

LAPORAN TEKNIS 2016

40/AIR 2/OT 02 02/01/2017

**DOKUMEN TEKNIS POTENSI SUMBERDAYA AIR DANAU,  
AIR TANAH DAN FLUIDA PANAS BUMI**

**Paston Sidauruk, Satrio, Bungkus Pratikno, Neneng  
Laksminingpuri, Evarista Ristin Puji Indiyati, Nurfadhlini**



**PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI  
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL  
2017**

LAPORAN TEKNIS 2016

40/AIR 2/OT 02 02/01/2017

**DOKUMEN TEKNIS POTENSI SUMBERDAYA AIR DANAU,  
AIR TANAH DAN FLUIDA PANAS BUMI**

**Paston Sidauruk, Satrio, Bungkus Pratikno, Neneng  
Laksminingpuri, Evarista Ristin Puji Indiyati, Nurfadhlini**

Mengetahui/Menyetujui

Kepala Bidang Industri dan Lingkungan

Dr. Sugiharto, MT  
NIP. 19620705 198510 1 002

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 ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{34}\text{S}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ , dan  $^{222}\text{Rn}$ ) 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. Dalam tahun 2016, kegiatan yang akan dilakukan telah dirancang untuk dapat menopang program Nasional, program BATAN dan pengembangan teknologi isotop dan radiasi khususnya dalam bidang pengelolaan sumber daya air. Kegiatan utama dalam tahun 2016 adalah penelitian pola stratifikasi air danau Toba, Sumatera Utara. 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 Sustainble Management Through the Utilization of Isotopic Techniques.*"; dan interaksi air tanah dengan air sungai di daerah aliran sumgai (DAS) Ciliwung; penelitian ini juga dimaksudkan sebagai implementasi kerjasama regional RAS 5/069: "*Complementing Conventional Approaches with Nuclear Techniques towards Flood Risk Mitigation and Post-Flood Rehabilitation Efforts in Asia.*" Dalam bidang potensi lapangan panas bumi, tahun 2016 telah dilakukan penelitian struktur patahan dan upflow lapangan panas bumi Gunung Tampomas Sumedang, Jawa Barat.

Kata Kunci : sumber daya air, isotop alam, danau, air tanah, stratifikasi 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 km<sup>2</sup> 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. Pada tahun 2016, penelitian stratifikasi air danau telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat pola stratifikasi air danau. Informasi pola stratifikasi air danau ini adalah sangat yang dapat digunakan oleh pemangku kepentingan untuk mengelola air danau dengan lebih baik.

Disamping itu, dalam tahun 2016 beberapa penelitian lainnya juga telah dilakukan diantaranya:

- a. penelitian pola dinamika gerakan air tanah dalam cekungan air tanah Jakarta; penelitian dimaksudkan untuk menunjang kerjasama regional BATAN dengan IAEA melalui RAS 7/030 “Assesing Deep Groundwater Resources for Sustainable Management Through the Utilization of Isotopic Techniques.”;
- b. penelitian interaksi air tanah dengan air sungai di daerah aliran sungai (DAS) Ciliwung dengan isotop radon. Penelitian ini juga dimaksudkan sebagai implementasi kerjasama regional BATAN melalui RAS 5/069: “Complementing Conventional Approaches with Nuclear Techniques towards Flood Risk Mitigation and Post-Flood Rehabilitation Efforts in Asia.”
- c. Dalam panas bumi, tahun 2016 telah dilakukan penelitian struktur patahan dan upflow lapangan panas bumi Gunung Tampomas Sumedang, Jawa Barat.

## **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 DurrIDGE Co. untuk analisis  $^{222}\text{Rn}$
- f. Ion Chromotography (IC) Metrohm
- g. Multi parameter (pH meter, Termometer, Conductivity meter, Dissolved oxygen)
- h. Hidrograph Digital
- i. GPS
- j. Elevasi meter
- k. Alat penampung curah hujan
- l. Gelas ukur

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

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| a. Nitrogen Cair ( $\text{N}_2$ liquid) | j. Pyrolidine Instagel       |
| b. Aceton pro analys                    | k. Botol sampel              |
| c. $\text{N}_2\text{O}_2$               | l. Oil vacuum pump           |
| d. $\text{Cu}_2\text{O}$                | m. Natrium Hidroksida (NaOH) |
| e. Gas Nitrogen                         | n. Dryrite untuk LWIA – LGR  |

- f. Gas CO<sub>2</sub>
- g. Asam Phospate 100 %
- h. Barium Clorida (BaCl<sub>2</sub>)
- i. Pyrolidine
- o. Syringe 1,2 μL untuk Autosampler LWIA-LGR
- p. Carbosoft
- q. Silika gell

### 3. Analisis sampel

Metode analisis secara umum dapat digambarkan sebagai berikut:

- Isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H dalam air dilakukan dengan Laser water analyser.
- Isotop tritium dengan cara enrichment
- Isotop <sup>14</sup>C dilakukan dengan metode carbosorb
- <sup>222</sup>Rn dengan RAD7 DurrIDGE
- Hidrokimia (anion dan Kation) dengan Ion Chromotography

#### *Analisis isotop <sup>18</sup>O dan Deuterium.*

Analisis isotop <sup>18</sup>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 <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H yang berbeda-beda dan terkalibrasi sehingga hasil analisis tertelusur dengan baik.



Gambar 1. *Liquid water isotope analyzer.*

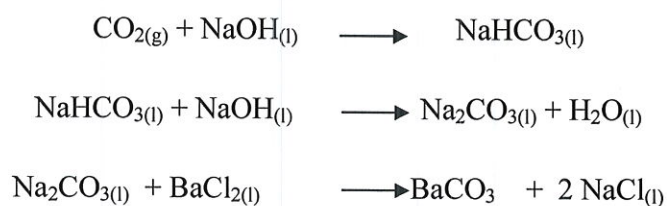
Sebanyak 1 ml sampel air baik yang berasal dari uap air udara, air tanah, air hujan dan air dari daun maupun akar tumbuhan dalam penelitian evapotranspirasi, diambil dan dimasukkan dalam botol sampel, untuk kemudian ditempatkan pada baki pada autosampler LWIA-LGR.

### *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 CO<sub>2</sub>. 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 Scintillation Analyzer selama satu jam tiap sampelnya dengan 20 kali pengulangan.

### *Analisis isotop <sup>13</sup>C.*

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* CO<sub>2</sub> dan kemudian ditambahkan larutan BaCl<sub>2</sub> 10 % untuk didapatkan endapan karbonat BaCO<sub>3</sub>. Endapan BaCO<sub>3</sub> kemudian dikeringkan menggunakan pemanas (oven) pada suhu 60°C. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut [6, 7, 8] :



Endapan BaCO<sub>3</sub> yang sudah dikeringkan kemudian direaksikan dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 100 % dalam tabung pada kondisi vakum. Gas CO<sub>2</sub> yang terlepas dalam tabung reaksi tersebut kemudian ditangkap (*traping*) dengan menggunakan N<sub>2</sub> cair dengan suhu -195<sup>0</sup>C juga pada kondisi



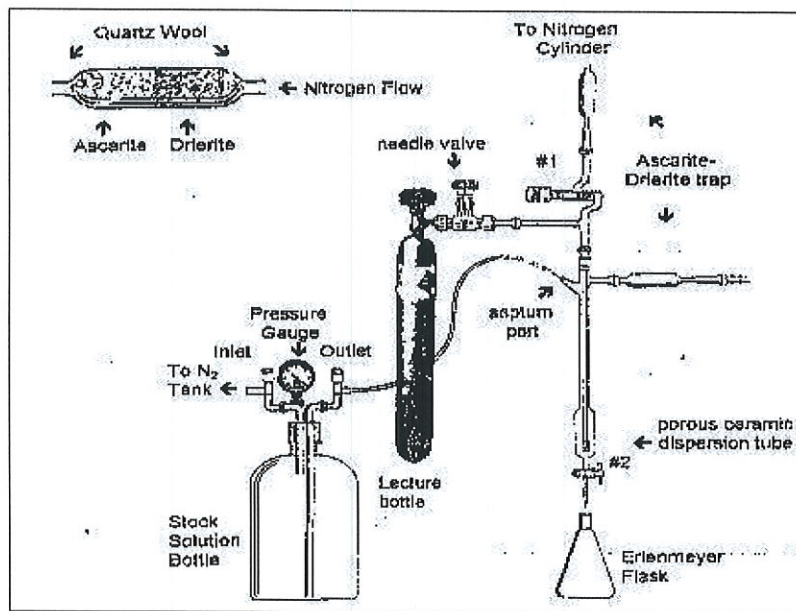
tabung *traping* yang sudah divakum. kelanjutan dari persamaan di atas adalah sebagai berikut :



kemudian gas  $\text{CO}_2$  yang didapat dianalisis komposisi rasio isotop  $^{13}\text{C}$ -nya dengan spektrometer massa SIRA-9.

### *Analisis isotop $^{14}\text{C}$*

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

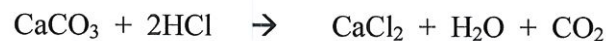
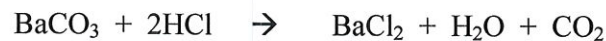


Gambar 2 : Rangkaian alat absorpsi  $\text{CO}_2$ .

Sampel air untuk analisis  $^{14}\text{C}$  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  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaOH}$  (bebas  $\text{CO}_2$ ),  $\text{BaCl}_2$  dan Praestol dalam kondisi basa. Dari proses ini diperoleh endapan sampel dalam bentuk  $\text{BaCO}_3$ . Endapan  $\text{BaCO}_3$  yang diperoleh dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis kandungan  $^{14}\text{C}$  dan  $^{13}\text{C}$ .

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

Dalam kondisi vakum, sampel karbonat dalam bentuk senyawa  $\text{BaCO}_3$  atau  $\text{CaCO}_3$  direaksikan dengan  $\text{HCl}$  10% sehingga diperoleh  $\text{CO}_2$  melalui reaksi berikut.



Sebanyak kira-kira lima liter  $\text{CO}_2$  ditampung dalam tabung *stainless steel*. Gas  $\text{CO}_2$  ini selanjutnya dialirkan ke kolom absorpsi yang telah diisi dengan 35 ml larutan sintilator dan carbosorb.

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

#### ***Analisis Anion ( $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ dan $\text{HCO}_3^-$ ) dan Kation ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , dan $\text{Mg}^{2+}$ )***

Analisis anion ( $\text{Cl}^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ ) 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  $\mu\text{m}$  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  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$  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  $\text{Cl}^-$  mempunyai waktu retensi sekitar 7 menit sedangkan  $\text{SO}_4^{2-}$  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  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$  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  $\text{HCO}_3^-$  dalam sejumlah volume contoh air.

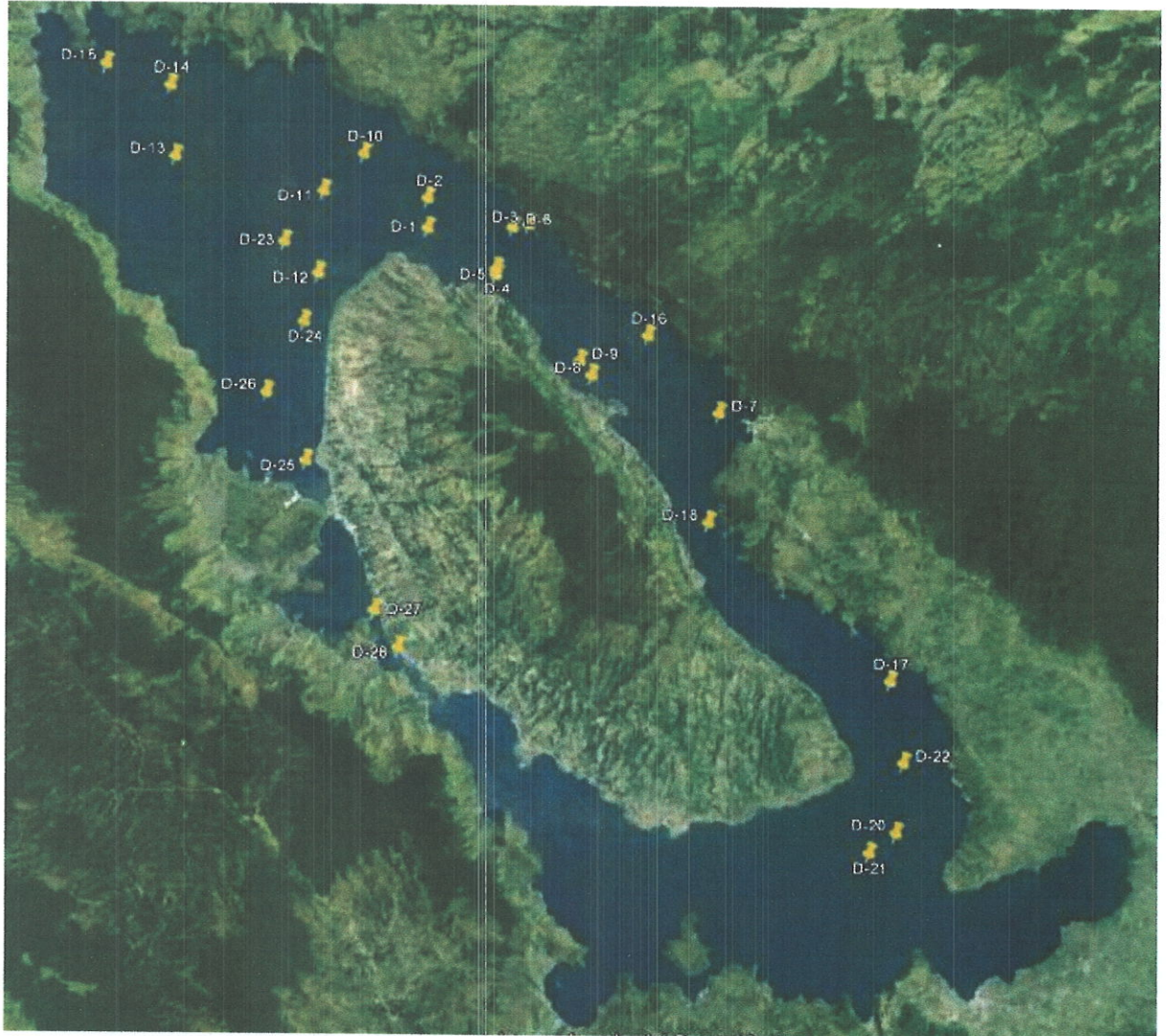
Untuk analisa kation ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , dan  $\text{Mg}^{2+}$ ) contoh air perlu ditambahkan  $\text{HNO}_3$  beberapa tetes untuk mencegah pengendapan kation. Analisa kation dilakukan juga dengan Ion Chromatografi 833 Basic plus Metrohm dengan jenis kolom Metrosep 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 Stratifikasi Air Danau Toba

Pada tahun 2016, pengamatan dan pengambilan sampel dari air danau Toba untuk tujuan penelitian pola stratifikasi telah dilakukan. Pengambilan sampel dilakukan pada titik-titik pengambilan sampel yang dipilih pada kedalaman 0 – 100 m dari permukaan. Pengambilan sampel ini dilakukan secara discrete pada kedalaman 0, 20, 40, 60, 80, dan 100 m. Dengan rancangan pengambilan sampel ini, *vertical profile* dari parameter yang diamati dapat jelaskan dengan baik. Lokasi pengambilan sampel diberikan dalam Gambar 3, sedangkan jumlah titik pengamatan ada sekitar 29 buah. Titik-titik sampel ini disebar sehingga dapat mewakili seluruh permukaan air danau. Hasil pengukuran parameter insitu seperti suhu, pH, konduktifitas, oksigen terlarut serta analisis kadungan isotop stabil deuterium ( $\delta D$ ) dan Oksigen-18 ( $\delta^{18}O$ ) diberikan dalam Tabel 1a, 1b, dan 1c, masing-masing untuk pengambilan sampel pada Maret, Agustus, dan Nopember 2016. Dari Tabel 1a, 1b, dan 1c dapat dilihat bahwa kandungan isotop stabil baik deuterium maupun oksigen-18 secara umum menunjukkan variasi sebagai fungsi waktu. Di mana, kandungan isotop semakin berkurang (depleted) pada kedalaman yang lebih besar. Phenomena yang sama juga ditunjukkan oleh parameter suhu, di mana semakin dalam suhu semakin kecil. Untuk memperjelas fenomena ini, dalam gambar 4 dan 5 ditunjukkan profile kandungan isotop stabil dan suhu sebagai fungsi kedalaman. Phenomena ini juga yang disebut dengan fenomena stratifikasi air danau yang pada umumnya disebabkan oleh suhu yang lebih besar pada permukaan danau. Suhu yang lebih besar pada permukaan menyebabkan dinamika yang lebih aktif pada permukaan dibandingkan pada kedalaman yang lebih besar. 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.



Gambar 3: Lokasi titik sampling penelitian pola stratifikasi air danau Toba.

Tabel 1a: Data insitu dan isotop stabil pengambilan sampel Maret 2016

No	Kode sampel	Depth (m)	$\delta^{18}O$ permil	$\delta D$ permil	T ( C) Celcius	pH	Cond (mS)
1	D10	1	-5.43	-42.6	27.9	7.28	0.15
2		20	-4.99	-38.7	27.1	7.45	0.152

3		40	-4.12	-40.8	26.4	7.56	0.161
4		60	-4.76	-38.6	26.2	7.54	0.163
5		80	-4.82	-38.5	25.9	6.04	0.169
6		100	-5.63	-44.2	25.9	5.99	0.158
7	D11	1	-5.14	-35.2	28.7	6.37	0.153
8		20	-5.27	-39.4	26.8	6.35	0.155
9		40	-5.16	-39.2	26.4	6.44	0.157
10		60	-5.49	-41.6	26.1	6.4	0.161
11		80	-5.86	-48.5	25.6	6.44	0.164
12		100	-5.91	-48.9	25.9	<b>6.12</b>	0.166
13	D12	1	-5.13	-38.0	26.6	6.16	0.156
14		20	-5.19	-39.6	26.6	7.03	0.152
15		40	-5.78	-41.4	25.7	7.02	0.162
16		60	-6.13	-43.4	25.5	7	0.165
17		80	-6.77	-44.7	25.3	6.99	0.162
18		100	-6.81	-49.5	25.3	6.93	0.171
19	D13	1	-4.22	-42.0	28	8.01	0.154
20		20			26.2	8	0.157
21		40			25.8	8.02	0.159
22		60			25.5	8.01	0.161
23		80			25.3	8.52	0.166
24		100	-4.31	-43.3	25.4	<b>7.95</b>	0.192
25	D14	1	-1.47	-32.0	28	8.03	0.153
26		20	-1.68	-32.1	26.4	8	0.153
27		40	-3.91	-41.6	25.6	8.03	0.162
28		60	-4.52	-40.1	25.2	8.05	0.16
29		80	-3.94	-37.4	25.3	8.01	0.169

30		100	-3.40	-37.4	25.2	7.99	0.166
31	D15	1	-4.99	-37.4	28.6	8.07	0.152
32		20	-5.14	-38.5	26.3	8.09	0.156
33		40	-5.47	-40.0	25.7	8.08	0.161
34		60			25.3	8.07	0.164
35		80			26.2	8.05	0.158
36		100			25.4	<b>8.04</b>	0.17

Tabel 1b: Data insitu dan isotop stabil pengambilan sampel Agustus 2016

No.	Kode sampel	Depth (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta\text{D}$ (‰)	T (C) Celcius	pH	Cond (mS)
1	D.Toba-16	0	-6.20	-39.0	26	8.19	0.137
2		20	-6.07	-40.6	25.7	8.02	0.14
3		40	-6.16	-42.3	25.1	7.94	0.138
4		60	-6.37	-44.4	24.4	7.87	0.149
5		80	-7.19	-46.6	24.8	7.68	0.144
6		100	-7.75	-48.4	25	7.46	0.171
7	D.Toba-17	0	-6.02	-41.3	26.1	7.85	0.135
8		20	-6.05	-40.8	26.1	8.24	0.142
9		40	-6.13	-40.8	26.2	7.86	0.136
10		60	-6.56	-46.3	26.7	7.87	0.142
11		80	-6.84	-41.7	26.5	7.79	0.146
12		100	-7.00	-42.4	25.6	7.41	0.188
13	D.Toba-18	0	-5.08	-41.9	26.9	8.41	0.147
14							
15							
16		60	-5.24	-42.9	26.8	7.93	0.153
22		80	-6.76	-44.1	26.4	8.04	0.151
23		100	-8.30	-46.4	26.5	7.94	0.16
24	D.Toba-19	0	-4.96	-41.9	26.8	8.67	0.154
25		20	-5.42	-42.2	26.1	8.09	0.14
26		40	-5.54	-44.8	25.9	7.77	0.129
27		60	-6.29	-45.3	27.3	7.69	0.137
28		80	-6.44	-47.0	25.8	7.83	0.154
29		100	-7.63	-47.7	26.3	7.78	0.146
30	D.Toba-20	0	-6.38	-47.5	27	7.97	0.134
31		20			26.5	7.92	0.134
32		40	-4.95	-41.7	26.6	7.62	0.143
33		60	-3.82	-45.1	26.3	7.44	0.145

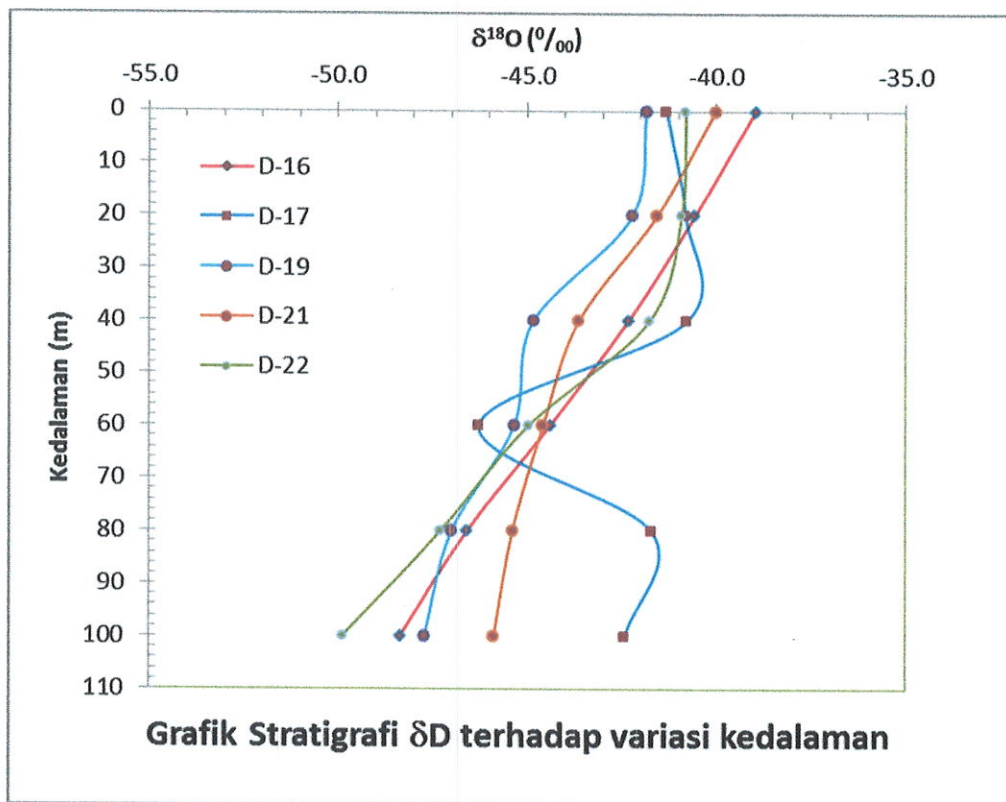
34	D.Toba-21	80	-4.08	-42.7	26.7	7.21	0.148
35		100	-4.06	-44.2	25.3	7.21	0.193
36		0	-5.64	-40.0	26.8	7.81	0.14
37		20	-5.72	-41.6	26.5	7.75	0.151
38		40	-6.04	-43.6	25.9	7.81	0.138
39		60	-6.16	-44.6	25.7	7.75	0.141
40	D.Toba-22	80	-6.52	-45.4	25.4	7.77	0.135
41		100	-7.08	-45.9	25.2	7.41	0.131
42		0	-5.16	-40.8	25.7	7.13	0.148
43		20	-5.39	-40.9	26.2	8.02	0.139
44		40	-5.50	-41.8	26.2	7.69	0.145
45		60	-5.58	-45.0	26.3	7.56	0.143
46		80	-5.86	-47.3	26.6	7.07	0.163
47	100	-5.97	-49.9	26.9	8.16	0.14	

Tabel  
1c:  
Data  
insitu  
dan

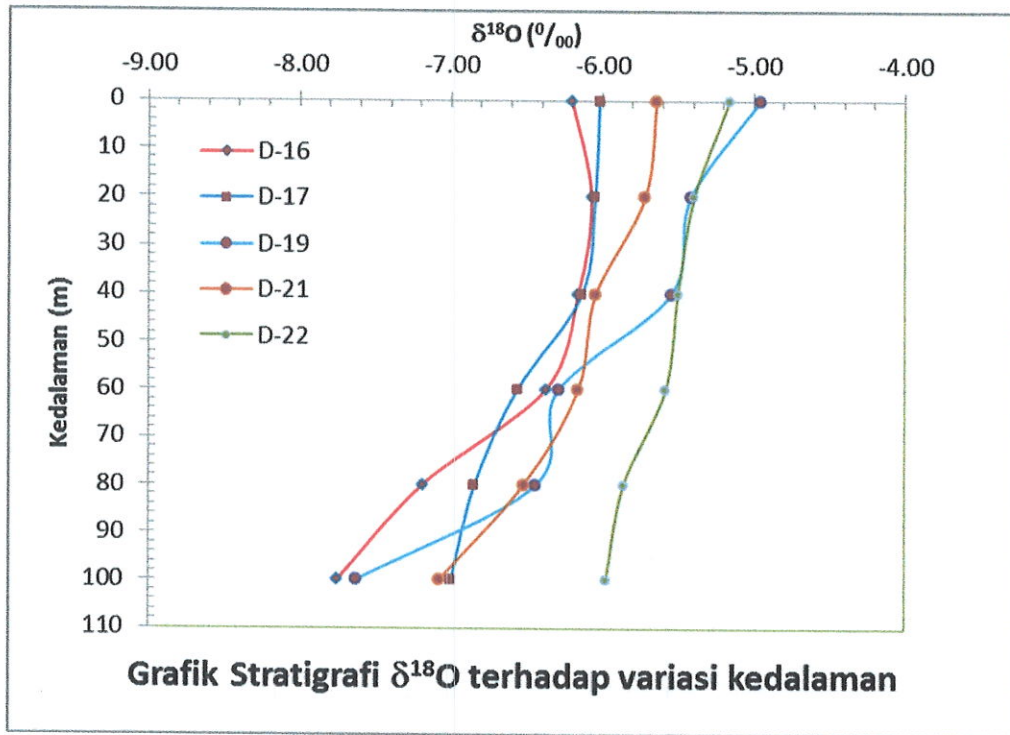
isotop stabil pengambilan sampel Nopember 2016

No	Kode sampel	Depth (m)	$\delta^{18}O$ permil	$\delta D$ permil	T (C) Celcius	pH	Cond (mS)	DO (mg/L)
1	D23	1	-7.02	-44.6	25.3	8.01	0.145	5.76
2		20	-7.04	-45.3	24.7	7.84	0.147	4.98
3		40	-7.18	-48.5	24.6	8.07	0.151	4.6
4		60	-7.23	-48.8	24.4	7.92	0.153	3.66
5		80	-8.15	-49.8	24.4	7.86	0.163	3.44
6		100	-8.27	-49.9	24.9	7.59	0.579	3
7	D24	1	-6.04	-41.0	26.3	8.11	0.153	5.48
8		20	-6.40	-44.7	25.6	7.8	0.148	4.82
9		40	-6.46	-50.9	25.1	7.72	0.151	3.55
10		60	-6.54	-51.0	25.2	7.7	0.15	3.54
11		80	-6.56	-53.8	25.2	7.77	0.148	3.5
12	100	-6.62	-50.6	26.2	7.95	0.144	3.44	
13	D25	1	-6.36	-41.8	26.5	8.39	0.139	5.56
14		20	-6.98	-46.9	25.1	7.77	0.154	4.48
15		40	-6.45	-42.1	25.2	7.66	0.155	3.7
16		60	-6.55	-43.0	25.4	7.56	0.145	3.52
22		80	-7.05	-51.7	25.8	7.72	0.155	3.44
23	100	-7.72	-53.2	25.1	7.63	0.146	3.53	
24	D26	1	-6.42	-46.5	26.5	8.13	0.146	5.51
25		20	-6.67	-47.1	24.6	7.86	0.148	4.93
26		40	-6.73	-47.2	24.5	7.84	0.147	4.11
27		60	-6.80	-47.4	24.6	7.83	0.15	3.64
28		80	-6.88	-48.1	24.6	7.95	0.151	3.48
29	100	-7.01	-49.6	24.8	8.25	0.154	2.96	
30	D27	1	-7.16	-47.9	26.5	7.41	0.162	6.1
31		10	-7.35	-48.7	25.8	7.25	0.161	5.68
32		20	-7.37	-49.3	25.7	6.94	0.167	2.43
33		30	-7.47	-49.7	26.3	6.5	0.168	1.57

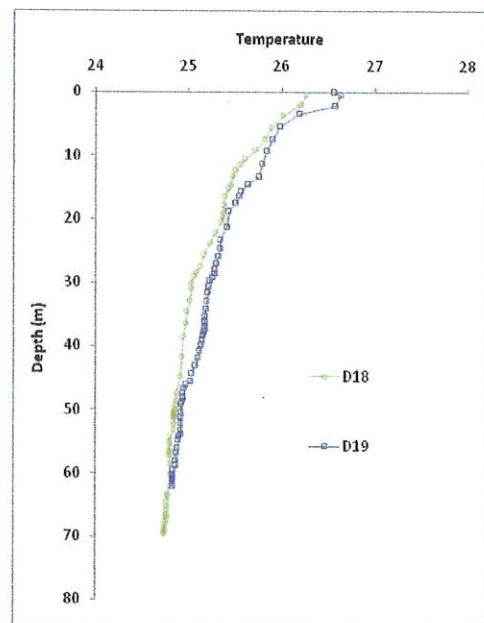
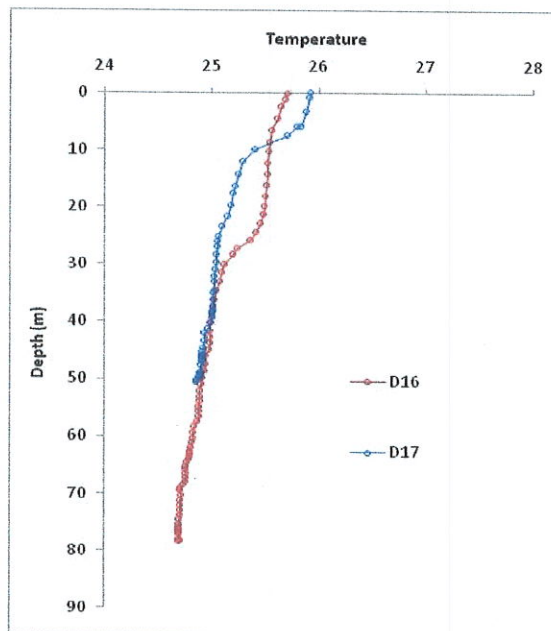
34		-						
35		-						
36	D28	1	-6.88	-46.0	25.7	7.97	0.141	5.43
37		10	-7.03	-46.1	25.6	7.84	0.154	5.19
38		20	-7.35	-46.7	25.4	7.57	0.147	4.67
39		30	-7.40	-46.7	25.4	7.13	0.151	3.15
40		-						
41		-						
42	D29	1	-6.38	-44.5	26.9	7.03	0.16	6.24
43		10	-6.58	-43.4	26.3	7.9	0.147	5.6
44		20	-6.55	-43.6	26.1	7.87	0.158	5.91
45		30	-6.78	-44.7	25.9	7.46	0.158	3.88
46		-						
48	Semburan air panas		-6.33	-43.3				

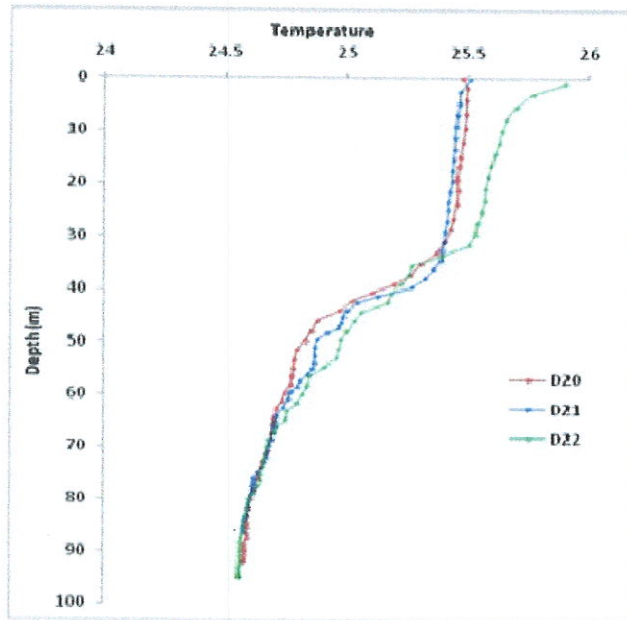






Gambar 4: Pola stratifikasi air danau Toba berdasarkan D dan O-18 sampel yang dikumpulkan pada Agustus 2016





Gambar 5: Pola stratifikasi air danau Toba berdasarkan suhu sampel yang dikumpulkan pada Agustus 2016

## 2. Data Riset Penelitian lainnya

### a. Struktur patahan dan upflow lapangan panas bumi

Hasil pengukuran  $^{222}\text{Rn}$  dari 41 lokasi tertera pada tabel 1 di bawah ini.

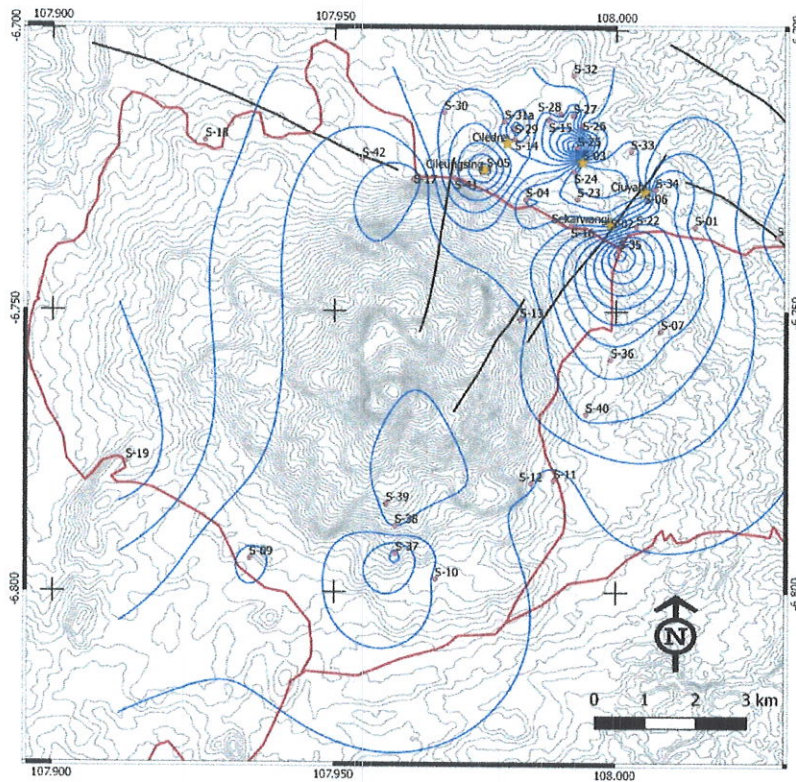
Tabel 2. Hasil pengukuran  $^{222}\text{Rn}$  di sekitar gunung Tampomas.

No.	Kode	Kons. (Bq/m <sup>3</sup> )	Elevasi (m)	Koordinat	
				Easting	Northing
1	S-01	3223	323	108.014	-6.73507
2	S-02	1975	329	107.999	-6.73439
3	S-03	70	296	107.994	-6.72351
4	S-04	713	359	107.984	-6.7302
5	S-05	8855	298	107.977	-6.7249
6	S-06	196	310	108.005	-6.72877
7	S-07	4320	449	108.008	-6.75352

8	S-08	79	470	107.915	-6.83642
9	S-09	751	613	107.935	-6.79405
10	S-10	1798	675	107.968	-6.79766
11	S-11	607	618	107.989	-6.77998
12	S-12	1099	659	107.985	-6.78054
13	S-13	1615	657	107.983	-6.75148
14	S-14	2703	298	107.982	-6.71944
15	S-15	5485	306	107.988	-6.7161
16	S-16	3068	367	107.992	-6.73487
17	S-17	193	347	107.964	-6.72666
18	S-18	3560	426	107.927	-6.71984
19	S-19	4863	550	107.913	-6.77681
20	S-21	440	278	108.0286	-6.73687
21	S-22	6500	361	108.0036	-6.73499
22	S-23	621	334	107.9931	-6.73013
23	S-24	392	302	107.9925	-6.72523
24	S-25	12900	297	107.9931	-6.72106
25	S-26	1060	295	107.994	-6.71704
26	S-27	6620	302	107.9923	-6.71531
27	S-28	2720	305	107.9901	-6.71491
28	S-29	557	308	107.9819	-6.71762
29	S-30	4110	346	107.9695	-6.71479
30	S-31a	4170	339	107.9802	-6.71637
31	S-32	2680	312	107.9924	-6.70815
32	S-33	620	312	108.0026	-6.72158
33	S-34	6270	330	108.007	-6.72837

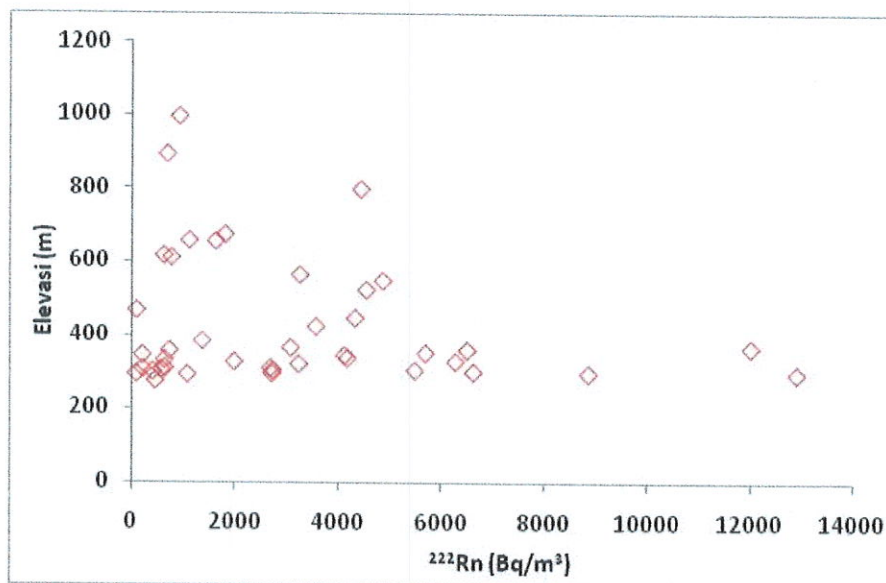
34	S-35	12010	367	108.0004	-6.73929
35	S-36	4540	525	107.9991	-6.7585
36	S-37	4430	799	107.9609	-6.79307
37	S-38	670	894	107.9609	-6.78814
38	S-39	904	997	107.9592	-6.78422
39	S-40	3250	566	107.9947	-6.76824
40	S-41	5690	353	107.9713	-6.7264
41	S-42	1350	386	107.9549	-6.72317

Dari tabel di atas terlihat bahwa konsentrasi  $^{222}\text{Rn}$  terbesar pada titik S-25 sebesar 12900 Bq/m<sup>3</sup> dan terendah pada titik S-03 sebesar 70 Bq/m<sup>3</sup>. Gambar 3 di bawah menunjukkan kontur distribusi  $^{222}\text{Rn}$  di daerah penelitian. Dari gambar tersebut terlihat jelas bahwa konsentrasi  $^{222}\text{Rn}$  cenderung lebih tinggi di sekitar lokasi mata air panas dan struktur patahan dibandingkan daerah lainnya, mengindikasikan aliran  $^{222}\text{Rn}$  ke permukaan cenderung melalui struktur patahan.



**Gambar 6.** Kontur distribusi  $^{222}\text{Rn}$  di sekitar gunung Tampomas.

Hubungan antara  $^{222}\text{Rn}$  dan elevasi dapat dilihat pada gambar 4 di bawah. Secara umum, semakin tinggi elevasi akan semakin jauh jarak aliran  $^{222}\text{Rn}$  ke permukaan (dengan asumsi kedalaman sumber yang sama) sehingga pada elevasi yang lebih tinggi aliran  $^{222}\text{Rn}$  dan konsentrasinya akan lebih kecil dibanding pada elevasi yang lebih rendah. Namun dari grafik pada gambar 4 terlihat bahwa tidak ada korelasi yang signifikan antara  $^{222}\text{Rn}$  dengan ketinggian. Dengan demikian, aliran  $^{222}\text{Rn}$  ke permukaan cenderung dipengaruhi oleh struktur patahan.



**Gambar 7.** Hubungan konsentrasi  $^{222}\text{Rn}$  terhadap elevasi.

*b. Dinamika air tanah pada cekungan air tanah Jakarta*

Berdasarkan penelitian sebelumnya dengan isotop alam di daerah Jabodetabek (RUT, 1998 – 2000), daerah resapan air tanah untuk air tanah akuifer dalam Jakarta, salah satunya berasal dari sekitar Depok. Sementara itu dari peta iso-contour umur, gerakan air tanahnya cenderung mengarah ke daerah industri Jakarta Timur dan Jakarta Barat. Untuk mengetahui kondisi air tanah akuifer dalam saat ini dilakukan pengambilan kembali sampel air tanah di beberapa lokasi melalui pendekatan yang sama, yaitu menggunakan isotop alam ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$ ). Dari hasil sementara, pola pergerakan air tanahnya masih mirip dengan pergerakan air tanah pada penelitian sebelumnya. Namun secara umum

terjadi penurunan umur airtanah yang cukup signifikan jika dibanding dengan penelitian tahun 1998. Hal ini dapat menunjukkan bahwa pengambilan air tanah dalam di Jakarta telah melebihi laju imbuhan air tanahnya.



Gambar 8: Lokasi titik sampling air tanah dalam Jakarta

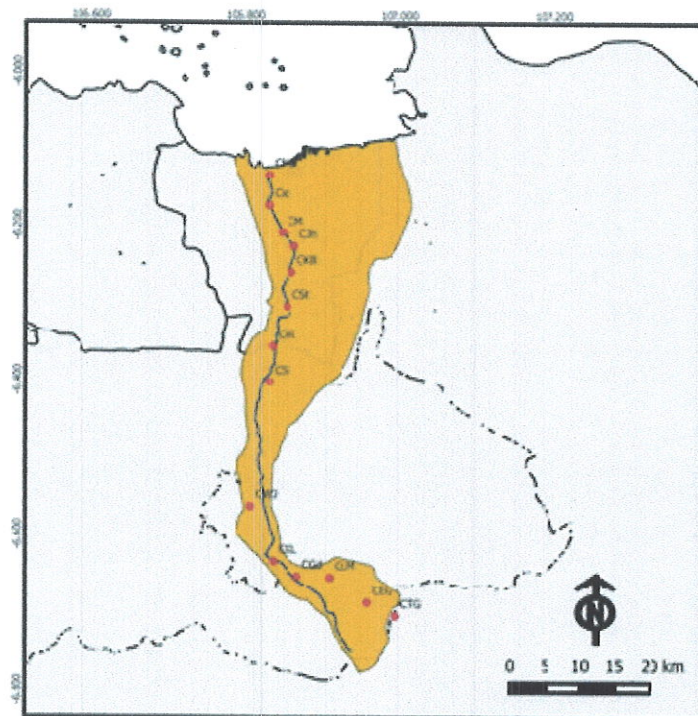
Tabel 3. Hasil analisis isotop  $^{14}\text{C}$

No.	Nama Sampel	Koordinat (UYM)	Kedalaman (meter, dpts)	Percent Modern Carbon (PMC)	Age (years BP*)
1	PT. Coca Cola	X: 705454.00 mE Y: 9289004.00 mS	150	90,28 ± 0,63	845 ± 50
2	BKAT	X: 700527.00 mE Y: 9322189.00 mS	300	17,17 ± 0,36	14567 ± 800
3	PT. Lion Star	X: 692334.00 mE Y: 9322647.00 mS	150	19,59 ± 0,32	13479 ± 750
4	MM Bekasi	X: 720107.00 mE Y: 9308793.00 mS	150	18,35 ± 0,35	14015 ± 780
5	PT. Sinar Sosro	X: 717040.60 mE Y: 9315310.68 mS	250	20,51 ± 0,23	13097 ± 730
6	PT. Yuasa Bateray	X: 680481.00 mE Y: 9312316.00 mS	150	39,96 ± 0,18	7584 ± 420
7	PT. Frisian Flag	X: 706712.00 mE Y: 9299409.00 mS	150	83,66 ± 0,94	1475 ± 80
8	PAM Bintaro Sektor II	X: 693752.00 mE Y: 9305801.00 mS	150	61,16 ± 0,85	4065 ± 230

\*BP=before present=1950

c. *Interkoneksi airtanah dan air sungai sepanjang DAS Ciliwung*

Pada tahun 2016, telah dilakukan penelitian interaksi air tanah dengan air sungai di daerah aliran sungai (DAS) Ciliwung dengan isotop radon. Penelitian ini dimaksudkan sebagai implementasi kerjasama regional BATAN melalui RAS 5/069: “Complementing Conventional Approaches with Nuclear Techniques towards Flood Risk Mitigation and Post-Flood Rehabilitation Efforts in Asia.” Penelitian ini masih bersifat penelitian pendahuluan. Penelitian masih akan dilanjutkan dalam penelitian tahun 2017. Data sementara yang dikumpulkan dari lokasi penelitian diberikan dalam table berikut.



Gambar 9: Lokasi penelitian DAS Ciliwung

**Tabel 4: pengukuran parameter pH, suhu, konduktivitas listrik dan aktifitas Radon**

No	Sampel	T (oC)	pH	EC (mS/cm)	Aktifitas Radon (Bq/m3)
1	Telaga Warna	22.4	7.10	0.061	147.25
2	sumur Telaga Warna	20	5.38	0.136	957.75
3	Clw Hotel Evergreen	21.7	5.62	0.095	73.7
4	Sumur Morning Dew	22.1	4.62	0.05	3810
5	Clw Leuwi Malang	23.3	6.36	0.113	0
6	Sumur depan Cimori	24.4	4.38	0.094	2550
7	Mata air Cilio	26.6	4.69	0.163	3480
8	Mata air Al Ikhwan	26.6	5.83	0.283	1810
9	Clw Al Ikhwan	25.2	6.62	0.122	147
10	Clw Gadog	24.1	7.31	0.114	36.8
11	Sumur Gadog	25.6	5.44	0.326	2070
12	Bendung Katulampa	26.2	7.24	0.111	73.7
13	Sumur katulampa	27.2	6.14	0.292	2070
14	Clw Warung Jambu	26.6	7.09	0.127	0
15	Sumur Warung jambu	27.9	6.12	0.405	2550
16	Clw Bojong Gede	27.2	6.30	0.128	185
17	Sumur Bojong Gede	27.6	4.06	0.073	2960
18	Sumur Siliwangi	28.3	5.36	0.236	1250
19	Clw Siliwangi	27.9	5.96	0.136	37
20	Clw UI	27.7	5.85	0.15	73.7
21	Sumur UI	28.6	6.05	0.314	294.5
22	Clw Simatupang	28.4	5.88	0.145	36.8
23	Sumur Simatupang	31.3	5.05	0.587	1074
24	Sumur Kalibata	31.2	4.9	0.448	3000
25	Clw Kalibata	29	5.5	0.167	110
26	Sumur Jatinegara	29.8	4.98	0.578	3440
27	Clw Jatinegara	27.1	6	0.139	36.8
28	Pt. Air Manggarai	27.3	5.88	0.147	73.9
29	Sumur Manggarai	28.4	4.95	0.521	3460
31	Clw Istiqal	27.8	5.76	0.168	73.7
32	Sumur Istiqal	30.9	6.38	0.763	777
33	Clw mangga dua	28	5.48	0.181	36.8
34	Sumur mangga dua	30	5.62	0.315	110



## KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan pengumpulan sampel dari berbagai lokasi dari kedalaman 0 – 100 m diperoleh pola stratifikasi air danau Toba. Pola stratifikasi danau Toba tersebut dapat diinterpretasi dari profile isotop stabil deuterium dan oksigen-18 maupun suhu. Stratifikasi tersebut disebabkan suhu yang relative lebih tinggi pada permukaan air danau yang mengakibatkan dinamika air danau yang lebih aktif pada permukaan danau. Akan tetapi kedalaman danau yang relative besar tidak dimungkinkannya energy (dinamika/pergerakan) dipermukaan tersalurka keseluruh lapisan danau. Dengan demikian terjadilah phenomena stratifikasi air danau yang pada umumnya ditandai dengan suhu yang lebih besar pada permukaan dan selanjutnya berangsur-angsur turun sampai suhu tertentu dan selanjutnya suhunya akan relative sama sebagai fungsi kedalaman. 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.

Dari hasil pengukuran konsentrasi  $^{222}\text{Rn}$  dari beberapa titik sampling di daerah panas bumi Gunung Tampomas, Sumedang, Jawa Barat, menunjukkan kesenderungan konsentrasi yang relative lebih tinggi di sekitar lokasi mata air panas dan struktur patahan dibandingkan daerah lainnya. Hal ini mengindikasikan aliran  $^{222}\text{Rn}$  ke permukaan cenderung melalui struktur patahan.

Hasil sementara penelitian dinamika air tanah dalam Jakarta menunjukkan pola pergerakan yang hampir mirip dengan pergerakan air tanah pada penelitian sebelumnya yaitu penelitian yang dilakukan pada tahun 1998. Namun secara umum terjadi penurunan umur airtanah yang cukup signifikan jika dibanding dengan penelitian tahun 1998. Hal ini dapat menunjukkan bahwa pengambilan air tanah dalam di Jakarta telah melebihi laju imbuh air tanahnya.

## 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 isotop 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 Hydrolgeology*, 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).

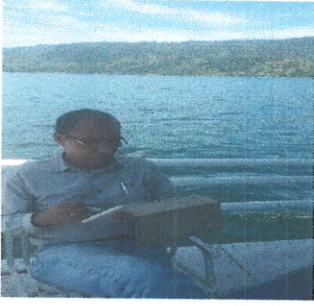
### **FOTO-FOTO KEGIATAN.**



Gambar 1.  
Pengambilan sampel  
air danau Toba



Gambar 2.  
Alat kerek sampel  
dan water sampler



Gambar 3: Pencatatan data insitu, D. Toba



Gambar 4.  
Tenaga local yang membantu pelaksanaan penelitian



Gambar 5:  
Pengambilan sampel di Gn. Tampomas



Gambar 6.  
Pengukuran Radon di Gn. Tampomas