

## Mempelajari Hubungan Air di Danau Toba dengan Air di Beberapa Sumber Mata Air Dekat Danau Toba

### *Studying the Water in Lake Toba Relationship with Water in Some Water Spring Nearby Lake Toba*

**Bungkus Pratikno dan Paston Sidauruk**

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN  
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440  
E-mail : bungkus@batan.go.id

Diterima 30-09-2015; Diterima dengan revisi 19-10-2015; Disetujui 23-11-2015

#### **ABSTRAK**

**Mempelajari Hubungan Air di Danau Toba dengan Air di Beberapa Sumber Mata Air Dekat Danau Toba.** Telah dilakukan penelitian komposisi rasio isotop dari beberapa sumber-sumber mata air yang berada di sekitar danau Toba dan air danau Toba. Sumber mataair keluaran di sekitar Danau Toba diindikasikan berasal dari air danau Toba, hal ini didasari dari pendapat masyarakat pada umumnya yang tinggal di Pematang Siantar-Sumatera Utara, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk membuktikan pendapat masyarakat tersebut. Penelitian bertujuan untuk mengetahui asal-usul sumber-sumber mata air dan hubungannya dengan air danau Toba berdasarkan karakteristik isotop stabil yang dikandungnya. Sebanyak 20 ml contoh air diambil dari beberapa sumber mata air dan air danau Toba untuk dianalisis komposisi rasio isotop  $^{18}\text{O}$  dan isotop deuterium yang terkandung didalamnya. Analisis menggunakan alat pengukur komposisi rasio isotop *Liquid Water Isotope Analyzer* (LWIA) model DLT-100 buatan Los Gatos Research (LGR). Berdasarkan hasil investigasi, diketahui bahwa mata air Panahatan, Manigom, Balata, Mualgoit dan Bahtio yang terletak di sekitar danau Toba, tidak memiliki hubungan dengan air danau dan tidak berasal dari air danau Toba. Indikasi ini dapat dilihat dari hasil analisis  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta\text{D}$  dari mataair yang diteliti memiliki nilai lebih negatif atau lebih *depleted* dibandingkan dengan air danau Toba.

**Kata Kunci :** Danau Toba, Isotop Alam, Oksigen-18, Deuterium

#### **ABSTRACT**

**Studying the Water in Lake Toba Relationship with Water in Some Water Spring Nearby Lake Toba.** Has conducted research isotope composition ratio of the few sources of springs that are located around the lake Toba and Toba lake water. Source output springs around Lake Toba is indicated from water lake Toba, this is based on the opinion of people in general who live in North Sumatra Siantar, therefore it is necessary to do a study to prove the public opinion. The study aims to determine the origin of the sources of spring water and its relationship with water lake Toba based on the characteristics of stable isotopes it contains. As many as 20 ml of water samples taken from several sources springs around toba lake and water of toba lake, to analysed of isotope ratio composition of O-18 and deuterium that contained within. Measurement of isotope ratio using LWIA DLT-100 made in LGR. Based on the investigating result, is known that springs of Panahatan, Manigom, Balata, Mualgoit and Bahtio which is located around Toba lake, has no relationship by lake water and they not originated of water of toba lake. This indication can be seen from the analysis result of  $\text{dO-18}$  and  $\text{dD}$  each springs which more negative or more depleted than water of Toba lake.

**Keywords:** Lake Toba, Natural isotopes, Oxygen-18, Deuterium

## PENDAHULUAN

Danau Toba merupakan danau terbesar di Asia Tenggara, dan merupakan danau terdalam kesembilan di dunia serta menjadi danau tipe vulkanik kalderaterbesar di dunia. Danau ini berada 905 meter diatas permukaan laut dengan panjang 100 km, lebar 30 km dan luas diperkirakan sebesar 1130 km<sup>2</sup> dan volume 242 m<sup>3</sup>. Kedalaman sebelah utara adalah 529 m sedangkan kedalaman sebelah selatan adalah 429 m. Danau Toba yang terletak di propinsi Sumatra Utara merupakan danau yang terjadi oleh proses vulkanic sekitar 70.000 tahun yang lalu. Danau yang diapit oleh beberapa Kabupaten ini adalah danau yang sangat strategis baik untuk perekonomian rakyat, pariwisata, pembangkit tenaga, maupun untuk lingkungan.

Ada beberapa sumber mataair di sekitar danau Toba yang diindikasikan berasal dari danau Toba, mataair-mataair tersebut antara lain : Mataair Moal Goit, yang terletak di Nagori-Huta Bah Sampuran, sekitar 20 km dari danau Toba, merupakan sumber air jernih alami, yang bergolak dan menyembur dari bebatuan di dinding-dinding tebing, pemerintah setempat telah menjadikan sumber mataair ini sebagai sumber air bersih ke Kotamadya Pematang Siantar. Mata air Balata, berada di sekitar lokasi Sampuran, Mual Sampuran Balata berupa aliran sungai kecil yang memiliki sumber mata air jernih yang dahulunya digunakan masyarakat untuk keperluan sehari-hari. Lokasi mata air ini tidak jauh dari kota Pematang Siantar. Mata air Manigom, mataair ini telah menjadi pemandian alam Manigom yang terletak di Nagori Tiga Dolok, Kecamatan Dolok Panribuan, yang dahulu menjadi salah satu destinasi wisata lokal yang ramai dikunjungi pelancong dan mulai kini telantar. Dua mataair lainnya yaitu mataair Bahtio dan mataair Panahatan [1,2,3].

Penelitian tentang asal-usul suatu sumber air keluaran seperti mataair telah banyak dilakukan, dan saat ini metode yang sedang berkembang pesat untuk penelitian tersebut adalah dengan menggunakan metode isotop stabil, yaitu suatu metode yang didasarkan pada kandungan komposisi rasio

isotop <sup>18</sup>O dan isotop <sup>2</sup>H (deuterium) yang dikandung oleh contoh air itu sendiri.

Aplikasi teknologi isotop stabil untuk penelitian air tanah, dan asal-usul serta keterhubungan sumber-sumber mataair pada dasarnya ialah mengidentifikasi variasi konsentrasi isotop-isotop <sup>18</sup>O dan isotop deuterium dari sampel air tersebut, kemudian diacu terhadap 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 [4,5].

Penggunaan isotop stabil sebagai perunut, didasarkan pada adanya perbedaan massa molekul antara contoh-contoh air yang dirunut. Di alam ada dua isotop stabil hidrogen (<sup>1</sup>H atau protium dan <sup>2</sup>H atau deuterium) serta tiga isotop stabil oksigen (<sup>16</sup>O, <sup>17</sup>O, <sup>18</sup>O). Dari 9 (sembilan) kemungkinan variasi bentukan komposisi isotop-isotop yang berbeda tersebut, hanya terdapat 3 (tiga) komposisi rasio isotop yang mudah untuk dideteksi, yaitu Konsentrasi dari komposisi isotop : <sup>1</sup>H<sub>2</sub><sup>16</sup>O, <sup>1</sup>H<sub>2</sub><sup>18</sup>O dan <sup>1</sup>H<sup>2</sup>H<sup>16</sup>O. Nilai komposisi rasio isotop dari contoh biasanya di acu terhadap sebuah standar internasional yang diakui yaitu Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW). Standar V-SMOW di keluarkan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) yang merupakan standar yang menyatakan rata-rata nilai komposisi rasio isotop air laut didunia, yaitu untuk  $\delta^{18}\text{O} = 0 \text{ ‰}$  dan  $\delta\text{D} = 0 \text{ ‰}$  [6,7].

Pengukuran komposisi rasio isotop <sup>18</sup>O dan Deuterium menggunakan peralatan *Liquid Water Isotope Analyzer* DLT-100 buatan Los Gatos Research (LGR). Prinsip kerja piranti LWIA DLT-100 adalah berdasarkan perbandingan antara rasio isotop <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O atau <sup>2</sup>H/<sup>1</sup>H dari contoh air terhadap contoh standar yang digunakan, dimana contoh standar tersebut telah diketahui nilai komposisi rasio isotopnya ( $\delta$ ), baik  $\delta(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})$  maupun  $\delta(^2\text{H}/^1\text{H})$ . Hasil dari pengukuran komposisi rasio isotop dinyatakan dalam satuan permill (‰).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui asal-usul sumber-sumber mataair keluaran yang berada di luar area danau Toba, yang diindikasikan berasal dari danau Toba.

## BAHAN DAN METODE

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan beberapa tahap yaitu, tahap pengambilan sampel/sampel dari sistem yang diteliti (air danau, sumber mataair), tahap analisis terhadap sampel-sampel dan tahap 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 imbuhan, pola dinamika, interaksi dengan sistem air tanah lainnya, dan asal usul komponen hidrologi tersebut.

Metode sampling adalah sebagai berikut: Contoh air akan diambil sebanyak 20 cc untuk keperluan analisis isotop stabil [7,8]. Kemudian contoh ini akan dimasukkan dalam tabung khusus yang telah disediakan untuk menghindarkan berbagai faktor seperti interaksi dengan sumber lain atau menghindarkan terjadinya penguapan.

### Analisis isotop $^{18}\text{O}$ dan Deuterium

Analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dilakukan dengan metode spektroskopi laser menggunakan alat *Liquid-Water Isotope Analyser* yang dilengkapi

dengan *auto injector*. Analisis menggunakan 3 buah standar kerja dengan nilai komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yang berbeda-beda dan terkalibrasi sehingga hasil analisis benar-benar valid. Setiap sampel yang dianalisis dilakukan sebanyak 6 (enam) kali pengulangan untuk mendapatkan hasil dengan tingkat akurasi sangat baik [8].

### Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian-penelitian sebagai berikut :

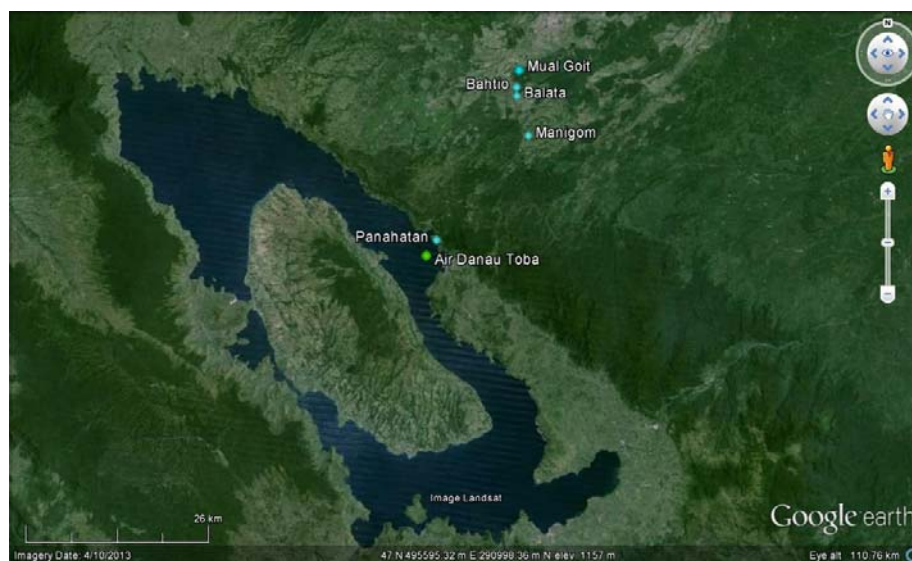
1. *Liquid Water Isotope Analyzer* (LWIA) merk LGR DLT-100 [4]
2. Multi parameter (pH meter, Thermometer, Conductivity meter, Dissolved oxygen)
3. Hidrograph Digital
4. GPS
5. Elevasi meter

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

1. Botol sampel
2. Oil vacuum pump
3. Dryrite untuk LWIA - LGR
4. Syringe 1,2  $\mu\text{L}$  untuk Autosampler LWIA-LGR
5. Septum
6. Auto sampler LGR

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Lokasi penelitian



Gambar-1. Lokasi sumber-sumber mataair disekitar danau Toba

## Data hasil penelitian

**Tabel 1.** Data Hasil analisis  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta\text{D}$  beberapa sumber mataair dan air danau Toba

No	Kode	Koordinat		Elevasi (m)	$\delta\text{D}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
		N (m)	E (m)			
1	BAH TIO	502589	318184	599	-50,5	-8,05
2	Mual Goit	502968	320473	541	-51,2	-7,76
2	Balata Polres,	502633	317014	578	-50,3	-7,77
3	Panahatan	491477	297569	1037	-58,1	-9,25
4	Manigom	504234	311636	669	-50,3	-7,85
5	Air Danau	490070	295454	920	-34,9	-3,86

**Tabel 2.** Data isotop stabil O-18 dan Deuterium air hujan bulanan area danau toba-sumatera utara

Lokasi CH	Elevasi (m)	Apr-14			Mei 2014			Juni 2014		
		$\delta$ (‰)			$\delta$ (‰)			$\delta$ (‰)		
		I (mm)	$^{18}\text{O}$	D	I (mm)	$^{18}\text{O}$	$\delta\text{D}$	I (mm)	$^{18}\text{O}$	D
Stasiun-1	1597	296	-9.95	-70.6	193	-8.44	-59.6	58	-9.35	-63.8
Stasiun-2	1350	393	-9.16	-67.6	289	-8.27	-49.6	29	-8.31	-49.8
Stasiun-3	910	435	-9.28	-56.3	366	-7.42	-51.4	52	-5.23	-38.2

Lokasi CH	Elevasi (m)	Agustus 2014			Sep-14		
		$\delta$ (‰)			$\delta$ (‰)		
		I (mm)	$^{18}\text{O}$	D	I (mm)	$^{18}\text{O}$	D
Stasiun-1	1597	200	-2.59	-14.5	212	-5.12	-35
Stasiun-2	1350	277	-3.13	-15.3	328	-2.81	-15
Stasiun-3	910	266	-2.66	-13.2	125	-5.23	-45.2

Lokasi titik sampling sumber-sumber mataair di sekitar danau Toba yang diteliti berada di arah Timur Laut dari Danau. Berdasarkan elevasinya 4 (empat) sumber mataair air berada lebih rendah atau di bawah ketinggian permukaan air danau Toba sedangkan 1(satu) buah yaitu mataair Panahatan berada di atas danau dan secara ilustrasi dapat digambar tampak samping sumber-sumber mataair tersebut terhadap danau Toba seperti pada Gambar 3.

Sebagian masyarakat di daerah Pematang Siantar-Sumatera Utara berpendapat bahwa, sumber-sumber mataair yang berada di elevasi lebih rendah dari

pada elevasi danau Toba, seperti Mataair Manigom, Balata, Bahtio dan Mualgoit airnya berasal dari danau Toba. Asumsi masyarakat ini tentunya perlu pengujian, karena ke empat sumber mataair tersebut memiliki debit yang relatif besar dan saat ini beberapa sumber mataair tersebut telah dijadikan sumber air jernih untuk masyarakat kota Pematang Siantar oleh PDAM, dengan demikian tentunya akan sangat mempengaruhi kelestarian danau Toba. Dari hasil pengukuran komposisi rasio isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta\text{D}$  terhadap sumber-sumber mataair beserta air danau Toba seperti pada Table 1 di atas, komposisi rasio isotop  $^{18}\text{O}$

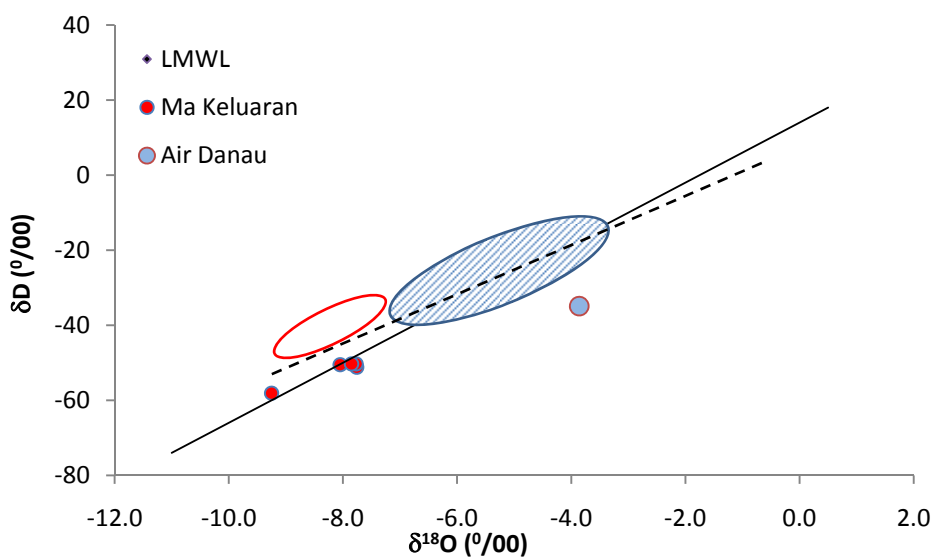


**Gambar-2.** Tampak samping titik sampling terhadap danau Toba

atau  $\delta^{18}\text{O}$  dari ke 5 (lima) mataair berada pada kisaran  $-9,25$  ‰ sampai dengan  $-7,76$  ‰, sedangkan komposisi rasio isotop air danau Toba memiliki nilai  $-3,86$  ‰. Demikian pula dengan komposisi rasio isotop deuterium, mataair-mataair tersebut memiliki kisaran  $\delta\text{D}$  antara  $-58,1$  ‰ sampai dengan  $-50,3$  ‰, sedangkan  $\delta\text{D}$  air danau Toba sebesar  $-34,9$  ‰. Tampak bahwa sumber-sumber mataair yang diteliti memiliki komposisi rasio isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta\text{D}$  yang lebih negatif (*depleted*) dibandingkan

dengan air danau Toba, atau air danau Toba memiliki komposisi rasio isotop yang lebih kaya (*enrich*) dibandingkan dengan air dari sumber mataair-mataair yang diteliti. Selisih komposisi rasio isotop antara mataair-mataair tersebut terhadap air danau Toba, yaitu untuk  $\Delta(\delta^{18}\text{O})$  sebesar  $-5,39$  ‰ sampai dengan  $-3,90$  ‰. Sedangkan untuk  $\Delta(\delta\text{D})$  sebesar  $-23,3$  ‰ sampai dengan  $-15,4$  ‰.

Besarnya selisih nilai komposisi rasio isotop antara mataair dengan air danau Toba



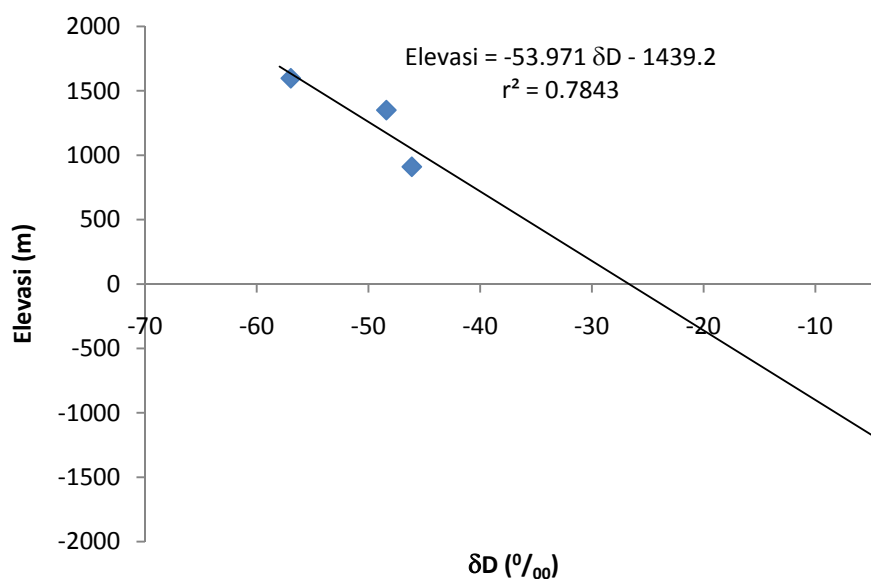
**Gambar 3.** Grafik komposisi rasio isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta\text{D}$  Sumber mataair dan air danau terhadap garis Meteorik Lokal

jelas menunjukkan tidak adanya hubungan antara mataair-mataair yang keluar di sekitar danau dengan air dari danau Toba.

Indikasi tidak adanya keterhubungan tersebut juga ditunjukkan pada Gambar 3. Dari grafik pada Gambar 3 terlihat bahwa, hasil *ploting* komposisi rasio isotop mataair dan air danau Toba dalam grafik LMWL (*Local Meteoric Water Line*) atau Garis Meteorik Lokal dengan persamaan garis untuk wilayah Indonesia  $\delta D = 8. \delta^{18}O$

jauh dari garis evaporasi dan tidak juga berada pada daerah percampuran (*mixing area*) dengan air danau Toba.

Grafik *elevasi recharge* yang dihasilkan dari hubungan antara komposisi rasio isotop Deuterium terhadap ketinggian (*elevasi*) titik stasiun curah hujan, yang ditempatkan di 3 (tiga) tempat yang berbeda dengan data pengamatan selama 8 bulan, didapat persamaan garis dengan persamaan : *elevasi* =  $-53,971 \delta D - 1439,2$  dengan  $r = 0.88$ .



**Gambar 4.** Grafik *elevasi recharge* terhadap komposisi rasio isotop Deuterium air hujan di area danau Toba

+ 14, komposisi rasio isotop mataair-mataair berada disepanjang garis meteorik lokal, sedangkan air danau Toba berada pada garis evaporasi. Hal ini mengindikasikan bahwa air dari ke 4(empat) mataair yaitu, Manigom, Balata, Bahtio dan Mualgoit tidak mempunyai hubungan dengan air danau Toba atau ke empat mataair tersebut tidak berasal dari air danau Toba. Jika air dari sumber-sumber mataair berada pada daerah percampuran, maka dapat dikatakan bahwa mataair-mataair tersebut mempunyai keterhubungan dengan air danau Toba, namun dari grafik pada gambar-3 jelas komposisi rasio isotop mataair-mataair berada

Berdasarkan persamaan tersebut, mataair Panahatan di ketahui berasal dari daerah masukan pada ketinggian 1707 m. Persamaan elevasi recharge ini tidak dapat digunakan untuk mengetahui daerah masukan dari mata air yang berada di bawah danau Toba, karena stasiun curah hujan yang dipasang berada pada daerah aliran sungai (DAS) ke dalam danau Toba, sedangkan mataair yang berada di bawah danau Toba berada di luar DAS Danau Toba, berdasarkan persamaan elevasi recharge mataair Panahatan yang keluarannya berada di atas danau Toba walaupun letaknya relatif dekat dengan

danau, tidak menunjukkan adanya keterhubungan dengan air danau Toba.

## KESIMPULAN

Dari data hasil analisis dan pembahasan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Mataair-mataair yang berada disekitar danau Toba yaitu mataair Panahatan, Manigom, Balata, Bahtio dan Mualgoit bukan berasal dari air danau Toba, serta tidak memiliki keterhubungan dengan air danau Toba.

Mataair Panahatan yang berada di atas danau Toba berasal dari daerah masukan pada ketinggian 1707 m.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada teman-teman peneliti di kelompok Hidrologi Panasbumi yang terus memotivasi penulis sehingga menghasilkan karya tulis ilmiah ini.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepala PAIR-BATAN, Kepala Bidang Industri dan Lingkungan serta semua pihak yang telah memberikan kontribusinya, baik dalam pelaksanaan sampling, analisis maupun interpretasi data hingga terwujudnya penyusunan karya ilmiah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. NOVDIN M SIANTURI, "Evaluasi sistem manajemen reservoir pdam tirtauli di kelurahan tong marimbun kecamatan siantar marimbun kota Pematangsiantar", Dosen Prodi Teknik Sipil FT USI Simalungun, *J. Rancang Sipil*, 2 (1), Juni (2013).
2. <http://tigabalataonline.blogspot.co.id/2010/09/tempat-dan-yang-potensial-untuk-wisata.html>
3. <http://www.gobatak.com/mual-sampuran-balata-wisata-keluarga-murah-meriah/>
4. IAEA, "Stable Isotope Hydrology; Deuterium and Oxygen-18 in Water Cycle," Technical Report series no. 210, IAEA, Vienna (1981).
5. CLARK, I. And FRITZ, P., *Environ. Isotopes in Hydrology*, Lewis Publishers, New York (1997).
6. GHOSH, P. AND BRAND, W. A., "Stable Isotopes Ratio Mass Spectrometry in Global Climate Change Research," *International J. Mass Spectrometry*, 228, 1 - 33 (2003).
7. KAZIMIERZ RÓZAŃSKI, KRAKÓW KLAUS FROEHLICH and WILLEM G. MOOK, "Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle - Principles and Applications Water Resources Programme International Atomic Energy Agency and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (reprinted with minor corrections), 3 (Surface Water), IAEA-UNESCO (2001).
8. LOS GATOS RESEARCH, "Liquid isotope analyser, highest precision and speed," <http://www.lgrinc.com/analyzers/isotope/> access: December 2013.

