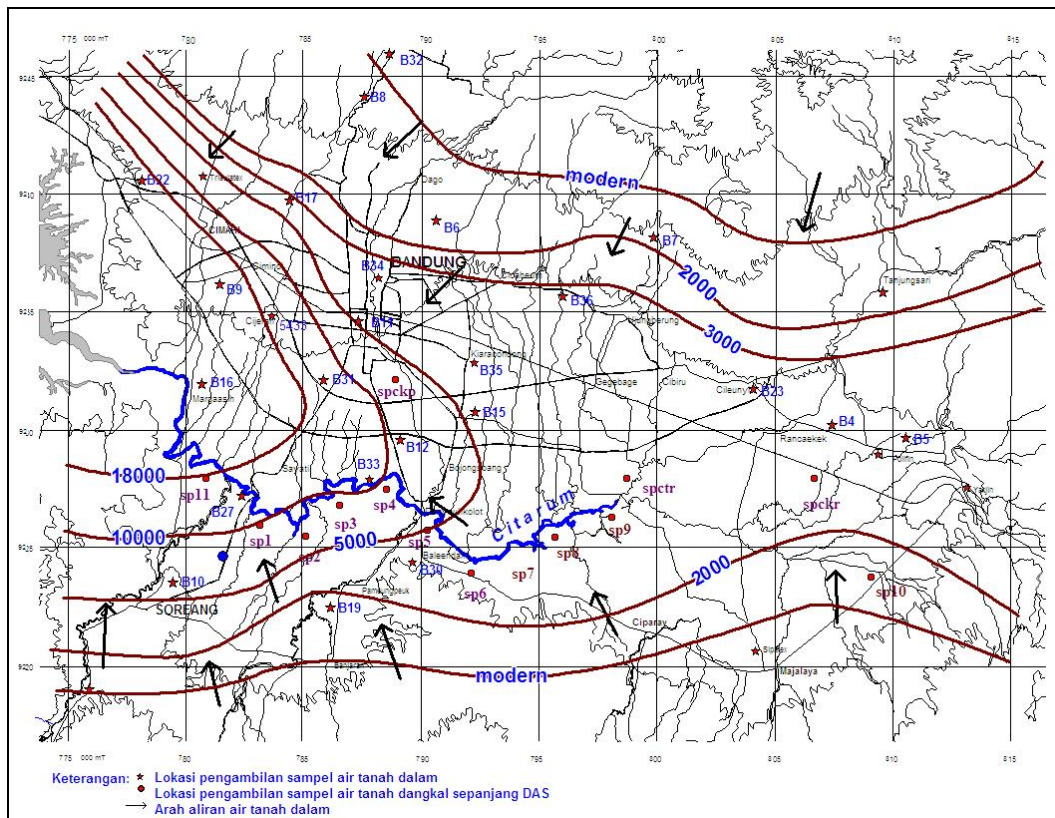
Konduktivitas listrik (EC–*Electrical Conductivity*) merupakan ukuran kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik, parameter ini berhubungan erat dengan total padatan terlarut (TDS–*Total Dissolved Solid*). Umumnya EC ditulis dengan satuan $\mu\text{S}/\text{cm}$, konduktivitas akan bertambah apabila total padatan terlarut dalam air juga bertambah. Kedua uji ini digunakan untuk memantau kualitas air tanah yang berkaitan dengan kandungan mineral anorganik dalam air. Nilai EC sebanding dengan nilai TDS dengan hubungan bahwa

TDS= 0,64 EC seperti yang telah dibuktikan dari penelitian kualitas air tanah di Vedaraniyam Town, Tamil Nadu - India^[14].

Pada penelitian air tanah di Cekungan Bandung, umumnya nilai konduktivitas air tanah-dangkal dan air Sungai Citarum berada pada kisaran nilai konduktivitas air segar, kecuali lokasi Ciputat Bj. Soang (SP7). Air tanah-dangkal di lokasi ini mempunyai konduktivitas 1423 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabel 1) yang dikelompokkan sebagai tipe air payau. Air tanah-dalam (>40 m) di lokasi Coca Cola Rancaekek juga menunjukkan tipe air payau dengan konduktivitas 1972 $\mu\text{S}/\text{cm}$, seperti terlihat pada Tabel 2.

Daerah Imbuh Air Tanah

Analisis ^{14}C pada air tanah-dalam yang bervariasi pada kedalaman 40–250 m digunakan untuk menjelaskan pola pergerakan aliran air tanah di Cekungan Bandung dan sekitarnya (Tabel 2). Berdasarkan kontur garis umur yang sama (*iso-age line contour*) yang menandakan pola aliran air tanah maka diketahui bahwa arah aliran air tanah di Cekungan Bandung adalah dari perbukitan di utara, timur, dan selatan Bandung dan secara gradual bergerak sepanjang Sungai Citarum ke barat. Dengan demikian, dapat diidentifikasi bahwa bagian utara, timur, dan selatan merupakan daerah imbuh air tanah untuk Cekungan Bandung.



Gambar 5. Garis kontur *iso-age* air tanah di cekungan Bandung berdasarkan analisis isotop ^{14}C .

Umur air tanah-dalam yang paling tua adalah di Leuwigajah (PT. Wika Baros Cimahi) yakni lebih dari 35000 tahun. Seperti diamati dari garis kontur *iso-age*, pola dinamika air tanah cenderung bergerak dari utara dan selatan menuju ke arah barat laut dengan kecepatan 0,25 – 3 m/tahun seperti terlihat pada Gambar 5. Nilai ini diestimasi dari garis kontur *iso-age* yang diplotkan pada pengamatan perubahan kepala piezometri air tanah dimana kedalaman air tanah menurun di daerah barat laut (sekitar Leuwigajah dan Cimahi). Daerah ini merupakan kawasan industri yang mengeksploitasi sumber daya air tanah-dalam dengan kapasitas yang besar. Pemantauan penurunan tanah (*land subsidence*) yang terjadi di Cekungan Bandung disebabkan oleh eksploitasi terhadap air tanah-dalam yang berlebihan^[15]. Di sisi lain, akuifer air tanah-dalam tidak secara langsung diisi oleh akuifer air tanah-dangkal kecuali untuk daerah imbuhan yang terlihat berumur lebih muda atau mempunyai garis *iso-age* modern. Apabila diperbandingkan maka penurunan tanah di Cekungan Bandung sesuai dengan pola dinamika pergerakan air tanah dengan menggunakan garis *iso-age*.

Setelah diketahui bahwa bagian utara, selatan, dan timur Cekungan Bandung merupakan daerah imbuhan air tanah-dalam maka sangatlah penting bagi pemerintah kota Bandung untuk mengambil keputusan agar daerah ini dijadikan sebagai zona konservasi. Jika dirasakan mendesak, maka langkah injeksi air tanah ke akuifer dasar perlu dilakukan. Kedua langkah ini adalah penting untuk memecahkan masalah penurunan debit air tanah-dalam sehingga kenaikan kebutuhan air tanah dapat terpenuhi dan untuk mencegah penurunan tanah lebih lanjut^[16].

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dengan isotop alam ^{18}O dan ^2H ini maka dapat disimpulkan bahwa sebagian besar air tanah-dangkal di sepanjang Sungai Citarum tidak berhubungan dengan air sungai dan diidentifikasi bahwa air tanah-dangkal berasal dari perbukitan di sebelah utara dan selatan Cekungan Bandung. Pengecualian terdapat pada tiga lokasi yang diidentifikasi adanya pencampuran dengan air sungai yakni SP Ckp yang berdekatan dengan Sungai Cikapundung, SP 9 (Desa Loteng Sumbersari), dan SP 8 (Desa Bojong Mas) yang berdekatan dengan Sungai Citarum.

Garis kontur *iso-age* yang diperoleh dari analisis isotop ^{14}C bahwa air tanah-dalam (> 40 m) tidak berhubungan dengan air tanah-dangkal kecuali di daerah imbuhan sebelah utara (Setiabudi-Lembang, Ujung Berung dan sekitarnya) dan perbukitan di sebelah selatan (Rancaekek, Baleendah dan sekitarnya). Daerah ini mempunyai umur air tanah lebih muda (modern) sehingga diidentifikasi sebagai daerah imbuhan.

Garis kontur *iso-age* juga menunjukkan bahwa air tanah-dalam di Cekungan Bandung berasal dari perbukitan di sebelah utara dan selatan dengan arah aliran menuju ke sebelah barat laut. Kecenderungan ini disebabkan oleh eksploitasi air tanah yang berlebihan (*over-exploitation*) oleh industri di Leuwigajah dan Cimahi yang berada di bagian barat kota Bandung.

Hasil penelitian ini juga dapat digunakan oleh pihak pembuat keputusan untuk segera melakukan konservasi di sekitar Lembang, Ujung Berung, Rancaekek, dan Baleendah untuk mempertahankan muka air tanah dan mencegah penurunan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

1. id.wikipedia.org/ wiki, Daftar Kota menurut Jumlah Penduduk, 17 Mei 2013
2. DJUMANA, "Cekungan Bandung Krisis Air", Harian Umum Pikiran Rakyat, Bandung, 2004.

3. WANGSAATMAJA, S., SUTADIAN, A. D., & PRASETIADI, M. A.N, "Groundwater Resources Management in Bandung", Part III Sustainable Groundwater Management in Asian Cities: Summary of case studies, 2005.
<http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/264/attach/part3.pdf>
4. YATSUKA, K., & TESUO, K., "Groundwater Management Policies in Asean Mega-Cities", Library for Sustainable Urban Regeneration, 2(IV), 225-244, 2008.
http://dx.doi.org/10.1007/978-4-431-78399-2_12
5. MATAHELUMUAL, B. C., "Pemantauan Kondisi dan Lingkungan Air Tanah di Cekungan Air Tanah Bandung-Soreang Jawa Barat", Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan Bandung, 2004. (Interim Report No.01/LAP/PIKPAT/2004).
6. BASKARAN, S., RANSLEY, T., BRODIE, R. S., & BAKER, P., "Investigating Groundwater-River Interactions using Environmental Tracers", Australian Journal of Earth Sciences, 56, 13-19, 2009. <http://dx.doi.org/10.1080/08120090802541887>
7. MA, J. Z., DING, Z., GATES, J. B., & SU, Y., "Chloride and the Environmental Isotopes as the Indicators of Groundwater Recharge in the Gobi Desert, Northwest China", Journal of Environmental Geology, 55(7), 1407-1419, 2007.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00254-007-1091-1>
8. PURADIMAJA, D. J., & LUBIS, R. F., "Hydrodynamic Relationships between Groundwater and River Water: Cikapundung River Stream, West Java, Indonesia", IAEG2006 paper no. 488, 2006.
9. DELIMON, R. M., "Structural Geology Controls on Groundwater Flow: Lembang Fault Case Study, West Java, Indonesia", Hydrogeology Journal, 17(4), 1011-1023, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-009-0453-z>
10. FILDEBRANDT, S., PAUL, P., PETER, D., & NOTOATMODJO P., "Recharge Enhancement using Single or Dual Well Systems For Improved Groundwater Management in the Bandung Basin, Indonesia", Adelaide: Technical Report, CSIRO Land and Water, 2003.
11. CLARK, I. D., & FRITZ, P., "Environmental Isotopes in Hydrogeology", Lewis Publishers, New York, 1997.
12. GUPTA, SUSHIL, K., & POLACH, H., "Radiocarbon Dating Practice at Australian National University", Canberra: Radiocarbon Laboratory, Research School of Pacific Studies, ANU, 1985.
13. WANDOWO, A., dan ZAINAL, A. D., "Daerah Resapan Air Tanah Cekungan Jakarta", Pertemuan Ilmiah APISORA, BATAN, Jakarta, 2002.
14. RAMKUMAR, T., VENKATRAMANAN, S., MARY, I. A., TAMILSELVI, M., & RAMESH, G., "Hydrogeochemical Quality of Goundwater in Vedaraniyam Town, Tamil Nadu, India", Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 2(1), 44-28, 2010.
15. ABIDIN, H. Z., ANDREAS, H., GAMAL M., & DARMAWAN, D., "Land Subsidence Characteristics of Bandung Basin (Indonesia) between 2000 and 2005 as Estimated from GPS Surveys", Shaping the Change XXIII FIG Congress, Munich, Germany, 2006.
16. WIRAKUSUMAH, A. D., & DANARYANTO, H., "Groundwater Management in Indonesia Case Study: Groundwater Conservation in Jakarta, Bandung and Semarang", 41st Coordinating Committee For Geoscience Programmes in East and Southeast Asia (CCOP), Tsukuba, Japan, 2004.