

STUDI INTERRELASI AIR TANAH DAN AIR LINDI DI SEKITAR TPST PIYUNGAN YOGYAKARTA

Erwin A. P. Gonti¹, Agus Budhie Wijatna², Satrio³

^{1,2} Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika FT – UGM

Jln. Grafika No.2, Yogyakarta, 55281, Indonesia

³ Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) – BATAN

Jln. Lebak Bulus Raya No.49, Jakarta Selatan, 12440, Indonesia

Email: winandriawan@gmail.com

ABSTRAK

STUDI INTERRELASI AIR TANAH DAN AIR LINDI DI SEKITAR TPST PIYUNGAN YOGYAKARTA. Telah dilakukan penelitian air tanah di sekitar TPST Piyungan, Daerah Istimewa Yogyakarta menggunakan metode pendekatan isotop stabil dan hidrokimia. Isotop stabil yang digunakan yaitu ^2H dan ^{18}O yang terkandung dalam air. Penelitian dilakukan dengan mengambil satu sampel air lindi sebagai kontaminan dan sejumlah sampel air tanah yang ada di sekitar TPST Piyungan. Sampel-sampel tersebut kemudian dianalisis konsentrasi isotop alam dan kimia airnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keterkaitan atau interrelasi antara air lindi sebagai kontaminan dengan air tanah di sekitar TPST Piyungan. Berdasarkan hasil analisis isotop stabil ^2H dan ^{18}O , air lindi mempunyai konsentrasi isotop stabil ^2H dan ^{18}O yang lebih kaya (*enrich*) akibat pertukaran dengan H_2S , jika dibandingkan dengan konsentrasi isotop stabil ^2H dan ^{18}O air tanah yang jauh lebih miskin (*depleted*). Hal ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat interrelasi antara air tanah dan air lindi di sekitar TPST Piyungan. Hal ini juga didukung dengan hasil analisis hidrokimia yang menunjukkan bahwa secara umum air tanah mempunyai tipe air CaHCO_3 sebagai air tanah tawar atau *freshwater*, sedangkan air lindi mempunyai tipe NaKHCO_3 sebagai air yang telah mengalami pencampuran akibat pertukaran ion dalam proses penguraian sampah organik. Selain itu, konsentrasi parameter kimia seluruh sampel air tanah sudah sesuai dengan ketentuan kualitas air bersih dalam Permenkes No.416/MENKES/PER/IX/1990.

Kata kunci: interrelasi, air tanah, air lindi, isotop stabil, hidrokimia, TPST Piyungan

ABSTRACT

STUDY OF GROUNDWATER AND LEACHATE WATER INTERRELATION AT PIYUNGAN LANDFILL AREA IN YOGYAKARTA. It has been conducted groundwater study around TPST Piyungan, Special Region of Yogyakarta using stable isotope and hydrochemistry approximation method. The stable isotopes which used in the study are ^2H and ^{18}O . The study was conducted by taking a sample of leachate water as a contaminant and a number of groundwater samples that are around TPST Piyungan. Then, all samples were analyzed of environmental isotopes and hydrochemistry concentrations. The study aims is to determine the interrelation between the leachate water as a contaminant and groundwater around TPST Piyungan. Based on the analysis of stable isotopes ^2H and ^{18}O , the stable isotopes concentration of leachate water were more enrich caused by H_2S -exchange, otherwise the stable isotopes concentration of groundwater were more depleted. This indicated that there was no interrelation between groundwater and leachate water around TPST Piyungan. This was supported by the results of hydrochemical analysis which shows that generally the groundwater has a water type CaHCO_3 as freshwater, while the leachate water has type NaKHCO_3 as water that has undergone ion exchange as a result of engaging in the process of decomposition of organic waste. Moreover, the concentration of chemical parameters for entire groundwater samples were in accordance with the regulation of health minister No.416/MENKES/PER/IX/1990 for freshwater quality.

Keywords: interrelation, groundwater, leachate water, stable isotope, hydrochemistry, TPST Piyungan

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Ketersediaan air bersih merupakan salah satu kebutuhan vital bagi manusia. Air yang dimanfaatkan manusia untuk keperluan hidup sehari-hari adalah air dengan kualitas sesuai standar yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Standar kualitas air didapatkan dari hasil riset yang sesuai dengan ilmu pengetahuan dan teknologi kesehatan, sehingga dapat memberikan jaminan bahwa air yang dimanfaatkan adalah air bersih dan layak untuk dikonsumsi. Bagi manusia, air bersih dibutuhkan untuk memenuhi

kebutuhannya seperti untuk sanitasi, air minum, kebutuhan bertani, kebutuhan industri dan kebutuhan sehari-hari lainnya. Air bersih terdapat pada beberapa sumber seperti danau, sungai, mataair, air tanah, dan lain sebagainya. Sumber-sumber air bersih ini berpotensi besar tercemar oleh limbah kegiatan manusia [1].

Limbah dari aktivitas pengelolaan Tempat Pembuangan Sampah Terpadu (TPST) merupakan salah satu kegiatan manusia yang berpotensi mencemari sumber-sumber air bersih. Kontaminasi air lindi dengan konsentrasi di atas jumlah konsentrasi yang telah ditetapkan oleh

pemerintah akan sangat berbahaya apabila sampai dikonsumsi penduduk sekitar. Kejadian masuknya (infiltrasi) air permukaan seperti luapan air sungai, banjir, turunnya air hujan dan lain sebagainya pada timbunan sampah mengakibatkan air permukaan bercampur dengan sampah. Zat-zat yang terdapat pada timbunan sampah terbilas dan terlarutkan oleh air permukaan tersebut sehingga dihasilkan air lindi. Air lindi (leachate) merupakan limbah cair berbahaya yang dapat mencemari sumber-sumber air bersih terutama air tanah. Air lindi yang merembes dari lapisan permukaan tanah menuju lapisan bawah tanah disebut dengan proses *leaching* [2].

Pada bulan April sampai dengan Oktober 2008, telah dilakukan penelitian di TPST Piyungan yang bertujuan untuk mengetahui dampak operasional pengelolaan sampah di TPST Piyungan terhadap kualitas air sumur penduduk di sekitarnya. Adapun parameter yang diamati mengacu pada Permenkes No.416/MENKES/PER/IX/1990 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air. Hasil uji kualitas akhir dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan Baku Mutu Kualitas Air. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa parameter mikrobiologis yaitu *coliform* dan *eshercia coli* sampai melampaui baku mutu kualitas air [3].

Perbandingan penurunan kualitas air tanah di sekitar TPA berbasis *sanitary-landfill* dan *open-dumping* ditunjukkan dengan nilai isotop stabil yang mengalami pengayaan berikut perubahan konsentrasi ion-ion mayoritas dalam air tanah akibat pencampuran air lindi. Pemantauan isotop stabil dan hidrokimia pernah dilakukan di dua lokasi TPA yang berbeda, yaitu TPA Matang dan TPA Beriah, Perak, Malaysia untuk mengidentifikasi migrasi air lindi ke dalam air tanah dangkal. Serangkaian data hidrokimia secara menyeluruh dianalisis dengan menggunakan diagram piper dan hubungan isotop stabil. Parameter kimia air berupa ion-ion mayor (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- , Mg^{2+} , Na^+ , Ca^{2+} , dan K^+), sedangkan untuk isotop stabil terdiri dari $\delta^{2}\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ [4].

Dengan latar belakang seperti di atas maka telah dilakukan penelitian kondisi air tanah dangkal di sekitar TPST Piyungan, yaitu dengan metode pendekatan isotop stabil ^2H dan ^{18}O yang divalidasi dengan analisis hidrokimia dan kemudian dibandingkan dengan baku mutu air sesuai peraturan pemerintah tentang kualitas air bersih.

Tujuan dan Ruang Lingkup

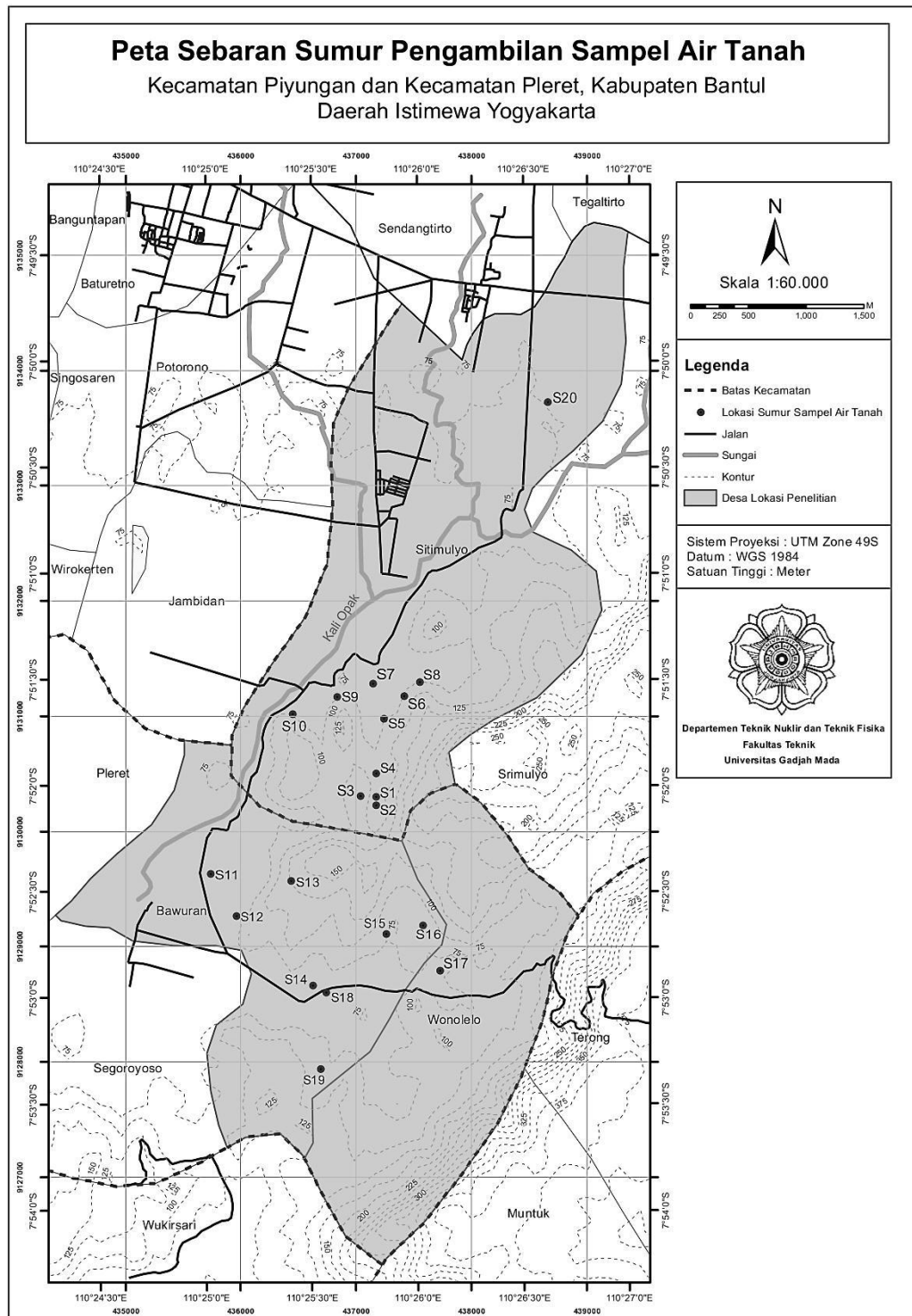
Penelitian ini mempunyai tujuan yaitu untuk mengetahui hubungan antara air tanah dengan air lindi sebagai kontaminan di sekitar TPST Piyungan terhadap kondisi air sejumlah sumur penduduk. Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Analisis isotop stabil berdasarkan konsentrasi $\delta^{2}\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ dari sampel air tanah (sumur penduduk) di sekitar TPST Piyungan terhadap garis meteorik air lokal.
2. Analisis hidrokimia yang dibatasi dengan parameter kualitas air yaitu ion yang dapat terlarut dalam air meliputi Na^+ (natrium), K^+ (kalium), Ca^{2+} (kalsium), Mg^{2+} (magnesium), SO_4^{2-} (sulfat), Cl^- (klorida), dan HCO_3^- (bikarbonat).
3. Data koordinat lokasi pengambilan sampel dari hasil *tagging* GPS yang ditandai pada perangkat lunak surfer dibutuhkan untuk memberi gambaran kontur muka air dan pergerakan air tanah di sekitar TPST Piyungan.

DESKRIPSI DAERAH PENELITIAN

Lokasi penelitian ini berlokasi di Tempat Pembuangan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan. TPST Piyungan adalah TPA berbasis *sanitary-landfill*. Besarnya volume sampah dan curah hujan yang tinggi di sekitar TPST Piyungan berpotensi menghasilkan air lindi dalam jumlah besar dan merembes ke dalam tanah, serta mencemari air tanah. Tepatnya lokasi TPST Piyungan berada di Dusun Ngablak, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, sekitar 16 km sebelah tenggara kota Yogyakarta. Sampah buangan masyarakat dari tiga daerah yaitu Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul yang sehari dapat mencapai 5000 m³ sampah ditampung dan diolah di TPST Piyungan. TPST Piyungan merupakan titik akhir pembuangan sampah tiga daerah ini yang telah dibuka sejak tahun 1995 dan sampai saat ini mempunyai luas sebesar 10 hektar [5].

TPST Piyungan ini dilengkapi dengan Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPAL) yang dikelola oleh pihak TPST. Pada penelitian ini, diambil sejumlah sampel air tanah yang berasal dari sumur pantau TPST dan sumur milik penduduk. Sementara itu, sampel air lindi (leachate water) diambil sebagai acuan kontaminan dalam penelitian ini. Peta selengkapnya mengenai lokasi dan titik pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian air tanah sekitar TPST Piyungan – DIY

METODOLOGI

Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan saat memasuki musim kemarau, pada tanggal 12 sampai dengan 13 Juni 2016. Prosedur tersebut dilakukan untuk menghindari

kontaminasi air hujan yang berlebihan dan dapat mempengaruhi analisis komposisi isotop sampel. Analisis komposisi isotop dilakukan di Laboratorium Kebumihan dan Lingkungan, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), Badan Tenaga Nuklir

Nasional (BATAN), Jakarta. Sampel diambil di beberapa lokasi yang meliputi, sumur-sumur pantau, penampungan dan pengolahan lindi, dan sumur-sumur penduduk yang berada di daerah sekitar TPST Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengambilan air tanah berasal dari sumur gali dilakukan dengan cara ditimba, sedangkan untuk sampel air lindi dilakukan dengan cara diambil langsung dari penampungan lindi. Prosedur pengambilan sampel adalah sebagai berikut:

1. Koordinat dan elevasi lokasi titik pengambilan sampel ditandai dengan menggunakan alat *Global Positioning System* (GPS), kemudian ditentukan elevasi muka airnya.
2. Prediksi aliran air tanah dibuat berdasarkan data koordinat lokasi dan hasil perhitungan elevasi muka air (*water table*).
3. Untuk pengambilan sampel, bagian dalam botol yang digunakan sebagai wadah sampel dibilas sampel terlebih dahulu sekurang-kurangnya tiga kali. Hal ini bertujuan agar terhindar dari kontaminasi isotop lain yang akan mempengaruhi hasil.
4. Botol sampel dicelupkan seluruhnya pada badan air sampel untuk pengisian sampel. Setelah botol terisi penuh, botol ditutup dengan kondisi penutupan botol

juga dilakukan di dalam badan air. Proses ini bertujuan untuk mengurangi adanya gelembung udara yang akan terjebak di dalam botol.

5. Prosedur pengambilan sampel baik untuk uji isotop ataupun kimia air berlaku sama, adapun yang menjadi pembeda adalah kapasitas botol dan volume sampel yang dibutuhkan. Sampel yang digunakan untuk uji isotop stabil diambil sebanyak 20 ml, sedangkan sampel yang digunakan untuk uji kimia air diambil sebanyak 1000 ml.

Metode Isotop Stabil

Penelitian pada bidang hidrologi isotop yang sering digunakan adalah deuterium dan oksigen-18. Isotop-isotop yang lebih ringan (¹H) mempunyai kelimpahan yang relatif lebih besar dibandingkan dengan isotop-isotop yang lebih berat (²H), begitu juga untuk ¹⁶O mempunyai kelimpahan yang lebih besar dibandingkan ¹⁸O. Perbandingan antara isotop berat dengan isotop ringan ditentukan dalam perbedaan rasio, seperti ²H/¹H dan ¹⁸O/¹⁶O. Perbandingan komposisi isotop dinyatakan sebagai δ (delta) dan dinyatakan dalam satuan permil (‰). Untuk deviasi isotop deuterium dinyatakan dengan δ²H dan untuk deviasi isotop oksigen-18 dinyatakan dengan δ¹⁸O. Nilai *Standard Mean Ocean Water* (SMOW) ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut [6]:

Tabel 1. Komposisi isotop referensi standar internasional

	Rasio, H/L	Nilai, H/L	% H	% L
<i>Standard Mean Ocean Water</i> (SMOW)	² H/ ¹ H	0,00015576	0,015574	99,984426
	¹⁷ O/ ¹⁶ O	0,0003799	0,03790	99,76206
	¹⁸ O/ ¹⁶ O	0,0020052	0,20004	99,76206

Keterangan: H = isotop berat dan L = isotop ringan

Air dengan deuterium lebih rendah dibandingkan SMOW mempunyai δ²H negatif, sedangkan air dengan deuterium lebih tinggi dibandingkan SMOW mempunyai δ²H positif. Hal ini berlaku sama untuk δ¹⁸O. Hubungan komposisi isotop stabil dalam molekul air dituliskan dalam Persamaan (i) dan (ii) [7]:

$$\delta^2H\text{‰} = \left(\frac{\left(\frac{^2H}{^1H}\right)_{\text{sampel}} - \left(\frac{^2H}{^1H}\right)_{\text{SMOW}}}{\left(\frac{^2H}{^1H}\right)_{\text{SMOW}}} \right) \times 1000 \tag{i}$$

$$\delta^{18}O\text{‰} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{\text{Sampel}} - \left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{\text{SMOW}}}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{\text{SMOW}}} \right) \times 1000$$

(ii)

Dalam hal ini,

- δ^2H : Perbandingan selisih rasio isotop sampel dan standar dengan rasio isotop standar untuk deuterium dalam permil
- $\delta^{18}O$: Perbandingan selisih rasio isotop sampel dan standar dengan rasio isotop standar untuk oksigen-18 dalam permil
- $\left(\frac{^2H}{^1H}\right)_{\text{Sampel}}$: Rasio isotop berat (2H) dengan isotop ringan (1H) pada sampel air tanah
- $\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{\text{Sampel}}$: Rasio isotop berat (^{18}O) dengan isotop ringan (^{16}O) pada sampel air tanah
- $\left(\frac{^2H}{^1H}\right)_{\text{SMOW}}$: Rasio isotop berat (2H) dengan isotop ringan (1H) pada SMOW
- $\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{\text{SMOW}}$: Rasio isotop berat (^{18}O) dengan isotop ringan (^{16}O) pada SMOW

Meteoric Water Line adalah suatu hubungan garis linear antara nilai kelimpahan $\delta^{18}O$ dan δ^2H pada air hujan yang membentuk suatu grafik. Hubungan antara nilai $\delta^{18}O$ dan δ^2H yang didapatkan dari 400 sampel air sungai, danau dan presipitasi yang di ambil dari berbagai negara. Dari grafik tersebut akan dihasilkan suatu persamaan yang menunjukkan hubungan antara δ^2H dan $\delta^{18}O$ seluruh dunia yang disebut *Global Meteoric Water Line* (GMWL) [8]:

$$\delta^2H = 8\delta^{18}O + 10\text{‰}$$

(iii)

Metode Hidrokimia

Pengukuran parameter kimia air berupa konsentrasi klorida, bikarbonat, kalsium, dan magnesium dilakukan dengan memasukkan sampel ke Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Di samping itu, sampel untuk uji konsentrasi kalium, natrium, dan sulfat dimasukkan ke

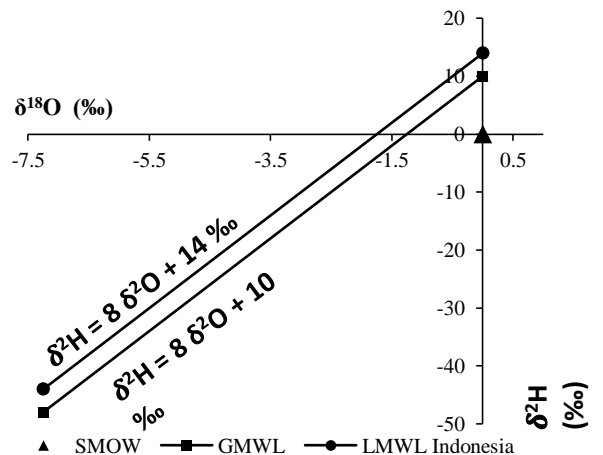
Garis GMWL menggambarkan perilaku isotop dalam kurun waktu yang lama di berbagai tempat di seluruh dunia. Nilai ini mungkin akan berbeda untuk tiap daerah, sehingga ada yang disebut dengan *Local Meteoric Water Line* (LMWL) yang spesifik untuk daerah tertentu. LMWL adalah hubungan antara rasio konsentrasi isotop deuterium dan oksigen-18 perairan daratan pada elevasi-elevasi yang berbeda di suatu daerah tertentu dengan konsentrasi isotop deuterium dan oksigen-18 standar di lautan [7].

Indonesia juga mempunyai persamaan *meteoric water line* sendiri yang merupakan hasil penelitian BATAN melalui stasiun penadah hujan di Indonesia. Persamaan grafik LMWL Indonesia, yakni [9]:

$$\delta^2H = 8\delta^{18}O + 14\text{‰}$$

(iv)

Berdasarkan Persamaan (iii) dan (iv) dapat dibuat perbandingan grafik GMWL dengan LMWL Indonesia. Grafik ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan GMWL dengan LMWL Indonesia

Laboratorium Hidrologi dan Kualitas Air, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Hasil pengukuran konsentrasi parameter kimia air dibandingkan dengan baku mutu kualitas air bersih menurut Permenkes No.416/MENKES/PER/IX/1990 ditunjukkan pada Tabel 3.

Analisis kimia yaitu ion kation natrium dan kalium menggunakan metode uji flamefotometrik, kalsium dan magnesium

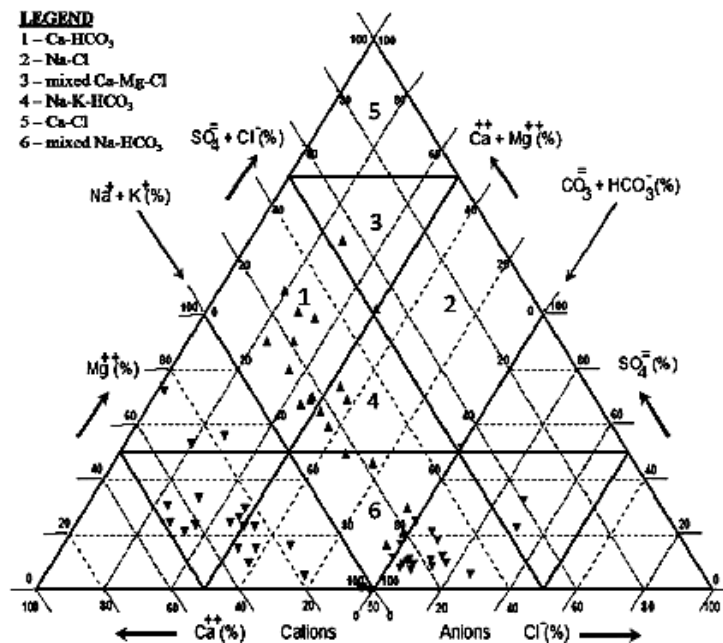
menggunakan metode spektrofotometri serapan atom (AAS), sedangkan untuk sulfat dilakukan analisis dengan metode turbidimetri, klorida secara titrimetri argentometri, dan bikarbonat dengan metode titrimetri asam basa [10].

Analisis kimia air mempunyai tujuan memberi informasi tentang kondisi kualitas air untuk keperluan tertentu. Untuk keperluan minum, air harus mempunyai komposisi kimia sesuai dengan standar yang ditetapkan, terutama dari aspek kesehatan. Kualitas air alami mempunyai parameter-parameter tertentu, salah satunya adalah keberadaan ion-ion mayor. Ion mayor dikenal sebagai ion yang mempunyai presentase besar terlarut dalam air. Unsur atau ion mayor ini biasanya mempunyai konsentrasi di atas 1 mg/L atau 1 ppm yang terlarut dalam air, sedangkan ion-ion minor mempunyai konsentrasi sekitar 1 µg/L atau 1 ppb [11].

Air mengandung garam terlarut, terdisosiasi menjadi kation (ion bermuatan positif) dan anion (ion bermuatan negatif). Kation terlarut yang paling umum adalah natrium (Na^+), kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), dan kalium (K^+). Anion yang paling umum adalah klorida (Cl^-), bikarbonat (HCO_3^-), dan sulfat (SO_4^{2-}). Komposisi air

tanah tersebut mempunyai konsentrasi ion yang berbeda dan rentang nilai yang bervariasi [12].

Diagram piper adalah kombinasi segitiga-segitiga anion dan kation. Sebuah belah ketupat (*diamond*) di antara segitiga anion-kation digunakan untuk menganalisis TDS (*Total Dissolved Solids*). Bagian belah ketupat diagram piper dapat digunakan untuk menentukan karakteristik atau tipe air. Ada empat jenis air sesuai letak kuadran diagram piper tersebut. Air yang terletak pada kuadran-3 mempunyai kandungan tinggi campuran ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) dan ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) yang menunjukkan bahwa air bertipe kesadahan permanen (*permanent hardness*). Tipe air yang terletak di kuadran-1 kaya akan kandungan ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) dan HCO_3^- disebut sebagai air berjenis kesadahan sementara (*temporary hardness*) yang merupakan karakteristik *freshwater*. Tipe air yang terletak pada kuadran-4 terdiri dari alkali karbonat ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$ dan $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), sedangkan tipe air yang berada pada kuadran-2 diagram piper mengandung ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) dan ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) dapat dianggap mengandung garam atau biasa disebut *saline* [13]. Tipe air berdasarkan diagram piper ditunjukkan Gambar 3.

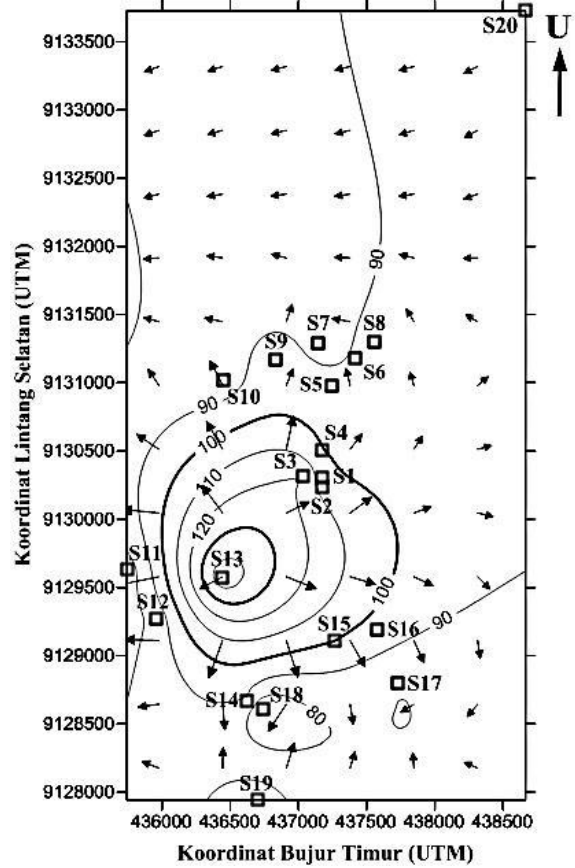


Gambar 3. Diagram piper untuk menentukan tipe air tanah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Aliran Air Tanah

Pengambilan sampel penelitian dilakukan di lokasi-lokasi sekitar TPST Piyungan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta meliputi Kecamatan Piyungan dan Pleret sebanyak 20 titik pada tiga desa, yaitu Desa Sitimulyo (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S20), Desa Bawuran (S11, S12, S13, S14, S15, 16, S18, S19), dan Desa Wonolelo (S17). Berdasarkan hasil simulasi perangkat lunak *Golden Surfer 13*, air tanah pada lokasi sampel dengan elevasi tertinggi (S13) mengalir menuju TPST dan lokasi-lokasi sampel di bagian utara TPST (S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10). Sumur pantau 1 (S2) dan sumur pantau 2 (S3) mendapatkan aliran air tanah yang berasal dari sumur penduduk (S13). Aliran air tanah dari S2 dan S3 menuju sumur pantau 3 (S4), sumur pantau 4 (S5), sumur pantau 5 (S6) dan sekitar S8 (sumur penduduk), kemudian berbelok ke arah barat menuju sumur pantau 6 (S7), serta mengarah ke utara lagi dan berangsur-angsur mengarah ke arah barat. Semakin ke arah utara, pergerakan air tanah semakin cenderung berbelok ke wilayah di bagian barat barat-laut TPST. Pada lokasi sampel terjauh dari TPST (S20) dapat dilihat bahwa mempunyai pola pergerakan air tanah mengalir dari arah utara menuju ke arah barat daya terhadap lokasi S20. Hasil simulasi water table dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Prediksi pola arah aliran air tanah sekitar TPST Piyungan

Namun demikian, analisis yang diperoleh berdasarkan simulasi *water table* menggunakan perangkat lunak *Golden Surfer 13* masih belum dapat menentukan suatu lokasi air tanah saling mempunyai interkoneksi dengan air tanah di lokasi lainnya atau tidak. Untuk menentukan hal itu dilakukan analisis isotop stabil dengan menganalisis deuterium dan oksigen-18, sehingga dapat diketahui lokasi mana saja yang saling mempunyai interkoneksi air tanah satu sama lainnya.

Analisis Isotop ²H dan ¹⁸O

Pada Tabel 2 diperlihatkan hasil analisis isotop stabil ²H dan ¹⁸O dari sampel-sampel air yang diambil dari lokasi penelitian sekitar TPST Piyungan.

Tabel 2. Hasil analisis isotop stabil $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$

No.	Kode	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
1	S1	-16,11	-4,59
2	S2	-38,51	-6,14
3	S3	-37,04	-5,81
4	S4	-36,84	-5,99
5	S5	-38,32	-6,46
6	S6	-49,96	-7,46
7	S7	-31,32	-5,15
8	S8	-37,13	-6,23
9	S9	-41,84	-7,03
10	S10	-38,34	-5,74
11	S11	-30,57	-6,10
12	S12	-33,14	-6,61
13	S13	-34,87	-7,87
14	S14	-37,81	-8,19
15	S15	-46,58	-8,50
16	S16	-39,36	-8,55
17	S17	-40,09	-8,01
18	S18	-36,57	-7,34
19	S19	-35,36	-7,76
20	S20	-44,14	-8,13

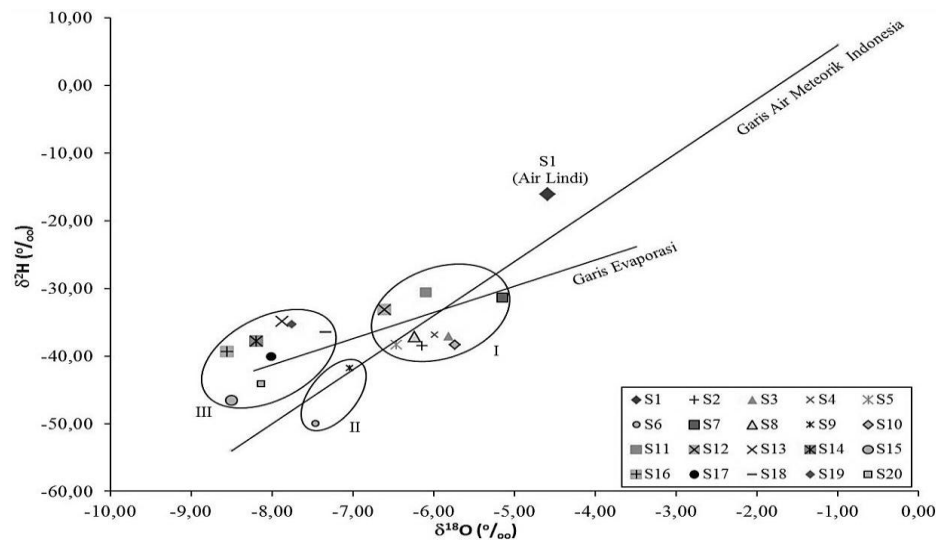
Berdasarkan grafik ^2H dan ^{18}O karakteristik air tanah yang diambil di sekitar TPST Piyungan dapat dijelaskan bahwa hampir semua sampel berasal dari daerah *recharge* (resapan) yang sama, yaitu di sekitar S4 dan S11, kecuali sampel S1, S6 dan S9. Hal yang membedakan adalah selama perjalanannya melalui batuan, masing-masing mengalami perubahan komposisi isotop stabil $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ dari asalnya. Berdasarkan karakteristiknya, air tanah yang berada di sekitar TPST Piyungan dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu :

1. Grup I: jika dilihat pada grafik hubungan $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$, air tanah pada grup ini dianggap sebagai komposisi awal yang mengindikasikan asal air tanah untuk sebagian besar air tanah di area TPST Piyungan. Air tanah pada grup ini meliputi S2, S3, S4, S5, S7, S8, S10, S11 dan S12. Namun

demikian, air tanah S7 pada grup ini terindikasi mengalami proses evaporasi atau interaksi dengan air permukaan (air rawa, air sungai) yang ada di sekitarnya.

2. Grup II: air tanah grup ini meliputi S6 dan S9. Air tanah S9 tepat berada di garis meteorik yang mengindikasikan bahwa air tanah ini tidak mengalami pertukaran isotop dengan batuan yang dilaluinya. Sementara air tanah S6, meskipun berasal dari daerah imbuhan yang sama dengan S9, tetapi dalam perjalanannya melalui batuan mengalami pertukaran dengan isotop ^2H dari *clay* (lempung) dan dari grafik hubungan $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ terindikasi sebagai air tanah berumur relatif tua jika dibandingkan dengan air tanah lainnya yang ada di sekitar TPST Piyungan. Daerah imbuhan air tanah pada grup ini diperkirakan berasal dari elevasi yang paling tinggi dibandingkan air tanah lainnya.
3. Grup III: air tanah pada grup ini telah mengalami pergeseran komposisi isotop ^2H dan ^{18}O menjadi lebih miskin atau *depleted* dibandingkan komposisi awalnya, yaitu Grup I. Semula air tanah pada grup ini mempunyai kesamaan asal dengan Grup I, namun dalam perjalanannya melalui batuan mengalami pertukaran isotop dengan CO_2 atau CO_2 -exchange. Air tanah yang termasuk dalam grup ini meliputi S15, S20, S17, S16, S14, S13, S19 dan S18.

Dari grafik hubungan $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$, terlihat bahwa S1 mempunyai konsentrasi isotop $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ paling kaya atau *enrich* dibandingkan air tanah di sekitarnya. Hal ini disebabkan adanya interaksi antara air tanah dengan air lindi melalui pertukaran isotop ^2H dari H_2O (air tanah) dengan isotop ^2H dari H_2S . Senyawa H_2S ini merupakan hasil dari proses pembusukan sampah. S1 ini dianggap sebagai *end-member* atau kontaminan dalam penelitian ini. Dari semua sampel air tanah yang diambil, tidak ada satupun yang mengalami interaksi dengan air tanah sekitarnya. Penentuan karakteristik air tanah ini divalidasi melalui data hidrokimia (anion-kation).



Gambar 5. Grafik hubungan $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ air tanah sekitar TPST Piyungan

Analisis Hidrokimia

Pada Tabel 3 diperlihatkan hasil analisis hidrokimia (anion-kation) air tanah dan air lindi. Dari hasil analisis hidrokimia tersebut tampak bahwa air lindi mempunyai

konsentrasi anion-kation yang tinggi dibandingkan air tanah di sekitarnya. Sementara itu, konsentrasi anion-kation air tanah secara keseluruhan masih dalam batas normal.

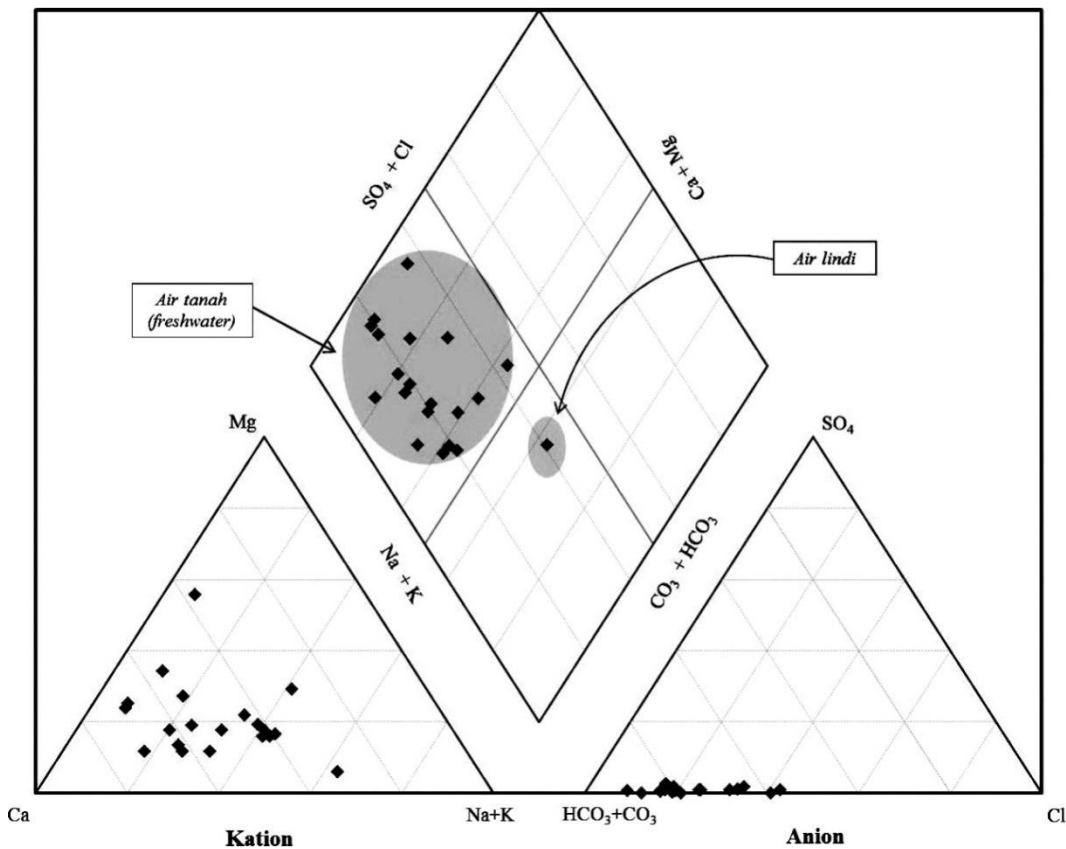
Tabel 3. Hasil analisis hidrokimia (anion-kation)

No.	Kode	Na (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cl (ppm)	SO ₄ (ppm)	HCO ₃ (ppm)
1	S1 (Air Lindi)	1010,86	1008,27	496,83	95,39	2015	0,00	2925,00
2	S2	63,62	45,88	150,64	28,14	199,7	5,72	397,10
3	S3	44,88	7,19	44,52	18,84	77,93	1,99	168,33
4	S4	73,58	6,01	69,65	26,95	148,43	3,10	197,78
5	S5	30,63	5,50	48,49	16,93	50,72	0,01	189,28
6	S6	53,74	30,10	54,45	20,51	68,40	0,72	288,25
7	S7	70,22	27,67	49,68	49,36	78,16	1,38	392,70
8	S8	38,18	4,86	47,70	24,09	37,22	0,01	261,20
9	S9	22,12	6,96	56,04	12,16	40,95	1,83	180,43
10	S10	14,62	9,15	44,12	12,64	36,29	1,58	171,63
11	S11	48,11	42,48	42,93	18,12	65,83	1,99	267,93
12	S12	31,60	9,75	71,94	24,32	55,83	2,19	284,22
13	S13	25,99	8,74	101,75	16,69	85,62	3,00	257,12
14	S14	16,24	6,04	46,90	23,61	27,92	1,99	274,91
15	S15	21,78	6,11	37,76	7,87	32,57	1,63	142,16
16	S16	47,95	6,15	51,27	23,61	72,35	2,04	213,34
17	S17	9,69	9,41	50,08	31,24	52,58	3,50	232,89
18	S18	5,13	17,62	27,03	40,30	86,08	4,11	162,44
19	S19	3,91	4,21	34,58	12,88	32,57	2,84	137,53
20	S20	3,70	26,12	32,19	11,21	25,59	3,96	125,34
Baku Mutu		(-)	(-)	(-)	(-)	600	400	(-)

Berdasarkan data kimia air yang ditunjukkan melalui diagram piper terlihat bahwa hampir semua tipe air berada di kuadran-1 atau mempunyai tipe air CaHCO_3 yang merupakan ciri dari air tanah tawar (*freshwater*) yang berasal dari air tanah dangkal. Sedangkan air lindi (*leachate water*) berada di kuadran-4 atau mempunyai tipe NaKHCO_3 yang merupakan air yang telah mengalami pencampuran sebagai akibat pertukaran ion yang terjadi dalam

proses penguraian sampah organik. Terdapat beberapa sampel seperti S3, S4, S6, S7, S11 dan S16 yang posisinya dalam diagram piper mendekati *end member* dari air lindi.

Selain itu, dari karakteristik air lindi pada penelitian ini juga menunjukkan bahwa TPST Piyungan merupakan TPST yang tergolong tua (umur TPST > 5 tahun) dan pengelolaan TPST berbasis *sanitary-landfill* yang telah dilakukan pada TPST Piyungan berjalan dengan baik [14].



Gambar 6. Diagram piper air tanah di sekitar TPST Piyungan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi data yang telah diperoleh, dapat diambil kesimpulan bahwa tidak ada satu pun sampel air tanah di sekitar TPST Piyungan yang mengalami interrelasi dengan air lindi. Hal ini ditunjukkan dari grafik isotop stabil $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$. Kemudian, didukung pula dengan hasil analisis hidrokimia melalui diagram piper bahwa secara umum air tanah yang berada di sekitar TPST Piyungan merupakan air tanah tawar atau *freshwater* dengan tipe air CaHCO_3 yang berasal dari air tanah dangkal,

sedangkan air lindi mempunyai tipe NaKHCO_3 yang merupakan air hasil pencampuran akibat pertukaran ion dalam proses penguraian sampah organik. Selain itu, konsentrasi parameter kimia air seluruh sampel air tanah juga sesuai dengan baku mutu kualitas air bersih Permenkes No.416/MENKES/PER/IX/1990. Dengan demikian, tidak ada air tanah terkontaminasi oleh air lindi yang berasal dari TPST Piyungan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini, terima kasih diucapkan kepada analis di Laboratorium Hidrologi, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi – BATAN atas bantuannya dalam menganalisis sampel-sampel.

DAFTAR PUSTAKA

1. Saparuddin. "Pemanfaatan Airtanah Dangkal Sebagai Sumber Air Bersih di Kampus Bumi Bahari Palu". *Jurnal SMARTek*, 8:143-152, 2010.
2. Bob Ritter. *Interactions Within Ecosystems*. Nelson Thomson Learning, Scarborough Ontario, 1999.
3. Suhartini. "Naskah Jurnal Saintek 2008: Pengaruh Keberadaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Piyungan Terhadap Kualitas Air Sumur Penduduk Di Sekitarnya". *Laporan Penelitian*, Jurusan Pendidikan Biologi, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, 2008.
4. Syafalni S., Mohd. Hafiz Zawawi dan Ismail Abustan. "Isotopic and Hydrochemistry Fingerprinting of Leachate Migration in Shallow Groundwater at Controlled and Uncontrolled Landfill Sites". *World Applied Sciences Journal* 31, 6:1198-1206, 2014.
5. Administrator Situs. *TPA Piyungan Siapa Yang Mau?*. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2013. Diakses dari <http://ciptakarya.pu.go.id/andal/content/tpa-piyungan-siapa-yang-mau>, 26 Januari 2016.
6. Brian Fry. *Stable Isotope Ecology*. Springer, New York, 2006.
7. Emanuel Mazor. *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*, 3rd Edition. Marcel Dekker Inc., New York, 2004.
8. Craig H. "Isotopic Variations in Natural Waters". *Journal of Science*, 133:1702-1703, 1961.
9. Bungkus Pratikno dan Paston Sidauruk. "Mempelajari Hubungan Air di Danau Toba dengan Air di Beberapa Sumber Mata Air Dekat Danau Toba". *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Vol. 11, 2:153-159, 2015.
10. Sudaryanto dan Rachmat Fajar Lubis. "Penentuan Lokasi Imbuhan Airtanah dengan Pelacak Isotop Stabil ^{18}O dan ^2H di Cekungan Airtanah Dataran Rendah Semarang, Jawa Tengah". *Riset Geologi dan Pertambangan*, 21:121-129, Jakarta, 2011.
11. B.B.S. Singhal dan R.P. Gupta. *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*, 2nd Edition. Springer, New York, 2010.
12. Lyle S. Raymond JR. "What is Groundwater?". *Bulletin No. 1 New York State Water Resources Institute Center for Environmental Research*, Cornell University, hal. 1-11, Juli 1988.
13. Arthur W. Hounslow. *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. Lewis Publisher, Washington D.C., 1995.
14. Abdulhussain A. Abbas, Guo Jingsong, Liu Zhi Ping, Pan Ying Ya, dan Wisaam S. Al-Rekabi. "Review on Landfill Leachate Treatments". *Journal of Applied Sciences Research*, 5(5):534-545, 2009.

Tanya - Jawab

Pertanyaan 1.

Dari : Tri Sulistiyo Hari Nugroho
 Pertanyaan : Bagaimana penentuan adanya intereksi/ hubungan antara air tanah dengan air lindih dari data yang diperoleh.

Jawaban : isotop stabil (deuterium, oksigen-18) merepresentasikan DNA atau sidik jari dari air satu ke air lainnya, apabila memiliki kedekatan nilai komposisi (D, ^{18}O) maka dapat dipastikan bahwa air tersebut dari aliran yang sama atau terjadi mixing (pencampuran). Akan tetapi dari data yang diperoleh menunjukkan bahwa air tanah tidak mempunyai nilai komposisi yang dekat atau diperkaya (enrichment) oleh air lindih. Kemudian validasi kimia air dilakukan dan ternyata semua air masih bertipe air bersih dari air tanah dangkal melalui diagram pipernya.