

STUDI AIR TANAH DI DAERAH BANDUNG
DAN SEKITARNYA DENGAN METODA ISOTOP
LINGKUNGAN DAN HIDROKIMIA

Simon Manurung*, Zaenal Abidin*,
Djiono*, Tommy Hutabarat* dan Neneng.L*

STUDI AIR TANAH DI DAERAH BANDUNG DAN SEKITARNYA
DENGAN METODA ISOTOP LINGKUNGAN DAN HIDROKIMIA

Simon Manurung*, Indrojono*, Zaenal Abidin*, Djiono*,
Tommy Hutabarat* dan Neneng.L*

ABSTRAK

STUDI AIR TANAH DI DAERAH BANDUNG DAN SEKITARNYA DENGAN METODA ISOTOP LINGKUNGAN DAN HIDROKIMIA. Hasil studi air tanah di daerah Bandung dan sekitarnya menunjukkan adanya daerah resapan di sekitar lereng Gunung Tangkuban Perahu, pada ketinggian lebih kurang 1200 m. Berdasarkan hasil analisis komposisi isotop alam oksigen-18 deuterium dan tritium dari sampel air dan dibedakan adanya dua zone akifer di daerah Bandung. Variasi dan distribusi isotop lingkungan menunjukkan bahwa sebagian besar air tanah telah bercampur dengan air permukaan.

ABSTRACT

GROUNDWATER STUDY IN BANDUNG AREA AND ITS SURROUNDING USING ENVIRONMENTAL ISOTOPES AND HYDROCHEMICAL. Results of groundwater study in the Bandung area and its surrounding revealed the existence of a recharge area in the slope of Tangkuban Perahu mountain at the altitude of around 1200 meters above sea level. Two aquifer zones are differentiated on the basis of the isotopic composition analysis for oxygen-18, deuterium and tritium of water samples. Variation and distribution of environmental isotopes indicate the most part of the groundwater has been mixing-up with surface water.

* Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Batan

PENDAHULUAN

Penggunaan isotop alam atau yang juga lazim disebut isotop lingkungan (environmental isotopes) dalam penelitian air tanah telah terbukti berhasil memecahkan berbagai masalah hidrologi, antara lain daerah asal air tanah tersebut yang disebut juga sebagai daerah resapan (recharge area), arah dan kecepatan gerakannya, potensi serta hubungan berbagai zona akifer yang ada di suatu daerah. Pemecahan masalah ini penting mengingat air adalah salah satu kebutuhan dasar manusia, sehingga penanganan yang baik terhadap sumber daya alam ini perlu mendapat perhatian yang sungguh.

Pertambahan jumlah penduduk kota yang cepat dan disertai pula dengan perkembangan industrinya yang pesat, mengakibatkan permintaan kebutuhan akan air terus meningkat, sehingga cadangan air terasa semakin terbatas. Masalah seperti ini telah dihadapi beberapa kota besar di Indonesia misalnya Jakarta, Bandung, Semarang, Surabaya dan Medan. Masalah lain yang sering muncul adalah akibat eksploitasi air tanah yang berlebihan, yang melampaui kapasitas masukan (input) serta pemakaian air yang tidak terkontrol dapat mengakibatkan terjadinya longsoran bawah permukaan (land subsidence) seperti yang pernah terjadi di Bangkok (Jelgersma, 1983).

Oleh karena itu, penelitian mengenai asal mula air tanah (groundwater origin), daerah resapan, penyebaran serta potensi air tanah sangat penting dilakukan untuk mendapatkan informasi yang baik agar mempermudah perencanaan, pemakaian, pengembangan dan pengawasan terhadap air tanah sebagai sumberdaya alam yang terasa semakin terbatas.

Penggunaan isotop alam di daerah penelitian ini, baik isotop stabil oksigen-18 dan deuterium maupun isotop radioaktif tritium akan sangat berguna untuk memberikan kontribusi memecahkan masalah-masalah tersebut diatas. Kelimpahan dan variasi komposisi isotop berbagai jenis sampel air (sumur bor, mata air, air permukaan) dipelajari untuk mendapatkan hubungan satu sama lain. Dengan demikian, langkah-langkah yang tepat untuk mengatasi masalah air seperti yang dihadapi kota Bandung yaitu terjadinya penurunan permukaan air tanah pada tingkat yang tidak diharapkan dapat dilakukan secara terpadu oleh berbagai instansi terkait.

Analisis hidrokimia juga dilakukan untuk mendukung hasil analisis isotop alam. Diharapkan hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh instansi-instansi terkait dalam kerangka pelaksanaan suatu manajemen sumber daya air yang komprehensif.

BAHAN DAN METODA

Penelitian meliputi pekerjaan lapangan dan laboratorium. Sampel air diambil dari sumur bor milik Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan, Departemen Pertambangan & Energi dan Perusahaan Daerah Air Minum Bandung. Selain sampel air dari sumur bor, diambil juga sampel dari mata air (spring) dan air permukaan. Kandungan isotop oksigen-18 dan deuterium berbagai jenis air tersebut dianalisis dengan Spektrometer Masa jenis SIRA-9 (Stable Isotope Ratio Analysis) PAIR-BATAN dan besarnya dinyatakan dalam satuan δ ($^{\circ}/_{\text{oo}}$) (delta per mil) dengan rumus :

$$\delta \left(\text{‰} \right) = \frac{R_s - R_{\text{ref}}}{R_{\text{ref}}} \times 1000$$

R_s = perbandingan relatif $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ atau D/H sampel air.

R_{ref} = perbandingan relatif $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ atau D/H suatu standar.

Dalam hal ini, standar yang digunakan adalah SMOW (Standard Mean Ocean Water), yaitu suatu standar air laut yang komposisi isotopnya mendekati komposisi rata-rata air laut. Menurut definisi, SMOW mempunyai δD dan $\delta^{18}\text{O} = 0 \text{ ‰}$, artinya komposisi isotop air laut dianggap relatif homogen. Untuk tujuan praktis, IAEA (International Atomic Energy Agency) mendistribusikan sampel air keberbagai negara, disebut V-SMOW (Vienna SMOW) yang praktis mempunyai komposisi isotop sama dengan SMOW dan berguna untuk tujuan interkalibrasi pengukuran. Di dalam penelitian ini digunakan V-SMOW tersebut. Dengan membandingkan harga perbandingan relatif (relative ratio) dari $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dan D/H serta hubungan kedua harga perbandingan relatif itu ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ versus D/H), maka berbagai parameter yang menunjukkan karakteristik dan interaksi berbagai jenis air, misalnya antara air permukaan dan air tanah dapat diungkapkan.

Selain pengukuran kandungan oksigen-18 dan deuterium, juga dilakukan pengukuran kandungan tritium yang merupakan perunut (tracer) radioaktif yang ideal dalam studi hidrologi. Satuan yang dipakai untuk mengukur tingkat konsentrasi isotop tritium alam adalah tritium unit (TU). Konsentrasi tritium dalam air tanah digunakan sebagai petunjuk untuk menentukan proses pengisian kembali (water recharge), penentuan umur, arah dan kecepatan aliran air tanah dan sebagainya. Penentuan umur air tanah

dilakukan dengan menggunakan formula peluruhan radioaktif :

$$\frac{dc}{dt} = e^{-\lambda t}$$

λ = konstanta peluruhan

t = umur air tanah

Melalui integrasi formula tersebut, maka umur air tanah (t) dapat dihitung yaitu $t = 1/\lambda \cdot \ln C_0/C_t$. Penentuan umur air tanah penting untuk mengetahui kemungkinan terjadinya pencampuran antara air permukaan dan air tanah, asal mula serta pola penyebarannya.

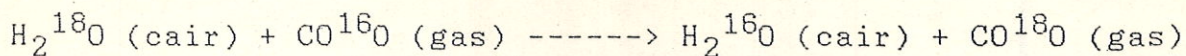
Analisis hidrokimia sampel air meliputi ion-ion Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (Kation), HCO_3^- , Cl^- dan SO_4^{2-} (Anion). Analisa kation dilakukan dengan spektrometer serapan atom (AAS), Cl^- dan SO_4^{2-} dengan spektrometer UV-Visible dan HCO_3^- dengan volumetri. Hasil analisis hidrokimia direpresentasikan dalam bentuk diagram Stiff. Interpretasi diagram ini memberikan informasi tentang karakteristik berbagai jenis air yang merupakan hasil proses interaksi dan pertukaran ion-ion dalam proses gerakan air dari suatu tempat ke tempat lain.

TATA KERJA

A. PENGUKURAN OKSIGEN-18

Untuk keperluan analisis oksigen-18, sampel air sebanyak 2 ml dimasukkan ke dalam unit Isoprep-18 Mass Spectrometer (MS) SIRA-9 dengan kapasitas 24 sampel. Gas referensi diatur pada alat MS, dan melalui program komputer diatur pemasukan gas CO_2 ke dalam botol sampel selama 2 menit. Kemudian diikuti dengan pengocokan selama 8 jam agar terjadi reaksi kesetimbangan dan pertukaran isotop antara gas CO_2 dan sampel menurut reaksi

berikut :



Setelah terjadi kesetimbangan, secara otomatis gas CO_2 masuk ke alat MS dan mengukur perbandingan relatif $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ secara otomatis pula.

B. PENGUKURAN DEUTERIUM

Sebanyak 0,25 gram Zn aktif dimasukkan ke dalam tabung reaksi khusus yang dilengkapi penutup teflon kedap udara (tabung reaksi diusahakan dalam keadaan vakum). Selanjutnya, sebanyak 10 ul air diinjeksikan ke dalam tabung reaksi tersebut, kemudian divakumkan dengan terlebih dahulu dibekukan dengan nitrogen cair sampai tekanan 10^{-2} mBar. Tabung reaksi kemudian dimasukkan ke dalam blok pemanas pada temperatur 450°C , sehingga terjadi reaksi sebagai berikut :



Selanjutnya, tabung reaksi dihubungkan dengan alat MS, dan melalui program komputer dilakukan pengukuran perbandingan relatif D/H pada gas secara otomatis.

C. PENGUKURAN TRITIUM

Pengukuran kandungan tritium alam memerlukan proses pengkayaan terlebih dahulu karena jumlahnya sangat sedikit dalam sampel air. Proses pengkayaan (enrichment) dilakukan dengan cara elektrolisis hingga mencapai 30 kali. Sampel air yang telah diperkaya dimasukkan ke dalam labu yang kemudian dialiri dengan gas CO_2 untuk mengikat NaOH nya (kira-kira 20 menit). Sampel kemudian didestilasi untuk memisahkan NaOH dan Na_2CO_3 , dan hanya

air yang dibutuhkan. Setelah selesai destilasi, sampel harus ditutup untuk mencegah kontaminasi. Sampel yang telah didestilasi diambil sebanyak 10 ml dan kemudian ditambahkan 11 ml instagel. Sampel selanjutnya siap untuk dicacah dengan Pencacah Sintilasi Cair. Hasil cacahan dalam satuan cps (count per second) dapat dikonversi ke dalam satuan TU untuk mendapat gambaran mengenai umur air tanah.

D. ANALISIS HIDROKIMIA

Analisis hidrokimia bertujuan untuk membantu mengungkapkan asal-usul air. Ion-ion yang dianalisis adalah Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- dan HCO_3^- .

Kandungan hidrokimia setiap lapisan akifer mempunyai ciri tertentu tergantung pada jenis batuan yang dilalui air yang mengandung ion-ion itu dan proses kimia serta pertukaran ion yang terjadi. Kandungan ion-ion tersebut dinyatakan dalam ppm (part per million, atau mg/l) atau dalam satuan epm (equivalent per million) atau satuan grek/l. Untuk mempermudah interpretasi data, hasil analisis ion-ion diplot ke dalam suatu diagram yaitu diagram Stiff dan diagram Piper Trilinier (Gb.2,3).

Pada diagram Piper Trilinier, semua kelimpahan unsur-unsur kecil dijumlahkan dengan tiga unsur utama yang masing-masing digabungkan dengan sifat kimianya. Air dalam diagram ini memuat 3 unsur utama kation dan 3 unsur utama anion. Konsentrasi unsur-unsur terlarut dihitung dalam persen equivalent. Diagram ini menggambarkan gabungan 3 unsur yang berbeda yaitu 2 bidang berbentuk segitiga terletak di kiri bawah dan kanan bawah, masing-masing merupakan kelompok kation dan anion. Bidang intan

dibagi atas 4 sub daerah :

- Sub daerah 1 ialah daerah $Mg^{2+} - Ca^{2+} - HCO_3^-$
- Sub daerah 2 ialah daerah $Na^+ - K^+ - CO_3$
- Sub daerah 3 ialah daerah $Na^+ - K^+ - Cl^- - SO_4^{=}$
- Sub daerah 4 ialah daerah $Mg^{2+} - Ca^{2+} - Cl^- - SO_4^{=}$

Dengan mempelajari pola penyebaran kation-kation pada diagram ini, berbagai jenis air dapat dikelompokkan.

Diagram Stiff menggambarkan penyebaran kation-kation, masing-masing diplot di sebelah kiri dan kanan suatu garis vertikal melalui titik nol. Satuan dinyatakan dalam epm. Pola diagram membantu interpretasi jenis-jenis air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Oksigen-18 dan Deuterium

Sebanyak 52 sampel air (Gb. 1) yang diambil dari sumur dalam/sumur bor dengan berbagai kedalaman, sumur dangkal dan mata air (spring) telah dianalisis komposisi isotopnya (oksigen-18, deuterium dan tritium-Tabel 1). Nilai O^{18} versus D diplot untuk memperlihatkan pola penyebarannya serta kedudukannya terhadap garis meteorik global dan garis meteorik lokal (Gb. 4). Pada gambar 4 terlihat jelas, sebagian besar sampel terpolakan pada daerah sekitar perpotongan garis-garis tersebut. Ini berarti, bahwa sebagian besar air tanah telah mengalami proses pencampuran dengan air hujan yang belum lama diinfiltrasikan, masuk lebih jauh ke dalam tanah. Beberapa sampel, misalnya Bdg-2, Bdg-7 dan Bdg-40 berada tepat pada garis meteorik lokal. Keadaan ini menunjukkan bahwa air tanah ini berasal dari air hujan yang segera merembes ke dalam tanah setelah jatuh ke permukaan bumi.

Pola penyebaran kandungan isotop yang sebagian besar mengelompok pada suatu kisaran nilai mempunyai korelasi dengan elevasi daerah masukan (recharge area) sekitar 1200 m di atas permukaan laut, sedangkan sebagian kecil yang lain lebih bersifat resapan lokal. Hasil analisis deuterium yang diplot terhadap ketinggian (Gb.5) memperlihatkan bahwa sebagian sampel mengelompok pada nilai antara -40 ‰ dan -52 ‰ dengan ketinggian lokasi sampel antara 600 m dan 800 m. Hanya beberapa sampel yang menyebar di luar kelompok ini, misalnya Bdg-50, Bdg-51, Bdg-52, Bdg-1, Bdg-11, Bdg-46, Bdg-47, Bdg-48 dan Bdg-6. Hubungan antara kandungan isotop stabil air hujan dan elevasi (altitude effect) seperti dikemukakan oleh Fontes dan Olivery (dalam Fritz and Fontes, 1980) memperkuat interpretasi hasil seperti dikemukakan di atas. Hal ini sesuai pula dengan kenyataan bahwa curah hujan di Jawa Barat umumnya terjadi pada elevasi di atas 900 m (Djiono dkk, 1989).

Kandungan isotop yang relatif tinggi diperlihatkan oleh sampel Bdg-11 dan Bdg-20, masing-masing dengan nilai $-4,84 \text{ ‰}$ dan $-4,01 \text{ ‰}$ untuk O-18, $-32,8 \text{ ‰}$ dan $-42,2 \text{ ‰}$ untuk D. Letak kedua sampel yang terpisah dari kelompok utamanya seperti terlihat pada gambar 4 menunjukkan karakter yang berbeda dengan populasi utama dan air hujan. Keadaan ini disebabkan oleh proses evaporasi yang terjadi terhadap air permukaan sebelum merembes ke dalam tanah. Proses evaporasi menyebabkan pengkayaan terhadap isotop berat air permukaan (isotopically heavier). Pengamatan lapangan memang menunjukkan, sumur ini berdekatan dengan sebuah danau kecil yang telah mengalami tingkat evaporasi lanjut dan memberikan kontribusi terhadap lapisan akifer sumur-sumur tersebut. Walaupun terdapat perbedaan kedalaman yang nyata dari

kedua sumur (18 m dan 166 m), lapisan batuan yang belum terkonsolidasi secara baik, memungkinkan proses infiltrasi dan pencampuran air berlangsung cepat. Kandungan tritium yang relatif kecil dari kedua sumur menunjukkan umur yang relatif tua.

Beberapa sampel memperlihatkan karakteristik isotop stabil yang relatif ringan, misalnya Bdg-46, Bdg-47, Bdg-48, Bdg-50 dan Bdg-51 berasal dari sumur-sumur dalam dan mata air, semuanya berada pada elevasi diatas 1000 m. Kelompok ini dan hampir seluruh sumur PDAM dikategorikan sebagai sumur dalam (> 100 m) yang berada dalam satu zona akifer. Sumur-sumur yang lebih dangkal ditandai oleh kandungan isotop yang relatif lebih berat, mempunyai daerah resapan lebih bersifat lokal. Secara umum, kandungan tritium sumur dalam dan sumur dangkal memperlihatkan hubungan yang jelas dengan waktu proses pengisian akifer masing-masing kelompok sumur.

Tritium

Analisis tritium juga dilakukan terhadap ke 52 sampel air (Tabel 1) yang besarnya dinyatakan dalam satuan Tritium Unit (TU). Kandungan tritium bervariasi dari tak terdeteksi hingga \pm 10 TU. Nilai yang relatif tinggi berasal dari sampel air Bdg-2, Bdg-4 dan Bdg-13, masing-masing 9,65 TU, 5,25 TU dan 8,27 TU. Harga ini adalah di atas rata-rata air hujan Indonesia sehingga diperkirakan nilai tersebut berhubungan erat dengan fasilitas Pusat Reaktor Bandung dan Rumah Sakit Hasan Sadikin yang mempunyai fasilitas Kedokteran Nuklir. Harga yang relatif tinggi pada sampel Bdg-13 (Kebon Kawung) diperkirakan karena berada dalam satu zona akifer dengan Bdg-2 yang memungkinkan terjadinya

interaksi air tanah.

Kandungan tritium pada sumur lain, terutama pada sumur dalam dan mata air seluruhnya berada dibawah kandungan ke 3 sumur tersebut diatas. Bahkan harga tersebut sudah sangat rendah hingga tak terdeteksi lagi dengan alat pencacah LSC. Kandungan tritium yang sangat rendah pada sumur-sumur dalam memperkuat kesimpulan hasil analisis isotop stabilnya yang memberikan informasi mengenai daerah masukan (recharge area) yang cukup jauh. Kandungan Tritium pada sumur yang relatif lebih dangkal, misalnya Bdg-3, Bdg-5 dan Bdg-12 memperlihatkan kandungan yang lebih dekat kepada nilai rata-rata air hujan yang berkorelasi dengan kandungan isotop daerah resapan lokal.

Hidrokimia

Sejumlah 52 buah sampel air telah dianalisis untuk mengetahui kandungan-kandungan anion dan kationnya. Berdasarkan pola penyebaran dari anion dan kation seperti diperlihatkan pada diagram Stiff dan Piper Trilinier (Gb.2 dan 3) dapat dibedakan 3 tipe air.

Tipe I : Bicarbonat : HCO_3^-

Tipe II : Calcium bicarbonat : $\text{Ca}(\text{HCO}_3)$

Tipe III : Air permukaan

Tipe I terutama didominasi oleh sumur-sumur dalam (> 100 m) yaitu Bdg-15 sampai dengan Bdg-24 dan Bdg-8. Kandungan bicarbonat yang tinggi terjadi akibat air tanah yang bergerak melalui akifer bersinggungan dengan batuan-batuan yang dapat terlarut sehingga menimbulkan perubahan komposisi larutan. Penambahan mineral larutan terjadi secara drastis, khususnya pada

calcium carbonat (Tipe II). Sumur Bdg-13 misalnya bahkan memperlihatkan persen epm Ca^{2+} sebesar hampir 58 % dari total anion sampel air sumur tersebut (tabel 2 dan tabel 3). Konsentrasi kalsium carbonat yang tinggi kemungkinan mendapat kontribusi dari pelarutan batuan carbonat di daerah pegunungan sekitar Bandung, misalnya bukit Padalarang di sebelah barat kota Bandung. Tipe III yang merupakan air dengan komposisi kation-kation yang hampir seimbang, terutama didominasi oleh sumur-sumur dangkal/sedang dengan kedalaman rata-rata 25 meter. Sumur dalam Bdg-6 dan Bdg-7 yang tidak memperlihatkan pola yang sama dengan sumur dalam lainnya, memberikan dugaan bahwa sumur dalam Bdg-6 dan Bdg-7 telah bercampur dengan air hujan. Komposisi isotop oksigen-18 dan deuterium kedua sumur tersebut memperkuat dugaan diatas yaitu bahwa komposisi tersebut terletak pada garis meteorik (Gb.4). Dalam hubungan ini proses rembesan air melalui permukaan tanah (infiltration process) berlangsung efektif.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisis isotop alam oksigen-18, deuterium dan tritium air tanah di daerah Bandung dan sekitarnya menunjukkan sebagian besar berasal dari daerah resapan pada elevasi sekitar 1200 m dan telah mengalami pencampuran dengan air permukaan.
2. Analisis hidrokimia memberikan hasil yang memperlihatkan 3 tipe air yaitu tipe bikarbonat, kalsium bikarbonat dan air normal .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR-BATAN) yang telah memberikan kesempatan sehingga penelitian ini dapat dilakukan. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Kepala Bidang HIS-PAIR dan semua rekan dari Sub Bidang Hidrologi atas kerjasama yang baik dan diskusi-diskusi. Tidak lupa pula, ucapan terima kasih ini kami sampaikan kepada Pimpinan Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Bandung, dan khususnya kepada Saudara Agus dan Deddy yang telah memberikan data air tanah Bandung dan kesediaan mereka mendampingi tim BATAN selama pekerjaan lapangan berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

1. A.J. RAUDKIVI, 1978. Hydrology - An Advanced Introduction to Hydrological Models Processes and Modelling, Pergamon Press.
2. AUSTRALIAN WATER RESOURCES COUNCIL, 1980. Groundwater Recharge Conference, Townsville Quesland - Australia.
3. DJIONO, dkk., 1989. Proses Radiasi Dalam Industri, Sterilisasi Radiasi, Dan Aplikasi Teknik Nuklir Dalam Industri. Risalah Pertemuan Ilmiah, PAIR-BATAN.
4. IAEA, VIENNA, 1981. Stable Isotope Hydrology Deuterium and Oxygen-18 in the water cycle. Tech. Report Series No. 210.
5. IAEA, VIENNA, 1984. Isotope Hydrology 1983. Proceeding Series.
6. JELGERSMA, S., 1983. Training Program for Geoscientists in Developmnet and Applied Quaternary Geology, Asian Institute of Tech., Bangkok , Thailand, 154 pp.
7. KOREA ATOMIC INDUSTRIAL FORUM, Inc/Korean Nuclear Society, 1984. Proceedings.
8. LAPORAN RINGKAS PENELITIAN TAHUN 1980/1991 : Studi air tanah daerah Bandung dan sekitarnya dengan metoda isotop alam, 1991, PAIR-BATAN.
9. M.K. STEWART, C.B. TAYLOR, 1981. Environmental Isotope in New Zealand, New Zealand Jour of Sci., 1981, Vol 24; 295 - 311.
10. NATIONAL ENVIRONMENTAL PROTECTION COUNCIL, 1987. Philippine Groundwater Salinity Intrusion Control Study.
11. P. FRITZ and J. CH. FONTES, 1980. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Elsevier Sci. Publ. Company.

Tabel 1. Hasil analisis deuterium, ^{18}O dan Tritium sampel air tanah Bandung dan sekitarnya.

No.	L o k a s i	Deuterium (o/oo)	O-18 (o/oo)	Kedalaman (m)	Elevasi (m)	Tritium (TU)
BDG-1	Guest House (BATAN-BDG)	-34,6	-6,48	15	825	4,49 ± 0,10
BDG-2	PPTN	-36,7	-6,57	60	650	9,65 ± 0,10
BDG-3	Buah Batu	-40,6	-6,59	10	700	3,40 ± 0,09
BDG-4	RS.Hasan Sadikin	-44,0	-6,62	8	750	5,25 ± 0,09
BDG-5	KRS.Latih Kes.Mas	-40,7	-6,50	24	650	4,22 ± 0,09
BDG-6	Grand Hotel Lembang	-45,7	-7,39	100	1200	1,43 ± 0,09
BDG-7	RS. Boromeus	-42,5	-7,36	150	760	1,99 ± 0,09
BDG-8	Pemandian Tirtamaya	-43,7	-6,23	40	700	0,47 ± 0,09
BDG-9	Jembatan	-39,6	-6,64	M. Air	825	1,86 ± 0,09
BDG-10	PJKA	-44,3	-6,52	40	760	3,43 ± 0,09
BDG-11	Kec. Bj Loa Selatan	-32,8	-4,84	18	660	2,78 ± 0,09
BDG-12	Balubur	-41,1	-7,29	10	600	1,39 ± 0,12
BDG-13	K. Kawung	-41,5	-7,19	10	650	8,27 ± 0,11
BDG-14	Dimahi	-40,0	-6,22	16	700	0
BDG-15	AW-1 (PAM)	-44,8	-7,27	170	600	-
BDG-16	AW-4 (PAM)	-48,0	-7,44	153	600	4,63 ± 0,11
BDG-17	AW-7 (PAM)	-46,7	-6,73	177	600	2,30 ± 0,11
BDG-18	AW-9 (PAM)	-50,9	-7,56	151	600	0,25 ± 0,11
BDG-19	AW-14(PAM)	-45,3	-6,65	157	670	0
BDG-20	AW-19(PAM)	-42,2	-4,01	166	700	0
BDG-21	T. Cicahem	-41,0	-6,27	150	600	0
BDG-22	Naentex U. Berung	-50,8	-7,05	150	600	0
BDG-23	Cilameta U. Berung	-51,6	-6,59	168	600	0
BDG-24	Leuwi Gajah	-50,5	-6,84	130	650	1,13 ± 0,11
BDG-25	T. Nasional U. Berung	-52,0	-7,86	170	700	2,62 ± 0,11
BDG-26	Idem	-47,3	-6,43	40	700	0,12 ± 0,11
BDG-27	Idem	-49,8	-6,94	120	700	0
BDG-28	Perintex U. Berung	-52,8	-7,22	84	700	0
BDG-29	I. Utama U. Berung	-46,0	-7,89	35	700	-
BDG-30	Sukamiskin	-39,5	-6,15	42	700	-
BDG-31	AW-3 (PAM)	-44,0	-7,09	150	720	0
BDG-32	AW-5 (PAM)	-43,0	-8,22	152	750	0
BDG-33	AW-6 (PAM)	-47,4	-8,30	150	725	0
BDG-34	AW-8 (PAM)	-47,0	-8,49	150	750	4,69 ± 0,11
BDG-35	AW-10 (PAM)	-47,5	-8,39	160	780	2,80 ± 0,12
BDG-36	Dadali (PAM)	-47,6	-8,27	150	760	2,26 ± 0,12
BDG-37	AW-11 (PAM)	-49,3	-8,34	72	780	0,67 ± 0,11
BDG-38	AW-13 (PAM)	-46,2	-8,15	140	780	0,89 ± 0,10

/... BDG-39

No.	L o k a s i	Deuterium (o/oo)	O-18 (o/oo)	Kedalaman (m)	Elevasi (m)	Tritium (TU)
BDG-39	Cibeureum (PAM)	-48,1	-8,41	150	780	0,41 ± 0,11
BDG-40	AW-15 (PAM)	-49,6	-8,11	150	800	0
BDG-41	AW-18 (PAM)	-51,7	-8,24	152	800	1,23 ± 0,11
BDG-42	AW-16 (PAM)	-50,1	-8,55	105	800	0,84 ± 0,11
BDG-43	B. Sawala (PAM)	-53,3	-8,54	150	825	0,77 ± 0,12
BDG-44	Pandu (PAM)	-53,0	-8,45	150	800	1,03 ± 0,11
BDG-45	Cibadak	-53,0	-8,26	150	800	0
BDG-46	Cisalada II	-38,1	-7,87	M. Air	1100	-
BDG-47	Cisalada I	-40,7	-7,94	M. Air	1100	-
BDG-48	Cicariuk (PAM)	-43,3	-8,04	M. Air	1075	-
BDG-49	Hegarmena (PAM)	-41,3	-8,12	-	875	-
BDG-50	BLK. Lembang	-50,3	-8,93	180	1300	-
BDG-51	BLK. Lembang	-47,0	-8,66	50	1300	-
BDG-52	Sumur Lokal Lembang	-47,4	-8,37	10	1280	-

Keterangan :

AW = artificial well

Tabel 2. Hasil analisis hidrokimia untuk diagram STIFF dalam mgrek/l

No.	Kode	$SO_4^{=}$	Cl^-	HCO_3^-	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^+	Na^+
1.	Edg- 1	0,1498	0,1978	1,165	0,3921	0,1625	0,0522	0,3239
2.	Edg- 2	0,2416	0,2808	1,785	0,239	0,075	0,1542	0,4678
3.	Edg- 3	0,5314	0,4276	2,55	0,625	0,1875	0,1266	0,4978
4.	Edg- 4	0,5104	0,7873	1,65	0,6399	0,3333	0,0989	0,8134
5.	Edg- 5	0,4895	0,6840	2,52	0,811	0,6665	0,0751	0,7326
6.	Edg- 6	0,1740	0,5154	1,35	0,3002	0,1625	0,0981	0,305
7.	Edg- 7	0,1166	0,0518	2,185	0,3002	0,0875	0,1602	0,5104
8.	Edg- 8	0,0701	0,0698	3,77	0,7142	0,15	0,2571	0,8947
9.	Edg- 9	0,0552	0,1671	1,55	0,1562	0,0875	0,0854	0,4504
10.	Edg-10	0,1410	0,2872	1,85	0,3186	0,1875	0,1068	0,4102
11.	Edg-11	2,6930	1,0301	2,61	0,9316	0,7915	0,4120	1,9565
12.	Edg-12	0,2329	0,7386	3,65	0,9425	1,9735	0,1638	0,7595
13.	Edg-13	0,27	2,9042	4,25	1,0916	5	0,3046	2,2295
14.	Edg-14	0,4208	0,8278	2,26	0,7291	0,4715	0,1353	0,8065
15.	Edg-15	0	0,8061	3,325	0,3425	0,1645	0,2564	2,3691
16.	Edg-16	0,0784	0,2249	3,625	0,6183	0,3985	0,2351	1,6208
17.	Edg-17	0,1498	0,2504	3,375	0,8433	0,366	0,2207	1,0752
18.	Edg-18	0,1668	0,1682	3,05	0,7516	0,3215	0,2420	0,9934
19.	Edg-19	0,2427	0,2233	3,095	0,9725	0,4375	0,1779	0,7130
20.	Edg-20	0,1647	0,0899	2,45	0,5483	0,259	0,1638	0,5843
21.	Edg-21	0,1945	0,2473	4,36	1,1508	0,65	0,1923	1,2130
22.	Edg-22	0,0197	0,4058	3,31	0,5141	0,2305	0,2725	1,5817
23.	Edg-23	0	0,0820	4,075	0,8433	0,383	0,2207	1,2326
24.	Edg-24	0,1482	0,1307	3,025	0,7366	0,3905	0,2420	0,8182
25.	Edg-25	0	0,0946	2,66	0,23	0,15	0,2194	1,4717
26.	Edg-26	0	0,1129	3,575	0,8275	0,075	0,0979	0,8152
27.	Edg-27	0	0,0441	3,205	0,62	0,325	0,1017	0,7021
28.	Edg-28	0,0604	0,0953	3,25	0,6716	0,45	0,2528	0,7247
29.	Edg-29	0,0395	0,0806	2,35	0,4116	0,2	0,1717	0,5886
30.	Edg-30	0,1883	0,5404	3,55	0,8016	0,6	0,1017	0,7473
31.	Edg-31	0,0562	0,2156	3,71	0,5941	0,3	0,2674	1,4265
32.	Edg-32	0,0770	0,0995	3,57	0,6716	0,425	0,2343	1,2682
33.	Edg-33	0,1190	0,0967	3,61	0,8275	0,35	0,2528	1,0191
34.	Edg-34	0,1797	0,1522	3,1	0,6716	0,35	0,2158	0,8378
35.	Edg-35	0,1969	0,1447	2,89	0,5941	0,275	0,2453	0,9056
36.	Edg-36	0,1569	0,0698	3,115	0,6458	0,275	0,2123	0,8830
37.	Edg-37	0,1740	0,0974	3,375	0,8275	0,375	0,2010	0,7021
38.	Edg-38	0,1940	0,1023	3,31	0,7758	0,45	0,1864	0,7473
39.	Edg-39	0,1598	0,0687	3,115	0,5675	0,4	0,2233	0,7247
40.	Edg-40	0,2642	0,2535	2,725	0,5941	0,35	0,1864	0,7021
41.	Edg-41	0,1883	0,1030	2,65	0,49	0,2	0,2158	0,8152
42.	Edg-42	0,1997	0,1199	2,76	0,4633	0,225	0,2123	0,9965
43.	Edg-43	0,2375	0,2398	3,075	0,7241	0,375	0,1753	0,7247
44.	Edg-44	0,2291	0,2517	3,175	0,7758	0,375	0,1974	0,7021
45.	Edg-45	0,625	0,6660	0,935	0,3333	0,175	0,1128	0,7247
46.	Edg-46	1,9583	2,3508	0,55	0,9316	0,65	0,3705	1,3134

/... Edg-47

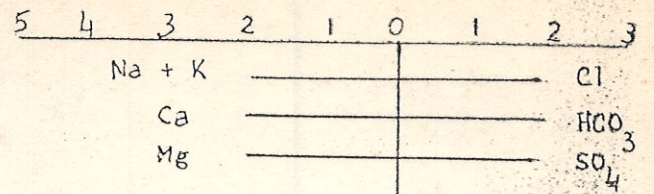
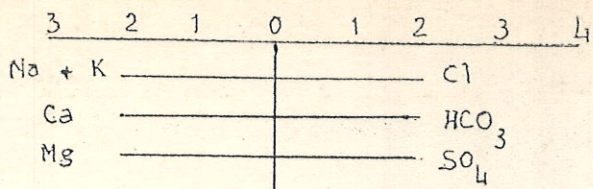
No.	Kode	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺
47.	Bdg-47	2,1258	2,3869	0,465	0,88	0,55	0,3705	1,2682
48.	Bdg-48	2,3809	2,8857	0,465	1,27	1,05	0,3189	1,5173
49.	Bdg-49	0,5741	0,6245	1,59	0,3333	0,275	0,1164	0,6793
50.	Bdg-50	0,3074	0,7339	1,175	0,5941	0,625	0,1274	0,5434
51.	Bdg-51	0,3252	0,6758	0,265	0,7241	0,6	0,1312	0,6339
52.	Bdg-52	0,0979	0,1080	0,73	0,1516	0,075	0,0574	0,2152

Tabel. 3. Hasil analisis hidrokimia untuk diagram PIPER TRILINIER dalam % epm

No.	Kode	SO ₄ ⁼⁼	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Total	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺ + Na ⁺	Total
1.	Edg- 1	9,9092	13,0769	77,0138	100	42,1309	17,4575	40,4114	100
2.	Edg- 2	10,473	12,1695	77,3572	100	25,5333	8,0125	66,4541	100
3.	Edg- 3	15,145	12,1866	72,6682	100	43,4951	13,0455	43,4562	100
4.	Edg- 4	17,315	26,7102	55,9744	100	33,9358	17,6780	48,3861	100
5.	Edg- 5	13,254	18,5189	68,2261	100	35,4878	29,1648	35,3473	100
6.	Edg- 6	8,5357	25,2718	66,1923	100	34,6757	18,7670	46,5571	100
7.	Edg- 7	4,9570	2,2049	92,8380	100	28,3671	8,2668	63,3659	100
8.	Edg- 8	1,7942	1,7853	96,4204	100	35,4253	7,4396	57,1349	100
9.	Edg- 9	3,1183	9,4322	87,4493	100	20,0411	11,2230	68,7358	100
10.	Edg-10	6,1891	12,6090	81,2018	100	31,1432	18,3243	50,5324	100
11.	Edg-11	42,522	16,2661	41,2110	100	22,7694	19,3438	57,8866	100
12.	Edg-12	5,0394	15,9829	78,9776	100	24,5480	51,4011	24,0508	100
13.	Edg-13	3,6367	39,1185	57,2447	100	12,6557	57,9653	29,3789	100
14.	Edg-14	11,594	23,5934	64,4117	100	34,0322	22,0062	43,9614	100
15.	Edg-15	0	19,5148	80,4851	100	10,9336	5,2513	83,8150	100
16.	Edg-16	1,9977	5,7268	92,2754	100	21,5234	13,8713	64,6051	100
17.	Edg-17	3,9704	6,6335	89,3959	100	33,6617	14,6089	51,7293	100
18.	Edg-18	4,9297	4,9708	90,0993	100	32,5580	13,9256	53,5163	100
19.	Edg-19	6,8160	6,2723	86,9116	100	42,2643	19,0135	38,7220	100
20.	Edg-20	6,0913	3,3254	90,5831	100	35,2506	16,6503	48,0990	100
21.	Edg-21	4,0508	5,1513	90,7978	100	35,8941	20,2733	43,8325	100
22.	Edg-22	0,5298	10,8649	88,6052	100	19,7834	8,8688	71,3476	100
23.	Edg-23	0	1,9749	98,0250	100	31,4710	14,2925	54,2363	100
24.	Edg-24	4,4979	3,9560	91,5460	100	33,6765	17,8516	48,4718	100
25.	Edg-25	0	3,4361	96,5638	100	11,1045	7,2420	81,6533	100
26.	Edg-26	0	3,0619	96,9380	100	45,5755	4,1307	50,2937	100
27.	Edg-27	0	1,3593	98,6406	100	35,4494	18,5823	45,9681	100
28.	Edg-28	1,7739	2,7999	95,4261	100	31,9952	21,4360	46,5687	100
29.	Edg-29	1,6024	3,2629	95,1345	100	30,0014	14,5755	55,4229	100
30.	Edg-30	4,4019	12,6317	82,9662	100	35,6161	26,6565	37,7273	100
31.	Edg-31	1,4126	5,4162	93,1711	100	22,9574	11,5914	65,4511	100
32.	Edg-32	2,0573	2,6577	95,2848	100	25,8404	16,3506	57,8089	100
33.	Edg-33	3,1116	2,5293	94,3589	100	33,7830	14,2889	51,9280	100
34.	Edg-34	5,2386	4,4358	90,3255	100	32,3633	16,8642	50,7723	100
35.	Edg-35	6,0933	4,4796	89,4270	100	29,4112	13,6124	56,9762	100
36.	Edg-36	4,6970	2,0689	93,2140	100	32,0324	13,6396	54,3279	100
37.	Edg-37	4,7740	2,6727	92,5531	100	39,2981	17,8088	42,8930	100
38.	Edg-38	5,3809	2,8390	91,7800	100	35,9242	20,8368	43,2388	100
39.	Edg-39	4,7798	2,0562	93,1638	100	29,6249	20,8810	49,4940	100
40.	Edg-40	8,1483	7,8180	84,0336	100	32,4193	19,0969	48,4836	100
41.	Edg-41	6,4034	3,5045	90,0919	100	28,4699	11,6203	59,9097	100
42.	Edg-42	6,4866	3,8946	89,6186	100	24,4224	11,8598	63,7177	100
43.	Edg-43	6,6856	6,7528	86,5615	100	36,2203	18,7562	45,0233	100
44.	Edg-44	6,2683	6,8863	86,8452	100	37,8373	18,2887	43,8739	100
45.	Edg-45	28,0770	29,9195	42,0033	100	24,7659	13,0020	62,2319	100

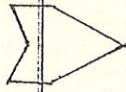
... Edg-46

No.	Kode	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Total	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺ + Na ⁺	Total
46.	Edg-46	40,3017	48,3794	11,3187	100	28,5292	19,9041	51,5666	100
47.	Edg-47	42,7068	47,9515	9,3415	100	28,6759	17,9224	53,4015	100
48.	Edg-48	41,5397	50,3475	8,1127	100	30,5555	25,2624	44,1820	100
49.	Edg-49	20,5897	22,3946	57,0156	100	23,7401	19,5856	56,6742	100
50.	Edg-50	13,8703	33,1148	53,0148	100	31,4360	33,0673	35,4965	100
51.	Edg-51	25,6896	53,3797	20,9305	100	34,6597	28,7169	36,6233	100
52.	Edg-52	10,4620	11,5401	77,9978	100	30,3746	15,0204	54,6049	100

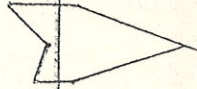


BDG

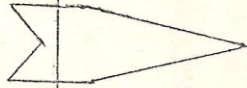
1



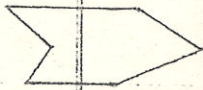
2



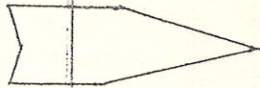
3



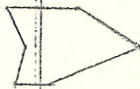
4



5



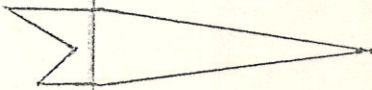
6



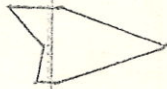
7



8



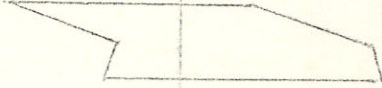
9



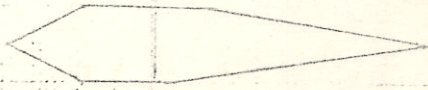
10



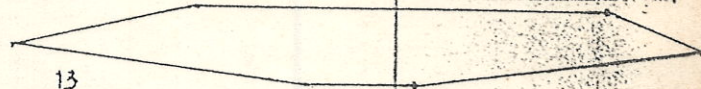
11



12



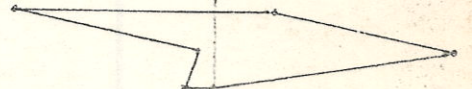
13



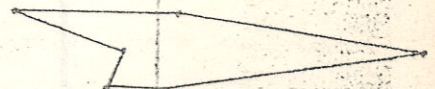
14



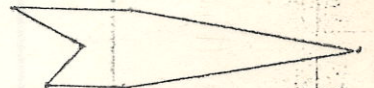
15



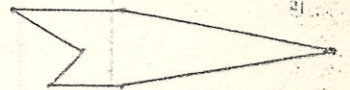
16



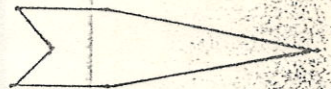
17



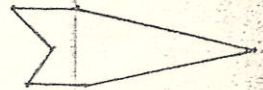
18



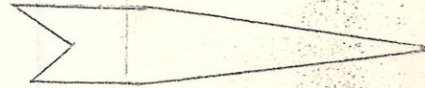
19



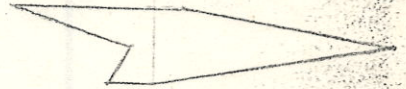
20



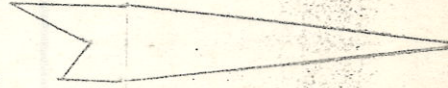
21



22

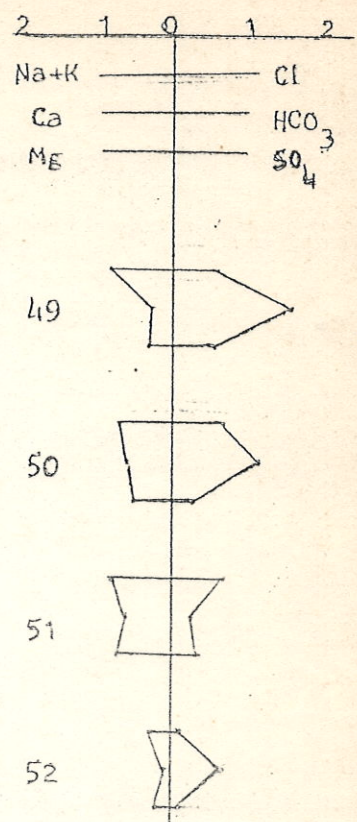
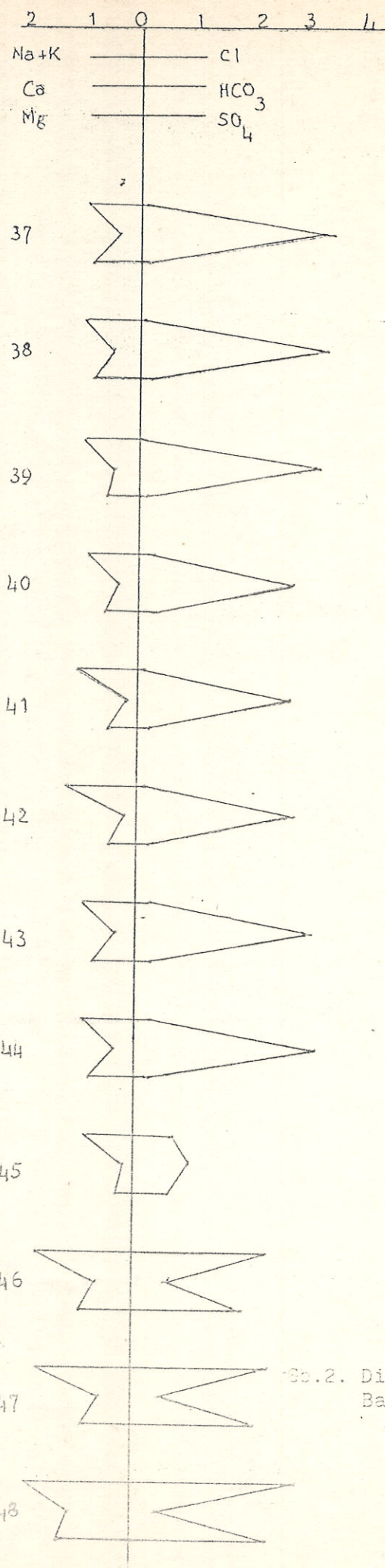
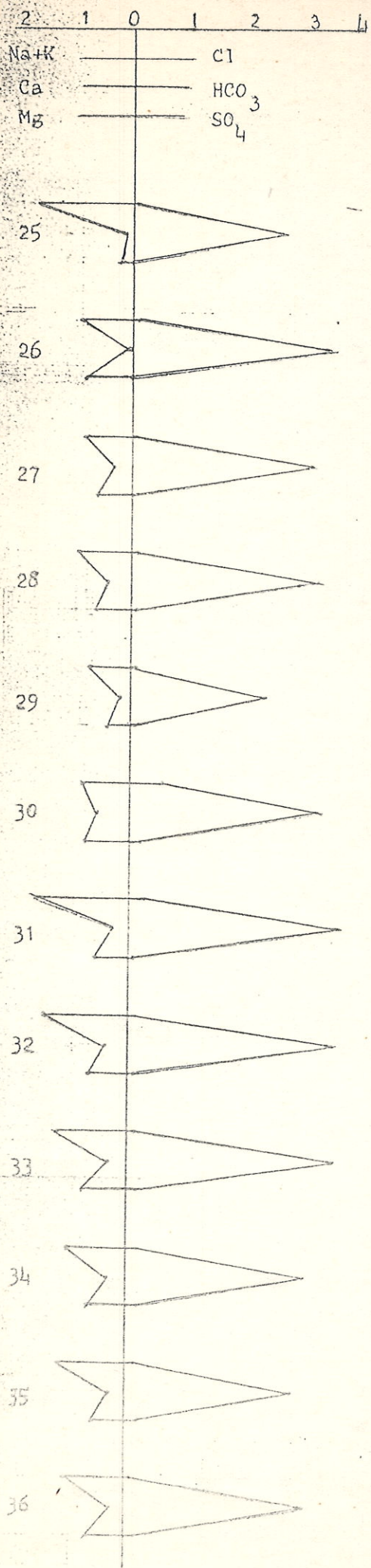


23

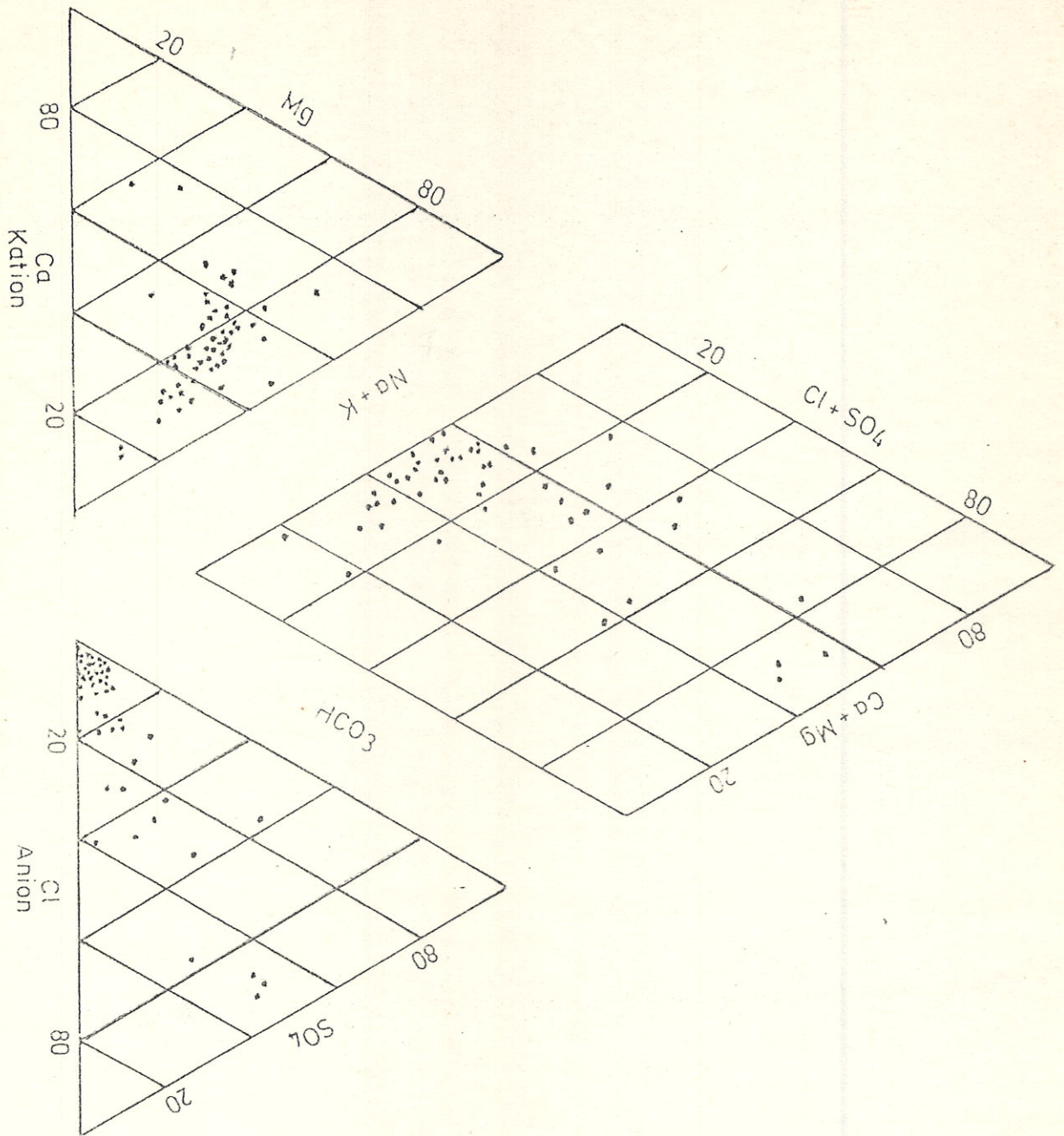


24

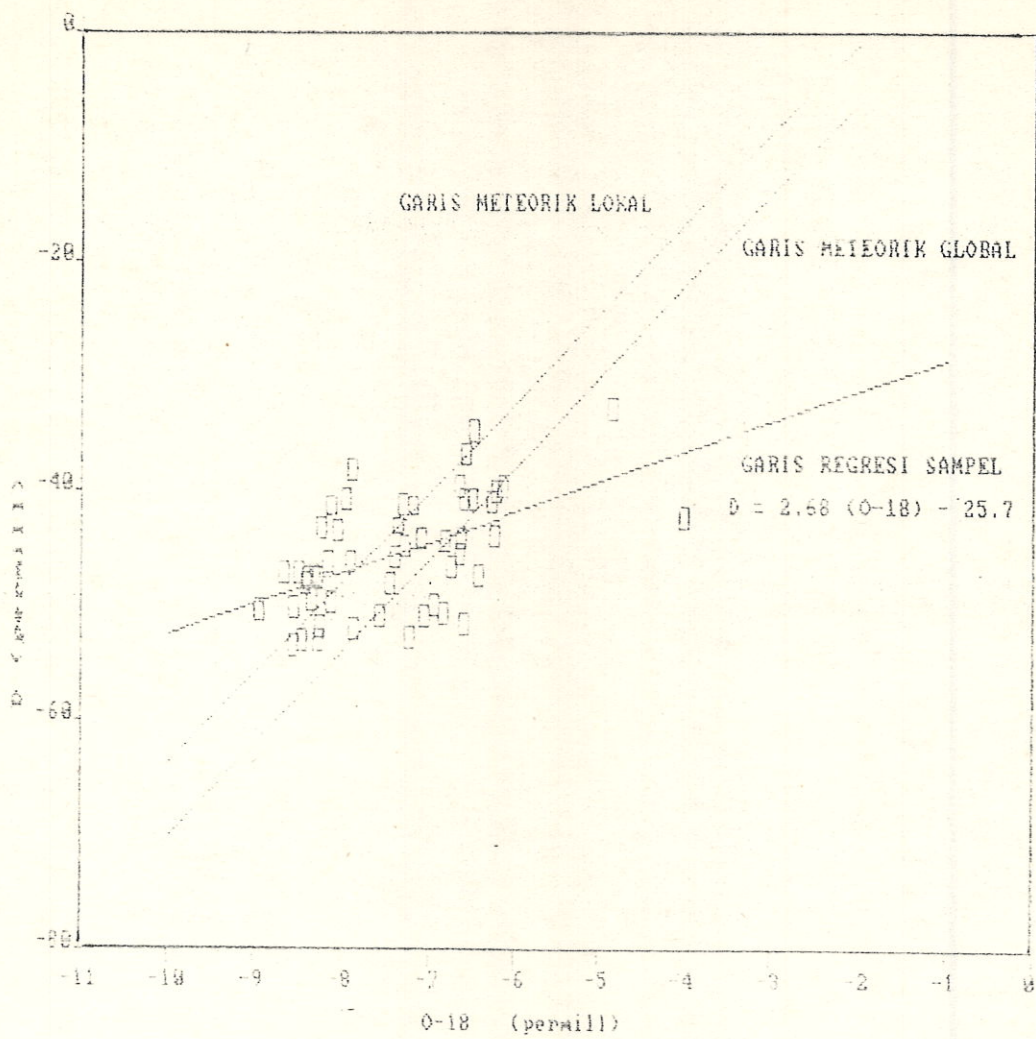




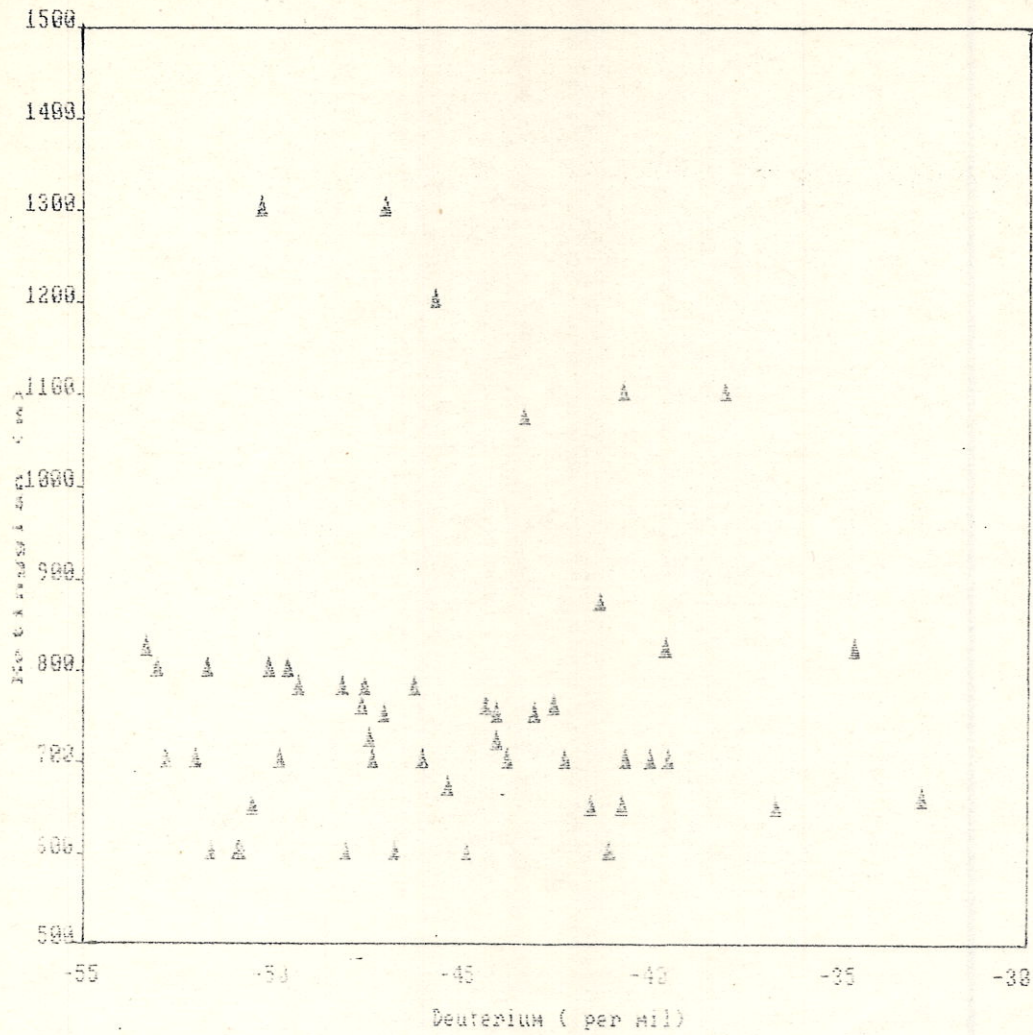
So.2. Diagram STIFF sampel air tanah Bandung dan sekitarnya.



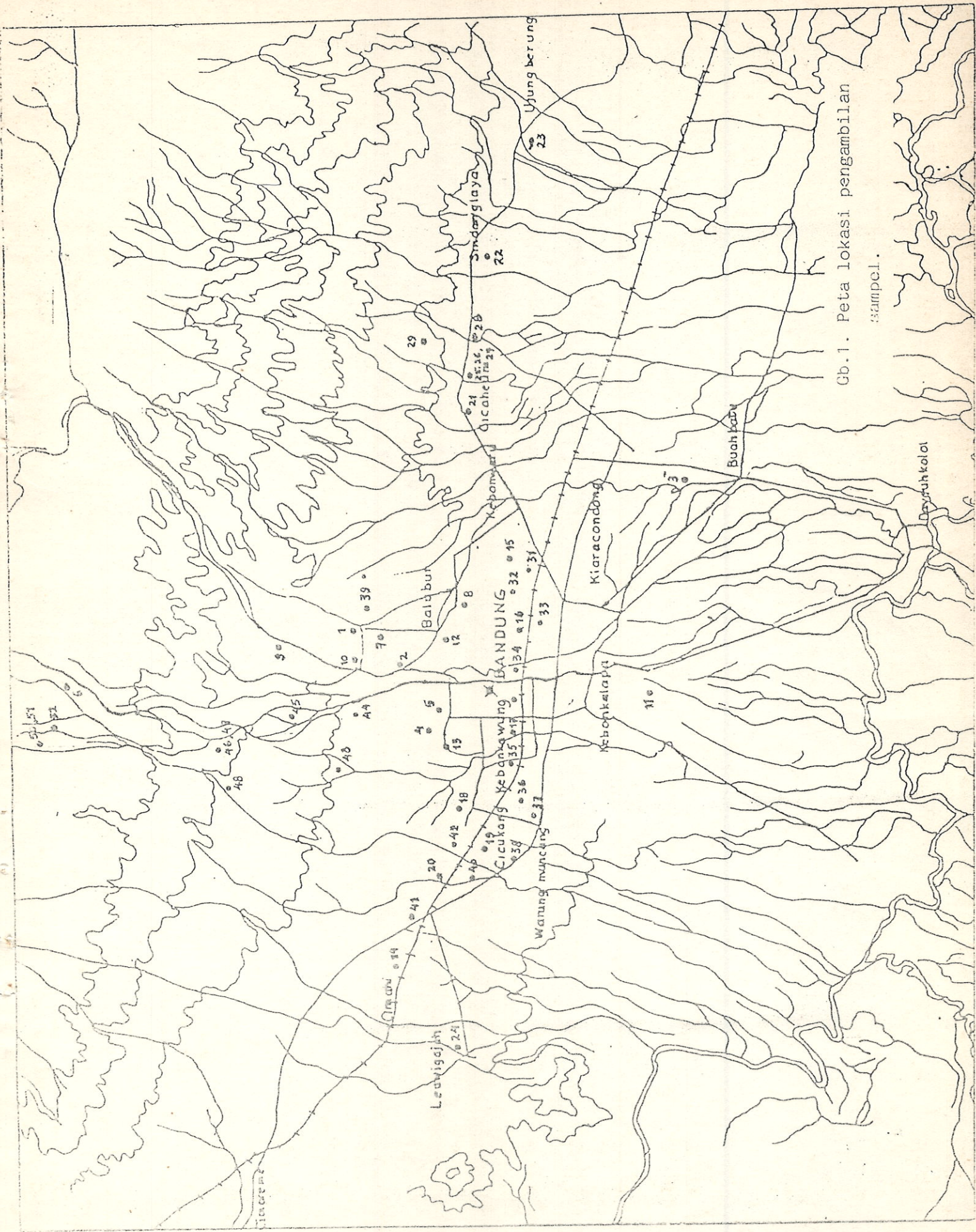
Gb. 3. Diagram Piper TRILINIER sampel air tanah Bandung dan sekitarnya.



30.4. Grafik hubungan antara O-18 dan Deuterium sampel air tanah Bandung dan sekitarnya.



Gb.5. Hubungan data pengamatan antara Deuterium dan Ketinggian sampel air tanah Bandung dan sekitarnya.



Gb.1. Peta lokasi pengambilan sampel.