

LAPORAN TEKNIS 2015

07/AIR 2/OT 02 02/01/2016

DATA RISET IDENTIFIKASI SUMBER DAYA AIR DANAU,
AIR TANAH DAN FLUIDA GEOTHERMAL

Paston Sidauruk, Bungkus Pratikno, Satrio, Evarista Ristin
Puji Indiyati, Neneng Laksminingpuri, Agus Martinus



PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
2016

LAPORAN TEKNIS 2015

07/AIR 2/OT 02 02/01/2016

DATA RISET IDENTIFIKASI SUMBER DAYA AIR DANAU,
AIR TANAH DAN FLUIDA GEOTHERMAL

Paston Sidauruk, Bungkus Pratikno, Satrio, Evarista Ristin
Puji Indiyati, Neneng Laksminingpuri, Agus Martinus

Mengetahui/Menyetujui

Kepala Bidang Industri dan Lingkungan



Dr. Sugiharto, MT
NIP. 19620705 198510 1 002

Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi



Dr. Hendig Winarno, M.Sc
NIP. 19600524 198801 1 001

Abstrak

DATA RISET IDENTIFIKASI 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. Dalam tahun 2015, 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 2015 adalah penelitian karakteristik air masukan khususnya air hujan di daerah tangkapan danau Toba, Sumatera Utara. Beberapa penelitian penunjang dilakukan untuk mendukung keterlibatan PAIR dalam kegiatan regional seperti penelitian dinamika gerakan air tanah di daerah Gunung salak dan Panggrango sebagai salah satu akifer utama untuk daerah ibukota dan sekitarnya; penelitian adalah menunjang kerjasama regional BATAN melalui RAS 7/022; dan interaksi air tanah dengan air sungai di daerah aliran sungai (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." Disamping itu, penelitian pendahuluan untuk melihat potensi lapangan panas bumi sekitar danau Toba juga dilakukan.

Kata Kunci : sumber daya air, isotop alam, danau, air tanah, daerah imbuhan, dinamika air danau.

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. Di lain 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 kehidupann 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. Pada tahun 2015, penelitian karakteristik air masukan baik yang merupakan sungai musiman, sungai tetap, dan air hujan telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membangun garis meteoric local (local meteoric water line) yang akan digunakan sebagai acuan pada penelitian selanjutnya seperti interaksi air danau dengan air tanah maupun air permukaan (air keluaran) sekitar danau juga untuk menentukan perkiraan daerah imbuhan air tanah, air masukan, air keluaran, dan air danau.

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 :

1. Liquid Water Isotop Analyzer (LWIA) merk LGR DLT-100 [4]
2. Picarro G2101-i laser spectrometer untuk analisis Carbon-13
3. Carbon-14 Preparation Line
4. Liquid Scintillation Counter (LSC) merk Perkin Elmer

5. RAD7 Durrige Co. untuk analisis ^{222}Rn
6. Ion Chromotography (IC) Metrohm
7. Multi parameter (pH meter, Termometer, Conductivity meter, Dissolved oxygen)
8. Hidrograph Digital
9. GPS
10. Elevasi meter
11. Alat penampung curah hujan
12. Gelas ukur

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

- | | |
|---|--|
| 1. Nitrogen Cair (N_2 liquid) | 10. Instagel |
| 2. Aceton pro analys | 11. Botol sampel |
| 3. N_2O_2 | 12. Oil vacuum pump |
| 4. Cu_2O | 13. Natrium Hidroksida (NaOH) |
| 5. Gas Nitrogen | 14. Dryrite untuk LWIA – LGR |
| 6. Gas CO_2 | 15. Syringe 1,2 μL untuk Autosampler LWIA-LGR |
| 7. Asam Phospate 100 % | 16. Carbosoft |
| 8. Barium Clorida (BaCl_2) | 17. Silika gell |
| 9. Pyrolidine | |

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 benar-benar valid.



Gambar 1. *Liquid water isotope analyzer*.

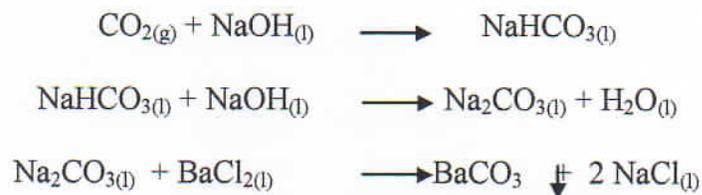
Sebanyak 1 ml sampel air baik yang berasal dari uap air udara, air tanah, air hujan dan air dari daun maupun akar tumbuhan dalam penelitian evapotranspirasi, diambil dan dimasukkan dalam botol sampel, untuk kemudian ditempatkan pada baki pada autosampler LWIA-LGR.

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_2 . 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 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] :



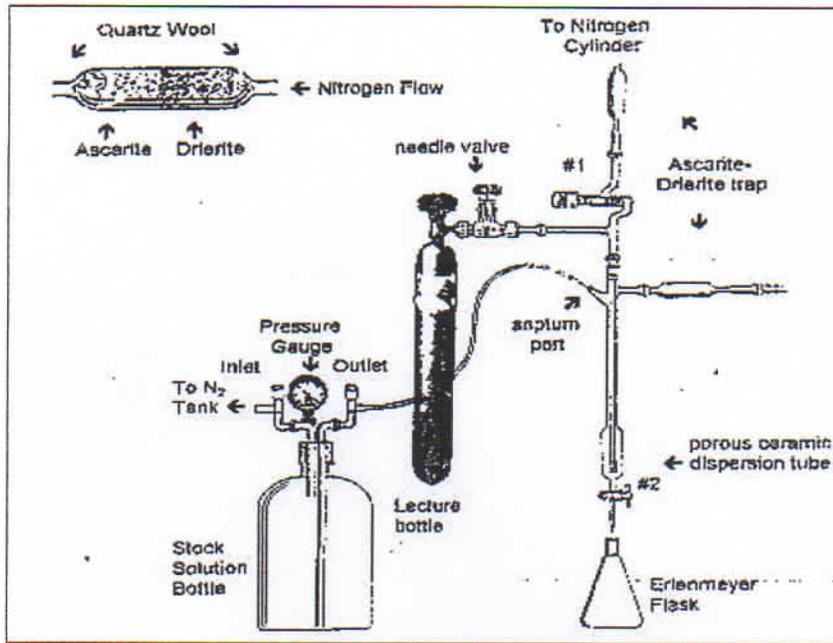
Endapan BaCO₃ yang sudah dikeringkan kemudian direaksikan dengan H₃PO₄ 100 % dalam tabung pada kondisi vakum. Gas CO₂ yang terlepas dalam tabung reaksi tersebut kemudian ditangkap (*traping*) dengan menggunakan N₂ cair dengan suhu -195⁰C juga pada kondisi tabung *traping* yang sudah divakum. kelanjutan dari persamaan di atas adalah sebagai berikut :



kemudian gas CO₂ yang didapat dianalisis komposisi rasio isotop ¹³C-nya dengan spektrometer massa SIRA-9.

Analisis isotop ¹⁴C

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



Gambar 2 : Rangkaian alat absorpsi CO₂.

Sampel air untuk analisis ¹⁴C 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 FeSO₄.7H₂O, NaOH (bebas CO₂), BaCl₂ dan Praestol dalam kondisi basa. Dari proses ini diperoleh endapan sampel dalam bentuk BaCO₃. Endapan BaCO₃ yang diperoleh dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis kandungan ¹⁴C dan ¹³C.

Analisis isotop ¹⁴C dilakukan dengan metode carboxorb yaitu dengan cara melakukan penyerapan CO₂, baik CO₂ yang berasal dari sampel, latar belakang maupun standar dengan penyerap carboxorb yang telah dicampur dengan sintilator, fungsi dari sintilator ini adalah untuk mengubah emisi β dari ¹⁴CO₂ menjadi foton-foton cahaya [8].

Dalam kondisi vakum, sampel karbonat dalam bentuk senyawa BaCO₃ atau CaCO₃ direaksikan dengan HCl 10% sehingga diperoleh CO₂ melalui reaksi berikut.



Sebanyak kira-kira lima liter CO₂ ditampung dalam tabung *stainless steel*. Gas CO₂ ini selanjutnya dialirkan ke kolom absorpsi yang telah diisi dengan 35 ml larutan sintilator dan carboxorb.

Setelah proses absorpsi selesai, larutan yang terbentuk langsung dikucurkan ke dalam labu *erlenmeyer* sambil dialiri gas N₂. Sebanyak 21 ml larutan tersebut diambil dan dituangkan ke dalam vial gelas 21 ml dengan menggunakan pipet volumetrik. Radioisotop ¹⁴C yang terkandung dalam ¹⁴CO₂ kemudian dicacah dalam pencacah sintilasi cair selama 20 menit 50

kali pengulangan [3].

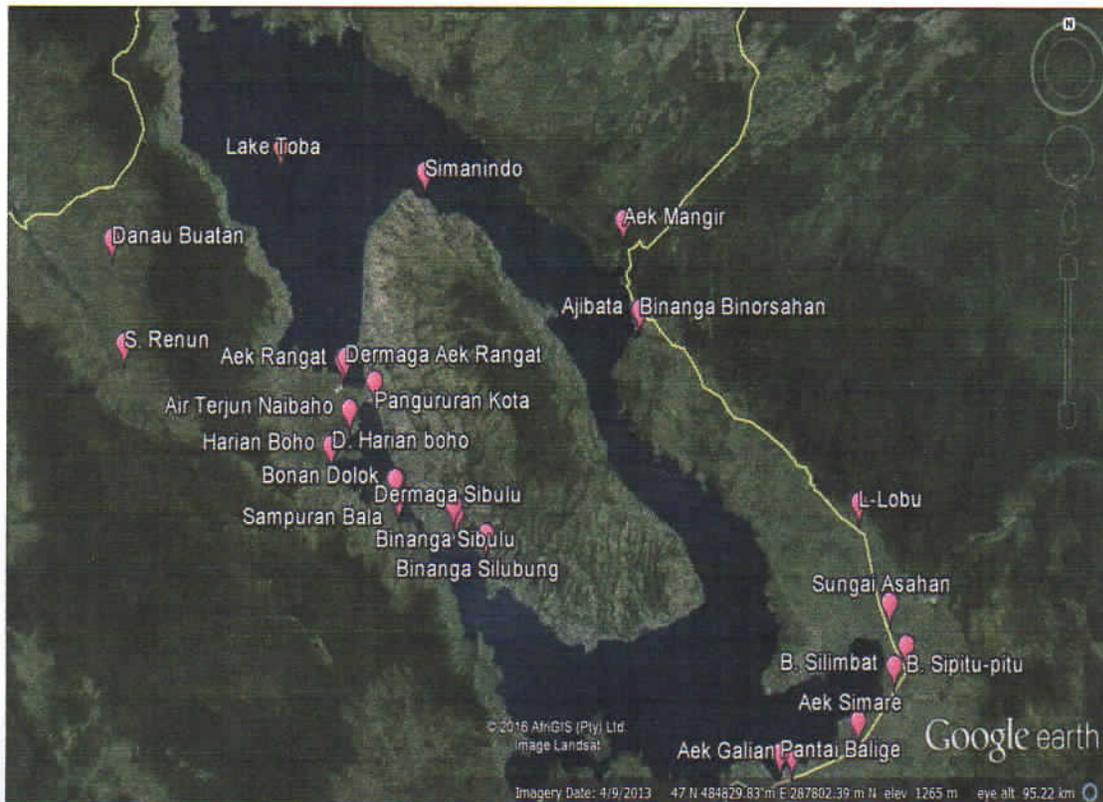
Analisis Anion (Cl^- , SO_4^{2-} dan HCO_3^-) dan Kation (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+})

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

Pengamatan dan pengambilan sampel dari air masukan yang mengalir ke danau Toba telah dimulai sejak tahun 2014. Pengamatan dan pengambilan sampel kembali dilakukan pada tahun 2015 untuk beberapa lokasi sebagai upaya verifikasi dan parameter insitu. Lokasi, kordinat, dan elevasi pengambilan contoh serta parameter insitu yang diukur diberikan dalam Tabel 1. Data isotop stabil beberapa air masukan yang diamati diberikan dalam Tabel 2 dan lokasi pengambilan sampel diberikan dalam Gambar 2.



Gambar 2: Lokasi Pengambilan contoh air dari beberapa air masukan di sekitar Danau Toba

Dari hasil pengamatan yang dilakukan, air masukan yang paling dominan berasal dari sungai-sungai yang berada di daerah tangkapan pulau Sumatera. Debit air masukan dari sungai yang berada di Pulau Samosir pada umumnya hanya mengalir pada musim penghujan sedangkan pada musim kemarau pada umumnya kering. Lebih jauh, lokasi air masukan dari P. Samosir lebih dominan dari sisi barat seperti terlihat dalam Gambar 1.

Data isotop stabil deuterium dan oksigen-18 dari contoh yang dikumpulkan dari air masukan danau Toba diberikan dalam Tabel 2. Terlihat jelas dalam Tabel 2 bahwa kandungan isotop deuterium maupun oksigen-18 dari contoh yang dikumpulkan dari air masukan secara signifikan lebih rendah (depleted) jika dibandingkan dengan kandungan isotop deuterium dan oksigen-18 dari air danau. Hal ini menunjukkan bahwa air danau telah mengalami proses penguapan yang signifikan. Dilihat dari suhu rata-rata di lokasi yang cukup rendah, maka penguapan sebetulnya berlangsung dengan lambat pengayaan kandungan isotop yang secara signifikan terjadi karena waktu tinggal air (*residence time*) yang sangat besar.

Tabel 1: Parameter insitu dan kordinat titik-titik pengamatan air masukan, mata air, dan air danau

No.	Nama lokasi	Kordinat		TDS (ppt)	Ec (mS)	pH	T (C)	Elev. (m)
		East	North					
1	MA Tiga Bolon	98; 57,911	2; 52,694	0.05	0.09	6.28	24.5	695
2	Binanga Aron			0	0.01	7.66	22	915
3	Aek Rangat/Kawah	98; 40,377	2; 37,130	2.35	4.7	2.12	47.1	945
4	Dermaga Aek Rangat	98; 40,495	2; 37,201	0.58	1.21	2.99	28.7	920
5	Pangururan Kota	98; 42,029	2; 36,182	0.08	0.15	6.53	26.6	918
6	Sibigo Rianiate	98; 43,541	2; 33,285	0.05	0.1	7.06	23.2	932
7	Sigaol-Palipi	98; 45,177	2; 31,302	0.02	0.05	6.89	25.1	931
8	Binanga Siguluon	98; 46,263	2; 30,836	0.02	0.05	7.2	24.2	929
9	Binanga Silubung	98; 47,967	2; 29,556	0.03	0.06	7.33	22.5	917
10	Dermaga Sipinggan	98; 53,889	2; 26,045	0.07	0.16	8.06	26.6	920
11	Harian, O. Runggu	98; 55,371	2; 26,173	0.14	0.3	7.6	25.2	914
12	Tampahan							
13	Air Terjun	99; 03,501	2; 32,137	0	0.01	7.36	19.1	1390
14	Prapat/Aji Bata	98; 55,659	2; 39,894	0.07	0.16	7.46	25.4	892
15	Sungai Aji Bata	98; 56,077	2; 39,297	0.02	0.06	7.44	21.5	911
16	Sungai Asahan, Porsea	99; 09,454	2; 26,603	0.09	0.21	7.75	25.8	909
17	Aek Mandosi	99; 07,787	2; 30,939	0	0.01	6.8	21.1	941
18	Lumban Lobu-2	99; 07,349	2; 31,157	0.04	0.07	7.32	23.1	961
19	Jangga (Sungai)	99; 05,174	2; 33,383	0.02	0.04	7.35	20.2	1109
20	Aek Tongguran-Lbn Rang	99; 02,108	2; 35,486	0.01	0.03	6.83	19.8	1189
21	MA Muat Goit			0.03	0.08	7	24.9	
22	MA Balata			0.03	0.07	5.53	26	
23	MA Bah Tio	99; 01,398	2; 52,721	0.04	0.08	6.2	26.5	599
24	Dermaga Tiga Ras	98; 47,336	2; 47,876					911

Tabel 2: Data isotop stabil sampel Danau Toba 2014 dan 2015

No.	Nama/Lokasi sampel	$\delta^{18}\text{O}$			δD		
1	Tigaras-1 (permukaan)	-7.20	±	0.22	-40.0	±	0.3
2	Pelabuhan Tigaras (8 m)	-11.13	±	0.32	-61.9	±	0.6
3	Pelabuhan Tigaras (permukaan)	-9.81	±	0.29	-51.0	±	0.5
4	Tigaras I (15 m)	-4.12	±	0.26	-56.3	±	1.0
5	Tigaras 2 (15 m)	-4.52	±	0.24	-40.2	±	1.0
6	Tigaras 2 Permukaan	-3.81	±	0.49	-38.7	±	0.5
7	Tigaras 3 Permukaan	-3.86	±	0.26	-39.6	±	0.8
8	Tigaras 3 (15m)	-4.91	±	0.30	-51.2	±	1.7
9	Tigaras4 (15 m)	-3.69	±	0.15	-55.9	±	1.2
10	Tigaras4 (permukaan)	-0.94	±	0.50	-53.4	±	0.7
11	Panguruan kota (permukaan)	-4.95	±	0.39	-50.4	±	0.9
12	Simanindo	-5.66	±	0.23	-50.3	±	0.7
13	Parbaba (permukaan)	0.52	±	0.27	-40.8	±	1.8
14	Aek Soburan Sigaol Palipi 290414	-9.94	±	0.12	-66.2	±	0.4
15	Aek Sialimut 290414	-10.30	±	0.17	-67.9	±	0.7
16	Air Terjun Sigarantung 290414	-10.43	±	0.09	-70.7	±	0.3
17	Aek Hairi 290414	-10.01	±	0.13	-69.0	±	0.6
18	Aek Binanga Arun 290414	-9.96	±	0.13	-71.5	±	1.0
19	Aek Suhut Nihuta 290414	-10.60	±	0.44	-69.6	±	1.0
20	Aek Sigaol Palipi 290414	-8.28	±	0.06	-74.2	±	0.5
21	Danau Aek Natonang 290414	-8.47	±	0.22	-58.0	±	1.0
22	Aek Bolon 290414	-11.09	±	0.30	-70.7	±	0.3
23	Dermaga Sipinggan	-5.37	±	0.04	-45.6	±	0.7
24	Aek Silubung	-10.06	±	0.08	-69.5	±	0.8
25	Aek Rianiate	-9.74	±	0.20	-71.2	±	0.5
26	Aek Sitete	-10.13	±	0.11	-68.8	±	1.1
27	Aek Sibulu	-9.99	±	0.31	-70.1	±	0.2
28	Aek Sipoltongan	-10.16	±	0.10	-69.4	±	0.4
29	Aek Simunden	-10.03	±	0.24	-69.3	±	0.5
30	Aek Sibatu Ara	-9.96	±	0.20	-67.2	±	0.7
31	Aek Jangga	-10.37	±	0.25	-69.4	±	0.4
32	Aek Simundea	-9.85	±	0.18	-69.9	±	0.8
33	Aek Silintah	-10.40	±	0.13	-70.2	±	0.6
34	Aek Parlombuan	-10.33	±	0.07	-72.1	±	0.7
35	Aek Hatoguan	-9.22	±	0.11	-62.8	±	1.2
36	Batu masandar	-10.43	±	0.11	-70.2	±	0.9
37	Air Dn. Panguruan	-6.45	±	0.18	-49.6	±	1.0
38	Aek Soburan 2	-9.46	±	0.09	-67.6	±	0.7
39	S. Asahan Outlet Toba	-5.51	±	0.13	-47.4	±	0.9
40	Aek Sigumbang	-9.49	±	0.07	-70.0	±	1.6
41	Aek Soburan 2	-9.78	±	0.03	-70.7	±	0.5
42	Aek Situa-tua	-9.53	±	0.05	-69.4	±	0.3

Kandungan isotop deuterium dan oksigen-18 dari beberapa mata air yang sangat besar yang berada disekitar danau Toba ditampilkan dalam Tabel 3. Data Isotop alam yang sangat berbeda dengan isotop alam air danau menunjukkan bahwa mata air dalam Tabel 3 tidak berasal dari air danau Toba.

Tabel 3: Isotop alam mata air yang ada di sekitar danau Toba:

No	Kode	Kord.		Elev (m)	δ D (0/00)	δ O18 (0/00)
		N (m)	E (m)			
1	BAH TIO	502589	318184	599	-50.5	-8.05
2	Mualgoit				-51.2	-7.76
3	Balata Polres,	502633	317014	578	-50.3	-7.77
4	Panahatan	491477	297569	1037	-58.1	-9.25
5	Manigom	504234	311636	669	-50.3	-7.85
6	Air Danau	491958	294554	920	-34.9	-3.86

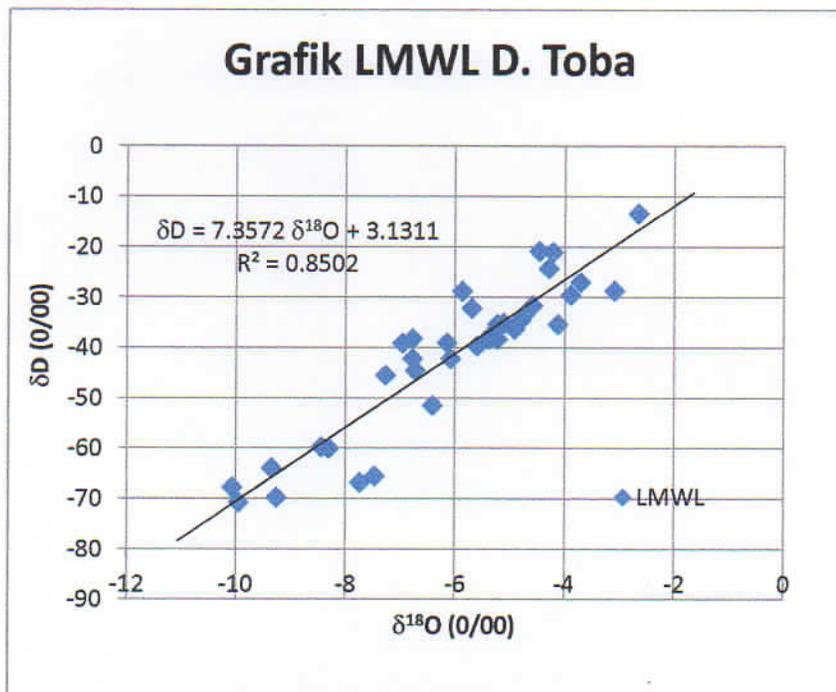
Hasil pengambilan contoh curah hujan yang dilakukan pada tahun 2014-2015, telah selesai dianalisis untuk kandungan isotop stabil deuterium (δ_D) dan oksigen-18 (δ_{O-18}) diberikan dalam table 4. Hubungan antara δ_D versus δ_{O-18} diberikan dalam Gambar 3. Hubungan linear yang diperoleh yang mempunyai persamaan $\delta_D = 7,36 \delta_{O-18} + 3.13$ selanjutnya disebut dengan persamaan garis meteoric local yang selanjutnya akan digunakan sebagai garis referensi dalam penelitian lanjutan. Selanjutnya hubungan antara δ_D dan δ_{O-18} terhadap elevasi diberikan dalam Gambar 4 dan 5. Selanjutnya persamaan yang diperoleh dalam Gambar 4 dan Gambar 5 akan digunakan untuk penentuan daerah imbuh air masukan, keluaran, dan air danau.

Tabel-4 : Data Intensitas dan Isotop O-18/D Air Hujan di sekitar Danau Toba

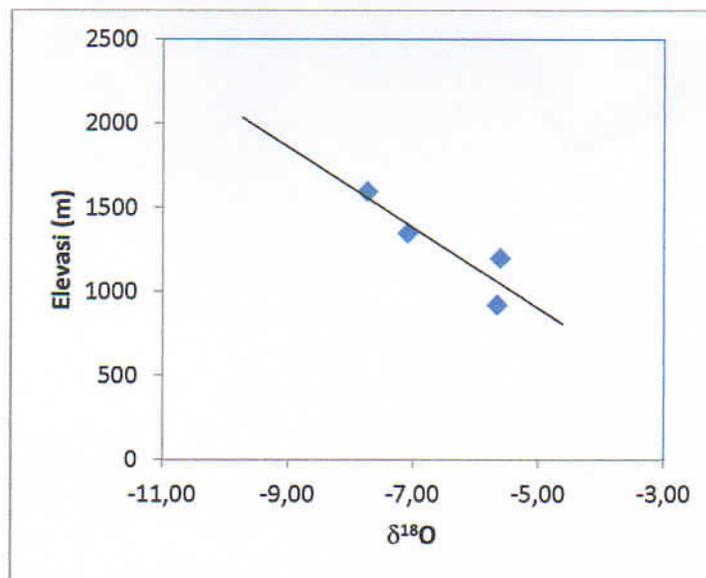
No.	Lokasi Stasiun CH	Elevasi (m)	Februari 2014			Maret 2014			Apr-14			May-14			Juni 2014		
			I	¹⁸ O	D	I	¹⁸ O	D	I	¹⁸ O	D	I	¹⁸ O	D	I	¹⁸ O	D
			(mm)	(⁰ / ₁₀₀)	(⁰ / ₁₀₀)	(mm)	(⁰ / ₁₀₀)	(⁰ / ₁₀₀)	(mm)	(⁰ / ₁₀₀)	(⁰ / ₁₀₀)	(mm)	(⁰ / ₁₀₀)	(⁰ / ₁₀₀)	(mm)	(⁰ / ₁₀₀)	(⁰ / ₁₀₀)
1	CH-1	1597	100.2	-5.7	-32	94.4	-6.97	-39	295.8	-9.95	-70.6	192.7	-8.44	-59.6	57.8	-9.35	-63.8
2	CH-2	1350	57.8	-5.87	-28.7	188.8	-6.78	-38	393.1	-10.07	-67.6	289.0	-9.27	-69.6	28.9	-8.31	-59.9
3	CH-3	1150	53.9	-6.09	-42.1	148.4	-6.74	-44.4	185.0	-6.15	-38.9	157.0	-7.47	-65.4	140.7	-7.74	-66.7
4	CH-4	923	19.3	-4.47	-20.7	92.5	-4.29	-24.1	435.5	-7.28	-45.3	366.1	-6.42	-51.4	52.0	-5.23	-38.2

Lokasi Stasiun CH	Elevasi (m)	Agustus 2014			Sep-14			Oktober 2014			Nopember 2014		
		I	¹⁸ O	D	I	¹⁸ O	D	I	¹⁸ O	D	I	¹⁸ O	D
		(mm)	(⁰ / ₁₀₀)	(⁰ / ₁₀₀)	(mm)	(⁰ / ₁₀₀)	(⁰ / ₁₀₀)	(mm)	(⁰ / ₁₀₀)	(⁰ / ₁₀₀)	(mm)	(⁰ / ₁₀₀)	(⁰ / ₁₀₀)
CH-1	1597	200.4	-4.59	-31.5	211.9	-5.12	-35	246.6	-6.78	-42.1	314.1	-5.39	-38.2
CH-2	1350	204.2	-4.22	-20.9	327.6	-4.81	-34.4	274.6	-5.33	-37.1	323.7	-5.6	-39.5
CH-3	1150	277.5	-4.13	-35.2	277.5	-3.9	-29.4	264.0	-4.92	-36.2	260.1	-4.74	-33.2
CH-4	923	265.9	-2.66	-13.2	265.9	-5.23	-35.2	123.3	-3.09	-28.5	190.8	-3.71	-26.8

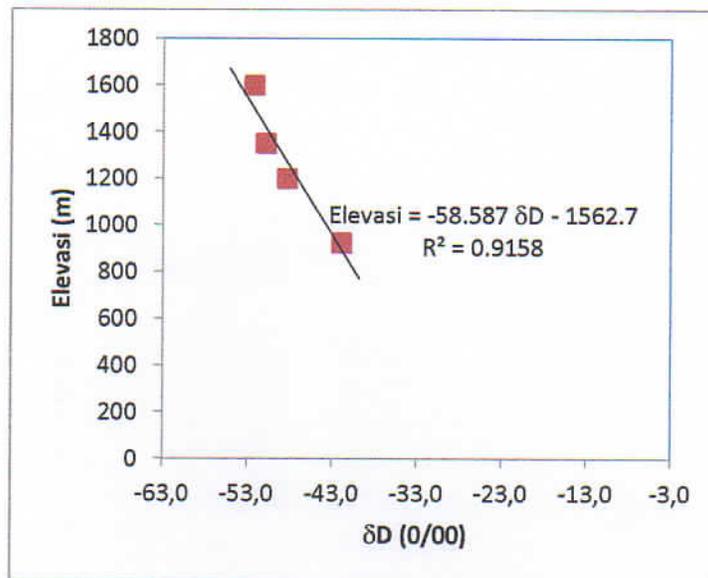
Lokasi C Urah Hujan	Elevasi	$\sum i$	Annual Mean Air Hujan	
			$(\sum I. \delta^{18}O) / \sum i$	$(\sum I. \delta D) / \sum i$
CH-1 Dolog Simarjunjung	1597	1513.5	-7.74	-52.2
CH-2 Desa Siambaton	1350	1883.4	-7.09	-50.8
CH-3 Desa Marandor	1200	1486.5	-5.61	-48.3
CH-4 Hotel Tiga Ras	923	1545.3	-5.67	-41.8



Gambar 3: Hubungan antara δ_D versus δ_{O-18}



Gambar 4: Grafik hubungan $\delta^{18}O$ terhadap Elevasi



Gambar 5: Grafik hubungan $\delta^{18}\text{O}$ terhadap Elevasi

KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan pengumpulan sampel, debit sebagian besar air masukan ke danau Toba sangat terpengaruh oleh hujan. Sebagian besar sungai atau saluran yang mengalir ke danau Toba terlihat kering pada musim kemarau khususnya sungai saluran yang berada di daerah tangkapan Pulau Samosir. Dari pengamatan beberapa air masukan danau Toba, air masukan (sungai dan saluran) yang berada di daerah tangkapan Sumatera mempunyai debit yang lebih besar dan selalu mengalir sepanjang tahun. Dari hasil pengukuran/analisis sampel yang dikumpulkan dari seluruh air masukan menunjukkan indikasi sementara bahwa komposisi isotop air danau sedikit lebih kaya jika dibandingkan dengan air masukan khususnya pada musim hujan.

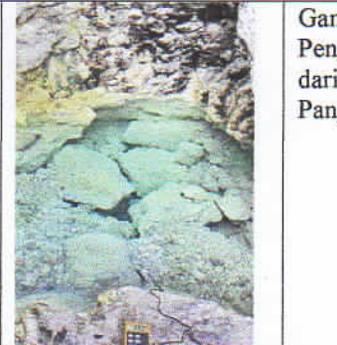
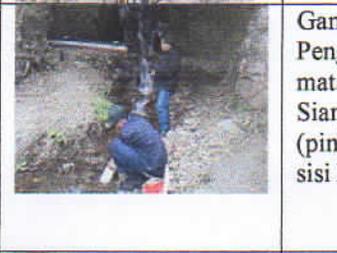
Dari hasil analisis kadungan isotop alam dari contoh air yang dikumpulkan dari mata air yang berdebit besar yang ada disekitar danau Toba seperti mata air Bah Tio, Mualgoit, Manigom dan Balata tidak menunjukkan hubungan dengan air danau Toba sebagaimana persepsi masyarakat sekitar sebelumnya.

Sebagaimana telah diperkirakan, hubungan antara δ_{D} versus $\delta_{\text{O-18}}$ adalah linear dengan koefisien korelasi mendekati 1 dan kemiringan mendekati kemiringan global meteoric water line yaitu 8. Yang menunjukkan rancangan dan pelaksanaan penelitian sudah berjalan dengan baik.

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.

	<p>Gambar 1. Tim dalam perjalanan dari pelabuhan Tigras ke Simanindo dengan Ferry</p>		<p>Gambar 2. Pengukuran parameter insitu dengan water checker</p>
	<p>Gambar 3: Pengambilan sampel Air Sungai di daerah Harang Gaol, D. Toba</p>		<p>Gambar 4. Pengambilan sampel air dari mata air Aek Rangat Pangururan</p>
	<p>Gambar 5: Pemeriksaan alat penangkap curah hujan di desa Sianbaton</p>		<p>Gambar 6. Pengambilan sampel di mata air Naibaho, Sianjur Mula-mula, (pinggiran danau toba di sisi P. Sumatera).</p>
	<p>Gambar 7: Alat water sampler</p>		<p>Gambar 6. Persiapan pengambilan sampel</p>