

**PERANAN SULFUR DIOKSIDA PADA PEMBENTUKAN KOROSI LOGAM  
DAN IMPLIKASINYA BAGI KESEHATAN MANUSIA DI GUNUNG LUMPUR,  
DESA KUWU, KECAMATAN KRADENAN, KABUPATEN GROBOGAN,  
PROPINSI JAWA TENGAH**

**Arie Noor Rakhman**

Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, IST AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 2 September 2015, revisi masuk: 11 Nopember 2015, diterima: 5 Desember 2016

**ABSTRACT**

*This research aims to review the existence of sulfur dioxide result of the mud volcanoes Bledug Kuwu. Research sites in the Kuwu Area, Kradenan District, Grobogan Regency, Central Java Province. Utilization of research results for the potential of sulfur dioxide's influence for human health by identification of the nature of corrosion metal formed. The method used in the form of field and laboratory, that was performed by comparing some of physical and chemical characteristic of mud and water. The determination supported by observation the nature of corrosion metal in the field. By recognizing geology medical condition following corrosion metal identification, its obtained benefit to analyze the potential an impairment of health and directive treatment. Farther away from the center of the mud volcano, the potential of sulphur gas pollution tends to be low. Sulphur content less than 73,83 ppm to 10,90 ppm. Pollution influenced by geogen and biogen, that it was identified from the growth of vegetation and corrosive metal existence. Vegetation can live starting 200 meters from the center of the mud volcano and fertile at more than 300 meters. This were in accordance with the existence of corrosion (rusts) on metal that its more vulnerable when approaching to the center of the mud volcano. Potential an impairment of health are irritation respiratory systems, irritation of the windpipe, acute toxicity for the old man and there are had the disease chronic in cardiovascular respiratory system. Hence tourist development should be accompanied by medical equipment, awareness of the use of mask to anticipate respiratory disorders, socialization for visitors and the community of the most sensitive due to pollutants sulfur dioxide.*

**Keywords:** mud volcano, sulfur, corrosion, vegetation, health.

**INTISARI**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan gas sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) produk letupan gunung lumpur Bledug Kuwu di Desa Kuwu, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Propinsi Jawa Tengah. Identifikasi potensi pengaruh keberadaan gas sulfur dioksida tersebut bagi kesehatan manusia dilakukan dengan mengobservasi keberadaan korosi logam yang terbentuk oleh gas tersebut. Metode yang digunakan berupa analisis pada sampel lumpur dan air yang dilakukan di lapangan maupun di laboratorium. Data yang dikumpulkan meliputi sifat fisik, sifat kimia, sifat korosif logam serta data sekunder pendukung dari karakter lumpur yang sejenis. Dengan mengenali kondisi geologi medis berikut identifikasi korosi logam, diperoleh manfaat untuk menganalisis potensi gangguan kesehatan berikut arahan penanganannya. Semakin jauh dari titik semburan lumpur dan gas Bledug Kuwu, semakin rendah potensi pencemaran gas belerang (kandungan sulfur 73,83 ppm berkurang hingga 10,90 ppm). Pencemaran gas belerang dipengaruhi faktor geogen dan biogen. Keberadaan pencemaran sulfur dioksida teridentifikasi melalui perkembangan vegetasi dan sifat korosif logam. Keberadaan vegetasi yang mulai dapat hidup mulai 200 meter dari titik letupan gas gunung lumpur dan vegetasi yang subur pada jarak lebih dari 300 meter dari titik letupan gas gunung lumpur. Semakin mendekati titik semburan lumpur dan gas Bledug Kuwu, semakin rentan dijumpai korosi (karat) pada logam. Potensi gangguan kesehatan oleh

---

<sup>1</sup> arie\_rakhman@akprind.ac.id

pencemaran gas belarang berupa iritasi sistim pernafasan, resiko iritasi tenggorokan bagi penderita yang sensitif, serta berpotensi menyebabkan toksisitas akut bagi orang yang tua dan penderita yang mengalami penyakit kronis pada sistem pernafasan kardiovaskular. Oleh karena itu guna pengembangan Bledug Kuwu sebagai obyek wisata perlu didukung kelengkapan medis, kesadaran penggunaan masker sebagai antisipasi gangguan pernafasan, serta sosialisasi peringatan bagi pengunjung ataupun masyarakat sekitar yang mempunyai gejala penyakit sensitif gangguan polutan SO<sub>2</sub>.

**Kata kunci:** gunung lumpur, sulfur, korosi, vegetasi, kesehatan.

## PENDAHULUAN

Semburan lumpur Bledug Kuwu di Desa Kuwu, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Propinsi Jawa Tengah diinterpretasikan merupakan bagian dari fenomena geologi yaitu produk aktivitas gunung lumpur (*mud volcano*), berupa keluarnya air lumpur atau lempung ke permukaan bumi. *Mud volcano* merupakan gejala alam yang banyak dijumpai pada bagian timur Pulau Jawa, dimana hal tersebut mempunyai hubungan dengan keterdapatn cebakan migas di bawahnya. Dalam catatan sejarah, Bledug Kuwu sudah terjadi jauh sebelum jaman Kerajaan Mataram Kuno (732M – 928M) (Giwangkara, 2006; Satyana, 2007). Selain di Bledug Kuwu, fenomena gunung lumpur juga terdapat di Sangiran Dome; Bangkalan, Madura; Semolowaru, Gunung Anyar di Kecamatan Gunung Anyar, Surabaya serta Sedati, Porong, Sidoarjo, Jawa Timur (Anonim, 2006).

Menurut Kadar dkk. (2007) dalam Anonim (2013), keberadaan fenomena semburan lumpur merupakan bagian dari gunung lumpur yang sebarannya membentuk suatu kelurusan. Lumpur atau *mud volcano* tersebut yang terbentuk sejak jutaan tahun lalu (5 juta tahun) tersebut dapat menyembur ke permukaan hingga kini dikarenakan tekanan tektonik. Lumpur tersebut merupakan bagian dari jalur *Active Mud Volcano* yang membentang dari Purwodadi – Cepu – Bojonegoro – Porong (Ibrahim, dkk., 2010). Secara fisiografi regional, Kuwu termasuk ke dalam Zona Randublatung di Jawa Timur sebagai bagian dari pertemuan dua zona yaitu Zona Rembang dan Zona Kendeng (Bemmelen, 1949). Sebaran Zona

Randublatung memanjang dari Semarang hingga Surabaya dengan dimensi panjang kurang lebih 250 kilometer dan lebar kurang lebih 10 kilometer. Sebagai bagian pertemuan Zona Rembang dan Zona Kendeng, maka secara struktur bawah permukaan Zona Randublatung terindikasikan sebagai zona segitiga (*triangle zone*).

Bledug Kuwu merupakan manifestasi gunungapi lumpur yang terbentuk karena gas alami yang naik ke permukaan melalui media struktur bawah permukaan dan membawa lumpur yang densitasnya lebih ringan dari sedimen di sekitarnya. Proses terjadinya letupan dikarenakan adanya tekanan dari bawah yang mampu mendorong naik batuan yang dilaluinya. Anomali daerah Bledug Kuwu berasal dari batuan yang mengalami patahan, yang memanjang dari arah barat daya menuju timur laut (Indriana, dkk., 2007).

Aktivitas gunung lumpur Bledug Kuwu berupa letupan gelembung lumpur raksasa berwarna coklat kehitaman yang mengandung garam (NaCl) beserta gas yang mengandung unsur belerang (S) dan hidrokarbon. Letupan lumpur itu diduga berasal dari reaksi kimia antara gas bumi dan air laut yang menghasilkan gas karbon dioksida dan sulfur dioksida. Jika gunung lumpur meletus, akan mengeluarkan gas dalam jumlah yang banyak, sehingga bisa menimbulkan resiko afiksiasi (penyakit pernafasan) pada manusia dan hewan. Selain itu juga bisa menyebabkan kematian mendadak. Awan gas yang terbentuk juga bisa terbakar (Anonim, 12 September 2006). Paparan polutan berupa sulfur dapat memicu gangguan pernafasan, kanker dan beberapa penyakit kardiovaskular (Anonim, 21 Februari 2015). Pada tingkat aktivitas tertentu gas sulfur dioksida dapat mempengaruhi lingkungan

tersebut berupa korosi yang didominasi proses sulfidasi oleh agen sulfur yaitu sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) (Adnyana, 2006; Sundjono, 2008; Setiawan dan Priyotomo, 2008).

Secara geologi, produk letupan ataupun letusan gunung lumpur berupa aktivitas pelepasan gas sulfur dioksida melalui struktur bawah permukaan. Produk letupan gunung lumpur mempunyai implikasi bagi kesehatan manusia di sekitar Bledug Kuwu, bisa berakibat langsung maupun tidak langsung, ataupun bisa mempunyai dampak kesehatan yang diketahui dalam jangka waktu yang pendek maupun panjang/lama. Lingkungan sulfida di Bledug Kuwu diduga juga turut mempengaruhi sifat korosi logam di sekitar Bledug Kuwu. Oleh karena itu, keberadaan peranan sulfur dioksida pada pembentukan korosi logam dan implikasinya bagi kesehatan manusia di gunung lumpur, Desa Kuwu, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Propinsi Jawa Tengah menarik untuk diteliti, mengingat sepanjang pengetahuan penulis, hingga kini belum teridentifikasi pengaruh sulfur dioksida dengan pendekatan karakteristik sifat korosi logam di sekitar Bledug Kuwu. Sehingga harapan ke depan, hasil penelitian ini dapat bermanfaat memberi informasi metode pengenalan inisiasi sulfur dengan selidik sederhana dan arahan rekomendasi penanganan medis atas potensi bencana geologi yang dapat ditimbulkan oleh fenomena gunung lumpur baik di Desa Kuwu, ataupun di tempat lain, sepanjang jalur *Active Mud Volcano* yang membentang dari Purwodadi – Cepu – Bojonegoro – Porong.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan gas sulfur dioksida produk letupan gunung lumpur Bledug Kuwu di Desa Kuwu, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Propinsi Jawa Tengah melalui pengidentifikasian pengaruh sulfur dioksida terhadap pembentukan korosi logam di sekitar Bledug Kuwu; dan mengetahui potensi pengaruh keberadaan gas sulfur dioksida tersebut

bagi kesehatan manusia. Ke depan, penelitian ini diharapkan dapat memberi nilai kontribusi manfaat untuk membantu masyarakat di dalam mengenali gangguan kesehatan adanya inisiasi sulfur secara sederhana, khususnya di sekitar aktivitas letupan ataupun letusan Bledug Kuwu yang tidak menutup kemungkinan oleh faktor kontrol geologi juga dapat dimanfaatkan masyarakat di sepanjang jalur *Active Mud Volcano* yang membentang dari Purwodadi – Cepu – Bojonegoro – Porong.

## METODE

Metode penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu tahapan studi pustaka, penelitian di lapangan, analisis di laboratorium / studio. Data yang telah terkumpul kemudian disintesa guna mendapat kesimpulan dan saran. Masing-masing tahap tersebut akan diuraikan sebagai berikut.

Penelitian di lapangan meliputi pengambilan data karakteristik air dan lumpur. Pengujian sifat fisik dan kimia baik untuk sampel air dan lumpur dilakukan setelah pengambilan data karakteristik lumpur selesai dilakukan. Pengambilan data di lapangan meliputi: plotting lokasi pengamatan; identifikasi/pendeskrripsian air, lumpur dan korosi logam; pencatatan data geologi serta pengambilan sampel air dan lumpur. Penelitian lapangan baik untuk tahapan pengambilan data karakteristik sifat fisik lumpur memerlukan beberapa bahan dan perlengkapan, antara lain: bahan dana peralatan utama yaitu: lumpur, air, logam berkarat; perangkat sekop, ember besar, ember kecil, cangkul, plastik sampel, jergen sampel ukuran 5 dan 10 liter, palu geologi, kompas geologi, lup, komparator, termometer, kertas lakmus, meteran, tali, dan lembaran plastik; bahan pendukung yaitu peta rupa bumi digital Indonesia skala 1 : 25.000 dan peta geologi regional daerah penelitian skala 1 : 100.000, alat *global positioning system* (GPS) seri GPSMAP 62s, buku catatan lapangan, kamera digital, serta seperangkat alat tulis dan gambar. Sampel air dan lumpur diambil pada lokasi dekat keluarnya letupan gas dan

lumpur. Pengambilan sampel tiap titik lokasi pengamatan dilakukan dengan memenuhi kriteria teknik pengambilan dan jenis analisis laboratorium yang akan dilakukan. Teknik pengambilan sampel lempung mempertimbangkan jenis sampel yaitu sampel terganggu (*disturb sample*).

Pengambilan sampel lumpur dan air di Bledug Kuwu dilakukan di dekat semburan lumpur. Lokasi pengambilan sampel tersebut berada pada posisi koordinat 07°07'03,50" LS 111°07'17,9" BT. Sampel lumpur berkode sampel BK 02/B dan sampel air berkode sampel BK 03/A diambil untuk analisis sifat fisik dan kimia. Sampel air lainnya diambil pada posisi koordinat 07°06'57,07" LS 111°07'17,40" BT, di titik sebaran lumpur terluar. Sampel air pada lokasi tersebut berkode sampel BK 01/A untuk analisis sifat fisik dan kimia air. Sampel lumpur sebagai sampel jenis terganggu (*disturb sample*) diambil pada kedalaman 40 cm dari permukaan lumpur. Pengambilan data lumpur secara langsung di lapangan dengan melakukan pengamatan terhadap sifat fisik lumpur, seperti: warna, ukuran butir, sifat liat, vegetasi, kondisi keairan, kadar air, dan komposisi mineral penyusun lumpur. Pengamatan data pendukung lainnya juga dilakukan seperti pengamatan kondisi morfologi, geologi dan lingkungan untuk mengetahui faktor pengaruhnya terhadap sifat lumpur di daerah penelitian.

Analisis laboratorium yang dilakukan untuk sampel lumpur berupa analisis sifat fisik dan kimia; sedangkan untuk sampel air dilakukan analisis kimia. Analisis sifat fisik berupa ukuran butir, plastisitas, sifat liat dan mineral penyusun lumpur. Analisis kimia yang dilakukan pada sampel lumpur dan air dengan metode spektrofotometri UV-vis terhadap kandungan sulfur. Analisis sifat fisik lumpur dilakukan di Laboratorium Geologi Sumber Daya Mineral, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta. Pengujian kimia dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Data primer berupa sifat fisik dan kimia dari sampel lumpur dan air yang

terambil di lapangan dan hasil analisis laboratorium disinergikan dengan data sekunder dari model konsep geologi dan peneliti terdahulu untuk menghasilkan data hasil sintesa. Sintesa data digunakan untuk pendekatan konsep teori geologi berupa pemodelan kondisi geologi pengontrol sifat fisik dan kimia lumpur berikut faktor pengaruhnya terhadap kondisi lingkungan sekitarnya. Dari hasil analisis serta sintesa data diperoleh kesimpulan berikut saran guna memberikan arahan rekomendasi rekayasa geologi medis bagi masyarakat sekitar Bledug Kuwu.

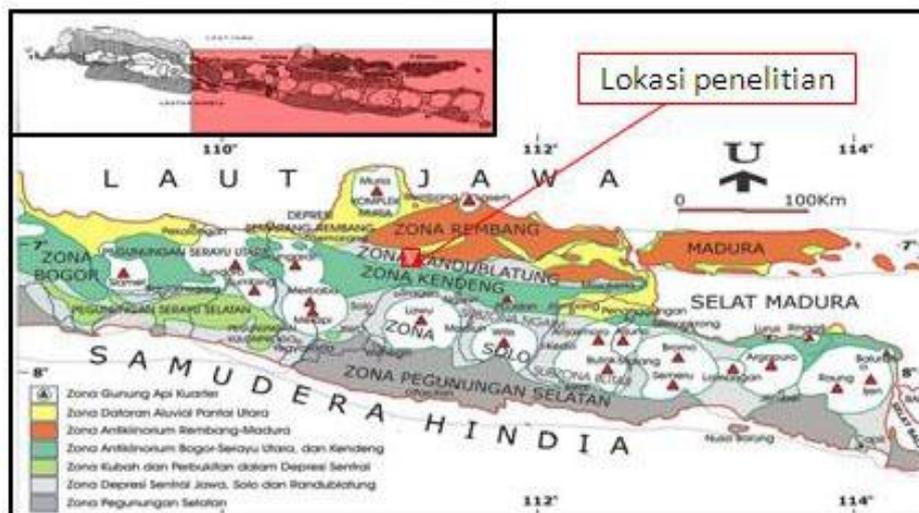
Lokasi penelitian berada di titik lokasi letupan gas dan lumpur Bledug Kuwu dan sekitarnya, cakupan dalam wilayah administrasi Desa Kuwu, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Propinsi Jawa Tengah. Lokasi penelitian berjarak kurang lebih berjarak 28 km ke arah timur (Cepu, Blora) dari Kota Purwodadi, dimana Kota Purwodadi berjarak kurang lebih 123 kilometer ke arah utara - timur laut Kota Yogyakarta. Posisi astronomis lokasi penelitian berada pada posisi koordinat 7°06'43,55" - 7°07'13,94" LS dan 111°06'36,03" - 111°07'29,64" BT.

## PEMBAHASAN

Morfologi daerah penelitian merupakan dataran. Litologi penyusun dataran merupakan endapan material urai yang berukuran lempung hingga pasir produk gunung lumpur Bledug Kuwu. Lumpur menghasilkan bentukan pengangkatan (*uplift*) berupa naiknya permukaan atau elevasi permukaan tanahnya bertambah, membentuk morfologi gunung lumpur. Menurut Bemmelen (1949) dan Kadar dan Sudijono (1993), Bledug Kuwu secara fisiografi berupa dataran di utara Jawa Tengah bagian dari Zona Randublatung. Menurut Kadar dkk. (2007) dalam Anonim (Agustus, 2013), keberadaan fenomena semburan lumpur merupakan bagian dari gunung lumpur yang sebarannya membentuk suatu kelurusan. Kelurusan ini mengikuti jalur *Active Mud Volcano* mulai dari Purwodadi – Cepu – Bojonegoro – Porong (Ibrahim, dkk., 2010) sehingga dengan demikian selain

di Bledug Kuwu, juga dijumpai tempat lain. Fenomena gunung lumpur juga terdapat di Sangiran Dome; Bangkalan, Madura; Semolowaru, Gunung Anyar di Kecamatan Gunung Anyar, Surabaya serta Sedati, Porong, Sidoarjo, Jawa Timur (Anonim, 2006; Istadi, dkk., 2009 dalam Mazzini, dkk., 2011; Istadi, 2012; Zaennudin, dkk., 2010 dalam Anonim, 2013). Jalur *Active Mud Volcano* secara fisiografi merupakan bagian dari Zona Randublatung. Menurut Suprpto, dkk. (2007), Zona Randublatung yang dikontrol oleh pertemuan Zona Rembang dan Zona Kendeng dimana Zona Rembang merupakan daerah paparan dan *slope* yang dicirikan dengan dominasi sesar naik yang mengarah (*vergence*) ke selatan, sedangkan Zona Kendeng merupakan *slope* dan *bathyal*

dengan dominasi sesar naik ke arah utara. Pertemuan tersebut membentuk Zona Randublatung yang berupa zona yang sangat sempit, memanjang dan sangat dalam, berupa *subsided triangle zone* dengan *subthrust structure* di bawah zona sesar naik. Sebagai bagian pertemuan Zona Rembang dan Zona Kendeng, maka secara struktur bawah permukaan Zona Randublatung terindikasikan sebagai zona segitiga (*triangle zone*) yang diapit zona-zona sesar yang mempunyai arah dan kemiringan yang saling berlawanan (Bemmelen, 1949). Geomorfologi daerah penelitian dapat diinterpretasikan merupakan bagian dari fisiografi dataran yang sebarannya dikontrol oleh peran struktur geologi regional.



Gambar 1. Fisiografi regional daerah penelitian (Bemmelen, 1949). Bledug Kuwu secara fisiografi berupa dataran di utara Jawa Tengah bagian dari Zona Randublatung yang diapit antara Zona Rembang dan Zona Kendeng.

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, keberadaan gunung lumpur (*mud volcano*) ada di beberapa lokasi di daerah Kuwu. Selain gunung lumpur di posisi koordinat  $7^{\circ}07'03,90''$  LS  $111^{\circ}07'17,61''$  BT, kenampakan gunung lumpur juga dijumpai di posisi koordinat  $7^{\circ}07'04,21''$  LS  $111^{\circ}07'14,85''$  BT dan  $7^{\circ}07'09,42''$  LS  $111^{\circ}06'36,03''$  BT. Keberadaan gunung lumpur tersebut mempunyai kecenderungan membentuk suatu kelurusan barat – timur. Pola

kelurusan tersebut dapat teramati baik dengan observasi data raster pada kenampakan citra satelit Google Earth. Keberadaan sesar ataupun rekahan sebagai zona lemah mempunyai pola kelurusan (Billings, 1954). Menurut Indriana, dkk. (2007), berdasarkan hasil penelitian geofisika atas pengamatan anomali bawah permukaan dengan menggunakan metode potensial diri dan aplikasi software Surfer maka dapat diperoleh interpretasi bahwa anomali

daerah Bledug Kuwu berasal dari batuan yang mengalami patahan, yang memanjang dari arah barat daya menuju timur laut. Patahan yang terjadi akan mengakibatkan keluarnya aliran gas ke permukaan bumi melalui batuan yang mudah dilaluinya. Material dari dalam bumi akan keluar ke permukaan karena di bawah permukaan bumi suhu dan tekanannya besar. Bila batuan dasarnya sangat keras maka material dengan tekanan besar ini seperti terperangkap dan tidak bisa keluar. Material dari dalam bumi ini dapat keluar ke permukaan jika terdapat rekahan, patahan, ataupun karena adanya aktifitas eksplorasi. Keberadaan pola kelurusan sebaran gunung lumpur menurut Ibrahim, dkk (2010) terbentuk sejak jutaan tahun lalu (5 juta tahun) tersebut dapat menyembur ke permukaan hingga kini dikarenakan tekanan tektonik. Lumpur tersebut merupakan bagian dari jalur *Active Mud Volcano* yang membentang dari Purwodadi – Cepu – Bojonegoro – Porong. Semburan lumpur ataupun letupan gas pada Bledug Kuwu terbentuk dikarenakan adanya gas alami yang naik ke permukaan melalui media struktur bawah permukaan dan membawa lumpur yang densitasnya lebih ringan dari sedimen di sekitarnya. Proses terjadinya letupan dikarenakan adanya tekanan dari bawah yang mampu mendorong naik batuan yang dilaluinya. Keberadaan pola kelurusan sebaran gunung lumpur secara lokal diperkirakan oleh karena pengaruh kontrol struktur geologi bawah permukaan di daerah penelitian.

Lumpur di daerah penelitian berwarna coklat kehitam-hitaman hingga hitam, mempunyai karakteristik sifat fisik semakin jauh dari titik letupan lumpur menjadi lempung hitam yang mengering, keras dan dijumpai adanya rekahan-rekahan. Semakin mendekati titik letupan lumpur, lempung bersifat liat, plastis, kadar airnya lebih banyak, warna cenderung hitam kecoklat-coklatan hingga coklat kehitam-hitaman, mudah ambles jika diinjak. Hasil penelitian kesebandingan antara sampel lumpur di Kuwu dengan sampel lumpur di Porong berdasarkan analisis XRD diketahui adanya mineral lempung yaitu smektit

(montmorilonit) sebagai penyusun utama lumpur atau lempung tersebut. Karakteristik lempung jenis montmorilonit mudah mengembang dan menyusut oleh pengaruh kandungan kadar air (Grim, 1968; Chen, 1975; Brand dan Brenner, 1981; Bowles, 1984). Berdasarkan ciri fisik dan keteknikannya, material utama penyusun lumpur Bledug Kuwu adalah lempung montmorilonit.

Letupan lumpur di daerah penelitian membentuk kerucut seperti gunung merupakan hasil letusan lumpur, gas, batuan, belerang dan garam ke permukaan. Letupan gelembung lumpur raksasa mencapai kurang lebih 5 meter berinterval waktu antara 2 hingga 3 menit dengan pola berpindah-pindah tempat dengan diikuti asap putih. Menurut informasi penduduk setempat, letupan Bledug Kuwu pernah mencapai 10 meter dengan interval waktu 5 menit. Letupan gelembung lumpur disertai dengan keluarnya air dan garam serta gas yang berbau tajam. Letupan lumpur berwarna coklat kehitam-hitaman. Hasil penelitian kesebandingan antara sampel lumpur di Kuwu dengan sampel lumpur di Porong berdasarkan analisis XRD diketahui adanya indikasi kehadiran halit (NaCl). Keberadaan air asin di daerah penelitian digunakan penduduk setempat untuk diolah menjadi garam dapur. Menurut Giwangkara (2006), garam dapur produk dari Bledug Kuwu mempunyai kandungan yodium dengan kadar yang lebih tinggi dibandingkan garam dapur olahan dari air laut, namun demikian terindikasi adanya potensi kandungan sianida. Gas yang terdapat pada letupan Bledug Kuwu merupakan gas metan biogenik (*biogenic methane gas*) (Giwangkara, 2006). Gas tersebut merupakan hasil dari proses diagenesis dan biasa terjadi pada kedalaman 0 sampai 4 km. Gas terbentuk dari sisa jasad mahluk hidup serta aktifitas jasad renik anaerob pada kondisi temperatur tinggi ( $\pm 100 - 125^{\circ}\text{C}$ ) dan tekanan dari beban sedimen di atasnya. Air formasi yang ikut terbawa keluar saat terjadi letupan gas mempunyai kadar garam (salinitas) yang tinggi. Sifat letusan ataupun letupan gunung lumpur yang disertai dengan keluarnya gas dan air

(kadang-kadang juga minyak) dengan kuat, bahkan dengan suara ledakan sangat dipengaruhi oleh iklim dan juga jumlah lempung yang dikeluarkan. Besarnya intensitas dan besar letupan lumpur di daerah penelitian diperkirakan dipengaruhi oleh komposisi dari *mud*.

Keberadaan gas sulfur dioksida di daerah penelitian terindikasi dari bau gas yang tajam menyengat, busuk, tidak berwarna. Hasil analisis spektrofotometri sinar tampak (UV-Vis) menunjukkan bahwa semakin jauh dari titik semburan lumpur dan gas Bledug Kuwu (7°07'03,90" LS; 111°07'17,61" BT), semakin rendah potensi pencemaran gas tanah. Oksidasi dari mineral-mineral sulfida yang dipengaruhi oleh mikroorganisme, seperti pirit (FeS<sub>2</sub>) dapat menghasilkan sulfat (Achmad, 2004). Keberadaan faktor biogen berupa

belerang, dimana kandungan sulfur 73,83 ppm berkurang hingga 10,90 ppm (Tabel 1). Hasil penelitian kesebandingan antara sampel lumpur di Kuwu dengan sampel lumpur di Porong menggunakan analisis XRD diketahui adanya indikasi kehadiran pirit (FeS<sub>2</sub>). Kandungan kimia SO<sub>4</sub> pada sampel air asin pada Bledug Kuwu mencapai 27,29 ppm (Burhanudin, 2010 dalam Rizqiya, 2014). Belerang dalam air, dalam kondisi anaerobik, SO<sub>4</sub> dapat direduksi oleh aktivitas bakteri menjadi gas H<sub>2</sub>S yang menyebabkan bau "telur busuk" yang dikeluarkan oleh banyak air yang tergenang dan air-air

aktivitas mikroorganisme diperkirakan turut berperan terhadap keberadaan gas belerang di daerah penelitian. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Hasil analisis Spektrofotometri Sinar Tampak (UV-Vis)

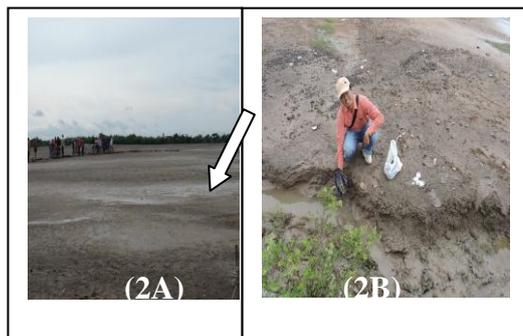
Kode Sampel	Koordinat (LS dan BT)	Sulfur (ppm)	Keterangan
BK 02/B	07°07'03,50"; 111°07'17,90"	64,57	Sampel lumpur, ± 10 meter ke utara dari titik semburan <i>mud volcano</i>
BK03/B	07°07'03,50"; 111°07'17,90"	73,83	Sampel air bercampur lumpur, ± 10 ke utara meter dari titik semburan <i>mud volcano</i>
BK 01/A	07°06'57,07"; 111°07'17,40"	10,90	Sampel air bercampur lumpur, ± 200 meter ke utara dari titik semburan <i>mud volcano</i>

Selain hal tersebut di atas, menurut Indriana, dkk. (2007) berdasarkan hasil investigasi geofisika interpretasi bawah permukaan Bledug Kuwu dengan metode potensial diri (SP) diketahui bahwa potensial diri umumnya berhubungan dengan perlapisan tubuh mineral sulfida (*weathering of sulphide mineral body*), perubahan dalam sifat-sifat batuan (kandungan mineral) pada daerah kontak - kontak geologi, aktifitas bioelektrik dari material organik, korosi, perbedaan suhu dan tekanan dalam fluida di bawah permukaan dan fenomena-fenomena alam lainnya. Terjadinya gunung lumpur (*mud volcano*) berasosiasi dengan lapisan sedimen yang belum terkompaksikan, mempunyai tekanan tinggi dan mengakibatkan

timbulnya diapir dari serpih ataupun penusukan oleh serpih, atau disebut sebagai *over pressured area*, yaitu daerah tekanan tinggi yang tekanan serpihnya lebih besar daripada tekanan hidrostatik. Komposisi dari *mud* tersebut terdiri dari berbagai fase: padat, plastis, cair, dan gas membawa semua bahan-bahan batu-batu, lumpur, belerang, garam, dan gas dari dalam membentuk kolom vertikal. Keberadaan sulfur pada Bledug Kuwu di daerah penelitian diduga dipengaruhi faktor geogen yang berasal dari batuan asal yang mengandung jenis mineral sulfida sebagai hasil sampingan suatu endapan hidrotermal.

Di dekat lokasi letupan gas gunung lumpur, tidak dijumpai vegetasi yang hidup, dimana semakin jauh dari

sumber letupan gas, vegetasi mulai tumbuh dengan baik. Vegetasi yang tumbuh baik yaitu waru, trembesi dan talok. Dari upaya pemerintah setempat, penanaman vegetasi berkembang dengan baik mulai jarak kurang lebih 300 meter dari titik letupan gas gunung lumpur. (Anonim, 10 Maret 2014).



Gambar 2. Lokasi pengambilan sampel lumpur dan air. Gambar 2A menunjukkan lokasi pengambilan sampel lumpur dan air, di dekat lokasi semburan lumpur dan letupan gas gunung lumpur Bledug Kuwu ( $07^{\circ}07'03,50''$  LS  $111^{\circ}07'17,9''$  BT), ditunjukkan anak panah. Gambar 2B menunjukkan lokasi pengambilan sampel air pada sebaran lumpur terluar dimana terdapat vegetasi pada endapan lempung yang telah mengering, kurang lebih 200 meter utara lokasi letupan gas gunung lumpur Bledug Kuwu ( $07^{\circ}06'57,07''$  LS  $111^{\circ}07'17,40''$  BT)

Pada lokasi vegetasi yang mulai tumbuh dilakukan pengambilan sampel lumpur kode (BK 01/A), kurang lebih 200 meter utara titik letupan lumpur dan gas, dengan kandungan sulfur 10,90 ppm. Kandungan sulfur pada sampel lumpur (BK 02/B) yang terambil di dekat titik letupan lumpur dan gas, mencapai 64,57 ppm. Pada daerah dimana terjadi pencemaran  $SO_2$  di atmosfer, maka belerang dapat diabsorpsi oleh daun-daun tanaman sebagai sulfur dioksida. Pencemaran  $SO_2$  berkadar sebesar 0,5 ppm dapat menimbulkan dampak kerusakan pada tanaman. Kerusakan tanaman akan diperparah dengan kenaikan kelembaban udara. Kandungan  $SO_2$  yang cukup tinggi di atmosfer dapat mematikan tanaman (Achmad, 2004).

Keberadaan vegetasi yang memungkinkan untuk hidup dan tumbuh pada tempat dengan kandungan belerang (sulfur) lebih kecil menunjukkan bahwa vegetasi dapat digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh pencemaran belerang.

Hasil proses analisis kimia sulfur di laboratorium menunjukkan adanya letupan gas yang besarnya berbanding lurus dengan besar kandungan sulfur dari tiap sampel yang terambil. Keberadaan gas sebagai hasil reaksi yang berbau tajam dan reaktif ditengarai sebagai gas  $SO_2$  dan  $SO_3$ . Di lapangan, pemukiman di sekitar lokasi pengambilan sampel (Bledug Kuwu) dijumpai adanya korosi pada logam-logam pada bangunan rumah, instalasi listrik dan komunikasi. Semakin mendekati lokasi letupan lumpur dan gas Bledug Kuwu, semakin banyak dijumpai sifat korosif pada logam. Seiring dengan kenaikan kelembaban udara, belerang dioksida di atmosfer akan diubah menjadi asam sulfat (Achmad, 2004, Kumala 2011). Gas  $SO_3$  bereaksi dengan air, ataupun gas belerang oksida mengalami pembakaran atau oksidasi yang dibantu dengan katalis seperti  $NO_2$ , akan membentuk asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) (Wikipedia, 2013; PT Gas Depo Industry, 2015). Pada tingkat aktivitas tertentu gas sulfur dioksida dapat mempengaruhi lingkungan tersebut berupa korosi yang didominasi proses sulfidasi oleh agen sulfur yaitu sulfur dioksida ( $SO_2$ ) (Adnyana, 2006; Sundjono, 2008; Setiawan dan Priyotomo, 2008). Keberadaan gas belerang oksida dan asam sulfat yang terbentuk dapat ditengarai dari adanya korosi logam di daerah penelitian. Kenampakan jorosi logam di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, terdapat hubungan bahwa semakin mendekati titik letupan lumpur dan gas Bledug Kuwu, makin sulit vegetasi untuk hidup, namun sifat korosif pada logam lebih banyak dijumpai. Pencemaran  $SO_2$  berkadar sebesar 0,5 ppm dapat menimbulkan dampak terhadap kesehatan manusia dan hewan serta kerusakan pada tanaman.

Pengaruh utama polutan  $SO_x$  terhadap manusia adalah iritasi sistim pernafasan.  $SO_2$  dengan kadar 5 ppm atau lebih, beresiko menyebabkan iritasi tenggorokan; bagi penderita yang sensitif, iritasi terjadi pada kadar 1-2 ppm.



**Gambar 3.** Kenampakan pagar berkarat di rumah penduduk pada jarak kurang lebih 200 meter utara lokasi letupan gas gunung lumpur Bledug Kuwu ( $07^{\circ}06'56,55''$  LS  $111^{\circ}07'17,43''$  BT) (gambar 3A) dan kenampakan *close up* korosi pada logam di sekitar lokasi tersebut (gambar 3B)

Keberadaan  $SO_2$  dapat membahayakan kesehatan bagi orang tua dan penderita yang mengalami penyakit khronis pada sistem pernafasan kardiovaskular, dimana penderita dengan gejala penyakit tersebut sangat sensitif terhadap kontak dengan  $SO_2$ , meskipun dengan kadar yang rendah (Peraturan Menteri Kesehatan RI, Nomor 1077/Menkes/Per/V/2011). Sulfur sebagai polutan dapat memicu gangguan pernafasan, kanker dan beberapa penyakit kardiovaskular (Anonim, 21 Februari 2015). Keberadaan vegetasi dan logam berkarosi turut membantu dalam mengidentifikasi adanya pencemaran gas belerang oksida ( $SO_x$ ) yang berpotensi menjadi gangguan kesehatan bagi masyarakat sekitar.

### KESIMPULAN

Penyebaran gunung lumpur (*mud volcano*) di Bledug Kuwu dan sekitarnya merupakan bagian dari pola kelurusan sebaran gunung lumpur, jalur *Active Mud Volcano* yang secara fisiografi merupakan bagian dari Zona Randublatung, sebagai bagian pertemuan Zona Rem-

bang dan Zona Kendeng yang dikontrol oleh struktur bawah permukaan Zona Randublatung. Keberadaan sulfur dioksida merupakan bagian dari *mud volcano* Bledug Kuwu yang hadir bersama dengan keluarnya lumpur dan air asin, dimana kandungan sulfur pada lumpur mencapai 64,57 ppm dan pada air asin mencapai 73,83 ppm. Lumpur tersusun dari lempung montmorilonit dengan kehadiran halit sebagai bentuk kristalisasi air asin; serta kandungan gas yang teridentifikasi gas belerang dengan bau yang menyengat.

Keberadaan gas belerang terindikasi melalui vegetasi yang mulai dapat hidup mulai 200 meter dari titik letupan gas gunung lumpur dan vegetasi yang subur pada jarak lebih dari 300 meter dari titik letupan gas gunung lumpur; berbanding lurus dengan kerentanan sifat korosi logam yang semakin meningkat mendekati titik letupan Bledug Kuwu.

Berdasarkan kondisi geologi medis yang teridentifikasi pada gunung lumpur yang tersebar di Bledug Kuwu dan sekitarnya maka pada jarak kurang 300 meter dari titik letupan gas gunung lumpur dimana kadar pencemaran  $SO_x$  telah melebihi 0,5 ppm, masyarakat dihimbau agar lebih waspada akan potensi gangguan kesehatan. Potensi gangguan kesehatan yang rawan terjadi berupa iritasi sistim pernafasan, resiko iritasi tenggorokan bagi penderita yang sensitif, serta sangat rawan bagi orang tua dan penderita yang mengalami penyakit khronis pada sistem pernafasan kardiovaskular. Untuk mencegah bahaya gangguan kesehatan, maka upaya pengembangan wisata Bledug Kuwu perlu didukung kelengkapan medis, kesadaran penggunaan masker sebagai antisipasi gangguan pernafasan, serta sosialisasi peringatan bagi pengunjung ataupun masyarakat sekitar yang mempunyai gejala penyakit sensitif gangguan polutan  $SO_2$ .

### DAFTAR PUSTAKA

Adnyana, D.N. (2006). *Stress-Corrosion Cracking Of Stainless Steel Hose*

- Bellows. Korosi*, Vol. 15, No. 2, 2006, Tangerang Selatan: Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI
- Achmad, R. (2004). *Kimia Lingkungan*. Yogyakarta: Andi Offset, 171 hal.
- Anonim. (12 September 2006). Lumpur Panas Lapindo, Mud Volcano? *Suara Merdeka* diunduh 10 Februari 2015 dari situs <http://www.suaramerdeka.com/harian/0609/12/nas15.htm>
- Anonim. (31 Agustus 2013). Fenomena Semburan Lumpur Panas di Daerah Porong, Sidoarjo, Jawa Timur Ditinjau dari Aspek Geologi Lingkungan. Diunduh pada 5 Maret 2014 dari situs <http://geologi278.blogspot.com/2013/08/fenomena-semburan-lumpur-panas-di.html?m=1>
- Anonim. (10 Maret 2014). Bledug Kuwu Butuh Rp 24 Miliar. *ePaper Suara Merdeka* diunduh 10 Februari 2015 dari situs [suaramerdeka.com/2014/03/10](http://suaramerdeka.com/2014/03/10)
- Anonim. (21 Februari 2015). Pencemaran Lingkungan: Kualitas Udara di Perkotaan Buruk. *Kompas* Rubrik Iptek Lingkungan dan Kesehatan halaman 13 kolom 5 – 7.
- Bemmelen, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia*. Vol IA. Netherland: The Haque Martinus Nijhroff, Government Printing Office.
- Billings. M.P. (1954). *Structural Geology*. N. J. Amerika Serikat: Prentice-Hall. Inc.. Englewood Cliffs.
- Bowles, J.E. (1984). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. edisi kedua. Jakarta: Erlangga, 562 hal.
- Chen. F.H. (1975). *Foundation of Expansive Soils*. vol. 12, , 280 hal. New York: Elseiver Scientific Publishing Company.
- Gas Depo Industry. (2015). Gas Sulfur Dioxide diunduh 25 Agustus 2015 dari situs <http://gasdepo.co.id/jual-sulfur-dioksida>. Bekasi: PT Gas Depo Industry.
- Giwangkara, E.G. (2006). Mud Volcano Kuwu (Bledug Kuwu) diunduh 10 Februari 2015 dari situs <https://persembahanku.wordpress.com/2006/10/01/mud-volcano-kuwu-bledug-kuwu/>
- Google Earth. (14 Oktober 2013). Keyhole, Inc diunduh 23 Februari 2015 dari laman situs <http://earth.google.com/download-earth.html>
- Ibrahim, G., Subardjo, dan Sendjaja, P. (2010). *Tektonik dan Mineral di Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan, Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Indriana, R.D., Nurwidyanto. M.I., dan Haryono. K.W. (2007). Interpretasi Bawah Permukaan Dengan Metode Self Potential Daerah Bledug Kuwu Kradenan Grobogan. *Berkala Fisika* Vol 10 , No.3, Juli 2007 hal. 155-167 ISSN : 1410 – 9662
- Istadi, B. (2012). *Other Mud Volcanoes in East Java*. diunduh 18 Maret 2015 dari situs <https://sites.google.com/site/lulibistadi/0-istadi-2012/4-other-mud-volvanoes-in-east-java>
- Kadar dan Sudijono. (1993). *Peta Geologi Lembar Rembang*, Skala 1:100.000, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Kumala, R. (2011). *Mengenal Korosi dan Akibatnya, Serta Cara Pencegahannya Dalam Kehidupan Sehari-Hari* diunduh 10 Februari 2015 dari situs <http://ratihkumlachachae.blogspot.com/2011/12/mengenal-korosi-dan-akibatnya-serta.html?m=1>
- Mazzini, A., Etiope, G., dan Svensen, H. (2011). *A new Hydrothermal Scenario for the 2006 Lusi Eruption, Indonesia. Insights from Gas Geochemistry*. *Jurnal, Earth and Planetary Science Letters*. Elsevier. diunduh 18 Maret 2015 dari situs [www.elsevier.com/locate/epsl](http://www.elsevier.com/locate/epsl)
- Peraturan Menteri Kesehatan RI, Nomor 1077/Menkes/Per/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara

- Dalam Ruang Rumah, Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Rizqiya, F.U. (2014). Analisis Struktur Fraksi Fasa Kristal Natrium Klorida dari Brine Water Bledug Kuwu Sebagai Fungsi Waktu Kristalisasi Berdasarkan Pola Difraksi Sinar X (*X Ray Diffraction*). Skripsi, Yogyakarta: Program Studi Fisika Fakultas Sain dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Satyana, A.W., (2007). Bencana Geologi dalam "Sandhyakala" Jenggala dan Majapahit: Hipotesis Erupsi Gununglumpur Historis Berdasarkan Kitab Pararaton, Serat Kanda, Babad Tanah Jawi; Folklor Timun Mas; Analogi Erupsi LUSI; dan Analisis Geologi Depresi Kendeng-Delta Brantas. Proseding Joint Convention Bali 2007. Bali: The 36<sup>th</sup> IAGI, The 32<sup>nd</sup> HAGI, and the 29<sup>th</sup> IATMI Annual Convention and Exhibition.
- Setiawan, I. dan Priyotomo, G. (2008). Identifikasi Awal Retakan Pada Kegagalan Korosi Retak Tegang Pipa AISI 316L Akibat Keberadaan Ion Klorida Dengan Menggunakan EPMA. Majalah KOROSI, Vol. 17, No. 1, April 2008, Tangerang Selatan: Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI.
- Sundjono. (2008). Kegagalan Unjuk Kerja Pipa Refrigerator Di Lingkungan Basement Supermarket. Majalah KOROSI, Vol. 17, No. 1, April 2008, Tangerang Selatan: Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI.
- Suprpto, S.J., Gunradi. R., dan Ramli, Y.R. (2007). Geokimia Sebaran Unsur Logam pada Endapan Sumur Sidoarjo. Diunduh 18 Agustus 2014 dari [http://www.bgl.esdm.go.id/publication/index.php/dir/article\\_detail/537](http://www.bgl.esdm.go.id/publication/index.php/dir/article_detail/537) pada Buletin Sumber Daya Geologi, Vol. 2 No. 2. Agustus 2007.
- Wikipedia. (2013). Sulfur Oksida diunduh 25 Agustus 2015 dari situs [https://ms.wikipedia.org/wiki/Sulfur\\_oksida](https://ms.wikipedia.org/wiki/Sulfur_oksida)
- [www.depkes.go.id/downloads/udara.pdf](http://www.depkes.go.id/downloads/udara.pdf)