

## Studi Asal-Usul Air Lumpur Lapindo Periode 2007 – 2012 Menggunakan Isotop Alam

### *Study of The Lapindo Mud Burst Origin in The 2007 – 2012 Period Using Environmental Isotopes*

**Satrio, Bungkus Pratikno dan Paston Sidauruk**

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN

E-mail: satrio@batan.go.id

Diterima 12 September 2012; Disetujui 06 November 2012

#### ABSTRAK

**Studi Asal-Usul Air Lumpur Lapindo Periode 2007 – 2012 Menggunakan Isotop Alam.** Telah dilakukan penelitian air tanah menggunakan isotop alam pada area semburan lumpur Lapindo Sidoarjo yang dilakukan dari tahun 2007 hingga 2012. Penelitian ini bertujuan mengetahui perkiraan asal-usul air pusat semburan berdasarkan pemantauan data isotop alam yang dilakukan hampir setiap tahun. Untuk analisis isotop  $^{14}\text{C}$ , pengambilan sampel yang berasal dari pusat semburan dilakukan dengan cara memisahkan lumpur dengan air selama semalam, sedangkan untuk analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  sampel langsung diambil dari sekitar lokasi dan dimasukkan ke dalam botol 30 ml. Sebagai pembandingan, dilakukan pula pengambilan dan analisis isotop terhadap sampel yang berasal dari luar pusat semburan, yaitu di sumur bor milik pabrik es di Porong yang berjarak sekitar 1 km dari pusat semburan. Hasil analisis isotop alam dan grafik hubungan  $\delta^2\text{H}$  terhadap  $\delta^{18}\text{O}$  dari tahun 2007 hingga 2012 menunjukkan bahwa air yang berasal dari pusat semburan merupakan air yang berinteraksi dengan magma atau bersifat magmatik dengan variasi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  masing-masing bernilai antara 8,33 ‰ hingga 12,49 ‰ dan -8,9 ‰ hingga 1,8 ‰. Data isotop alam air tanah dan grafik hubungan  $\delta^2\text{H}$  terhadap  $\delta^{18}\text{O}$  yang berasal dari pabrik es masih menunjukkan air meteorik. Di samping itu, berdasarkan data isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  juga terlihat bahwa air tanah pabrik es memiliki kemiripan asal dengan air tanah daerah Pasuruan. Hasil analisis isotop  $^{14}\text{C}$  tahun 2007 diperoleh umur di atas 40.000 tahun yang menunjukkan bahwa air tersebut diduga merupakan air yang telah terjebak selama ribuan hingga jutaan tahun dan tergolong fosil air. Antara tahun 2008 hingga 2012, umur airnya bervariasi dari Modern hingga sekitar 20.000 tahun yang mengindikasikan adanya kontribusi dari air tanah atau air laut terhadap air yang keluar dari pusat semburan.

**Kata kunci:** Air, lumpur Lapindo, isotop alam

#### ABSTRACT

**Study of The Lapindo Mud Burst Origin in The 2007 – 2012 Period Using Environmental Isotopes.** Groundwater study around Lapindo mud burst, Sidoarjo, has been conducted from 2007 to 2012 using environmental isotopes. The objective of the study was to trace the groundwater origin through the isotopes variations. The study was conducted by collecting water samples annually from the center of the mud discharge and drilled wells around the area. For  $^{14}\text{C}$  analysis, the water and the mud need to be separated before collecting of the samples, however, samples for  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$  isotopes analysis were directly put into 30 ml bottles. For comparison purposes, several samples were also collected from drilled wells owned by local ice factory at Porong about 1 km away from the center of mud burst. Stable isotopes  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$  result shows that the variations of 8,33 ‰ to 12,49 ‰ for  $^{18}\text{O}$  and -8,9 ‰ to 1,8 ‰ for  $^2\text{H}$ . These variations indicated that the water around the center of the burst has interacted with magmatic process. Meanwhile, stable isotopes  $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  variations of water samples collected from drilled wells indicated that the water is meteoric water. Another result found from this study was that water sample collected from Porong

indicated similar origin with those collected from Pasuruan. The results of isotope  $^{14}\text{C}$  analysis in 2007 obtained that the age water at the center of the mud burst was found more than 40.000 years old and classified as connate water. From 2008 to 2012 period of sampling, the age has been dropped with variations from Modern to 20.000 years old which indicate the presence of groundwater or sea water contribution.

**Key words** : water, mud of Lapindo, environmental isotopes

## PENDAHULUAN

Banjir Lumpur Panas Sidoarjo atau lebih dikenal sebagai bencana Lumpur Lapindo adalah peristiwa menyemburnya lumpur panas di lokasi pengeboran Lapindo Brantas Inc. di Dusun Balongnongo, Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, telah berlangsung sejak tanggal 29 Mei 2006. Semburan lumpur panas ini menyebabkan tergenangnya kawasan pemukiman, pertanian, dan perindustrian di tiga kecamatan sekitarnya, serta memengaruhi aktivitas perekonomian di Jawa Timur.

Lokasi semburan lumpur ini berada di Porong, yakni kecamatan di bagian selatan Kabupaten Sidoarjo, sekitar 12 km sebelah selatan kota Sidoarjo. Kecamatan ini berbatasan dengan Kecamatan Gempol, Kabupaten Pasuruan, di sebelah selatan.

Lokasi pusat semburan hanya berjarak 150 meter dari sumur Banjar Panji-1 (BJP-1), yang merupakan sumur eksplorasi gas milik

Lapindo Brantas Inc. sebagai operator blok Brantas. Oleh karena itu, hingga saat ini, semburan lumpur panas tersebut diduga diakibatkan aktivitas pengeboran yang dilakukan Lapindo Brantas di sumur tersebut. Lokasi semburan lumpur tersebut merupakan kawasan pemukiman dan di sekitarnya merupakan salah satu kawasan industri utama di Jawa Timur. Tak jauh dari lokasi semburan terdapat jalan tol Surabaya-Gempol, jalan raya Surabaya-Malang dan Surabaya-Pasuruan-Banyuwangi, serta jalur kereta api lintas timur Surabaya-Malang dan Surabaya-Banyuwangi [2].

Fluida yang keluar dari pusat semburan merupakan lumpur hitam pekat dengan sedikit air dan kadang-kadang disertai minyak mentah (*crude oil*). Temperatur lumpur sesaat setelah keluar dari pusat semburan sekitar  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Berdasarkan pendapat para ahli, adanya tekanan tinggi mendorong lumpur keluar melalui patahan atau rekahan alami (*natural fissures*) yang bisa sampai ke permukaan.



**Gambar 1.** Pemukiman yang terendam lumpur [1]

Banyak tempat di Jawa Timur dan sekitarnya ditemukan lumpur panas keluar dari dalam tanah seperti di Kalanganyar, Sidoarjo, gunung Anyar di Madura dan "gunung" lumpur di Jawa Tengah (Bleduk Kuwu). Fenomena ini sudah terjadi puluhan bahkan ratusan tahun yang lalu. Jumlah

$^2\text{H}$  diperlukan sampel air sebanyak 30 ml, sedangkan untuk analisis  $^{13}\text{C}$  dan  $^{14}\text{C}$  diperlukan sampel air sebanyak 60 liter melalui proses pengendapan karbonat dalam bentuk senyawa  $\text{BaCO}_3$ . Sampel-sampel tersebut kemudian dianalisis di laboratorium Hidrologi PATIR- BATAN.



Gambar 2. Skematik keluarnya lumpur panas [3]

lumpur di Sidoarjo yang keluar dari perut bumi sekitar 100.000 meter kubik per hari, yang tidak mungkin keluar dari lubang hasil "pemboran" selebar 30 inchi.

Sehubungan dengan tragedi semburan lumpur yang hingga kini terus keluar, maka perlu dilakukan pemantauan secara berlanjut agar dapat diketahui perkembangan asal-usul atau jenis air yang keluar dari pusat semburan serta dampaknya terhadap air tanah di sekitarnya. Asal-usul air yang keluar di area semburan lumpur dapat diketahui berdasarkan data isotop alam  $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yang telah umum digunakan sebagai perunut dalam penelitian air tanah. Untuk analisis  $^{18}\text{O}$  dan

## BAHAN DAN METODE

### Pengambilan sampel untuk analisis isotop $^{18}\text{O}$ dan $^2\text{H}$

Isotop alam  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  berada di air dalam bentuk senyawa  $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$  dan  $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}_2$ . Kedua isotop tersebut sangat peka terhadap proses fisika seperti penguapan, oleh karena itu untuk mencegah hal tersebut maka pengambilan sampel air dilakukan sebagai berikut:

Sampel air sebanyak 30 ml dimasukkan ke dalam botol khusus kedap udara dengan cara mendekatkan botol ke sumber air atau memasukkannya ke dalam sumber air secara langsung.

- a. Gelembung udara dalam sampel dihindari dengan cara memasukkan sampel secara perlahan-lahan.
- b. Setelah sampel terisi penuh dan tidak ada gelembung udara, botol tersebut ditutup hingga kedap udara.

### Pengambilan sampel untuk analisis Isotop $^{14}\text{C}$

Isotop  $^{14}\text{C}$  dalam sampel air berada dalam bentuk  $\text{CO}_2$  atau  $\text{HCO}_3^-$  yang terlarut dalam air tanah dan diambil dalam bentuk endapan  $\text{BaCO}_3$ . Pengambilan sampel air lumpur Lapindo dilakukan dengan cara memisahkan air dari lumpurnya. Lumpur diendapkan selama semalam dan sebanyak 60 liter air yang telah terkumpul kemudian diproses secara kimia. Proses selanjutnya sama dengan pengendapan karbonat sampel air tanah melalui tahap berikut.

- a. Sebanyak 60 liter sampel air dimasukkan dalam tangki pengendap dan ditambah 5 gram  $\text{FeSO}_4$  untuk menghilangkan pengaruh mineral sulfida dan mineral lain.
- b. Sampel tersebut kemudian ditambah larutan  $\text{NaOH}$  jenuh sebanyak 40 ml untuk mengatur agar pH sampel menjadi 12.
- c. Selanjutnya ditambahkan larutan pengendap  $\text{BaCl}_2$  jenuh sebanyak 500 ml, kemudian diaduk hingga terbentuk endapan halus  $\text{BaCO}_3$ .
- d. Untuk mempercepat pengendapan, ditambahkan praestol sebanyak 30 ml dan diaduk perlahan-lahan.
- e. Endapan  $\text{BaCO}_3$  ditampung dalam botol kapasitas 1 liter.

### Analisis $^{18}\text{O}$ dan $^2\text{H}$

Masing-masing sampel air dalam botol 60 ml dimasukkan ke dalam sebuah vial dengan volume 1 ml menggunakan pipet ukur (*disposable pipet* diganti setiap pengambilan sampel), lalu vial tersebut ditutup dengan benar. Lima buah vial yang terisi sampel dimasukkan ke dalam *autosampler tray* dengan susunan posisi sesuai sistem *autosampler* yang telah ditentukan. Beberapa vial yang berisi sampel

standar juga dimasukkan ke dalam *autosampler tray* untuk digunakan sebagai kalibrator. *Autosampler tray* yang telah terisi sampel diletakkan pada perangkat *liquid-water stable isotope analyzer* LGR DLT-100, dan dilakukan pengujian letak spektrum pada batasan kerja terlebih dahulu. Apabila letak spektrum sudah sesuai, kemudian perangkat diaktifkan dan secara otomatis masing-masing botol vial tersebut akan diinjeksi sebanyak 6 kali dan dilakukan pengukuran (proses injeksi dan pengukuran berlangsung sekitar 15 jam). Hasil dari injeksi berupa data nilai D/H dan  $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$  akan ditampilkan pada layar konfigurasi perangkat tersebut.

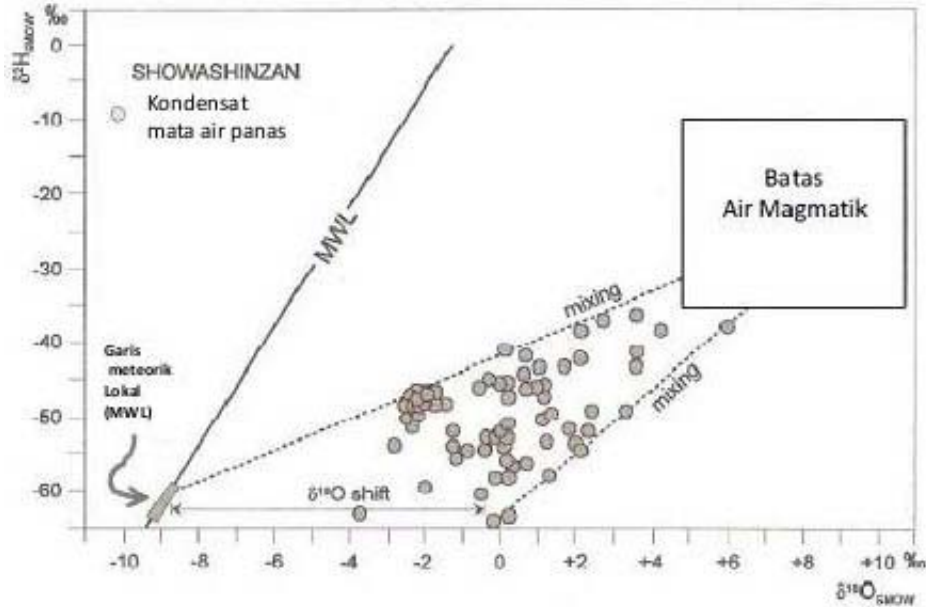
Variasi isotop air mempunyai sedikit perbedaan dalam tekanan uap dan titik beku. Kedua sifat ini memberikan perbedaan konsentrasi  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dalam air untuk bermacam-macam tempat dalam siklus hidrologi. Kandungan isotop suatu senyawa berubah jika terjadi proses evaporasi, kondensasi, pembekuan, pencairan, reaksi kimia atau proses biologi yang umum dikenal dengan fraksinasi isotop.

Pada prinsipnya, analisis  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dalam penelitian dinamika air suatu daerah adalah berdasarkan perbedaan kandungan isotop stabil  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  di antara sumber air yang terdapat di daerah penelitian seperti air sungai, air tanah, air danau, reservoir atau air laut. Kandungan isotop stabil  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dari air sungai akan mengalami pengkayaan yang disebabkan oleh proses penguapan. Di lain pihak, air tanah akuifer dangkal dan air tanah akuifer dalam di daerah tersebut dapat berasal dari imbuh lokal ataupun regional yang akan memperlihatkan perbedaan di antara sumber-sumber air yang diteliti.

Komposisi  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  air tanah yang berasal dari infiltrasi air hujan ke dalam tanah, akan terletak pada garis meteorik (air hujan), kecuali air tanah tersebut mengalami perubahan misalnya mengalami pertukaran  $^{18}\text{O}$  karena melewati magma, percampuran atau telah mengalami proses penguapan. Grafik pada Gambar 3 memperlihatkan

komposisi  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dalam berbagai proses [4].

dituangkan ke dalam vial gelas 21 ml dengan menggunakan pipet volumetrik. Radioisotop



Gambar 3. Perubahan komposisi isotop dalam berbagai proses

### Analisis $^{14}\text{C}$ dan $^{13}\text{C}$

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

Dalam kondisi vakum, sampel karbonat dalam bentuk senyawa  $\text{BaCO}_3$  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 30 ml larutan carborb dan sintilator [5].

Setelah proses absorpsi selesai, larutan yang terbentuk langsung dikucurkan ke dalam labu *Erlenmeyer* sambil dialiri gas  $\text{N}_2$ . Sebanyak 21 ml larutan tersebut diambil dan

$^{14}\text{C}$  yang terkandung dalam  $^{14}\text{CO}_2$  kemudian dicacah dalam pencacah sintilasi cair selama 20 menit dengan 50 kali pengulangan.

Rangkaian alat penyerap  $\text{CO}_2$  dengan carborb dapat dilihat pada Gambar 4.

Perhitungan umur dihitung dengan memasukkan nilai isotop stabil  $\delta^{13}\text{C}$  sebagai koreksi yang diukur menggunakan spektrometer massa. Berdasarkan perhitungan konvensional,  $R_i = 100$  percent modern carbon (pMC). Untuk penentuan umur air tanah, evaluasi dan faktor koreksi perhitungan umur air tanah mengikuti formulasi berikut:

$$t = 8267 \ln (R_i/R_s)$$

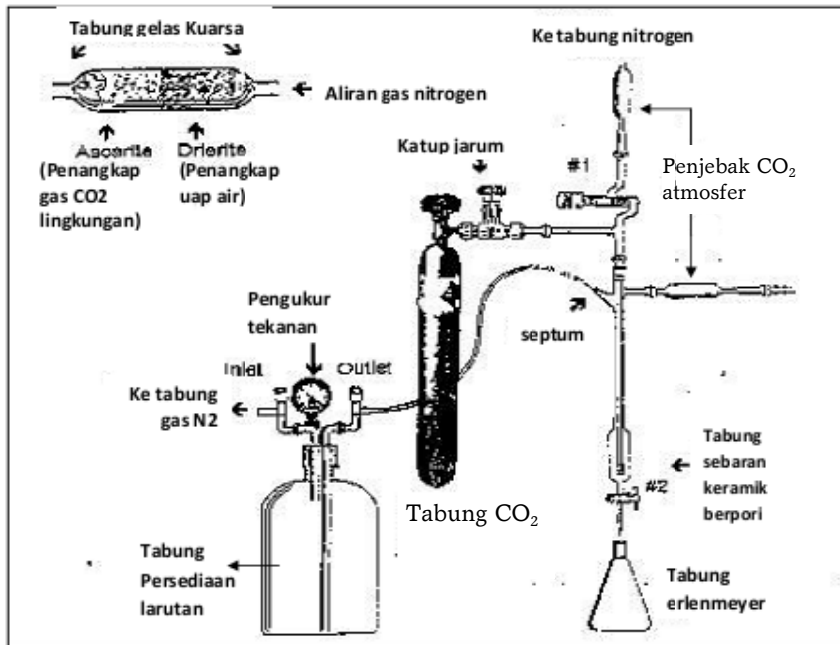
dalam hal ini :  $R_i$  = konsentrasi/kandungan isotop  $^{14}\text{C}$  awal

$R_s$  = nilai pMC sampel

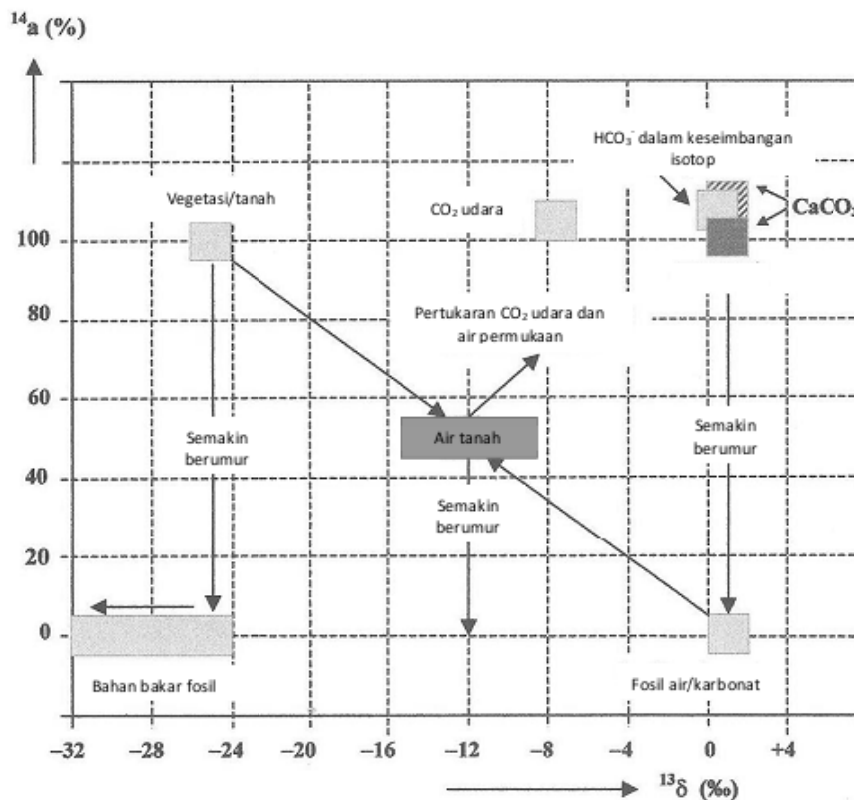
Isotop stabil  $^{13}\text{C}$  juga dapat mengindikasikan asal air melalui perbedaan nilai yang dikandungnya seperti terlihat

pada Gambar 5. Dari gambar tersebut terlihat bahwa air tanah (*groundwater*) memiliki nilai  $^{13}\text{C}$  sekitar  $-14$  ‰ hingga  $-12$

‰, sedangkan air laut antara  $0$  hingga  $+2$  ‰ [7,8].



Gambar 4. Rangkaian alat absorpsi  $\text{CO}_2$  [6]

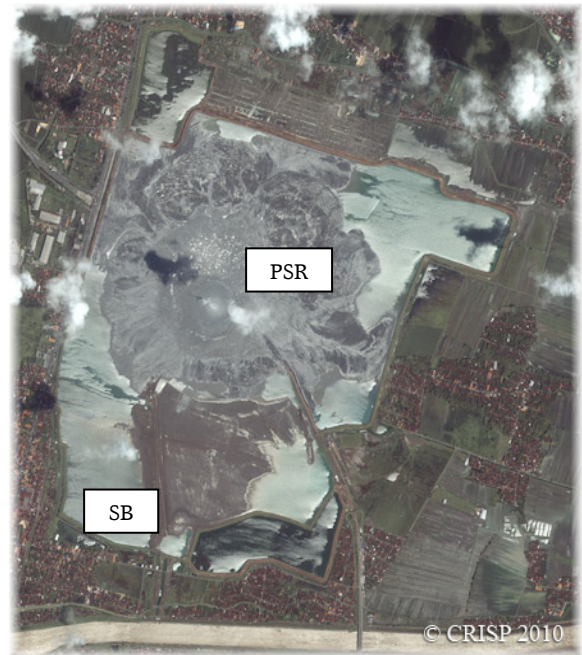


Gambar 5. Skema variasi hubungan antara  $^{13}\text{C}$  dan  $^{14}\text{C}$  di alam





**Gambar 6a.** Foto udara daerah Porong sebelum tragedi semburan lumpur panas [9].



**Gambar 6b.** Foto udara daerah Porong sesudah tragedi semburan lumpur panas (SB = sumur bor, PSR = pusat semburan)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum peristiwa keluarnya lumpur panas Lapindo terjadi, daerah Porong, Sidoarjo, merupakan salah satu kawasan industri yang sangat strategis di Jawa Timur. Jalan tol yang menghubungkan kota Malang dan Surabaya merupakan infrastruktur yang melintasi kawasan industri Porong ini. Demikian pula jalan raya Porong yang menghubungkan antara kota Surabaya dan Banyuwangi merupakan jalan utama yang memberikan kontribusi terhadap perkembangan pembangunan dan perindustrian di sekitarnya. Gambar 6a dan 6b memperlihatkan foto daerah Porong sebelum dan sesudah semburan lumpur lapindo yang diunduh dari *Google Earth* tahun 2005. Terlihat jelas bahwa di sekitar area semburan lumpur Lapindo merupakan kawasan industri.

Lokasi pengambilan sampel meliputi sekitar pusat semburan PSR dan sampel sumur bor (SB) milik pabrik es yang berjarak sekitar 1 km dari pusat semburan. Pabrik tersebut hingga kini (Agustus 2012) masih

memanfaatkan air tanah untuk keperluan produksi es.

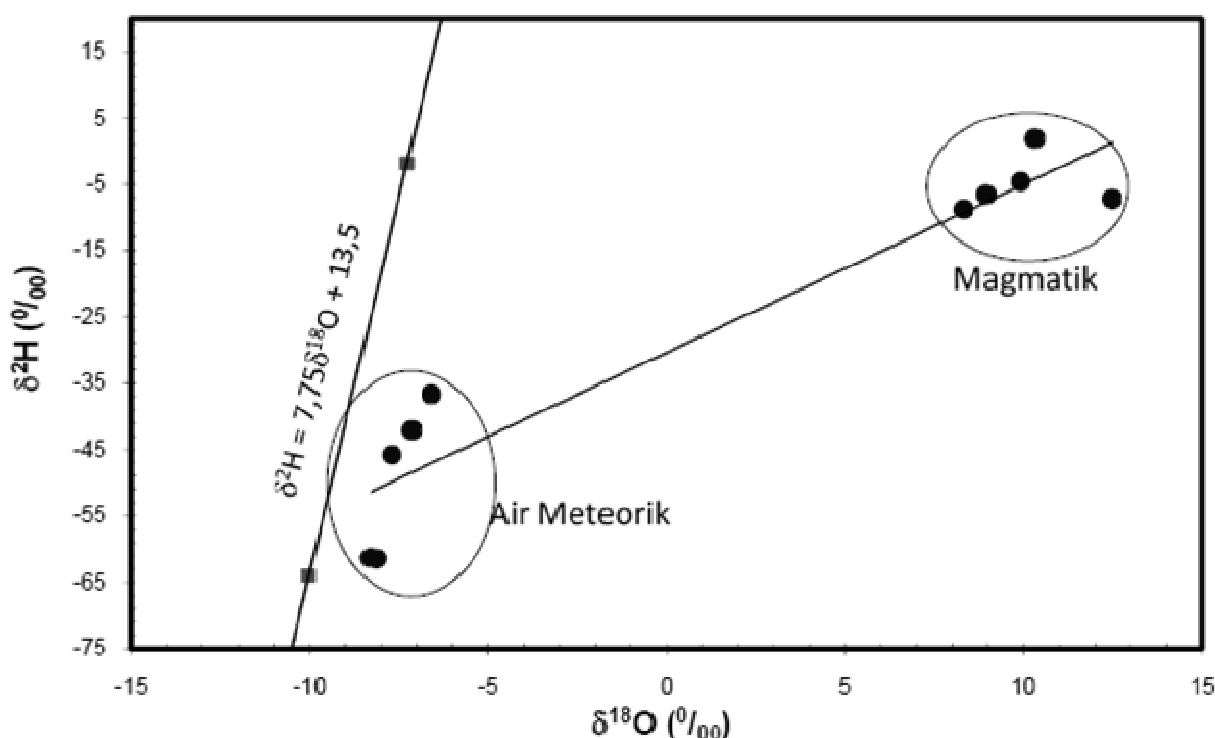
### Hasil analisis $^{18}\text{O}$ dan $^2\text{H}$

Tabel 1 memperlihatkan hasil analisis  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dari sampel air yang berasal dari pusat semburan dan air tanah yang berasal dari sumur bor milik pabrik es. Kedalaman sumur bor ini sekitar 60 m terletak di selatan dan berjarak sekitar 1 km dari pusat semburan.

Dari data isotop alam terlihat bahwa kandungan  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yang berasal dari pusat semburan PSR masing-masing memiliki variasi nilai antara 8,33 ‰ hingga 12,49 ‰ dan -8,90 ‰ hingga 1,80 ‰. Air tanah yang berasal dari pabrik es memiliki nilai isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dengan variasi masing-masing antara -8,28 ‰ hingga -6,58 ‰ dan -61,5 ‰ hingga -35,3 ‰. Gambar 7 menunjukkan grafik  $^2\text{H}$  vs  $^{18}\text{O}$  dari data isotop alam air lumpur pusat semburan dan air tanah pabrik es. Terlihat jelas bahwa terdapat perbedaan nyata antara air lumpur yang berasal dari pusat semburan dengan air tanah. Air lumpur tersebut bersifat

**Tabel 1.** Hasil analisis  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  air tanah area Lumpur Lapindo

No.	Tahun	Pusat semburan		Pabrik es (sumur bor)	
		$^{18}\text{O}$ (‰)	$^2\text{H}$ (‰)	$^{18}\text{O}$ (‰)	$^2\text{H}$ (‰)
1	2007	8,96	-6,60	-7,68	-35,3
2	2008	12,49	-7,30	-8,11	-61,5
3	2009	10,33	1,80	-8,28	-61,4
4	2010	-	-	-	-
5	2011	9,93	-4,70	-6,58	-36,7
6	2012	8,33	-8,90	-7,68	-45,8



**Gambar 7.** Grafik hubungan  $^2\text{H}$  terhadap  $^{18}\text{O}$  area semburan lumpur Lapindo

diperkaya dan memperlihatkan karakteristik magmatik. Hal ini berarti air tersebut sebelumnya telah mengalami interaksi dengan magma. Indikasi ini diperkuat dengan kenyataan bahwa temperatur sampel pada saat setelah keluar mencapai lebih dari  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sifat magmatik ini diduga berasal dari gunung api yang terdekat dengan area semburan, yaitu Gunung Api Penanggungan yang terletak sekitar 14 km di selatan.

Dari grafik di atas terlihat pula bahwa sampel air tanah yang diambil dari pabrik es

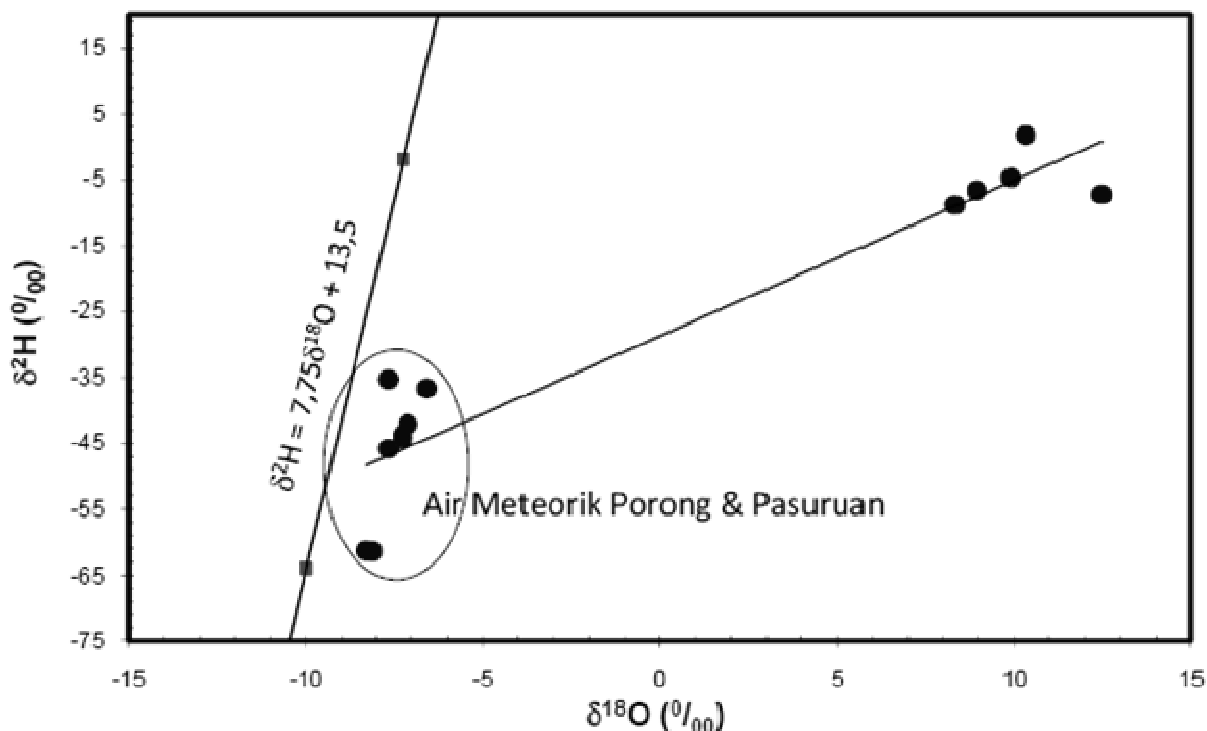
merupakan air tanah yang berasal dari air hujan (meteorik). Hanya sampel yang diambil pada tahun 2007 dan 2009 sedikit mengalami proses penguapan. Jika dibandingkan dengan data isotop alam dari beberapa mata air (MA) daerah Pasuruan (Tabel 2 dan Gambar 8), maka dapat diperkirakan bahwa air dari pabrik es memiliki kemiripan asal dengan air yang diambil dari mata air tersebut.

MA Artesis dan Kronto merupakan mata air yang berada di pemukiman



**Tabel 2.** Data isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  mata air daerah Pasuruan

No.	Nama sampel	$^{18}\text{O}$ (‰)	$^2\text{H}$ (‰)
1	MA Artesis	-7,12	-42,1
2	MA Sumber Aqua	-7,26	-44,5
3	MA Kronto	-7,25	-43,7



**Gambar 8.** Grafik hubungan  $^2\text{H}$  terhadap  $^{18}\text{O}$  area semburan lumpur Lapindo dan mata air Pasuruan

penduduk dan dimanfaatkan sebagai sumber air bersih untuk kebutuhan sehari-hari, sedangkan MA Sumber Aqua merupakan mata air yang diproduksi oleh PT. Aqua Golden Mississippi.

**Hasil analisis  $^{13}\text{C}$  dan  $^{14}\text{C}$**

Tabel 3 memperlihatkan hasil analisis  $^{14}\text{C}$  dari sampel air pusat semburan dan sampel air tanah dari sumur bor milik pabrik es di daerah Porong. Pada tahun 2007 dilakukan analisis  $^{14}\text{C}$  untuk pertama kali dengan hasil umur lebih dari 40000 tahun atau 0 pMC (0 pMC, artinya tidak terukur/sudah di luar kemampuan ukur alat

*Liquid Scintillation Counter*). Hal ini menunjukkan bahwa air lumpur yang keluar pada tahun 2007 masih memperlihatkan karakter fosil air yang sudah terjebak bersama lumpur dalam kurun waktu sangat lama, ratusan ribu hingga jutaan tahun lalu. Hasil ini didukung dengan kandungan  $^{13}\text{C}$ -nya sebesar 1,58 ‰ yang mengindikasikan bahwa air tersebut merupakan air laut yang telah lama terjebak [10].

Seiring berjalannya waktu, umur air yang berasal dari pusat semburan mengalami perubahan dengan hasil umur dari tahun 2008 hingga 2012 berada di antara modern hingga 17550 tahun. Umur

**Tabel 3.** Hasil analisis  $^{14}\text{C}$  area Lumpur Lapindo

No.	Tahun	Pusat semburan		Pabrik es (sumur bor)	
		PMC	Umur (thn BP)	PMC	Umur (thn BP)
1	2007	0	>40000*	9,05 ± 0,40	19437 ± 100
2	2008	-	-	-	-
3	2009	73,28 ± 1,50	2100 ± 60	9,15 ± 0,42	19303 ± 100
4	2010	104,56 ± 2,65	Modern	6,79 ± 0,35	21768 ± 130
5	2011	-	-	-	-
6	2012	11,37 ± 0,60	17550 ± 100	8,34 ± 0,45	20110 ± 120

\* nilai pMC = 0, artinya aktivitas  $^{14}\text{C}$ -nya sudah tidak terukur, berada di luar kemampuan alat sehingga diperkirakan umurnya lebih dari 40000 tahun.

modern atau umur muda bisa diduga berasal dari hasil pencampuran dengan air hujan atau mungkin juga air laut yang sudah masuk ke dalam air lumpur Lapindo. Namun, pada tahun 2012, umurnya menjadi 17550 tahun yang diduga berasal dari kontribusi air tanah terhadap air lumpur Lapindo. Hasil umur air tanah yang berasal dari sumur bor pabrik es memperlihatkan variasi hasil antara 19303 hingga 21768 tahun. Dalam terminologi *radiocarbon dating*, fluktuasi ini tergolong kecil sehingga perbedaannya tidak begitu signifikan. Dengan demikian, kondisi air tanah di pabrik es belum mengalami dampak langsung dari peristiwa semburan lumpur tersebut [11].

## KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Hasil analisis isotop alam dan grafik hubungan  $\delta^2\text{H}$  terhadap  $\delta^{18}\text{O}$  menunjukkan bahwa air yang berasal dari pusat semburan merupakan air yang berinteraksi dengan magma atau bersifat magmatik dengan variasi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dari tahun 2007 hingga 2012 masing-masing bernilai antara 8,33 ‰ hingga 12,49 ‰ dan -8,9 ‰ hingga 1,8 ‰.
2. Data isotop alam air tanah dan grafik hubungan  $\delta^2\text{H}$  terhadap  $\delta^{18}\text{O}$  yang

berasal dari pabrik es masih menunjukkan air meteorik. Di samping itu, berdasarkan data isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  juga terlihat bahwa air tanah pabrik es di Porong memiliki kemiripan asal dengan air tanah daerah Pasuruan.

3. Isotop  $^{14}\text{C}$  tahun 2007 berumur di atas 40.000 tahun yang menunjukkan bahwa air tersebut diduga merupakan air yang telah terjebak dalam kurun waktu lama dan tergolong fosil air. Antara 2008 hingga 2012, umur airnya bervariasi antara modern hingga sekitar 20.000 tahun yang mengindikasikan adanya kontribusi dari air tanah atau air laut terhadap air yang keluar dari pusat semburan.
4. Perubahan nilai isotop alam  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  dari tahun ke tahun harus terus dipantau sehingga dapat diketahui asal-usul air yang keluar dari pusat semburan dan dampaknya terhadap air tanah di sekitarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. <http://akuvivit.blogspot.com/2012/07/tra-ge-di-lumpur-lapindo.html>, (2010).
2. [http://id.wikipedia.org/wiki/Banjir\\_lumpur\\_panas\\_Sidoarjo](http://id.wikipedia.org/wiki/Banjir_lumpur_panas_Sidoarjo), (2010)

- 
3. [http://rovicky.wordpress.com/2006/08/25/seputar lumpur sidoarjo, dampak eksplorasi dan lainnya](http://rovicky.wordpress.com/2006/08/25/seputar_lumpur_sidoarjo_dampak_eksplorasi_dan_lainnya), (2012).
  4. MOOK, W.G., Environmental Isotopes in The Hydrological Cycle, International Hydrological Program, Principles and Applications, Technical Documents in Hydrology, No.29 Vol.1, UNESCO, Paris (2000).
  5. QURESHI, R.M., ARAVENA, R.O., DRIMMIE, R. and FRITZ, P., A Simple Preparatory Procedure for LSC  $^{14}\text{C}$  Dating of Environmental Samples with Ages Younger than 29,000 Years, Proc. Natl. Symp. Spectroscopy for Material Analysis, Islamabad-Pakistan, April 4-6 (1995).
  6. QURESHI, R.M., ARAVENA, R.O., FRITZ, P., and DRIMMIE, R., The  $\text{CO}_2$  Absorption Method as Alternative to Benzene Synthesis Method for  $^{14}\text{C}$  Dating, Applied Geochemistry, Vol.4, 625-633 (1989).
  7. HUSSAIN, S.D., Measurement of Carbon-14 in Hydrological Samples, Pakistan Institute of Nuclear Science and Technology, P.O. Nilore Islamabad (1991).
  8. GUPTA, SUSHIL, K. and POLACH, H. , Radiocarbon Dating Practice at Australian National University, Handbook, Radiocarbon Laboratory, Research School of Pacific Studies, ANU, Canberra (1985).
  9. [http://www.crisp.nus.edu.sg/coverages/mudflow/index\\_IK\\_p42.html](http://www.crisp.nus.edu.sg/coverages/mudflow/index_IK_p42.html) foto udara daerah Porong, 2012.
  10. HUT, G., Isotope Hydrology, Diktat Training Course Isotope Hydrology IAEA 30 - 41, (1987).
  11. NAIR, A.R., SINHA, U.K., JOSEP, T.B., and RAO, S.M., Radiocarbon Dating up to 37,000 Years Using  $\text{CO}_2$  Absorption Technique, Nuclear Geophysics 9 (3), 263-268 (1995).
-

