

Semburan gas dan dampaknya terhadap lingkungan di sekitar Lumpur Sidoarjo

Hanik Humaida, Akhmad Zaennudin, N. Euis Sutaningsih, dan Y. Sulistiyo

Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi
Jln. Diponegoro 57 Bandung 40122

SARI

Fenomena lain yang muncul bersama semburan Lumpur Sidoarjo adalah semburan gas. Munculnya semburan gas ini menimbulkan pertanyaan, antara lain, jenis dan dampaknya terhadap lingkungan, terutama bagi penduduk sekitarnya, untuk menjawab pertanyaan tersebut dilakukan penelitian geokimia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gas yang keluar adalah gas hidrokarbon dengan komposisi utama gas metana (CH_4) dan gas karbondioksida (CO_2). Berdasarkan jenis dan sumbernya, gas tersebut merupakan gas termogenik yang sumbernya diperkirakan adalah bahan organik pada level di atas "Oil Window". Dari nilai isotop menunjukkan bahwa gas tersebut mempunyai tingkat kematangan termal yang cukup. Akibat semburan gas hidrokarbon ditengah-tengah pemukiman penduduk tersebut berdampak pada lingkungan, terutama air. Air sumur penduduk menjadi keruh dan berbau menyengat sehingga tidak dapat dipergunakan untuk kebutuhan sehari hari.

Kata kunci: Semburan gas, Sidoarjo, dampak lingkungan

ABSTRACT

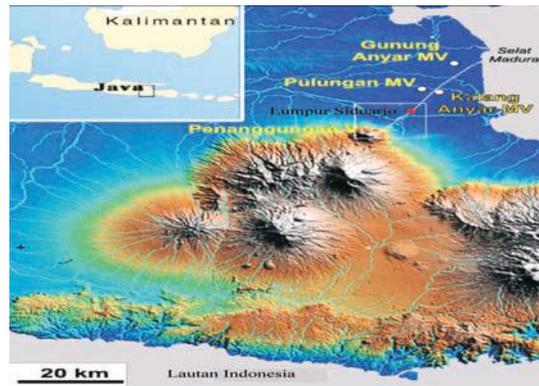
Another phenomenon which is occurred in the mud extrusion of Sidoarjo is gas abruptions. At first that are become a big question. Due to this reason, an investigation of geochemistry of the gases are needed. These results show that gas abruptions are dominated by hydrocarbon gases with the main composition of methane (CH_4) and is followed by carbondioxide (CO_2). Based on the kind and its source, these gases are thermogenic gas which derived from organic matter above the level of "Oil Window". The carbone isotope of the hydrocarbon gases show a mature of thermal maturity degree. Gases abruptions which are occurred in the area of a densed population, caused the water of people shallow well become turbid with strong bad smell which could not be used for daily used.

Keyword: *Outpouring of gas, Sidoarjo, environment impact*

PENDAHULUAN

Semburan Lumpur Panas Sidoarjo, Jawa Timur, Gambar 1, sudah berlangsung hampir empat tahun sejak pertama kali terjadi pada 29 Mei 2006. Titik semburan lumpur berlokasi di sekitar 200 m sebelah baratdaya sumur eksplorasi migas Banjarpanji 1, dengan debit semburan 5.000 m³ perhari, suhu permukaan 96°C. Seiring dengan berjalannya waktu debitnya terus meningkat yang akhirnya mencapai 80.000 – 150.000 m³ perhari (Davies, dr., 2007). Endapannya berupa lumpur dan air dengan perbandingan 70 % air dan 30 % material padat dan telah merendam areal seluas 740 ha. Lahan yang terendam terdiri

Gas alam adalah campuran gas hidrokarbon yang mudah terbakar dan non-hidrokarbon seperti N₂, CO₂, dan H₂S, serta gas-gas iku-tan lainnya. Komponen utamanya adalah metana (CH₄), etana (C₂H₆), propana (C₃H₈), serta gas hidrokarbon yang lebih berat lainnya. Gas ini merupakan sumber energi yang mempunyai kandungan energi yang sangat tinggi, ramah lingkungan dan menjadi pilihan utama selama melalui tahapan eksplorasi dan eksploitasi dengan benar. Tetapi apabila gas ini keluar tidak melalui proses eksplorasi dan eksploitasi dengan benar dari sumbernya, maka akan menimbulkan berbagai dampak terhadap lingkungan.



Gambar 1. Lokasi semburan lumpur di Sidoarjo, Jawa Timur.

atas perumahan, pesawahan, pabrik, sarana dan prasarana. Sejauh ini sebanyak 15.000 orang telah diungsikan ke tempat lain. Fenomena terakhir adalah munculnya semburan gas dengan aroma yang menyengat di tengah-tengah permukiman penduduk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gas tersebut adalah gas hidrokarbon yang sering disebut gas alam.

Berkaitan dengan itu, penelitian terhadap gas hidrokarbon yang muncul di tengah permukiman penduduk ini bertujuan agar diketahui dampaknya berdasarkan aspek kimia yang meliputi sumber, jenis, dan kematangan gas tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian semburan gas di area sekitar Lumpur Sidoarjo dilakukan baik di dalam maupun di luar tanggul genangan lumpur.

Penelitian yang dilakukan meliputi observasi lapangan, pengambilan contoh, dan menganalisisnya di laboratorium. Pengambilan contoh pada beberapa titik untuk analisis dilakukan dalam dua periode, masing-masing pada bulan Februari 2009 dan Maret 2009. Analisis contoh di laboratorium meliputi komposisi gas, nilai isotop karbon dari gas metana sampai dengan *n-butana* ($C_1 - C_4$ normal), dan CO_2 (Gambar 2 dan Tabel 1). Selain itu dilakukan pula monitoring terhadap gas metana dan karbondioksida pada lokasi tetap di titik gelembung (*bubble*) Mindi, Desa Pejarakan dengan menggunakan metoda Giggenbach yang telah dilakukan sejak tahun 2007.

Analisis komposisi gas dilakukan dengan Gas Chromatography dengan standard metoda analisis GPA 2261, sedangkan kandungan isotop karbon dari gas hidrokarbon dan karbondioksida dilakukan dengan menggunakan metoda *gas chromatography - combustion - Isotope Ratio Mass Spectrometry* dengan menggunakan kromatografi gas (GC) *Hewlett Packard 6890* dengan *interface* ke *Micromass Iso Chrom Mass Spectrometer (IRMS)*.

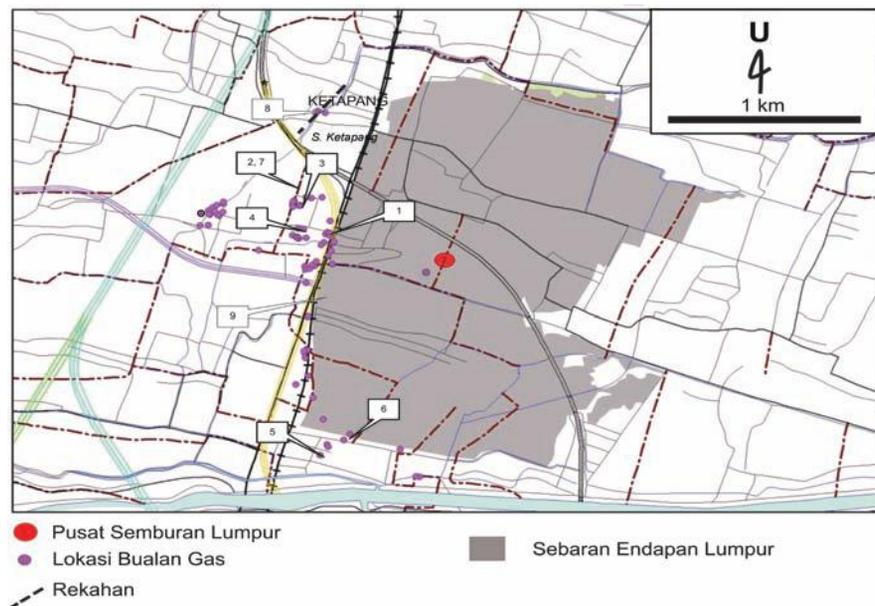
HASIL ANALISIS KOMPOSISI GAS

Munculnya semburan gas di tengah-tengah pemukiman penduduk di sekitar lokasi Lumpur Sidoarjo merupakan fenomena yang

terakhir muncul menyusul semburan lumpur panas itu sendiri. Gas keluar dari rekahan-rekahan tanah, sungai, sumur/sumur bor baik di rumah penduduk maupun di area industri. Fenomena tersebut ditengarai sebagai gas alam.

Gas alam merupakan gas yang komponen utamanya adalah metana (CH_4), yang merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan. Gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon yang lebih berat seperti etana (C_2H_6), propana (C_3H_8), butana (C_4H_{10}), serta senyawa hidrokarbon lainnya yang lebih berat. Nitrogen, helium, karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S), merkuri dalam jumlah yang kecil dan air dapat juga terkandung di dalam gas alam. Komposisi gas alam bervariasi sesuai dengan sumber gasnya. Untuk mengetahui sumber gas alam, maka dapat dilihat dari nilai isotop gas dan komposisinya.

Hasil analisis pada Februari 2009 menunjukkan bahwa komposisi dari 6 contoh gas yang dianalisis mengandung metana sebagai senyawa dominan (42,39 - 55,20 % mol), diikuti dengan karbon dioksida (34,87 - 48,62 % mol) serta tingkat kebasahan (kandungan C_2^+) gas yang relatif rendah (3,45 - 4,40 % mol), tersaji dalam Tabel 2. Analisis gas di laboratorium pada titik pengambilan contoh SCJ-1 (PT. Candi Jaya Amerta) mempunyai komposisi metana hanya 18,5 % mol, pengambilan contoh dilakukan pada saluran air yang sudah tidak berfungsi di bawah area yang ruangnya mempunyai nilai *Low Explosive Limit* (LEL) melebihi nilai ambang batas, yaitu lebih dari 100 % LEL. Lokasi di industri ini tidak berada pada semburan air atau gas. Dari



Keterangan :

1 : Lokasi SBT-1

2 : Lokasi SCJ-1

3 : Lokasi SSK

4 : Lokasi SBT-2

5 : Lokasi MND

6 : Lokasi MBG

7 : Lokasi SCJ-2

8 : Lokasi SSJ

9 : Lokasi KTP

Gambar 2. Titik pengambilan contoh dan sebaran gas di sekitar lokasi Lumpur Sidoarjo.

Tabel 1. Lokasi Pengambilan Contoh Gas untuk Analisis Komposisi dan Isotop Karbon

No.	Tanggal Sampling	Kode	Lokasi	Posisi Geografi
1.	23 Feb. 2009	SBT-1	Siring, RT 01, RW 01 (pipa gas untuk memasak di rumah Ny. Chasanah)	S 07° 31' 31,2" E 112° 42' 07,3"
2	23 Feb. 2009	SCJ-1	PT Candi Jaya, Siring (saluran air yang sudah tidak berfungsi, bukan titik semburan gas)	S 07° 31' 24,8" E 112° 42' 04,8"
3	23 Feb. 2009	SSK	Selokan air di sebelah barat PT. Candi Jaya, Siring	S 07° 31' 23,6" E 112° 42' 04,5"
4	23 Feb. 2009	SBT-2	Jl. Beringin No. 5, Siring, (halaman depan rumah Bpk. Okinawa)	S 07° 31' 33,8" E 112° 42' 11,0"
5	24 Feb. 2009	MND	Mindi (belakang rumah Bpk. Faturohman)	S 07° 32' 28,8" E 112° 42' 13,4"
6	24 Feb. 2009	MBG	Gelembung gas, Mindi, wilayah Desa Pejarakan-Jabon	S 07° 32' 29,1" E 112° 42' 31,1"
7	22 Mar. 2009	SCJ-2	PT Candi Jaya, Siring (dalam pabrik)	S 07° 31' 25,9" E 112° 42' 05,30"
8	22 Mar. 2009	SSJ	Section 22-23 Jatirejo	S 07° 31' 49,3" E 112° 42' 11,5"
9	22 Mar. 2009	KTP	Sungai Ketapang	S 07° 30' 58,4" E 112° 42' 9,6"

hasil analisis terlihat perbedaan antara gas yang diambil dari semburan gas dan gas yang tidak berasal dari sumber semburan gas.

Hal ini menunjukkan bahwa gas yang disebarkan dari bawah permukaan adalah gas hidrokarbon (gas alam) dengan komposisi gas etana dan yang lebih berat (C_2^+) yang jumlahnya cukup tinggi, berkisar 3,4 % mol - 4,4 % mol, salah satu ciri dari gas termogenik, gas yang mempunyai konsentrasi C_2^+ lebih dari 0,2 % mol (Schoell, 1983).

Pada bulan Maret 2009 dilakukan sampling gas pada 3 (tiga) titik sampling sebagai kelanjutan dari bulan sebelumnya, masing-masing pada titik SCJ-2, SSJ, dan KTP, (Gambar 2 dan Tabel 1). Contoh gas dianalisis untuk mengetahui komposisi dan nilai isotop karbon (Tabel 3). Hasilnya menunjukkan bahwa komponen utama dari gas tersebut adalah metana (CH_4) dengan konsentrasi 50,94 % mol, 54,99 % mol, dan 83,98 % mol secara berurutan dan kemudian diikuti dengan karbondioksida (CO_2) dengan konsentrasi sebesar 31,96 % mol, 31,18 % mol dan 0,97 % mol. Komposisi gas CH_4 dari lokasi KTP mempunyai konsentrasi paling tinggi dengan nilai CO_2 terkecil. Sedangkan jumlah konsentrasi gas hidrokarbon yang lebih berat yaitu C_2^+ mempunyai nilai lebih dari 0,2 % mol, seperti pada penyelidikan sebelumnya. Nilai C_2^+ dari masing-masing titik sampling adalah 2,55 % mol; 4,18 % mol; dan 2,41 % mol. Komposisi isotop karbon yang dinyatakan dalam notasi delta permil (‰) relatif terhadap VPDB, yang diambil pada bulan Februari 2009 menunjukkan nilai rasio dengan kisaran

sangat dekat dari empat contoh gas tersebut (Tabel 4).

Rasio isotop gas menunjukkan kisaran nilai dari -41,25 s/d -41,48 ‰ PDB untuk $\delta^{13}C_{C_1}$ dan -30,32 s/d -30,60 ‰ PDB untuk $\delta^{13}C_{C_2}$. Sedangkan analisis isotop karbon ($\delta^{13}C$) gas hidrokarbon pada bulan Maret 2009 dari contoh yang diambil (Tabel 3), mempunyai nilai sebesar -39,65 ‰ PDB, -36,67 ‰ PDB, dan -36,89 ‰ PDB untuk $\delta^{13}C$ dari metana (C_1) dan sebesar -26,11 ‰ PDB, -26,13 ‰ PDB, dan -25,84 ‰ PDB untuk $\delta^{13}C$ dari etana (C_2).

Hasil analisis isotop baik pada bulan Februari maupun Maret 2009, menunjukkan bahwa gas merupakan produk dari degradasi bahan organik oleh proses pemanasan termal (*thermogenic gas*), walaupun terjadi pergeseran pada hasil analisis pada bulan Maret 2009. Plot nilai isotop karbon metana ($\delta^{13}C_{C_1}$) terhadap nilai kebasahan (ΣC_2^+) dan terhadap $\delta^{13}C_{C_2}$ dengan jelas juga menunjukkan kecenderungan karakter asosiasi gas produk degradasi termal dari contoh teranalisis yang telah melewati generasi “*Oil Window*” (Tissot dan Bessereau, 1982) sebagaimana terlihat pada Gambar 3 dan 4.

Tingkat kematangan termal dari batuan sumber asal gas hidrokarbon dapat diperkirakan dengan menggunakan parameter isotop karbon dari gas alam seperti diperlihatkan pada Gambar 5 (North, 1985) dan Gambar 6 (Hunt, 1996). Hasil analisis tingkat kematangan gas Sidoarjo pada bulan Februari menunjukkan bahwa isotop karbon dari gas hidrokarbon ($C_1 - C_4$) terletak pada area LOM >10 (>1.0%

Tabel 2. Hasil Analisis Komposisi Hidrokarbon dan Ratio C_1/C_2^+ di Area Sekitar Semburan Lumpur Sidoarjo, Februari 2009

Unsur	Konsentrasi (% mol)					
	SBT-1	SSK	SCJ-1*	SBT-2	MND	MBG
N ₂ (nitrogen)	6,4427	7,1589	63,9137	7,0726	6,7133	5,2336
CO ₂ (karbondioksida)	33,8367	34,9183	12,9618	34,0998	34,8661	48,6211
O ₂ (oksigen)	0,3125	0,3887	3,1778	0,3203	0,3525	0,3086
CH ₄ (metana)	55,1710	53,5134	18,5744	54,1034	53,7235	42,3896
C ₂ H ₆ (etana)	2,6304	2,4464	0,8455	2,6357	2,6428	2,0983
C ₃ H ₈ (propana)	1,0775	1,0503	0,3580	1,1442	1,1207	0,8961
iC ₄ H ₁₀ (i-butana)	0,2027	0,2032	0,0699	0,2131	0,2017	0,1621
nC ₄ H ₁₀ (n-butana)	0,1887	0,1849	0,0626	0,2174	0,2112	0,1686
iC ₅ H ₁₂ (i-propana)	0,0592	0,0531	0,0000	0,0653	0,0629	0,0488
nC ₅ H ₁₂ (n-propana)	0,0275	0,0255	0,0000	0,0376	0,0383	0,0189
C ₆ ⁺ (heksana plus)	0,0510	0,0572	0,0363	0,0905	0,0670	0,0543
C ₂ ⁺	4,2370	4,0206	1,3723	4,4038	4,3446	3,4471
C ₁ /C ₂ ⁺	13,020	13,310	13,540	12,290	12,380	12,29

C₁/C₂⁺: > 200 berasosiasi dengan $\delta^{13}C_{CH_4} < -55\%$: Microbial gas
 < 80 berasosiasi dengan $\delta^{13}C_{CH_4} > -50\%$: Thermogenic gas.
 *: saluran air yang sudah tidak berfungsi, tidak pada titik semburan gas

Ro) untuk C₁ dan C₂ serta LOM 8 – 1,0 (0,80 - 1,0% Ro) untuk C₃ dan C₄ (Gambar 6). Data ini menunjukkan bahwa gas hidrokarbon berasal dari batuan sumber dengan tingkat kematangan termal relatif sama serta telah mencapai tahap pembentukan gas. Dengan demikian data kematangan termal dari isotop karbon tersebut mendukung pembahasan sebelumnya yang menyatakan bahwa gas hidrokarbon terbentuk di atas level generasi minyak serta kemungkinan besar

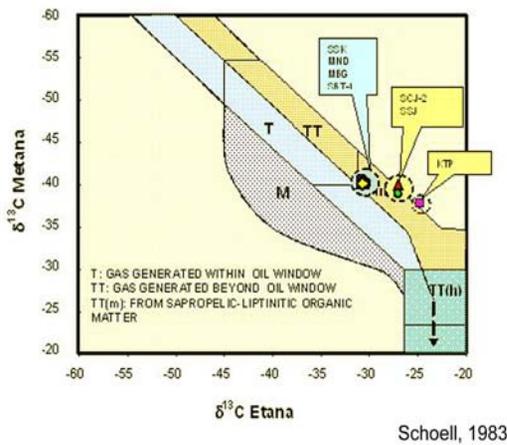
dihasilkan oleh proses pematangan bahan organik *sapropelik-liptinitik kerogen*. Analisis tingkat kematangan gas pada bulan Maret 2009 yang diperoleh terhadap parameter nilai isotop karbon dari hidrokarbon yang ada, (C₁ – C₄), maka gas-gas yang telah dianalisis mempunyai nilai *Level of Organic Maturity* (LOM) > 10 (>1% Ro) untuk semua hidrokarbon (C₁ – C₄). Data ini menunjukkan bahwa gas-gas tersebut mempunyai tingkat kematangan termal yang cukup, namun ada sedikit

Tabel 3. Hasil Analisis Konsentrasi Hidrokarbon dan Isotop Karbon, Maret 2009

Komposisi	SCJ-2		SSJ		KTP	
	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Mol %	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Mol %	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Mol %
C ₁	-39,65	50,94	-36,67	54,99	-36,89	83,98
C ₂	-26,11	0,78	-26,13	2,60	-25,84	0,86
C ₃	-23,99	1,24	-23,95	1,08	-23,88	1,17
iC ₄	-25,03	0,22	-24,86	0,19	-24,78	0,22
C ₄	-23,89	0,20	-22,84	0,20	-22,27	0,11
iC ₅	-	0,06	-	0,05	-	0,02
C ₅	-	0,03	-	0,03	-	0,01
C ₆₊	-	0,02	-	0,03	-	0,02
CO ₂	-2,93	31,96	-6,03	31,18	-16,14	0,97
N ₂	-	11,58	-	8,62	-	9,46
O ₂	-	2,97	-	1,03	-	3,18
ΣC_2+	-	2,55	-	4,18	-	2,41
C ₁ /C ₂ +	-	19,98	-	13,16	-	34,85

Tabel 4. Hasil Analisis Isotop Karbon Gas di area Sekitar Semburan Lumpur Sidoarjo, Februari 2009

Komposisi	SSK		MND		MBG		SBT-1	
	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Mol % norm						
C ₁	-41,26	53,51	-41,48	53,72	-41,46	42,39	-41,25	54,10
C ₂	-30,32	2,45	-30,56	2,64	-30,60	2,10	-30,58	2,64
C ₃	-27,66	1,05	-27,80	1,12	-27,90	0,90	-27,15	1,14
C ₄	-26,61	0,20	-26,84	0,20	-27,26	0,16	-25,80	0,21
iC ₄	-28,49	0,18	-28,84	0,21	-29,21	0,17	-27,45	0,22
CO ₂	-5,15	34,31	-13,92	34,92	-4,77	34,87	-7,56	48,62

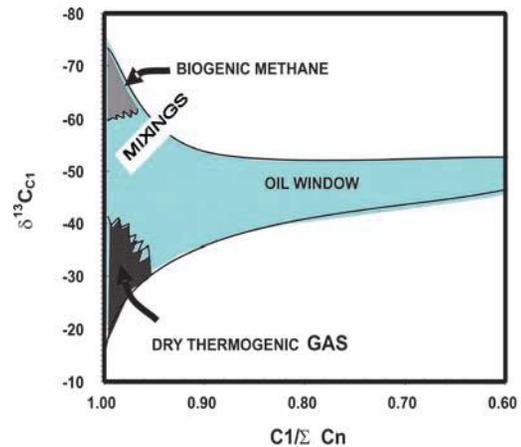


Gambar 3. Plot isotop karbon metana terhadap isotop karbon etana untuk mengetahui jenis dan sumber gas, gas tersebut berasal dari sapropelic-lipinitic.

perbedaan antara sumber gas di lokasi KTP dengan lokasi SSJ dan SCJ-2 yang terletak di Desa Siring (Gambar 6). Apabila dibandingkan dengan hasil analisis gas sebelumnya dari nilai isotopnya ada sedikit perbedaan.

Berdasar pada plotting isotop metana ($\delta^{13}C_{C_1}$) terhadap isotop etana ($\delta^{13}C_{C_2}$) dan terhadap tingkat kebasahan dan jenis gas (Gambar 3 dan 4), gas di lokasi KTP menunjukkan gas yang melewati “Oil Window” sudah sangat mendekati “Dry Gas”, hal ini juga dapat dilihat dari nilai kematangan gas (Gambar 6). Isotop karbon dari semua hidrokarbon (C_1-C_4) mempunyai nilai LOM lebih dari 11 yang mendekati “Dry Gas”.

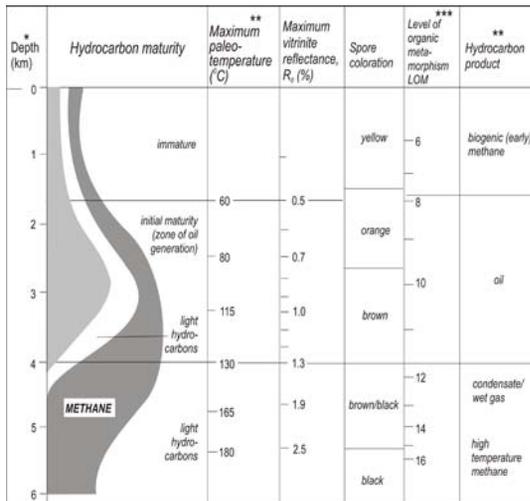
Isotop karbon dari karbon dioksida (CO_2) menunjukkan rasio bervariasi yang mencerminkan asal sumbernya. Nilai isotop karbon untuk CO_2 dengan kisaran antara -8 dan -12 ‰ PDB menunjukkan asal gas



Gambar 4. Plot data isotop karbon dari metana (CH_4) terhadap ratio $C_1/\Sigma C_n$ yang menunjukkan jenis gas. Dari hasil tersebut terlihat bahwa gas merupakan gas termogenik yang berada pada “Oil Window”.

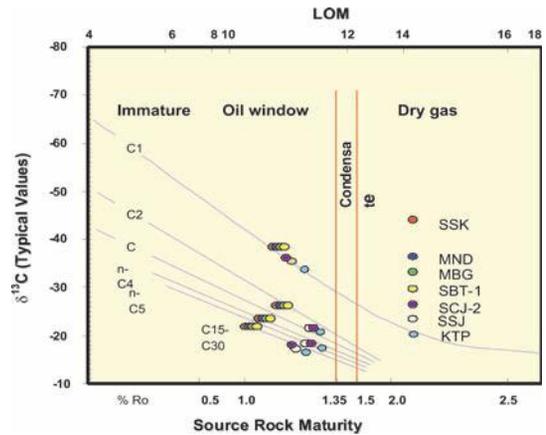
dari degradasi termal bahan organik sedangkan asal degradasi bahan organik oleh aktivitas mikroba ditunjukkan oleh kisaran angka -20 s/d -59 ‰ PDB (James, 1990). Gas CO_2 yang berasal dari sumber degradasi termal batuan karbonat pada umumnya dicirikan oleh rasio isotop karbon antara +4 dan -5 ‰ PDB. Berdasarkan pada kriteria tersebut, maka 4 contoh gas yang diambil pada bulan Februari 2009 dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu: pertama, asal degradasi termal karbonat dijumpai pada contoh SSK dan MBG; kedua, campuran kelompok pertama dengan degradasi termal bahan organik yaitu contoh MND, dan ketiga, campuran hasil degradasi termal maupun alterasi oleh mikroba dengan bahan organik yaitu contoh SBT-1. Hasil analisis isotop karbon dari karbondioksida pada bulan Maret 2009 menunjukkan bahwa contoh gas SCJ-2 dan gas SSJ merupakan gas yang asalnya dari degradasi termal karbo-

nat dicirikan isotop karbon dari CO₂ sebesar -2,93 ‰ dan -6,03 ‰ PDB. Sedangkan gas dari lokasi KTP berasal dari oksidasi bakteri dari metana, namun demikian nilai gas ini ada kemungkinan terjadinya degradasi antara waktu sampling dan sebelum dianalisis (Tabel 4).



Gambar 5. Korelasi umum dari beberapa indikator kematangan organik (North, 1985).

Hasil analisis pada bulan Maret 2009 dibandingkan dengan Februari 2009, gas tersebut mempunyai perbedaan baik konsentrasi dan isotop karbon dari hidrokarbon serta isotop karbon dari CO₂. Berdasarkan asal dari sumber gas serta kematangan, ketiga gas tersebut yang disampling pada Maret 2009, mempunyai sumber yang lebih dalam dan matang. Ada dua kemungkinan yang menyebabkan terjadinya perbedaan tersebut, pertama kemungkinan terjadinya perubahan proses termal apabila gas tersebut berasal dari sumber yang sama dan kemungkinan kedua adalah gas yang keluar memang berasal dari



Gambar 6. Plot data isotop karbon C₁- C₄ yang menunjukkan tingkat kematangan termal gas di area sekitar Lumpur Sidoarjo. Hasil tersebut menunjukkan bahwa gas hidrokarbon yang dianalisis berasal dari batuan sumber dengan tingkat kematangan termal yang telah mencapai tahap pembentukan gas.

sumber yang berbeda yang mempunyai suhu yang lebih panas dan lebih dalam.

SEBARAN DAN DAMPAK LINGKUNGAN

Semburan gas tersebar di sekitar lokasi semburan lumpur, yaitu di sisi barat, barat laut, tenggara, dan selatan dengan jarak antara 700 m sampai dengan 1200 m dari pusat semburan (Gambar 2).

Wilayah sisi barat merupakan sisi yang paling banyak terdapat semburan gas, terutama di Desa Siring dan Pamotan. Semburan-semburan gas tersebut keluar secara tidak kontinyu dan pada beberapa lokasi terjadi pergeseran titik semburan. Di sisi selatan semburan gas banyak ditemukan di Desa Mindi dan Pejarakan.

Tabel 5. Hasil Analisis Isotop Karbon Gas CO₂ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$) dan Asal Gas CO₂

SOURCE	$(\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2})$	Gas Sample						
		1	2	3	4	5	6	7
<i>Thermal Degradation of Organic Matter</i>	8 to -12					-13.92*		-7.56*
<i>Thermal Destruction of Carbonates</i>	+4 to -5	-2.93	-6.03*		-5.15*		-4.71*	
<i>Bacterial Oxidation of Methane</i>	-20 to -59			-16.14*				
<i>Volcanic Degassing</i>	-8							
<i>Atmospheric CO₂</i>	-8							-7.56*

Semburan gas yang muncul di tengah permukiman penduduk dan industri memberikan dampak terhadap lingkungan, terutama bagi masyarakat yang tinggal di wilayah tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gas yang teremisikan dari tanah tersebut merupakan gas alam yang bersifat termogenik dengan tingkat kematangan yang cukup tinggi. Adapun komponen utamanya adalah gas metana (CH₄) dan diikuti gas karbondioksida (CO₂).

Gas metana merupakan sumber energi yang sangat ramah lingkungan dengan nilai kalori yang sangat tinggi (891 kJ) apabila digunakan sebagai bahan bakar. Namun demikian apabila gas ini terlepas ke atmosfer akan bersifat polutan, karena gas metana merupakan gas rumah kaca yang dapat menciptakan pemanasan global. Pada beberapa dasawarsa terakhir penelitian tentang emisi gas metana telah dilakukan.

Dr. Orjan Gustaasson dari Universitas Stockholm Swedia, 2007, melakukan penelitian gas metana pada garis pantai Siberia. Dia berhasil mendokumentasikan sebuah area terjadinya pelepasan gas metana begitu cepat sehingga gasnya tidak sempat larut dalam air laut, tetapi muncul sebagai gelembung-gelembung metana ke atas permukaan air. Metana yang terlepas ke lapisan atmosfer 72 kali jauh lebih mematikan dibandingkan CO₂ selama lebih dari periode 20 tahun dan dapat menyebabkan percepatan pemanasan global yang sangat sulit dikontrol (<http://www.pemanasanglobal.net>).

Gas alam dapat berbahaya karena sifatnya yang sangat mudah terbakar dan menimbulkan ledakan. Selain itu, gas ini lebih ringan dari udara, sehingga cenderung mudah tersebar di atmosfer. Akan tetapi bila berada dalam ruangan tertutup, misalnya dalam sebuah bangunan, konsentrasi gas dapat mencapai ti-

tik campuran yang mudah meledak, terutama jika tersulut dengan api, ledakannya dapat menghancurkan bangunan tersebut. Kandungan metana yang berbahaya di udara adalah antara 5 hingga 15 % vol. Selain itu gas metana dapat menyebabkan sesak bernafas karena kekurangan oksigen.

Dibanding dengan gas metana, emisi gas CO₂ ke atmosfer jauh lebih banyak diteliti, demikian juga efeknya. Karbon dioksida (CO₂) atau zat asam arang adalah sejenis senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Molekul karbon dioksida (O=C=O) mengandung dua ikatan rangkap yang berbentuk linear. Gas ini merupakan gas yang tidak berbau dan tidak berwarna dengan densitas lebih berat dari udara. Pada keadaan *Standard Temperature and Pressure* (STP) mencapai suhu 25° C dan tekanan 1 atmosfer, densitas karbondioksida berkisar sekitar 1,98 kg/m³, kira kira 1,5 kali lebih berat dari udara.

Karbondioksida larut dalam air dan secara spontan membentuk H₂CO₃ (asam karbonat) dalam kesetimbangan dengan CO₂. Konsentrasi relatif antara CO₂, H₂CO₃, dan HCO₃ (bikarbonat) dan CO₂ (karbonat) bergantung pada kondisi pH larutan. Dalam air yang bersifat netral atau sedikit basa (pH > 6,5), bentuk bikarbonat mendominasi (>50%). Dalam air yang bersifat basa kuat (pH > 10,4), bentuk karbonat mendominasi. Bentuk karbonat dan bikarbonat memiliki kelarutan yang sangat baik.

Kandungan karbondioksida di udara bervariasi antara 0,03% (300 ppm) sampai dengan

0,06% (600 ppm) tergantung kepada lokasi dan waktu. Karbondioksida adalah gas rumah kaca yang penting karena ia menyerap gelombang inframerah dengan kuat. Nilai ambang batas CO₂ di udara sebesar 5.000 ppm, berdasarkan SNI 19-0232-2005, dan pada konsentrasi tinggi akan bersifat racun. Pada konsentrasi 3% volume di udara, gas ini bersifat narkotik ringan dan menyebabkan peningkatan tekanan darah dan denyut nadi, serta menyebabkan penurunan daya pendengaran. Pada konsentrasi 5% vol mempercepat ritme pernafasan karena adanya stimulasi pusat pernafasan, dan apabila terhirup berulang-ulang dapat menyebabkan pusing, kebingungan, dan kesulitan bernafas yang diikuti sakit kepala dan sesak nafas. Konsentrasi antara 8% dan 15 % vol menimbulkan kepala pening, bahkan dapat menyebabkan kematian jika korban tidak segera mendapatkan oksigen. Pada konsentrasi yang lebih tinggi dengan cepat masuk ke peredaran darah dan dalam waktu singkat dapat menyebabkan koma dan meninggal (Williams and Rymer, 2000).

Berdasarkan sifat fisika dan kimia, maka gas CH₄ dan CO₂ yang teremisikan di area sekitar semburan Lumpur Sidoarjo perlu diteliti lebih lanjut dan dilakukan analisis dampaknya terhadap lingkungan yang lebih detail. Analisis terhadap gas CH₄ dan CO₂ yang telah dilakukan secara kontinyu pada titik yang tetap di titik MND (Gambar 2), hasilnya menunjukkan nilai yang relatif tinggi (Gambar 7). Grafik tersebut menunjukkan konsentrasi CH₄ yang bersifat fluktuatif, sedangkan gas CO₂ menunjukkan kecenderungan yang meningkat. Hal ini perlu dicermati mengingat

sifat gas CO₂ yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan, bahkan menyebabkan kematian pada konsentrasi diatas 11 % vol dalam sekali hirup. Apabila dilihat dari nilai ambang batas gas CO₂ di udara (5000 ppm = 0,5 % vol), maka nilai gas ini jauh melebihi ambang batas. Meskipun demikian karena gas keluar di udara, maka segera terdispersi dan terencerkan oleh udara, sehingga konsentrasinya jauh berkurang, bahkan nihil.

Gas-gas tersebut teremisikan secara tidak kontinyu. Mulai pertengahan bulan Februari 2009 tekanan gas yang tersemburkan melalui rekahan-rekahan dan sumur bor penduduk mulai mengalami penurunan intensitas, bahkan pada beberapa titik sudah tidak lagi menyemburkan gas. Namun demikian kewaspadaan terutama apabila tidak ada sinar matahari, perlu dilakukan karena dengan berkurangnya tekanan/intensitas gas, maka terdispersinya gas CO₂ ke udara juga berkurang. Sifat gas CO₂ yang lebih berat dari udara ini (densitas relatif terhadap udara $d = 1,52 \text{ g/l}$), pada kondisi tidak adanya sinar matahari kemungkinan gas akan terakumulasi di atas permukaan tanah dan berbahaya bagi makhluk hidup, terutama bila berada di lokasi tersebut dalam waktu yang cukup lama.

Berkurangnya intensitas emisi gas pada beberapa sumber terutama pada musim hujan ada kemungkinan disebabkan oleh terlarutnya gas tersebut ke dalam air, karena sifat gas CO₂ yang mudah larut dalam air. Apabila hal ini terjadi maka ada kemungkinan pada musim kemarau gas tersebut akan menyembur kembali apabila volume gas di dalam sumbernya masih cukup.

Semburan gas yang terdapat di Siring keluar bersama dengan semburan air melalui sumur-sumur bor penduduk/pabrik-pabrik dan juga dari retakan-retakan tanah. Sumur bor yang mengeluarkan semburan air dan gas rata-rata mempunyai kedalaman lebih dari 70 m. Semburan air bercampur gas bisa mencapai ketinggian 15 m atau lebih. Bahkan semburan air dan gas yang terjadi di kompleks pabrik baja Desa Siring mampu menjebol pompa air yang dipasang di atasnya. Di lokasi tersebut selain semburan air dan gas juga diikuti luapan lumpur. Gas yang muncul dari semburan didominasi oleh CH₄ (metana).

Gas yang keluar di tengah-tengah pemukiman penduduk sejak akhir tahun 2008 telah dimanfaatkan oleh penduduk menjadi bahan bakar gas untuk kebutuhan (Gambar 8). Gas disalurkan melalui pipa dari tempat teremisinya yang dilengkapi dengan valve kontrol tekanan gas. Sampai saat ini ada 18 rumah penduduk yang telah mendapatkan pelayanan pasokan gas secara gratis. Yang perlu mendapat perhatian ekstra ketat adalah antisipasi terhadap bahaya kebakaran yang disebabkan oleh hembusan gas liar akibat kecuranghati-hatian warga dalam mengelola gas tersebut.

Pengamatan semburan gas yang ada di Siring pada bulan Maret 2009 menunjukkan peningkatan semburan dibandingkan dengan pengamatan sebelumnya yang dilakukan pada tanggal 22 – 23 Februari 2009. Semburan yang mencolok terjadi di Pabrik Krupuk PT. Candi Jaya Amerta, titik sampling SSSJ 2 (Gambar 2). Semburan terjadi di dalam pabrik pada tanggal 20 Maret 2009 yang mengakibatkan produksi berhenti sementara. Bau gas

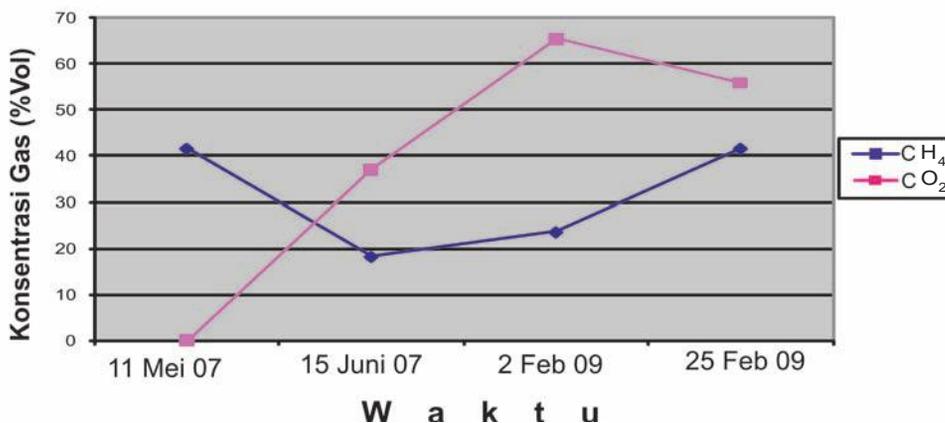
di dalam pabrik sangat menyengat dan konsentrasi gas metana melebihi nilai LEL (lebih dari 100 % LEL). Tetapi di lokasi yang sama sebelumnya terdapat bualan gas bercampur air yang cukup besar, pada saat peninjauan Maret 2009, bualan gas tersebut telah padam. Jadi kemungkinan titik tembusannya berpindah pada titik yang baru ini (Gambar 9).

Hasil pengamatan semburan gas yang lainnya di wilayah Siring yaitu di sumur bor penduduk di Jl. Flamboyan, juga menunjukkan peningkatan semburan bila dibandingkan dengan pengamatan sebelumnya, 22 – 23 Februari 2009. Bualan gas bercampur air tersebut memperlihatkan air yang keluar dari sumur bor menjadi lebih keruh dan berbau lebih menyengat. Bualan gas baru yang terjadi di wilayah Siring tepatnya 100 m di sebelah utara titik sampling SBT-2 (Gambar 2).

Tidak jauh dari Desa Siring, ditemukan sumber-sumber gas yang ada di sisi barat pusat semburan yaitu di Desa Pamotan (Gambar 2).

Seperti halnya di Siring, gas yang teremisikan terjadi pada retakan tanah, aliran sungai, dan sumur penduduk. Bualan-bualan gas ini muncul ke permukaan tanah tidak kontinyu yang kadang-kadang hilang dan muncul kembali pada waktu yang berbeda.

Bualan-bualan gas yang terjadi di daerah ini pada saat observasi dan penyelidikan dilakukan sudah tidak nampak lagi secara visual, padahal pada tahun 2007 – 2008 bualan gas terjadi cukup intensif. Karena pada saat dilakukan observasi dan penyelidikan pada Maret 2009 tidak tertutupi oleh air (kering), sehingga bualan-bualan gas tidak nampak lagi. Bualan-bualan gas ini akan lebih terlihat nyata bila permukaan tanah tergenang oleh air, tetapi bila permukaan tanah dalam keadaan kering, maka indikasi adanya gas dari bawah permukaan tidak dapat terlihat. Tetapi pada beberapa sumur penduduk di daerah ini masih terlihat bualan-bualan gas dalam intensitas yang mulai mengecil bila dibandingkan dengan pengamatan yang dilakukan pada bu-



Gambar 7. Pengukuran konsentrasi CH₄ dan CO₂ dari waktu ke waktu di lokasi gelembung (*bubble*) Desa Mindi, Pejarakan, Sidoarjo.



Gambar 8. Tampak kompor pada salah satu rumah warga yang sedang menyala dengan bahan bakar gas alam yang keluar dari retakan tanah di sekitar perkampungan di sekitar lokasi Lumpur Lapindo.
Foto: Y. Sulistiyo, 2009.



Gambar 9. Bualan-bualan gas baru yang muncul di dalam pabrik krupuk PT Candi Jaya Amerta di Desa Siring. Inset, *close up* retakan lantai tempat keluarnya gas. Foto: A. Zaennudin, 2009.



Gambar 10. Bualan-bualan gas yang muncul di Sungai Ketapang. Inset, bualan gas yang muncul di tengah sungai. Foto: A. Zaennudin, 2009.



Gambar 11. Bangkai ikan yang mati di tepi Sungai Ketapang karena keracunan gas. Foto: A. Zaennudin, 2009.

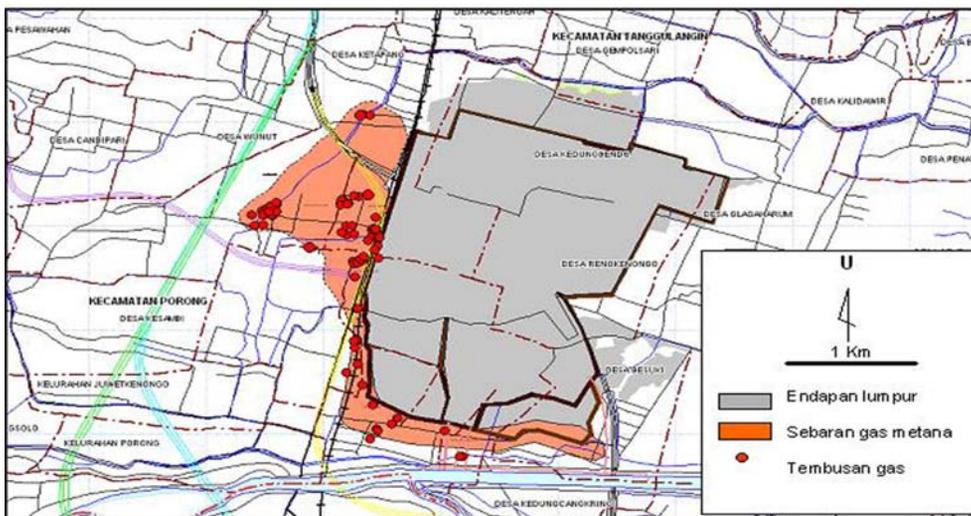
lan Februari 2009. Dampak yang terlihat dari teremisikannya gas di dalam sumur penduduk adalah bau yang menyengat dan keruhnya air, sehingga air sumur tidak dapat digunakan lagi untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Selain itu yang perlu diwaspadai adalah terhembuskannya gas dari retakan tanah/lantai di dalam rumah penduduk. Bahaya yang kemungkinan terjadi adalah dapat terbakarnya rumah serta terjadinya efek-efek buruk lainnya akibat terhirupnya gas-gas. Mengingat rumah merupakan ruang tertutup, terutama pada malam hari, saat pintu-pintu dan jendela sudah tertutup. Sirkulasi udara sudah minim atau bahkan tidak ada.

Munculnya bualan gas di Sungai Ketapang dan terjadinya retakan pada lantai rumah penduduk di wilayah ini juga diamati. Gas yang muncul di sungai terjadi pada minggu pertama Maret 2009 dan merupakan titik terjauh dari pusat semburan lumpur, jaraknya 1,5 km arah baratlaut. Bualan gas tersebut berada di tepi

dan tengah aliran Sungai Ketapang (Gambar 2 dan 10) yang terlihat cukup jelas karena besarnya bualan. Disamping bualan-bualan gas di lokasi tersebut, terdapat juga bualan gas yang baru di dalam tanggul Jatirejo, titik sampling SSJ (Gambar 2). Di dalam kolam lumpur yang sebagian besar terisi air banyak ikan yang ditemukan mati. Hal ini menandakan adanya cairan yang diduga cairan hidrokarbon masuk ke dalam kolam tersebut sehingga menyebabkan ikan mati (Gambar 11). Fenomena munculnya gas dan dampaknya seperti yang disebutkan di atas juga terjadi di sisi selatan, yaitu di Desa Mindi dan Desa Pejarakan (Gambar 2). Hasil pemetaan sebaran gas metana di area semburan lumpur Sidoarjo dapat dilihat pada Gambar 12.

KESIMPULAN

Gas yang teremisikan di sekitar area semburan Lumpur Sidoarjo merupakan gas alam



Gambar 12. Area sebaran gas hidrokarbon di sekitar semburan Lumpur Sidoarjo

dengan komposisi utama gas metana (CH_4) diikuti oleh karbon dioksida (CO_2) dan gas hidrokarbon yang lebih berat (C^{2+}) dalam jumlah yang relatif rendah.

Analisis isotop karbon ($\delta^{13}\text{C}$) menunjukkan bahwa sumber gas tersebut diperkirakan dari bahan organik yang telah mengalami degradasi termal (thermogenic) pada level di atas “*Oil Window*” diukur dengan ekuivalen refleksi vitrinit (R_o). Gas tersebut dihasilkan oleh bahan organik Tipe II (*sapropelik-liptinitik*).

Tingkat kematangan gas mempunyai nilai *Level of Organic Maturity* (LOM) > 10 ($>1\%$ R_o) untuk semua hidrokarbon ($\text{C}_1 - \text{C}_4$), yang berarti gas-gas tersebut mempunyai tingkat kematangan termal yang cukup.

Hasil analisis antara bulan Maret 2009 dan 22-23 Februari 2009, baik dari konsentrasi, isotop karbon dari hidrokarbon, dan isotop karbon dari CO_2 , maka gas yang dianalisis pada bulan Maret 2009 mempunyai sumber yang lebih dalam dan matang.

Dampak lingkungan yang terjadi akibat semburan gas hidrokarbon adalah tercium aroma busuk yang menyengat, dan air sumur penduduk menjadi keruh, sehingga tidak dapat dipergunakan untuk kebutuhan sehari-hari.

Perlu diwaspadai kemungkinan munculnya gas dari retakan lantai di dalam rumah, sebab dapat mengakibatkan kebakaran. Dampaknya yang lebih buruk dan fatal adalah penduduk dapat keracunan gas tersebut. Hal itu dapat terjadi karena rumah yang tertutup (pintu dan

jendela), terutama pada malam hari saat tidak ada sinar matahari, maka sirkulasi udara sangat minim atau bahkan tidak ada, sehingga gas terakumulasi di dalam rumah.

ACUAN

Badan Standarisasi Nasional, SNI 19-0232-2005, Nilai Ambang Batas (NAB) zat kimia di udara tempat kerja.

Davies, R. J., Swarbrick, R. E., Evans, R. J., and Huuse, M., 2007, Birth of a mud volcano: East Java, 29 May 2006. GSA: v. 17, no. 2, doi: 10.1130/GSATO1702A.1.

Giggenbach, W.F., 1975, A Simple Method for Collecting and Analysis of Volcanic Gas Sample, Chemistry Division, Department of Scientific and Industrial Research, Wellington, New Zealand.

Giggenbach, W.F., et al, 1996, Chemical Composition of Volcanic Gases, in Monitoring and Mitigation of Volcanic Hazards, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

Hunt J.M. 1996, Petroleum Geochemistry and Geology 2nd edition. 743 h, Freeman, San Francisco.

James A.T. 1990, Correlation of reservoir gases using the carbon isotopic composition of wet gas components. AAPG Bull. V. 74, h. 1441 – 1448.

North, F. K., 1985, Petroleum Geology, Winchester, USA, 676 h

Schoell M., 1983, Genetic characterization of natural gasses. AAPG Bull. V. 67, h. 2225 – 2238.

Tissot B., dan Bessereau G. 1982. Géochimie des gas naturels et origine des gisements de gas en Europe Occidentale. Rev. Inst. Franc. Pétr., v. 37, h. 63

Williams, J.G. and Rymer, H., 2000, Hazard of Volcanic Gases, Encyclopedia of Volcanoes, Florida.