

LAPORAN TEKNIS 2018

500/AIR 2/OT 02 02/01/2019

**DATA RISET SUMBER DAYA AIR DANAU, AIR TANAH, DAN
PLUIDA GEOTHERMAL**

Paston Sidauruk, Satrio, BungkusPratikno, E.Ristin P.I., Neneng Laksminingpuri,
Nurfadhlini dan Sigit Arianto



**PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
2019**

LAPORAN TEKNIS 2018

500AIR 2/OT 02 02/01/2019

DATA RISET SUMBER DAYA AIR DANAU, AIR TANAH, DAN PLUIDA GEOTHERMAL

Paston Sidauruk, Satrio, Bungkus Pratikno, E.Ristin P.I., Neneng Laksminingpuri,
Nurfadhlini dan Sigit Arianto

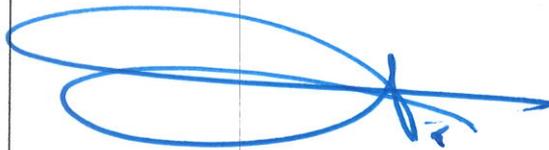
Mengetahui/Menyetujui

Kepala Bidang Industri dan Lingkungan



Dr. Roziq Himawan, M.Eng
NIP. 19700721 198911 1001

Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi



Totti Tjiptosumirat
NIP. 19630830 198803 1 002

Abstrak

DATA RISET SUMBER DAYA AIR DANAU, AIR TANAH, DAN FLUIDA GEOTHERMAL. Pemanfaatan teknologi isotop dalam penelitian sumber daya air seperti airtanah, air permukaan dan komponen yang terkait telah berkembang khususnya beberapa dekade terakhir. Sifat dan karakteristik isotop yang sangat spesifik dapat mengungkap tentang proses, interaksi, dan asal usul suatu komponen hidrologi yang diselidiki. Fenomena ini dapat digunakan untuk meneliti beberapa permasalahan dalam bidang pengelolaan sumber daya air seperti daerah imbuhan, pola aliran, kualitas air, intrusi air laut, keseimbangan air, inter-relasi airtanah dengan air permukaan, dan asal-usul suatu sumber air. Teknik isotop alam (^{18}O , ^2H , ^3H , ^{34}S , ^{13}C , ^{14}C , ^{15}N , dan ^{222}Rn) dan teknik isotop buatan serta parameter hidrologi lainnya akan dipergunakan baik secara simultan baik secara sendiri-sendiri untuk menjawab masalah yang berhubungan dengan pengelolaan sumber daya air. Kegiatan yang dilakukan dalam tahun 2018, telah dirancang untuk dapat menopang program Nasional, program BATAN dan pengembangan teknologi isotop dan radiasi khususnya dalam bidang pengelolaan sumber daya air. Kegiatan utama yang telah dilakukan dalam tahun 2018 adalah penelitian komponen keseimbangan air danau Toba seperti percobaan pan evaporasi untuk menentukan pola isotop stabil air danau dalam proses penguapan dan juga untuk menentukan laju penguapan, dan pengambilan sampel untuk analisis ^{13}C untuk membantu mengungkap proses yang telah dialami oleh danau. Penelitian stratifikasi air danau Toba dengan alat CTD pada beberapa titik yang dipilih masih dilanjutkan. Beberapa penelitian penunjang dilakukan untuk mendukung keterlibatan PAIR dalam kegiatan regional seperti penelitian pola dinamika gerakan air tanah dalam cekungan air tanah Jakarta; penelitian ini untuk adalah menunjang kerjasama regional BATAN melalui RAS 7/030 "*Assesing Deep Groundwater Resources for Sustainable Management Through the Utilization of Isotopic Techniques.*"; dan dalam tahun 2018 juga telah dimulai kegiatan penelitian jaringan irigasi air tanah di daerah Klaten, Jawa Tengah untuk menunjang kekikutsertaan BATAN dalam program IAEA Cordinated Research Program (CRP-RC No. 22825-R0); Dalam tahun 2018, kegiatan pengembangan metode ^{222}Rn untuk deteksi patahan dalam lapangan Panas Bumi telah dilakukan di sepanjang sesar Lembang, Jawa Barat, khususnya di bagian barat yaitu kecamatan Ngamprah, hingga pertengahan sesar di sebelah timur Maribaya.

Kata Kunci : sumber daya air, isotop alam, danau, air tanah, dinamika air danau, struktur patahan.

PENDAHULUAN

Kebutuhan air bersih untuk menunjang kehidupan yang ada di alam semakin hari semakin meningkat yang diakibatkan berbagai faktor seperti pertumbuhan jumlah penduduk dan pertumbuhan industri. Dilain pihak sumber daya air yang tersedia dari segi jumlah dari generasi ke generasi adalah sama. Disamping itu, dari jumlah air yang ada juga mengalami tekanan dari kegiatan manusia yang semakin meningkat. Dengan demikian, penanganan yang

terpadu dan konkrit dengan teknologi yang ada harus dilakukan untuk menjamin ketersediaan sumber daya air untuk menopang kehidupan secara berkelanjutan. Semua komponen air dalam siklus hidrologi yang tersedia untuk pemenuhan kebutuhan manusia (i.e., air danau, sungai, air tanah) harus dipertimbangkan dan dimanfaatkan secara optimal. Penanganan masalah pengelolaan sumber daya air ini juga harus mencakup kualitas dan kuantitas air. Isotop dari molekul air dan zat terlarut dalam air dapat mengungkap proses, interaksi, dan asal-usul air tersebut. Dengan demikian teknologi isotop adalah salah satu teknologi yang tersedia untuk menjawab permasalahan di bidang pengelolaan sumber daya air baik secara kualitas maupun kuantitas.

Danau Toba yang terletak di propinsi Sumatra Utara merupakan danau yang terjadi oleh proses vulkanic sekitar 70.000 tahun yang lalu dan mencakup luasan sekitar 1700 km² dengan kedalaman mencapai 505 m dengan elevasi permukaan sekitar 900 m di atas permukaan laut. Danau yang diapit oleh beberapa Kabupaten ini adalah danau yang sangat strategis baik untuk perekonomian rakyat, pariwisata, pembangkit tenaga, maupun untuk lingkungan. Danau Toba sudah dikenal sejak lama telah mampu menopang perekonomian penduduk sekitar baik melalui budi daya ikan atau usaha lain yang ada kaitannya dengan danau air tawar. Danau Toba yang sangat mempesona yang merupakan tujuan wisata utama di Pulau Sumatera, juga merupakan reservoir alam bagi pembangkit listrik tenaga air Sigurgura, Asahan, yang menghasilkan tenaga listrik sebesar 617 MW. Disamping itu, Danau Toba juga menyimpan keragaman hayati yang perlu dilestarikan. Untuk itu, Danau Toba memerlukan penanganan yang terpadu yang melibatkan multi disiplin ilmu yang mencakup semua nilai strategis danau. Dalam upaya mensinergikan upaya penanganan yang berkesinambungan, salah satu unsur penting yang perlu diketahui adalah karakteristik danau yang mencakup diantaranya: interaksi danau dengan air tanah sekitarnya, dinamika air danau, stratifikasi danau, dan keseimbangan airnya. Salah satu teknik yang sudah banyak dilakukan para peneliti untuk mengungkap karakteristik danau ini adalah dengan teknik isotop alam yang ditunjang dengan parameter hidrologi lainnya. Untuk itu peneliti, bermaksud membantu mengungkap karakteristik danau Toba dengan teknik isotop alam yang ditunjang dengan parameter hidrologi lainnya. Penelitian ini ditujukan untuk meneliti komponen komponen yang terkait dalam keseimbangan air danau tersebut. Penelitian ini sangat penting terlebih akhir-akhir ini dimana ada klaim masyarakat telah terjadi penurunan muka air yang sangat berarti yang dikhawatirkan akan berlanjut terus jika penanganan yang serius tidak dilakukan. Kegiatan utama dalam tahun 2018 adalah penelitian komponen parameter hidrologi air danau yang berhubungan dengan perhitungan neraca air danau khususnya percobaan pan evaporasi

untuk menentukan laju penguapan dan pola isotop stabil dari air yang diuapkan di danau Toba, Sumatera Utara. Disamping itu, beberapa kegiatan secara parallel dilakukan seperti:

1. Penelitian pola dinamika gerakan air tanah dalam cekungan air tanah Jakarta; penelitian ini untuk adalah menunjang kerjasama regional BATAN melalui RAS 7/030 "*Assesing Deep Groundwater Resources for Sustainble Management Through the Utilization of Isotopic Techniques.*";
2. Penelitian jaringan irigasi air tanah di daerah Klaten, Jawa Tengah, untuk mendukung keikutsertaan PAIR-BATAN dalam IAEA Cordinated Research Program (IAEA-CRP, RC: 22825-R0). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui status penggunaan air tanah untuk mendukung kegiatan pertanian dalam Jaringan Irigasi Airtanah Klaten.
3. Penelitian dan pengembangan metode ^{222}Rn untuk deteksi patahan dalam lapangan Panas Bumi di sepanjang sesar Lembang, Jawa Barat, khususnya di bagian barat yaitu kecamatan Ngamprah, hingga pertengahan sesar di sebelah timur Maribaya.

METODE PENELITIAN

1. Pelaksanaan penelitian

Prinsip dari teknologi isotop alam untuk penelitian air tanah, dan air permukaan pada dasarnya ialah mengidentifikasi variasi konsentrasi isotop-isotop tersebut, kemudian dicari korelasinya dengan konsentrasi air meteorik lokal. Karena konsentrasi isotop stabil air meteorik adalah fungsi dari suhu udara, altitude dan latitude maka ini menjadi dasar tentang asal-usul air tanah. Dari sini penelitian bisa berkembang untuk mempelajari anomali lainnya [1, 2, 3].

Dalam pelaksanaannya ada 3 tahap kegiatan yaitu, pengambilan sampel/sampel dari sistem yang diteliti (air tanah, air meteorik, air danau), analisis terhadap sampel-sampel dan interpretasi terhadap hasil analisa. Variasi isotop dan parameter hidrologi lainnya sebagai fungsi waktu dan lateral dari suatu komponenkomponen hidrologi yang dipelajari dapat mengungkap beberapa informasi penting tentang daerah imbuh, pola dinamika, interaksi dengan sistem air tanah lainnya, dan asal usul komponen hidrologi tersebut. Lebih jauh, variasi isotop ini juga akan dapat digunakan untuk mempelajari tidak hanya pola dinamika air danau tetapi juga untuk menentukan keseimbangan air danau.

Metode sampling adalah sebagai berikut: Contoh air akan diambil sebanyak 20 cc untuk keperluan analisis isotop stabil, 5000 cc untuk keperluan analisis kimia dan tritium, secukupnya tergantung dari kandungan sulfatnya untuk analisis sulfat dari berbagai sumber air yang ada di daerah yang diteliti [1, 2, 3]. Kemudian contoh ini akan dimasukkan dalam tabung khusus yang telah disediakan untuk menghindari berbagai faktor seperti interaksi dengan sumber lain atau menghindari terjadinya penguapan. Jumlah contoh yang diambil akan disesuaikan dengan tujuan penelitian dan dengan mempertimbangkan saran dalam berbagai literatur, dan harga analisis tiap contoh.

2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian-penelitian sebagai berikut :

- a. Liquid Water Isotop Analyzer (LWIA) merk LGR DLT-100 [4]
- b. Picarro G2101-i laser spectrometer untuk analisis Carbon-13
- c. Carbon-14 Preparation Line
- d. Liquid Scintillation Counter (LSC) merk Perkin Elmer
- e. RAD7 Durrige Co. untuk analisis ^{222}Rn
- f. Ion Chromotography (IC) Metrohm
- g. Multi parameter (pH meter, Termometer, Conductivity meter, Dissolved oxygen)
- h. Alat pengukur konduktifitas, suhu, dan kedalaman (CTD-probe)
- i. Hidrograph Digital
- j. GPS
- k. Elevasi meter
- l. Alat penampung curah hujan
- m. Gelas ukur

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian-penelitian sebagai berikut :

- | | |
|---|---|
| a. Nitrogen Cair (N_2 liquid) | j. Pyrolidine Instagel |
| b. Aceton pro analys | k. Botol sampel |
| c. N_2O_2 | l. Oil vacuum pump |
| d. Cu_2O | m. Natrium Hidroksida (NaOH) |
| e. Gas Nitrogen | n. Dryrite untuk LWIA – LGR |
| f. Gas CO_2 | o. Syringe 1,2 μL untuk Autosampler LWIA-LGR |

- g. Asam Phospate 100 %
- h. Barium Clorida (BaCl_2)
- i. Pyrolidine
- p. Carbosoft
- q. Silika gell

3. Analisis sampel

Metode analisis secara umum dapat digambarkan sebagai berikut:

- Isotop ^{18}O dan ^2H dalam air dilakukan dengan Laser water analyser.
- Isotop tritium dengan cara enrichment
- Isotop ^{14}C dilakukan dengan metode carbosorb
- ^{222}Rn dengan RAD7 Durrige
- Hidrokimia (anion dan Kation) dengan Ion Chromotography

Analisis isotop ^{18}O dan Deuterium.

Analisis isotop ^{18}O dilakukan dengan metode spektroskopi laser menggunakan alat *Liquid-Water Isotope Analyser* yang dilengkapi dengan *auto injector* (gambar 1) [4]. Analisis menggunakan 3 buah standar kerja dengan nilai komposisi isotop ^{18}O dan ^2H yang berbeda-beda dan terkalibrasi sehingga hasil analisis tertelusur dengan baik.



Gambar 1. *Liquid water isotope analyzer.*

Sebanyak 1 ml sampel air baik yang berasal dari uap air udara, air tanah, air hujan dan air dari daun maupun akar tumbuhan dalam penelitian evapotranspirasi, diambil dan dimasukkan dalam botol sampel, untuk kemudian ditempatkan pada baki pada autosampler LWIA-LGR.

Analisis Tritium

Untuk analisis tritium, dibutuhkan sebanyak 1 liter sampel air diambil dari lapangan. Di lab, sampel tersebut kemudian didestilasi untuk menghilangkan mineral-mineral lain. Air terdestilasi sebanyak 600 cc selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung elektrolisis yang didalamnya berisi cell. Sebanyak 14 tabung cell atau sampel dalam sekali elektrolisis dimasukkan ke dalam bak pendingin dengan suhu sekitar 4 oC. Masing-masing cell dihubungkan secara seri kemudian dialiri arus listrik selama 10 hari. Setelah 10 hari, volume sampel akan menjadi 20 cc sehingga terjadi pengkayaan Tritium kurang lebih 30 kali lipat. Sampel kemudian dinetralkan menggunakan CO₂. Masing-masing sampel diambil 10 cc dan dimasukkan ke dalam vial gelas kemudian ditambah dengan 11 cc ULTIMA Gold LLT (sintilator) dan dicacah menggunakan alat Liquid Scientillation Analyzer selama satu jam tiap sampelnya dengan 20 kali pengulangan.

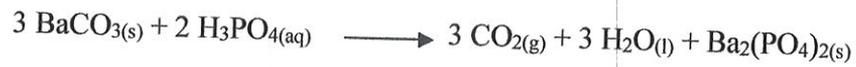
Analisis isotop ¹³C.

Analisis isotop C-13 untuk merunut asal-usul senyawa karbon dalam air tanah dilakukan dengan cara berikut. Isotop yang terlarut dalam air tanah atau batuan disebut DIC (*Dissolved Inorganic Carbon*). Air tanah yang diambil direaksikan dengan NaOH *free* CO₂ dan kemudian ditambahkan larutan BaCl₂ 10 % untuk didapatkan endapan karbonat BaCO₃. Endapan BaCO₃ kemudian dikeringkan menggunakan pemanas (oven) pada suhu 60°C. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut [6, 7, 8] :



Endapan BaCO₃ yang sudah dikeringkan kemudian direaksikan dengan H₃PO₄ 100 % dalam tabung pada kondisi vakum. Gas CO₂ yang terlepas dalam tabung reaksi tersebut kemudian ditangkap (*trapping*) dengan menggunakan N₂ cair dengan suhu -195°C juga pada kondisi

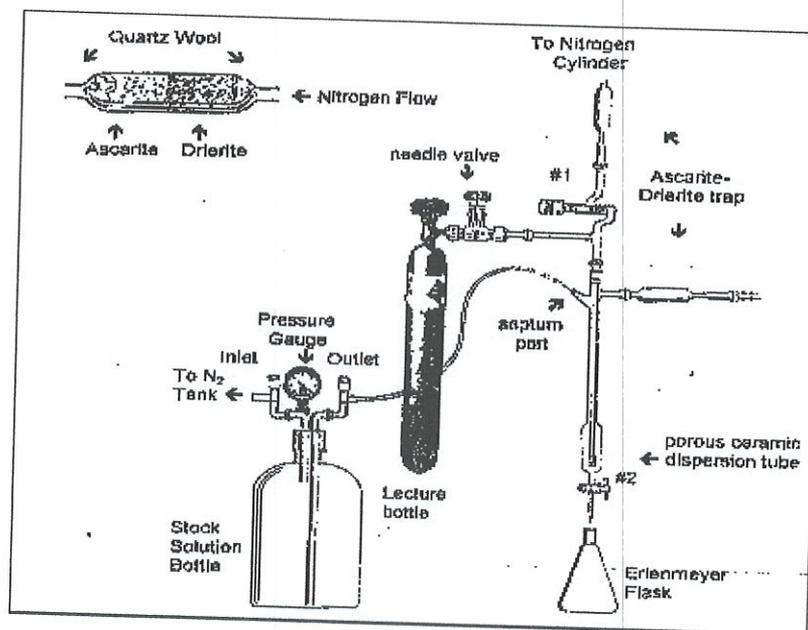
tabung *traping* yang sudah divakum. kelanjutan dari persamaan di atas adalah sebagai berikut :



kemudian gas CO_2 yang didapat dianalisis komposisi rasio isotop ^{13}C -nya dengan spektrometer massa SIRA-9.

Analisis isotop ^{14}C

Salah parameter penting dalam penelitian air tanah adalah residence time atau umur air tanah tersebut. Umur air tanah diantaranya Radioisotop ^{14}C mempunyai waktu paro 5730 tahun. Analisis konsentrasi (aktivitas) radioisotop ^{14}C dilakukan dengan langkah-langkah berikut: preparasi sampel pada alat sintesis benzena, pencacahan sampel, estimasi aktivitas ^{14}C sampel, dan penentuan umur sampel.



Gambar 2 : Rangkaian alat absorpsi CO_2 .

Sampel air untuk analisis ^{14}C diambil langsung dari sumbernya untuk menghindari kontaminasi udara. Sebanyak 60 liter sampel air dimasukkan ke dalam tabung pengendap karbonat. Proses pengendapan karbonat dilakukan 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 dalam kondisi basa. 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 .

Analisis isotop ^{14}C dilakukan dengan metode carbosorb yaitu dengan cara melakukan penyerapan CO_2 , baik CO_2 yang berasal dari sampel, latar belakang maupun standar dengan penyerap carbosorb yang telah dicampur dengan sintilator, fungsi dari sintilator ini adalah untuk mengubah emisi β dari $^{14}\text{CO}_2$ menjadi foton-foton cahaya [8].

Dalam kondisi vakum, sampel karbonat dalam bentuk senyawa BaCO_3 atau CaCO_3 direaksikan dengan HCl 10% sehingga diperoleh CO_2 melalui reaksi berikut.



Sebanyak kira-kira lima liter CO_2 ditampung dalam tabung *stainless steel*. Gas CO_2 ini selanjutnya dialirkan ke kolom absorpsi yang telah diisi dengan 35 ml larutan sintilator dan carbosorb.

Setelah proses absorpsi selesai, larutan yang terbentuk langsung dikucurkan ke dalam labu *erlenmeyer* sambil dialiri gas N_2 . Sebanyak 21 ml larutan tersebut diambil dan dituangkan ke dalam vial gelas 21 ml dengan menggunakan pipet volumetrik. Radioisotop ^{14}C yang terkandung dalam $^{14}\text{CO}_2$ kemudian dicacah dalam pencacah sintilasi cair selama 20 menit 50 kali pengulangan [3].

Analisis Anion (Cl^- , SO_4^{2-} dan HCO_3^-) dan Kation (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+})

Analisis anion (Cl^- dan SO_4^{2-}) dalam contoh air dilakukan dengan Ion Chromatografi 833 Basic Plus Metrohm dengan kolom Metrosep A supp-5 150/4.0. Contoh air disaring terlebih dulu dengan kertas saring mikropore 0.25 μm sebanyak kira-kira 50 ml. Sebanyak 10 ml contoh air tersebut dituang ke dalam vial plastik dan ditempatkan dalam urutan di Compact Autosampler Metrohm 863 yang terhubung dengan alat Ion Chromatography. Sebelumnya telah dibuat urutan konsentrasi (ppm) multi larutan standar Cl^- dan SO_4^{2-} untuk pembuatan kurva kalibrasi standar. Urutan sampel dan larutan standar ditulis dalam *determination series*. Pengukuran tiap sampel dan larutan standar dilakukan selama 50 menit. Analisa kualitatif dilakukan dengan membandingkan waktu retensi tiap senyawa pada contoh dengan waktu retensi larutan standar. Untuk Cl^- mempunyai waktu retensi sekitar 7 menit sedangkan SO_4^{2-} mempunyai waktu retensi sekitar 35 menit. Waktu retensi ini dapat berubah, oleh karena itu setiap 1 cycle pengukuran perlu disertakan larutan standar. Analisa kuantitatif dilakukan dengan mengukur luas puncak pada waktu retensi tiap senyawa dan memplotkan pada kurva kalibrasi standar. Perhitungan konsentrasi Cl^- dan SO_4^{2-} dalam contoh dilakukan menggunakan program excel setelah diketahui slope dan intercept kurva kalibrasi

standar konsentrasi (ppm) versus luas puncak. Analisa bikarbonat dilakukan dengan metode titrasi menggunakan HCl 0.02N, titik titrasi pada pH=4.5 atau dengan indikator metil orange. Hasil kali volume (ml) dan konsentrasi HCl (ppm) yang dibutuhkan untuk menitar sebanding dengan konsentrasi HCO_3^- dalam sejumlah volume contoh air.

Untuk analisa kation (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+}) contoh air perlu ditambahkan HNO_3 beberapa tetes untuk mencegah pengendapan kation. Analisa kation dilakukan juga dengan Ion Chromatografi 833 Basic Plus Metrohm dengan jenis kolom Metrosep C-4 250/4.0 yang dilengkapi dengan 863 Compact Autosampler. Analisa kualitatif dan kuantitatif pada kation sama dengan analisa pada anion. Urutan waktu retensi adalah Na sekitar 6 menit, K sekitar 12 menit, Ca sekitar 23 menit dan Mg sekitar 30 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Riset Komponen Neraca Air Danau Toba

Pada tahun 2018, percobaan pan evaporasi telah dilakukan. Percobaan evaporasi ini dilakukan untuk melihat laju penguapan air danau dan untuk melihat hubungan antara pengayaan isotop stabil ($\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$) sebagai fungsi waktu atau fraksi air yang tinggal dalam pan evaporasi. Percobaan pan evaporasi hanya bisa dilakukan pada saat cuaca tidak turun hujan. Satu set percobaan pan evaporasi secara umum membutuhkan paling tidak 1 minggu untuk menyelesaikannya. Jika percobaan pan evaporasi sudah dimulai dan pada pertengahan percobaan diganggu dengan turunnya hujan, maka percobaan pan evaporasi tersebut akan diulang lagi. Dengan keterbatasan yang demikian, jumlah percobaan pan evaporasi yang bisa diselesaikan dalam kurun waktu tahun 2018 hanya bisa diselesaikan 3 set percobaan dan diberikan dalam Table 1. Dari Table 1 dapat dilihat, laju penguapan di danau Toba diperkirakan antara 1 – 16 mm/hari. Gambar 3 juga memberikan hubungan antara pengayaan isotop stabil ($\delta^{18}\text{O}$) terhadap fraksi air yang tinggal dalam pan evaporasi.

Pada tahun 2018, pengambilan sampel untuk penelitian pola dinamika lateral dan stratifikasi telah dilakukan khususnya pada bagian utara danau Toba karena pada tahun sebelumnya bagian ini masih memperlihatkan kerapatan data yang sangat kecil. Pengambilan sampel dilakukan pada titik-titik pengambilan sampel yang dipilih sekitar 1 m dari permukaan. Pengambilan sampel pada periode ini tidak hanya ditujukan untuk analisis $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ tapi juga untuk analisis $\delta^{13}\text{C}$. Pengambilan sampel tidak langsung diambil dari permukaan untuk menantisipasi suhu permukaan yang sangat terpengaruh dengan suhu udara sekitar. Pada beberapa titik yang ditentukan, pengukuran suhu air danau dari permukaan sampai kedalaman 100 m juga telah dilakukan. Pengukuran suhu ini dilakukan dengan alat

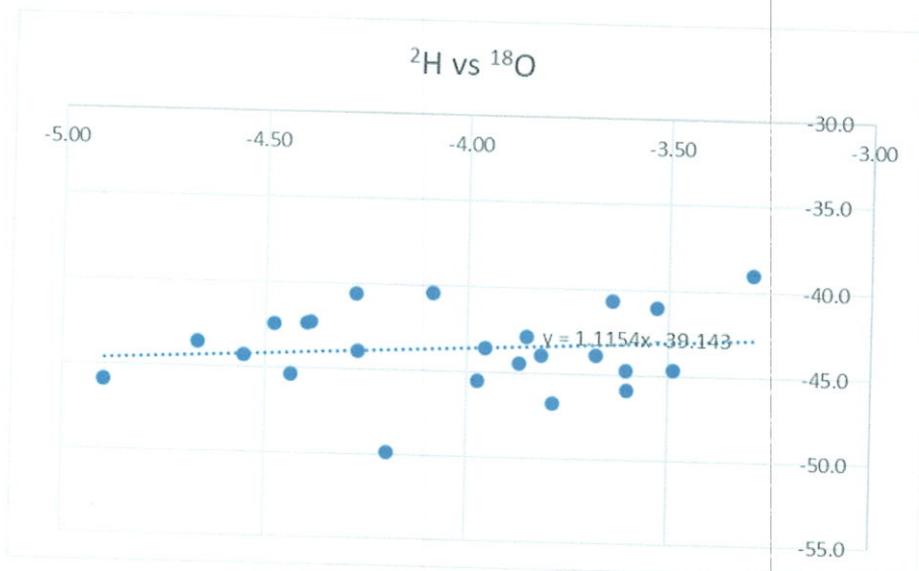
Eijkelkamp CTD-Diver yang dapat merekam konduktifitas (C), suhu (T) dan kedalaman (D) secara otomatis dari kedalaman 0 m sampai dengan 100 m. Lokasi pengambilan sampel secara keseluruhan dari periode sampel sebelumnya diberikan dalam Gambar 4. Hasil analisis kadungan isotop stabil deuterium (δD) dan Oksigen-18 ($\delta^{18}O$) dari sampel yang dikumpulkan pada tahun 2018 diberikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3. Sedangkan untuk kandungan $d^{13}C$ diberikan dalam Tabel 4. Gambar 6 juga memberikan stratifikasi air Danau Toba khususnya bagian utara danau Toba (D59 dan D60) berdasarkan pengambilan sampel yang dilakukan pada Oktober 2018. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa pola stratifikasi air danau Toba menunjukkan pola stratifikasi air danau Toba pada bagian lain danau Toba seperti dilaporkan pada tahun 2017.

Tabel 1. DATA ISOTOP O-18 DAN DEUTERIUM SAMPEL AIR PAN EVAPORASI DI DANAU TOBA TH. 2018

Kode Sampel	O-18		D		Tinggi muka Air (mm)	Rerata Penurunan (mm)
Posisi 93/50 200718	-3.49	\pm 0.11	-38.2	\pm 0.4	93.0	9
Posisi 84/98 210718	-2.60	\pm 0.23	-34.7	\pm 1.2	84.0	7
Posisi 77/82 220718	-2.13	\pm 0.39	-31.1	\pm 2.1	77.0	4.5
Posisi 68/44 240718	-1.27	\pm 0.24	-27.9	\pm 0.6	68.0	7
Posisi 61/32 250718	-0.60	\pm 0.26	-24.9	\pm 0.4	61.0	5
Posisi 56/94 260718	0.44	\pm 0.06	-23.3	\pm 0.4	56.0	1.5
Posisi 60/80 270718	0.25	\pm 0.10	-20.0	\pm 0.7	60.0	7
Posisi 53/22 280718	1.57	\pm 0.29	-17.4	\pm 1.2	53.0	2
Posisi 51/42 290718	2.34	\pm 0.05	-13.2	\pm 0.9	51.0	3
Posisi 48/12 300718	3.96	\pm 0.09	-11.5	\pm 0.4	48.0	5
Posisi 43/24 310718	1.88	\pm 0.09	-31.8	\pm 0.4	43.0	3
Posisi 40/32 010818	2.33	\pm 0.19	-32.9	\pm 0.4	40.0	-
Posisi 82-52 030818	-3.38	\pm 0.06	-41.0	\pm 2.0	82.0	4
Posisi 78-92 040818	-2.22	\pm 0.12	-35.3	\pm 0.3	78.0	9
Posisi 69-20 050818	-2.27	\pm 0.15	-33.8	\pm 1.4	69.0	16
Posisi 53-32 060818	-0.04	\pm 0.26	-32.1	\pm 1.4	53.0	0.5
Posisi 52-48 080818	0.13	\pm 0.26	-30.7	\pm 1.4	52.0	10
Posisi 42-56 090818	1.11	\pm 0.14	-21.0	\pm 1.6	42.0	-

Tabel 2. PAN EVAPORASI DATA ISOTOP O-18 DAN DEUTERIUM
SAMPel AIR DANAU TOBA FEBRUARI 2018

No.	N	E	Kode Sampel	O-18		D	
1	2°32'14.57"	99° 0'29.38"	Air terjun SITUMURUN	-8.34	± 0.60	-60.0	± 4.3
2	2°33'2.75"	98°56'49.94"	D-19 UL	-3.29	± 0.53	-39.0	± 3.1
3	2°21'45.11"	98°52'40.80"	D-68	-4.12	± 0.48	-38.8	± 4.0
4	2°24'6.59"	99° 6'9.32"	D-63	-4.28	± 0.64	-40.5	± 5.0
5	2°32'17.59"	98°59'13.02"	D-60	-4.09	± 0.45	-40.4	± 3.0
6	2°36'5.75"	98°54'25.04"	D-18 UL	-4.48	± 0.50	-42.4	± 4.9
7	2°45'41.63"	98°42'58.82"	D-38 UL	-4.67	± 0.47	-43.6	± 2.6
8	2°20'56.98"	98°54'25.92"	D-67	-4.44	± 0.52	-45.4	± 4.6
9	2°43'22.55"	98°40'48.61"	D-24B UL	-4.40	± 0.37	-42.3	± 1.4
10	2°23'19.18"	99° 2'40.34"	D-62	-4.39	± 0.33	-42.3	± 2.3
11	2°48'22.06"	98°44'47.20"	D-30 UL	-4.55	± 0.81	-44.3	± 6.1
12	2°44'34.42"	98°39'35.15"	D-37 UL	-3.85	± 0.72	-42.8	± 5.1
13	---	----	D-10 UL	-3.53	± 0.77	-41.0	± 6.3
14	2°30'39.97"	99° 0'42.55"	D-17 UL	-3.96	± 0.68	-43.6	± 5.2
15	2°21'49.25"	8°56'41.17"	D-66	-3.68	± 0.90	-43.9	± 7.7
16	--	--	D-65	-3.82	± 0.67	-43.9	± 4.4
17	--	--	D-03 UL	-3.87	± 0.30	-44.4	± 1.2
18	--	--	D-1 190717 D-61 AD	-3.64	± 0.30	-40.6	± 2.2
19	2°32'14.57"	99° 0'29.38"	SITUMURUN	-4.27	± 0.42	-43.9	± 3.4
20	2°28'24.71"	99° 0'44.78"	D-22B	-3.97	± 0.21	-45.5	± 2.4
21	2°49'16.00"	98°39'6.43"	D-32 UL	-4.19	± 0.49	-49.8	± 3.0
22	2°47'38.50"	98°37'34.83"	D-34 UL	-3.60	± 0.93	-45.8	± 6.5
23	--	--	D-11 UL	-3.49	± 0.42	-44.6	± 4.2
24	2°25'58.80"	99° 8'48.82"	D-23 B	-3.60	± 0.37	-44.7	± 3.3
25	2°20'27.96"	99° 3'34.38"	D-64 BALIGE	-3.83	± 0.68	-49.3	± 5.7



Gambar 5: Hubungan antara $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ air danau Toba bagian utara

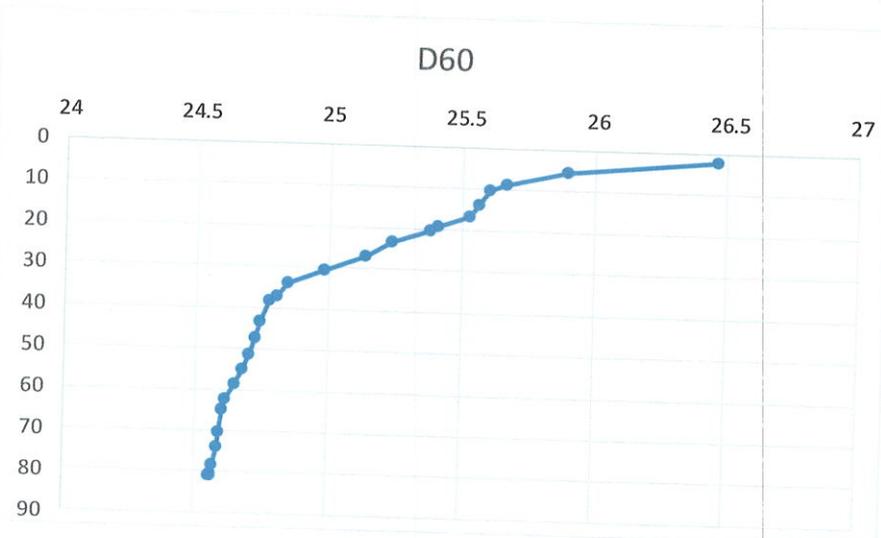
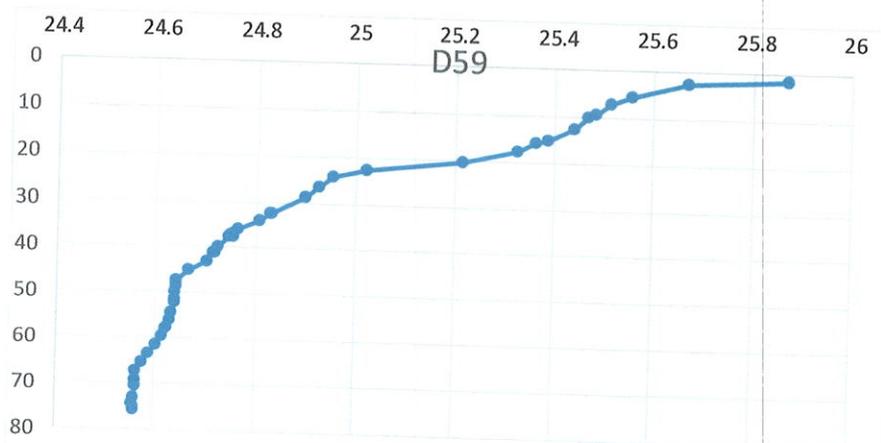
Tabel 3: Data $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ danau Toba bagian utara

No.	Kode Sampel	O-18			D		
		Value	±	Value	Value	±	Value
1	Toba-2	-2.65	± 0.17	-39.0	± 1.7		
2	Toba-3	-2.29	± 0.14	-40.1	± 1.1		
3	Toba-4	-2.60	± 0.07	-39.7	± 0.7		
4	Toba-5	-2.75	± 0.12	-36.6	± 2.2		
5	TOBA-6	-2.54	± 0.21	-25.7	± 0.5		
6	Toba-7	-3.12	± 0.12	-37.0	± 0.7		
7	Toba-8	-3.17	± 0.09	-38.4	± 0.6		
8	Toba-9	-6.03	± 0.21	-32.2	± 1.1		
9	Toba-10	-3.26	± 0.06	-38.2	± 0.3		
10	Toba-12	-2.90	± 0.04	-36.2	± 0.5		
11	Toba-13	-2.73	± 0.20	-38.9	± 0.6		

Tabel 4. Data $\delta^{13}\text{C}$ air danau Toba

No	N	E	Kode Sampel	C-13		
				Value	±	Value
1	2°32'14.57"	99° 0'29.38"	Air terjun SITUMURUN	-11.980	± 1.087	
2	2°21'45.11"	98°52'40.80"	D-68	-8.934	± 1.358	
3	2°24'6.59"	99° 6'9.32"	D-63	-7.470	± 2.667	
4	2°32'17.59"	98°59'13.02"	D-60	-7.081	± 0.449	
5	2°45'41.63"	98°42'58.82"	D-38 UL	-7.084	± 1.828	
6	2°20'56.98"	98°54'25.92"	D-67	-9.000	± 0.309	
7	2°23'19.18"	99° 2'40.34"	D-62	-7.810	± 0.544	
8	2°48'22.06"	98°44'47.20"	D-30 UL	-7.500	± 1.156	
9	---	---	D-10 UL	-10.657	± 1.399	

10	2°32'14.57"	99° 0'29.38"	D-61 AD SITUMURUN	-10.073	±	0.315
11	2°47'38.50"	98°37'34.83"	D-34 UL	-8.204	±	1.395
12	2°20'27.96"	99° 3'34.38"	D-64 BALIGE	-9.618	±	0.700



Gambar 6: Pola stratifikasi air danau Toba berdasarkan suhu sampel yang dikumpulkan pada Oktober 2018 pada bagian utara danau Toba (D59 dan D60).

2. Data Riset Litbang metode ^{222}Rn untuk deteksi patahan dalam lapangan Panas Bumi

Kegiatan penelitian panasbumi mengenai pengembangan metode ^{222}Rn untuk deteksi patahan telah dilakukan di sepanjang sesar Lembang, Jawa Barat, khususnya di bagian barat yaitu kecamatan

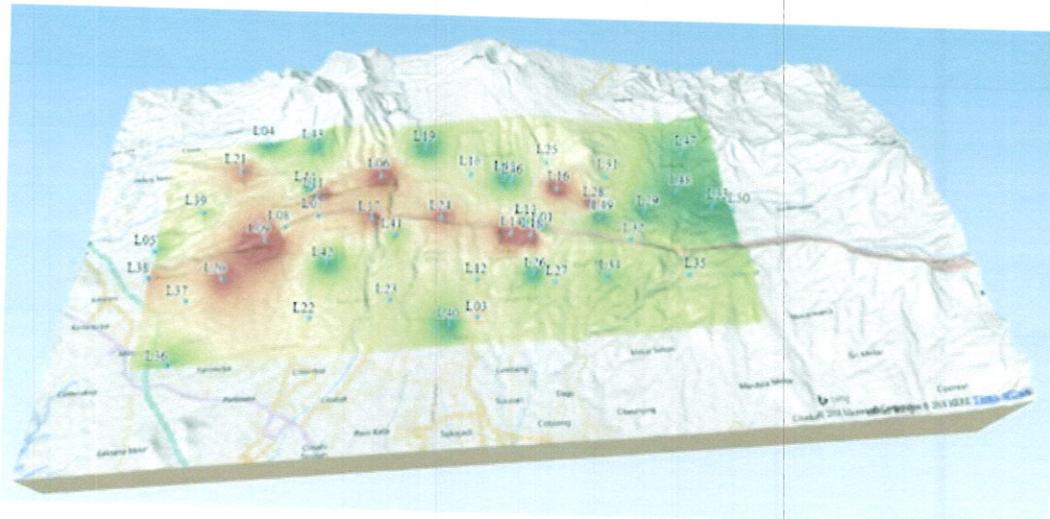
Ngamprah, hingga pertengahan sesar di sebelah timur Maribaya. Pengukuran aktivitas ^{222}Rn dalam gas tanah telah dilakukan di 50 titik dimana aktivitas terendah sebesar 971 Bq/m^3 dan tertinggi sebesar 76900 Bq/m^3 . Beberapa titik menunjukkan aktivitas ^{222}Rn relatif rendah meskipun terletak tepat di zona patahan. Hal ini diperkirakan akibat zona tersebut kurang aktif ataupun telah tersekat oleh endapan tebal yang impermeable.

Pengukuran komposisi $\delta^{13}\text{C}$ dari CO_2 tanah juga telah dilakukan di 28 titik sekitar sesar Lembang dimana hasil pengukuran bervariasi antara $-22,5$ permil hingga $-9,5$ permil. Selengkapnya hasil litbang ^{222}Rn untuk karakterisasi patahan di lapangan panas bumi Lembang bagian barat diberikan dalam table berikut:

Tabel: Hasil Pengukuran Konsentrasi ^{222}Rn di Lembang bagian Barat

Kode sampel	East (x) m	South (y) m	Elevasi (m)	^{222}Rn (Bq/m^3)	Keterangan
L03	107.5968	-6.85085	991.4844	18700	Anugerah Hotel
L04	107.5317	-6.78397	1152.42	2360	Ds-Cikawari Psrlangu
L05	107.4996	-6.82043	769.256	6620	Ds-Cimanggu Kec.Ngamprah
L06	107.5692	-6.80183	1276.569	30200	Ds-Kertawangi
L07	107.5501	-6.81537	1216.081	16200	Ds-Pasirhalang
L08	107.5402	-6.8181	1148.398	14980	Ds-Pasirhalang 2
L09	107.5348	-6.82191	1091.009	48800	Ds-Pasirhalang 3
L10	107.5972	-6.80254	1279.469	12600	Ds-Sukajaya
L11	107.5493	-6.80676	1190.849	35300	Ds-Tugumukti
L12	107.5973	-6.83939	1081.029	12800	Hotel Moscato
L13	107.6129	-6.82158	1250.359	5700	Jln Taman Sejati
L14	107.6084	-6.82499	1204.142	36900	Kodiklat Kowad
L15	107.5972	-6.80254	1282.39	15600	Kp-Karamat Cikahuripan
L01	107.6174	-6.82488	1283.711	12925	Boscha
L16	107.6239	-6.80926	1241.462	32500	Lap Parkir Smk45 Lembang
L17	107.5669	-6.81735	1245.03	26500	Masjid Al-Amanah Ds-Padasari
L18	107.6141	-6.82686	1309.693	39800	Samping Tanah Makam Itb
L19	107.5834	-6.79267	1401.145	1380	Vila Istana Bunga
L22	107.5492	-6.84722	911	15300	Cipageran Cimahi
L23	107.5721	-6.8438	1001	13100	Cihanjuang Cimahi
L24	107.5877	-6.81822	1217	27000	Cigugur Girang
L25	107.6215	-6.79919	1337	14900	Jayagiri
L26	107.614	-6.83865	1117	967	Ds. Wangunsari, Lembang
L27	107.62	-6.84156	1067	13200	Ds. Pagerwangi, Punclut
L28	107.634	-6.81549	1191	28800	Ds. Kayu ambon, De Ranch
L29	107.6501	-6.81903	1146	3650	Pesantren, ds. Langensari
L31	107.6398	-6.80494	1230	11180	Ds. Cilumber, Lembang
L32	107.6436	-6.82966	1241	13850	Ds. Langensari 2, p4an Dago Giri
L33	107.6716	-6.81827	1209	2073	Ds. Cibodas Maribaya
L34	107.6352	-6.84082	1116	7560	dpn SDN 1 Pagerwangi
L35	107.659	-6.84285	1193	12930	Dekat Tebing Kraton tahura

L36	107.5105	-6.85806	787	7040	Ds. Cilame
L37	107.5127	-6.83891	824	16200	Kantor Bupati BB
L20	107.5231	-6.83344	934	27600	Lap. Kapota Pusdikhub TNI
L38	107.5	-6.8303	898	23600	Tanah galian Kec. Ngamprah
L39	107.5138	-6.80931	999	11200	Kp. Epen, Ds. Cimanggu
L40	107.589	-6.85208	958	1840	Setiabudi Regency
L41	107.5735	-6.82364	1174	8430	Kp. Tutugan, Ds. Cihanjuang
L42	107.5538	-6.83135	1325	2260	Pondok Sudibapana, Kp Jamudipa
L43	107.5484	-6.7892	1347	4220	Kp.Pasir Kuning, Ds.Pasir Langu
L44	107.5464	-6.80324	1135	3200	Kp.Cimeta, Ds.Tugumukti, Kec.Cisarua
L45	107.6079	-6.80476	1258	866	Kp.Pojok Tengah, Ds.Cikahuripan, Kec.Lembang
L46	107.61	-6.80601	1285	5620	Jl.kavling, Kp.Manoko, Ds.Cikahuripan
L47	107.6664	-6.79691	1246	4670	Kp. Cisolasih, Ds.Cikidang
L48	107.6616	-6.81189	1166	2830	Kp.sadang, Ds.Cikidang Kec.Lembang
L49	107.6358	-6.82077	1228	1550	Lap.Bola Sespim Polri Maribaya
L50	107.6773	-6.82077	1225	1910	Sebelah SDN 04 Cibodas, Kp.Sukarasa
L02	107.6579	-6.82936	1093	40930	Tikungan timur Maribaya



Gambar 7: Kontur distribusi ^{222}Rn tanah di sekitar lapangan panas bumi Lembang.

KESIMPULAN

Dalam periode ini, percobaan pan avaporasi hanya dapat dituntaskan sebanyak 3 kali. Dari hasil ini diperoleh laju penguapan danau Toba sangat bervariasi dari hari ke hari yaitu berkisar antara 1 – 16 mm/hari. Terbatasnya jumlah percobaan pan evaporasi yang dapat dituntaskan dalam periode ini adalah karena tingginya frekuensi hari hujan. Pengukuran kandungan isotop stabil ($d^{18}O$ dan d^2H) khususnya di daerah bagian utara danau menunjukkan proses penguapan yang sangat significant. Kesimpulan ini diambil tidak hanya karena nilai absolut isotop stabil air danau yang sangat jauh diatas nilai absolut air hujan tetapi juga karena hubungan antara d^2H vs $d^{18}O$ seperti ditunjukkan dalam Gambar 5 yang jauh di bawah 8. Hal ini adalah sangat masuk akal karena bagian utara dari danau adalah bagian terjauh dari titik luaran satu-satunya danau yaitu Sungai Asahan.

Profil tegak suhu dari beberapa titik pengambilan sampel pada sisi utara danau juga telah menggambarkan pola stratifikasi air danau yang hamper sama dengan pola stratifikasi pada sisi timur dan barat air danau yang telah dilakukan pada periode penelitian sebelumnya. Pada pola stratifikasi yang didasarkan pada profil tegak suhu menggambarkan dengan jelas tiga bagian stratifikasi yaitu lapisan atas (epilimnion) anantara 0 – 15 m, lapisan tengah (metalimnion) 15 – 50 m, dan lapisan bawah (hypolimnion) >50m. Phenomena yang sama tidak ditemukan pada konduktifitas dan dan pH. Kedua parameter ini mempunyai besaran yang hampir sama sebagai fungsi kedalaman. Hal ini juga dapat diterangkan karena dinamika air yang lebih aktif pada permukaan tidak mempengaruhi unsur-unsur terlarut dalam air yang pada akhirnya tidak mempengaruhi konduktifitas maupun pH air.

Pengukuran aktivitas ^{222}Rn dalam gas tanah yang telah dilakukan di 50 titik lapangan panas bumi Lembang menunjukkan aktivitas terendah sebesar 971 Bq/m³ dan tertinggi sebesar 76900 Bq/m³. Beberapa titik menunjukkan aktivitas ^{222}Rn relatif rendah meskipun terletak tepat di zona patahan. Hal ini diperkirakan akibat zona tersebut kurang aktif ataupun telah tersekat oleh endapan tebal yang impermeable.

DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, "Stable Isotope Hydrology; Deuterium and Oxygen-18 in Water Cycle," Technical Report series no. 210, IAEA, Vienna, (1981).
2. ERIKSSON, E., "Stable Isotopes and Tritium in Precipitation," *Guide book on Nuclear Techniques in Hydrology*, Technical Report series no. 91, IAEA, Vienna, 19–34(1983).
3. CLARK, I. And FRITZ, P., *Environmental Isotopes in Hydrology*, Lewis Publishers, New York, (1997).

4. Los Gatos Research, "Liquid isotope analyser, highest precision and speed," <http://www.lgrinc.com/analyzers/isotope/> access: December 2013.
5. GHOSH, P. AND BRAND, W. A., "Stable Isotopes Ratio Mass Spectrometry in Global Climate Change Research," *International Journal of Mass Spectrometry*, v. 228, 1 – 33 (2003).
6. HOEFS J., *Stable isotope geochemistry*. Springer verlag, Berlin - Heidelberg-New York (1980).
7. DAVIS, S. N., THOMPSON, G. M., BENTLEY, H. W., STILES, G., "Groundwater Tracers – A short Review," *Ground Water*, v. 18, no. 1, 14 – 23 (1980).
8. DOMENICO, P.A., and SCHWARTZ, F. W., *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley and Son, New York, (1990).
9. HENDRAYANA, H., "Intrusi air asin ke dalam akuifer di daratan," Skripsi, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, (2002).
10. Castenada, S. S., et al., "Environmental isotopes and major ions for tracing leachate contamination from a municipal landfill in Metro Manila, Philippines," *J. of Environmental Radioactivity*, 110, 30 -37 (2012).

FOTO-FOTO KEGIATAN.



Gambar 1.
Pengukuran parameter insitu air Sungai Ciliwung



Gambar 2.
Peralatan pengambilan sampel air danau dari beberapa kedalaman



Gambar 3: Salah satu staff sedang menarik alat pencatat konduktiviti, suhu, dan kedalaman (CTD) dari dalam air danau



Gambar 4. Pengukuran Rn-222 di lapangan dan tanah di lapangan danau bumi Lembang



Gambar 5: Probe pengukur CTD sedang diturunkan secara perlahan ke bawah permukaan danau



Gambar 6. Seluruh tim sedang mempersiapkan alat "water checker" yang kedap air untuk diturunkan ke bawah permukaan air