

Semburan gas bercampur air di Desa Candi Pari, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur

*The Outburst of gas and water mixing at Pari Temple village,
Porong District, Sidoarjo Regency, East Java*

Hanik Humaida, A. Zaennudin, dan N. E. Sutaningsih

Badan Geologi

Jln. Diponegoro 57 Bandung 40122

SARI

Semburan gas di Desa Candi Pari yang terjadi pada 20 November 2011 berada sekitar 3,2 km sebelah barat titik pusat semburan lumpur Sidoarjo (LUSI). Semburan gas ini didominasi oleh gas hidrokarbon disertai oleh air yang keluar melalui sumur bor dengan kedalaman sekitar 35 m. Sumur bor ini dibuat tiga tahun yang lalu untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari, kecuali untuk air minum karena mutunya tidak layak untuk dikonsumsi sebagai air minum. Berdasarkan analisis, komposisi kimia hidrokarbon dan isotop karbon dari semburan gas LUSI tersebut merupakan gas hidrokarbon termogenik yang mempunyai kesamaan dengan semburan-semburan gas di sekitar LUSI. Gas hidrokarbon yang terdapat di dalam semburan Candi Pari berasal dari kedalaman antara 1.514 – 2.514 m yang mendorong air meteorik yang berada di lapisan atasnya.

Kata kunci: Candi Pari, semburan gas hidrokarbon, Porong, LUSI

ABSTRACT

The gas outburst at Candi Pari village that occurred on November 20, 2011 was a gas outburst about 3.2 km to the west of the main eruption point of LUSI. This outburst was followed by hydrocarbon gas dominated water that came out of shallow bore hole of 35 m deep. This bore hole was built three years ago for daily needs, but not as drinking water. Based on analysis, chemical composition of the hydrocarbon and isotop of the carbon the gases are thermogenic hydrocarbon. These gases are similar with bubbles and outburst gases from around LUSI. The hydrocarbon gases of Candi Pari were originating from a depth of 1,514 – 2,514 m that pushed out the meteoric water on the upper layer.

Keywords: Candi Pari, outburst hydrocarbon gases, Porong, LUSI

air yang ikut serta dalam semburan gas dan air permukaan yang ada di sekitar tembusan gas. Air terikut serta oleh semburan gas baik yang berasal dari pusat semburan LUSI maupun yang terdapat pada semburan gas di luar tanggul penahan endapan LUSI. Khususnya semburan gas di Desa Candi Pari, apakah air tersebut berasal dari air formasi atau air permukaan yang terdorong keluar oleh gas hidrokarbon dari bawah. Sampel air yang berasal dari pusat semburan LUSI di samping dianalisis komposisinya juga dilakukan analisis isotop deuterium dan oksigennya yang dilakukan di laboratorium Badan Tenaga Atom Nasional di Jakarta. Analisis komposisi kimia air menggunakan metoda titrasi dan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*).

Geokimia gas dilakukan dengan metoda Giggenbach dan sampel gas kering. *Sampling* dengan metoda Giggenbach untuk mengetahui komposisi gas secara keseluruhan dari suatu semburan dan tembusan gas. Sedangkan *sampling* dengan metoda gas kering dimaksudkan untuk mendapatkan komposisi gas hidrokarbon yang terdapat dalam semburan dan tembusan gas. Beberapa titik lokasi tembusan atau semburan gas diambil dua kantong sampel yang peruntukannya satu kantong sampel untuk komposisi gas hidrokarbon dan satu kantong sampel lagi untuk dianalisis isotop karbonnya dari gas hidrokarbon.

GEOLOGI DAERAH SIDOARJO

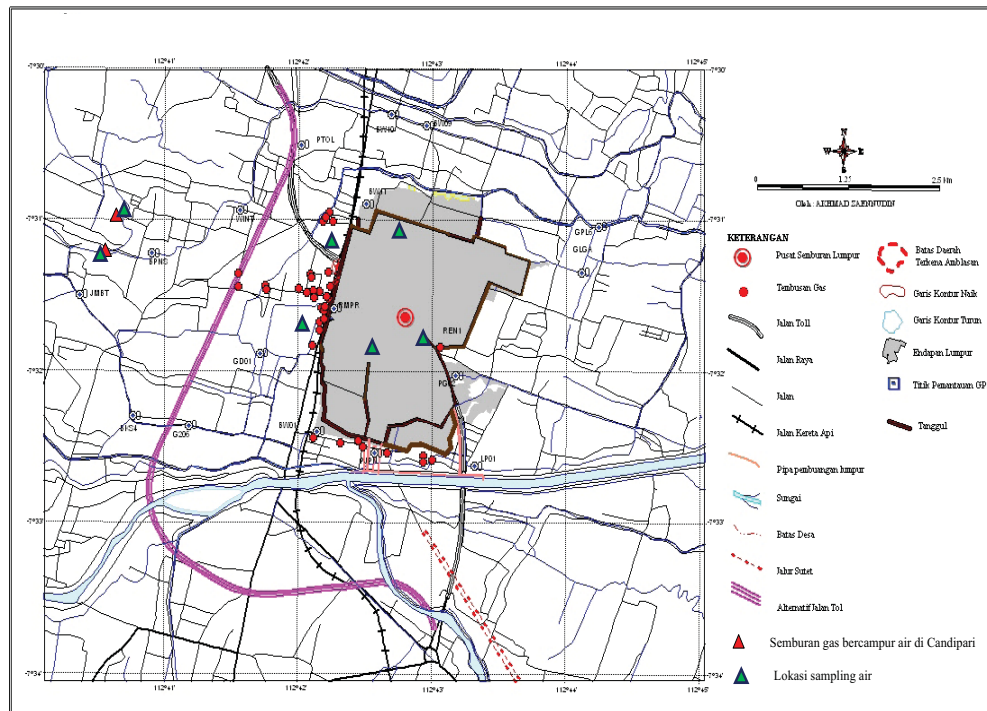
Endapan batuan di wilayah Sidoarjo ini diawali dengan terbentuknya batu gamping pada zaman Pliosen yang kemudian ditutupi secara tidak selaras oleh endapan batu pasir

vulkanik Pliosen Atas, batu lempung berwarna kebiru-biruan, selang-seling batu pasir dan serpih berumur Plistosen Bawah – Tengah. Kelompok batuan tersebut kemudian ditindih secara tidak selaras oleh batuan gunung api Notopuro berumur Plistosen Atas dan aluvial delta Brantas berumur Resen.

Batu pasir vulkanik yang terdapat di sumur Banjar panji-1 ini mempunyai ketebalan sekitar 962 m (Kadar drr., 2007) yang menipis ke arah timur (Lapindo Brantas, 2006). Lapisan batuan ini adalah endapan batuan vulkanik hasil erupsi gunung api yang berada di sebelah barat atau barat dayanya yang berumur Pliosen Atas merupakan hasil orogenesis Plioplistosen. Batu lempung berwarna kebiru-biruan yang menindih di atasnya adalah bagian bawah dari Formasi Pucangan berumur Plistosen Bawah.

Bemmelen (1949) menyatakan bahwa pada zaman Pliosen Bawah terdapat banyak gunung api yang masih aktif berlokasi di sekitar Surakarta. Pada saat yang bersamaan di wilayah sebelah timurnya terdapat aktivitas gunung api lainnya sebagai ujung timur Zona Solo, yaitu Kompleks Gunung Api Wilis Tua dan Anjasmoro Tua. Letusan-letusan dari kompleks gunung api tersebut menghasilkan endapan lahar, aliran piroklastika, dan atau endapan fluvial hasil "reworked" dari endapan piroklastika. Lapisan batu pasir vulkanik yang terdapat pada wilayah Porong dan sekitarnya merupakan lapisan batuan hasil erupsi gunung api tersebut.

Pada zaman Plistosen Atas aktivitas vulkanik dari Gunung Anjasmoro berpindah pusat aktivitasnya ke arah tenggara dan timurnya mem-



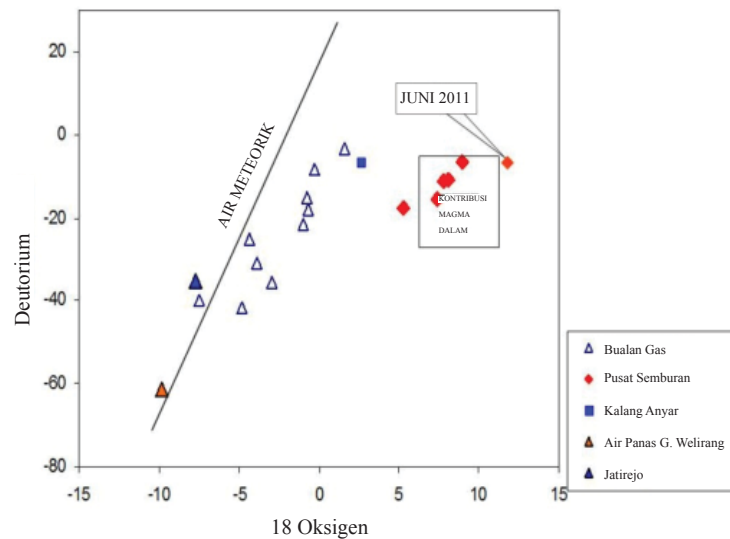
Gambar 1. Lokasi semburan gas yang muncul di Desa Candi Pari dan Pesawahan, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo dan lokasi pengambilan sampel air di dalam tanggul dan sekitar LUSI.



Gambar 2. Pengambilan sampel air pada aliran dari pusat semburan LUSI (A) dan air panas dari sumur pemboran di salah satu pabrik kue di Desa Pulungan, Kecamatan Gempol, Pasuruan (B).

Tabel 2. Hasil Analisis Kimia Air dari beberapa Sampel di sekitar LUSI dan Area di luar LUSI (Bledug Kuwu) pada Bulan November 2011 (kadar unsur dalam ppm)

Unsur	LP-A Sumur Gali (P. Sujono)	LP-C Sumur Bor Candi Pari P. Sujono	LP-C Sumur P. Purnomo Pesawahan	Bledug Kuwu
SiO ₂	45,49	24,06	50,90	0,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,00	0,00	0,00	0,54
Ca	91,35	81,30	83,00	341,00
Mg	25,25	32,50	17,54	39,00
Na	625,6	641,20	247,40	8016,00
K	76,62	27,62	65,64	285,70
Mn	0,00	0,15	0,18	0,06
Li	0,00	0,00	0,00	9,81
NH ₃	11,67	0,00	0,00	16,67
Cl	731,28	1004,44	211,14	12702,99
SO ₄	99,34	64,41	28,19	27,29
HCO ₃	620,44	258,03	635,16	254,42
H ₂ S	1,94	5,82	5,17	4,53
B	0,00	1,54	0,00	44,98
pH lab.	7,51	7,34	6,95	7.92
DHL, umhos/cm	1443	1539	810	5060



Gambar 3. *Plotting* hasil analisis deuterium dan oksigen dari air semburan LUSI bulan Juni 2011 dibandingkan dengan sampel yang dianalisis sebelumnya diambil tahun 2007 dan 2009.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Gas pada Lokasi Tembusan Gas di sekitar LUSI dengan menggunakan Detektor Gas *Multiwarn (Drager)* pada bulan Juni 2011

No.	Lokasi	Posisi Geografi	Jenis dan Konsentrasi Gas	Keterangan
1.	Rumah Okinawa	S 07°31'32,8" E 112°42'11,5"	Tidak bisa diukur, karena bualan gas terdapat di kolam yang berdiameter sekitar 10 m.	Tembusan gas sudah jauh mengecil.
2.	Rumah Bpk Lutfi	S 07. 31' 29,4" E 112. 41' 07,8"	CH ₄ = 84 % LEL H ₂ S = 88 ppm	Sampling gas kode SB-1 (2 infus dan 1sampling bag)
2.	Pamotan pinggir jalan aspal	S 07. 31' 28,6" E 112. 41' 57,8"	CH ₄ = 45 % LEL H ₂ S = - ppm	Telah dibuatkan pipa di pinggir jalan
3.	PT. Candi Jaya, pabrik kerupuk Semburan gas di dalam pabrik	S 07°31'38,6" E 112°42'6"	CO ₂ = - % vol. CH ₄ = > 54 % LEL H ₂ S = 0 ppm	Sampling gas kering dan Giggensbach
4.	Bpk Suncono (SB-17)	S 07. 52578° E 112. 70319°	Tidak bisa diukur, karena aksesnya sulit	Sudah diseparator dan dibuang ke udara bebas dan rumah dikosongkan.
5	Rumah Ibu Sutini (alm) (SB-28)	S 07. 52576° E 112. 70164°	CH ₄ = > 100 % LEL H ₂ S = 12 ppm	Sudah diseparator dan dibuang ke udara bebas, sampling gas kering dan Giggensbach
6	Semburan gas di rumah Bpk Supardi (SB-39)	S 07. 31' 29,8" E 112. 42' 06,6"	CH ₄ = 32 % LEL H ₂ S = 0 ppm	Gas keluar dari bawah keramik di teras rumah
7	Semburan gas di rumah Ibu Ning Ayu Sofa (SB-22)	S 07. 31' 30,9" E 112. 42' 07,1"	CH ₄ = 55 % LEL H ₂ S = 0 ppm	Gas sudah didistribusikan untuk beberapa rumah di sekitarnya untuk masak.
8	Sumur Bpk Sudiyo	S 07. 31' 30,3" E 112. 42' 06,3"	CH ₄ = 10 % LEL H ₂ S = 3 ppm	Air sumur tidak dapat digunakan lagi sejak 3 tahun yang lalu (pH 6)
9.	Lahan kosong Ibu Sumiyati	S 07. 31' 30,3" E 112. 42' 06,3"	CH ₄ = 10 % LEL H ₂ S = 3 ppm	Di sekitarnya banyak terdapat tembusan-tembusan gas; tapi munculnya tidak kontinyu dan kecil.

Pengambilan contoh gas dilakukan dengan menggunakan *sampling bag* yang telah vakum dan juga tabung vakum *Giggensbach* untuk komposisi gas secara keseluruhan. Ada empat contoh gas untuk dianalisis komposisi hidrokarbon dan isotop karbonnya. Analisis komposisi gas hidrokarbon dan isotop gas karbon (C) dilakukan di Pusat Pengembangan dan Penelitian Minyak dan Gas Bumi (LEMI-GAS, Jakarta).

Pada tahun 2011 dilakukan penelitian dua periode, yaitu bulan Juni – Juli 2011 dan November 2011. Pada bulan November 2011 penelitian hanya dilakukan di lokasi semburan dan tembusan gas di Candi Pari dan Pesawahan. Hasil penelitian yang dilakukan pada bulan Juni-Juli tersaji dalam Tabel 4 dan penelitian November dalam Tabel 5.

Sebagai bahan evaluasi munculnya *bubble* gas di LUSI yang relatif berlokasi cukup jauh

dari titik semburan utama, maka dilakukan juga sampling gas di Bledug Kuwu dan Merapen di Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah (Gambar 5). Hasil analisis gas dari Candi Pari, Pesawahan, Bledug Kuwu, dan Merapen tersaji pada Tabel 5.

Dari hasil analisis komposisi tersebut terlihat adanya perbedaan komposisi antara Bledug Kuwu, Merapen, Candi Pari, dan Pesawahan. Tampak jelas bahwa gas dari Bledug Kuwu mempunyai komposisi utama karbondioksida (CO_2), gas Merapen komposisi utamanya adalah gas metana (CH_4) dengan tidak disertai gas hidrokarbon yang lebih berat lainnya C_2^+ , sedangkan gas dari Candi Pari dan Pesawahan mempunyai komposisi yang hampir sama. Berdasarkan nilai isotop $\delta^{13}\text{C}$ serta komposisi gasnya, gas Merapen merupakan gas kering yang berasosiasi dengan produk *biogenic* (Gambar 6). Sedangkan gas Bledug Kuwu mengandung jejak metana skala minor (terabaikan) dengan karbon dioksida dalam gas terindikasikan berasal dari diagenesa batuan karbonat.

Komposisi gas dari Candi Pari dan Pesawahan mempunyai komposisi utama gas metana (CH_4) dengan konsentrasi lebih dari 76% mol dan diikuti dengan hidrokarbon yang lebih berat lainnya seperti etana (C_2H_6), propana (C_3H_8), butana (C_4H_{10}), serta pentana (C_5H_{12}). Komposisi gas dengan konsentrasi hidrokarbon yang lebih berat (C_2^+) yang relatif tinggi (lebih dari 0,2 % mol), yaitu 4,4 % mol untuk gas dari Candi Pari dan 5,2 % mol gas dari Pesawahan menunjukkan salah satu ciri gas *thermogenic*.

PEMBAHASAN

Apabila dibandingkan dengan gas yang ada di daerah Siring, Wunut, Jatirejo, Jabon, dan Ketapang, komposisi gas yang ada di Candi Pari dan Pesawahan ini mempunyai komposisi yang hampir sama. Bahkan konsentrasi metananya mempunyai nilai yang lebih tinggi. Sedangkan konsentrasi C_2^+ berada pada kisaran yang sama. Berdasarkan nilai isotop carbon $\delta^{13}\text{C}$ dan konsentrasi hidrokarbon serta



Gambar 5. Pengambilan sampel di Bledug Kuwu dan Merapen pada bulan Desember 2011. Sampling gas dari tembusan gas berukuran kecil pada radius 200 m dari pusat semburan di Bledug Kuwu (A) dan pengambilan sampel di Merapen (B).

plotting terhadap nilai-nilai tersebut, gas Candi Pari dan Pesawahan merupakan gas yang berasal dari sumber yang sama dengan indikator kematangan organik, % Ro, sebesar 0,7 - 1% serta merupakan produk *thermogenic* (Gambar 6).

Komposisi isotop karbon dari gas alam atau gas hidrokarbon dapat digunakan untuk mengetahui sumber hasil proses dari bakteri (James and Burn, 1984), thermal (Schoell, 1983), atau migrasi (Leythaeuser *et al.*, 1982). Demikian juga, data isotop karbon dari CO₂ dapat digunakan untuk memperkirakan asal gas tersebut (Hunt, 1996).

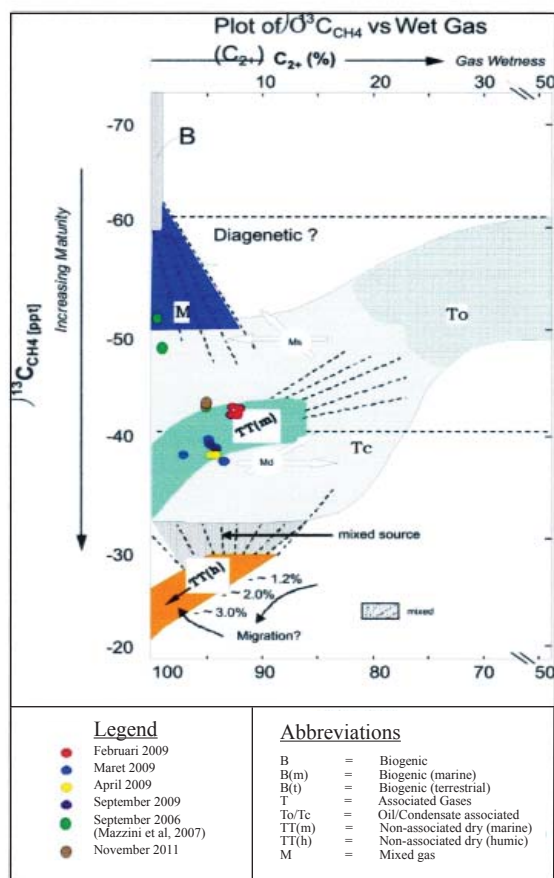
Sebagian besar gas alam dalam cekungan sedimen berasal dari hasil aktivitas bakteri maupun degradasi termal dari kerogen pada kedalaman tinggi (Schoell, 1983). Gas alam hasil aktivitas mikroba mengandung C₁ sangat dominan ($\delta^{13}\text{C} < -55\text{‰}$) dengan sedikit kandungan C₂ dan jejak C₃. Gas asosiasi *thermogenic* mengandung hidrokarbon C₂⁺ sangat besar dengan C₁ kaya akan $\delta^{13}\text{C} > -50\text{‰}$. Gas yang tidak berasosiasi *thermogenic* asal batuan sumber terestrial maupun marin dengan kematangan termal tinggi hanya mengandung C₁ yang sangat diperkaya oleh $\delta^{13}\text{C}$ (Schoell, 1983).

Secara umum gas yang teremisikan ke permukaan di sekitar area LUSI mempunyai komposisi utama gas metana (C₁) dengan tingkat kebasahan relatif (C₂⁺) lebih besar 0,2% mol, dengan nilai isotop karbon bergeser dari waktu ke waktu. Pada awal terjadinya semburan, kandungan gas yang utama adalah uap. Selain uap air, gas yang terkandung adalah metana dengan *Low Explosion Limit* (LEL)

20% ~ 10.000 ppm dan H₂S sekitar 35 ppm. Sedangkan contoh semburan pada bulan Juli 2006 menunjukkan bahwa komponen utama gas di dekat pusat semburan mempunyai komposisi utama metana (83 - 85,4%) dan CO₂ (9,9 - 11,3%) serta terdapat hidrokarbon yang lebih berat. Pada bulan September 2006 gas yang dekat dengan pusat semburan mempunyai konsentrasi CO₂ sampai dengan 74,3% di samping CH₄. Sedangkan gas yang teremisikan di permukaan tanah dengan jarak 500 m dari pusat semburan mempunyai kandungan CO₂ yang lebih rendah (18,7%). Dari sampel tersebut juga dianalisis isotop karbon dari hidrokarbon dengan nilai isotop sebesar -48,6‰ sampai -51,8‰ sebagaimana tercantum pada Tabel 6 (Mazzini *et al.*, 2007).

Nilai isotop tersebut menunjukkan adanya campuran gas yang berasal dari sumber yang dalam dan dangkal. Isotop karbon dari CH₄ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$) yang relatif rendah (-51,8‰) serta adanya hidrokarbon yang lebih berat menunjukkan bahwa gas berasal dari campuran antara *biogenic* dan *thermogenic*. Dalam kasus yang terjadi di LUSI, *over pressure* terjadi pada kedalaman 1.323 - 1.871 m (Mazzini *et al.*, 2007) yang merupakan lapisan yang baik untuk sumber gas *biogenic*, sedangkan gas yang mempunyai nilai isotop yang lebih berat (-48,6‰) merupakan gas *thermogenic* yang berasal dari formasi yang lebih dalam.

Kajian terhadap gas yang teremisikan ke permukaan secara intensif telah dilakukan. Sampling dan analisis baik komposisi maupun isotop dilakukan secara kontinyu pada periode Februari - September 2009. Secara umum emisi gas di lokasi semburan lumpur mengandung hidrokarbon dengan senyawa



Gambar 7. Diagram rasio-rasio isotop karbon gas metana terhadap komposisi hidrokarbonnya ($\text{C}_1\text{-C}_4^+$) pada periode pengambilan yang berbeda.

Pergeseran sumber gas dari awal terjadinya semburan lumpur sampai dengan September 2009 yang menunjukkan asal gas yang semakin dalam dapat ditentukan berdasarkan korelasi umum dari indikator kematangan organik, %Ro (North, 1985) dan hasil analisis isotop tingkat kematangan gas serta paleo temperatur maksimum. Dengan nilai gradien temperatur wilayah LUSI sebesar $3,5^\circ\text{C}$ (Siswoyo dan Sandjojo, 1980) dan suhu permukaan 27°C , maka kedalaman pembentukan awal gas LUSI berkisar antara 1.229 - 2.514 m seperti tercantum dalam Tabel 7.

Dari perhitungan tersebut di atas terlihat bahwa pada saat awal terjadinya semburan gas yang teremisikan di permukaan berasal dari kedalaman 1.229 m. Kedalaman asal gas ini berada di bawah pipa *drilling* tanpa casing (1.091 m) dan di atas pipa pada saat terjadinya stagnasi proses *drilling* (1.293m) sebagaimana terlihat pada Gambar 9 (Davis *et al.*, 2008).

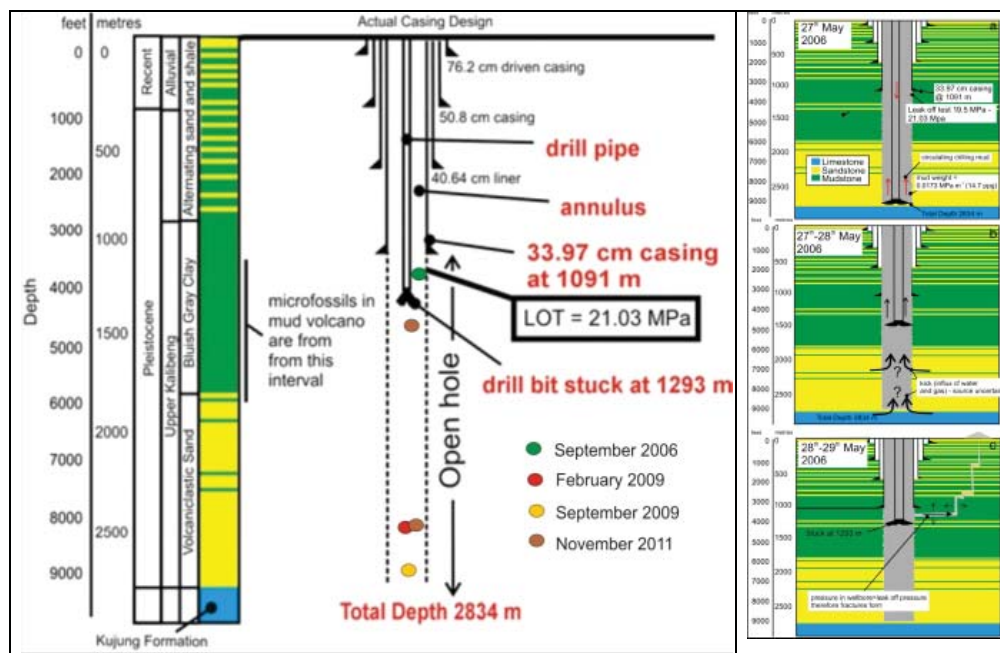
Sedangkan sumber emisi gas pada bulan Februari 2009 menjadi lebih dalam lagi yaitu pada kedalaman 2.514 m dan pada Septem-

ber 2009 gas berasal dari sumber yang lebih dalam lagi, yaitu 2.800 m. Bergesernya sumber gas menjadi lebih dalam ini sangat dimungkinkan, karena lubang bor yang terbuka (*open hole*) yang ada pada sumur pengeboran mempunyai kedalaman sampai dengan 2.834 m, yang berarti gas berasal dari Formasi Kujung sebagaimana terlihat dalam Gambar 9 (Davis *et al.*, 2008).

Kedalaman pembentukan gas pada bulan November 2011 lebih dangkal dibandingkan pada bulan September 2009. Apabila dilihat dari debit semburan yang mencapai puncaknya pada Juni 2008 sampai Juni 2009, yaitu sebesar 120.000 m³/hari (Zaennudin drr, 2010) dan seiring dengan berjalannya waktu debitnya terus menurun, bahkan pada Juni 2011 debit semburan tercatat hanya 12.500 m³/hari. Hal ini mengindikasikan adanya korelasi antara debit semburan dengan kedalaman

an sumber gas. Namun demikian sumber gas pada saat ini (November 2011), yang berasal dari sumber yang relatif lebih dangkal, karena semakin jauhnya semburan gas yang timbul.

Fakta-fakta karakter gas seperti yang dibahas di atas tentunya memberikan implikasi yang harus dicermati dengan sangat serius. Antisipasi terhadap dampak adanya potensi bencana pada kemudian hari akibat keluarnya gas dari kedalaman yang sangat dalam sebaiknya dilakukan oleh berbagai pihak. Mengingat gas dari kedalaman tinggi pada umumnya bertekanan besar dan berpotensi menimbulkan bencana terhadap lingkungan sekitarnya. Selain itu berdasarkan pada kajian *modeling* terhadap kerawanan bencana juga telah dilakukan, sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk mengantisipasi potensi bencana tersebut.



Gambar 9. Stratigrafi sumur Banjar Panji-1 (Davis *et al.*, 2008) dan kedalaman asal gas yang teremisikan di permukaan.

ACUAN

- Bemmelen, R. W., van, 1949, *The Geology of Indonesia*, Govt. Printing Office, Martinus Nyhoff, The Hague, 732 pp.
- Davies, R.J., Brumm, M., Manga, M., Rubiandini, R., Swarbrick, R., Tingay, M., 2008, The East Java mud volcano (2006 to present): An earthquake or drilling trigger? *Earth and Planetary Science Letters* 272 (2008), p. 627 – 638. Elsevier.
- Fukushima, Y., Mori, J., Hashimoto, M., Kano, Y., 2009, Subsidence associated with the LUSI mud volcano eruption, East Java, investigated by SAR interferometry. *Journal Marine and Petroleum Geology*, Special issue: Mud volcanism, submitted for Q2 publication.
- Hunt, J.M., 1996, *Petroleum Geochemistry and Geology* 2nd edition. 743 p, Freeman, San Francisco.
- James, A.T., and Burn, B.J., 1984, Microbial alteration of subsurface natural gas accumulation, *AAPG Bulletin* 68, p. 957 – 960.
- James, A.T., 1990, Correlation of reservoired gases using the carbon isotopic composition of wet gas components, *AAPG Bull.* 74, p.1441 – 1448.
- Kadar, A. P., Kadar, K., and Aziz, F., 2007, Pleistocene Stratigraphy of Banjatpanji-1 Well and the Surrounding Area, Abstract in International Geological Workshop on Sidoarjo Mud Volcano.
- Lapindo Brantas, 2006, Banjarpanji “Mud volcano in the making” sub surface study, Presentasi tanggal 29 Agustus 2006.
- Leythaeuser, D., Schaefer, R.G., and Yukler, A., 1982, Role of diffusion in primary migration of hydrocarbons. *AAPG Bulletin*, v. 66, no. 4, p. 408 – 429.
- Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G.G., Aloisi, G., Planke, S., Malthé-Sarensen, A., Istadi, B., 2007, Triggering and dynamic evolution of LUSI mud volcano, Indonesia, *Earth Planet. Sci. Lett.* 261, p. 375 – 388.
- North, F. K., 1985, *Petroleum Geology*, Winchester, USA, 676 p
- Schoell M., 1983, Genetic characterization of natural gasses. *AAPG Bull.* 67, 2225 – 2238.
- Siswoyo, S. and Sandjojo, 1980, Heat flow in Cepu area, Northeast Java Basin, Indonesia. *Proc. 16th Sess. CCOP, Bandung 1979*, p. 272 – 280.
- Zaennudin, A., Badri, I., Padmawidjaja, T., Humaida, H., dan Sutaningsih, E.N., 2010, Fenomena Geologi Semburan Lumpur Sidoarjo, *Badan Geologi*