PROSIDING, Seminar Teknologi Kebumian dan Kelautan (SEMITAN II)
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS), Indonesia, 12 Juli 2020
ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020

AKTIVITAS TEKTONIK SEBAGAI PEMICU MUNCULNYA MUD VULCANO BUHJEL TASE' MADURA

Jusfarida[1], Aleik Ainu Abdilbar[1]

[1] Teknik Geologi ITATS

e-mail: jusfarida@itats.ac.id

ABSTRAK

Gunung lumpur Bujhel Tase' berada di desa Banyoning Laok, Kecamatan Geger, Bangkalan Madura. Pada lokasi ini terdapat dua tipe gunung lumpur yaitu gunung lumpur ***Buhjel Tase' Lanang*** dan gunung lumpur ***Bujhel tase' Wedok***, jarak kedua gunung lumpur tersebut kurang lebih 500 m. Kedua gunung lumpur tersebut masih sangat aktif, adapun material yang keluar berupa semburan lumpur bercampur gas. Semburan migas dan lumpur sering dijumpai pada sumbu lipatan yang dihasilkan oleh aktivitas tektonik. Aktivitas tektonik pada cekungan jawa timur yang terjadi berulang-ulang telah mengakibatkan terbentuk struktur geologi yang sangat kompleks. Penelitian dilakukan dengan cara pemetaan *surface mapping* (pemetaan permukaan) dan kajian geologi regional daerah penelitian, serta pengamatan terhadap struktur geologi yang berkembang pada lokasi penelitian. Berdasarkan hasil pengamatan dilapangan posisi gunung lumpur ***Bujhel Tase'*** berada pada sumbu lipatan yang terjadi secara alami. Semburan lumpur tidak berhubungan satu dengan lainnya, dimana material yang keluar pada gunung lumpur ***Bujhel Tase' Lanang*** berbeda dengan material pada ***Bujhel Tase' Wedok***. Pada gunung lumpur ***Bujhel Tase' Lanang***, material yang keluar lebih kental dibanding pada gunung lumpur ***Bujhel Tase' Wedok.*** Aktivitas tektonik sangat berperan sebagai konduit/ tempat keluarnya material lumpur yang berada pada sumbu lipatan pada struktur antiklin.

Kata kunci: Tektonik, Bujhel Tase', Gunung lumpur

ABSTRACT

Bujhel Tase' mud volcano's is located in the Banyoning Laok, Geger District, Bangkalan Madura. There are two types of mud volcanoes at this location: Lanang Buhjel Tase' and Wedok Bujhel Tase', the distance of the two mud mountains is approximately 500 m. The two mud volcanoes are still very active, where the material that comes out in the form of mud mixed with gas. Bursts of oil & gas and mud are often found on the fold axis caused by tectonic activity. Tectonic activity in the East Java basin that occurs repeatedly, resulting in a very complex geological structure. The study was conducted by surface mapping and regional geological studies of the study area, as well as observations of the geological structure that developed in the vicinity of the study area. Based on field observations, the Bujhel Tase mud volcano is on a naturally occurring fold axis. The characteristics of the mud coming out of the two mud volcanoes are not related to each other, where the material coming out of the mud volcano Bujhel Tase 'Lanang, is different from the material coming out of the Bujhel Tase' Wedok.The material that comes out of the mud volcano Bujhel Tase 'Lanang, is thicker than the material that comes out of the mud volcano Bujhel Tase' Wedok. As a result of tectonic activity plays a very important role as a conduit / discharge site for sludge which is on the fold ***axis of the anticline structure.***

Keyword: Tectonic, Bujhel Tase', Mud Volcano

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gunung lumpur (*Mud volcano*) Bujhel Tase'. terletak di Desa Nyunning Madura. *Mud volcano* merupakan indikasi keberadaan reservoir Hidrokarbon (minyak dan gas), hal tersebut ditunjukkan dari material yang keluar berupa gas. *Mud Volcano* umumnya terjadi menyerupai erupsi atau ekstrusi permukaan dari lumpur dan air atau batuan lempung yang terkadang bersamaan dengan gas metana (CH_4). Komposisi material lumpur mengindikasikan asalnya yang diperkirakan dari *shale/ mud diapir*. Mud volcano merupakan sebuah terminology di dalam ilmu geologi yang bersifat genetik, yakni fenomena bertekanan tinggi akibat adanya intrusi dari lumpur atau percampuran lumpur dengan fragmen batuan (Fert et al, 1976 dalam Istadi,dkk, 2011).

Keluarnya Lumpur pada mud volcano dipicu adanya lumpur yang bercampur gas (metan) yang terkena tekanan dan terkubur dibawah permukaan, sehingga lumpur tersebut keluar ke permukaan bumi. Tempat keluar dari lumpur mud volcano adalah berupa rekahan/Konduit yang terbentuk akibat tektonik

ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020

seperti patahan dan antiklin. Hasil Erupsi Gunung lumpur (Mud Volcano) umumnya berupa air atau batuan lempung yang terkadang bersamaan dengan gas metana (CH_4). Komposisi material lumpur mengindikasikan asalnya yang diperkirakan dari *shale/mud* diapir.

Gunung lumpur tidak harus selalu berbentuk dome atau conical, kenampakan dari hasil ini dapat merupakan masa yang tidak kompeten dan jika diperas akan naik k Mud volcano yang terbentuk oleh proses tektonik terjadi akibat peningkatan tekanan di daerah kompresi atau oleh maturasi (Pematangan) dan hilangnya gas secara cepat oleh timbunan sedimen yang kaya akan zat organic (Milkov 2000; Kopf and Behrmann, 2000; fowler at all, 2000; Kopf, 2002 dalam Istadi,dkk, 2011). Pemicu lainnya timbul mengikuti lempeng aktif seperti gempa bumi, gunung meletus, kompresi/ Overpressure di bawah permukaan dan lain-lain.

Maksud dan Tujuan

Maksud

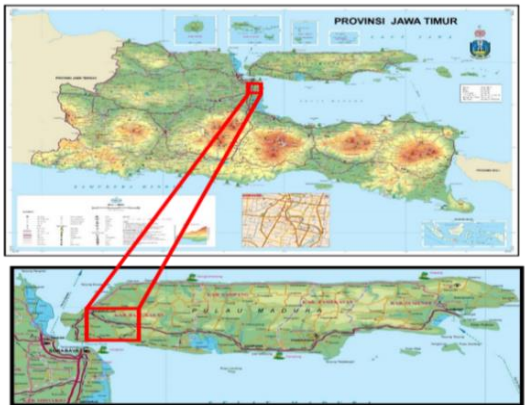
Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui kaitan struktur geologi dengan kemunculan gunung lumpur.

Tujuan

1. Mengetahui struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian
2. Memahami genesa dari mud volcano
3. Bagaimana kaitannya mud volcano dengan petroleum system

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di di Kabupaten Bangkalan, Madura, yang meliputi tiga wilayah kecamatan, yakni Kecamatan Geger, Kecamatan Kokop, dan Kecamatan Sepulu. Sedangkan fokus penelitian berada di gunung lumpur Bujel Tasek *lanang* dan *wedok* yang terletak di desa Banyoning Laok, Kecamatan Geger. Jarak antara kedua gunung lumpur ini ± 500 meter. Lokasi daerah penelitian termasuk dalam peta geologi lembar Surabaya dan Sapulu, nomor 1608-4 dan 1609-1, dengan skala 1: 100.000.

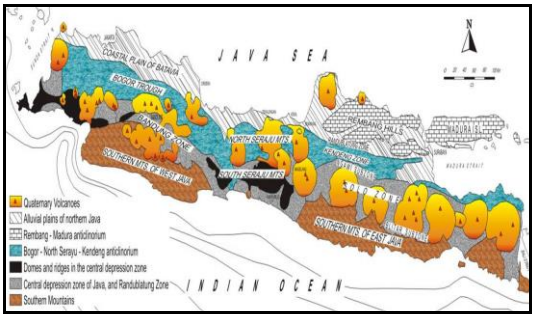


Gambar 1: Peta Administrasi Jawa Timur dan lokasi penelitian

TINJAUAN PUSTAKA

Tatanan Geologi Regional

Geologi Regional pulau Madura termasuk kedalam zona fisiografi Antiklinorium Rembang – Madura (Van Bemmelen, 1989). Menurut Susilohadi (1995) Zona Antiklinorium Rembang - Madura ini membentang sepanjang 50 km berarah Barat - Timur.



Gambar 2: Fisiografi Pulau Jawa dan daerah penelitian (van Bemmelen, 1949, dalam Satyana, dkk., 2009)

Menurut (Sujanto & Sumantri, 1977; Sribudi, dkk., 2003; Satyana, dkk, 2004) pulau Madura termasuk dalam sistem backarc basin sejak zaman Oligosen hingga saat ini, dan termasuk dalam sistem cekungan Jawa timur bagian utara. Pembentukan cekungan pertama kali terjadi pada Eosen Akhir yang diakibatkan oleh regim ekstensional dari sesar Meratus dan rifting Selat Makassar. Pembentukan cekungan ditandai oleh adanya 2 (dua) arah struktural yaitu arah E-W (Sakala trend) dan NE-SW (Meratus trend) yang mengenai formasi pre- Ngimbang.

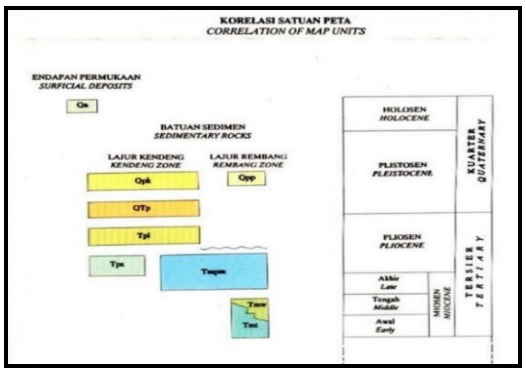
Fase Kompresi terjadi pada Miosen Tengah hingga Pleitosen berupa sesar geser yang mengakibatkan adanya elemen struktural yang berarah barat-timur yang menbetuk cekungan yang terjadi seperti saat ini, termasuk pengangkatan tinggian Rembang, depresi Randublatung serta serbuk lipatan dan anjakan

ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020

Kendeng dalam Sribudi, dkk., 2003; Satyana, dkk., 2004).

Stratigrafi Regional

Berdasarkan peta geologi lembar Surabaya - Sapulu tersebut terdapat 2 (dua) sistem pengendapan yang berbeda, yakni pada lajur Rembang- Madura didominasi oleh pengendapan karbonat dan sedimen-sedimen hasil lapukan batuan kontinen, dan endapan volkaniklastik mendominasi lajur kendeng (*Susilohadi, 1995).*



Gambar 3: Korelasi satuan peta pada peta geologi lembar Surabaya dan Sapulu (J.B. Supandjono, K. Hasan, H. Panggabean, D. Satria, dan Sukardi ; 1992)

Berdasarkan korelasi satuan batuan pada daerah Banyoning Laok, batuan paling tua penyusun daerah tersebut adalah batuan dari formasi Tawun. Formasi ini diendapkan pada Miosen Awal – Miosen Tengah pada lingkungan laut terbuka. Menurut (Brouwer, 1917 dalam Supandjono, dkk, 1992) menyatakan bahwa formasi Tawun tersusun oleh batuan Napal pasiran bersisipan batugamping dan batupasir gampingan. Nama lain dari formasi Tawun adalah formasi Tuban.

Diatas formasi Tawun secara selaras terendapkan formasi Watukoceng yang berumur Miosen Awal-Miosen Tengah. Formasi Watukoceng bagian atas tersusun oleh selang seling napal pasiran dengan batugamping. Sementara bagian bawah Formasi Watukoceng tersusun oleh batupasir kuarsa bersisipan batugamping Orbitoid dan batupasir berlapis tipis, setempat terdapat batugamping kalkarenit. Selain itu formasi Koceng kontak secara lateral dengan formasi Tawun, setempat saling menjari. Nama lain formasi Koceng berdasarkan peta geologi lembar Surabaya- Sapulu adalah “Upper OK” (Bemmelen, 1949; Marks, 1957); Formasi Tuban Atas (Hartono, 1973). Anggota Ngrayong (Koesoemadinata, 1979, dalam Pringgoprawiro, 1980); Formasi Tawun (Mulhadiono, 1984).

Menurut Satyana, dkk., 2004, pada kala Miosen Akhir hingga Pliosen Awal terjadi penurunan cekungan secara regional dan transgresi, sehingga terbentuk paparan laut dangkal dan terjadilah pengendapan karbonat yang cukup luas. Pada kala inilah Formasi Madura Terendapkan dan berkembang hingga lajur Kendeng.

Pada Pliosen Akhir hingga Plistosen Awal terjadi pengangkatan dan erosi sepanjang jalur Rembang-Madura. Tidak terjadi pengendapan pada wilayah ini. Hasil erosi menghasilkan mud-prone dalam jumlah besar. Kemudaian terjadi penurunan di sebagian tempat pada Plistosen Akhir yang diikuti pengendapan formasi Pamekasan, yang terendapkan pada lingkungan peralihan antara darat dan litoral. Formasi ini diduga mengalami pengangkatan pada Kala Holosen.

Pada Kala Pliosen diendapkan formasi Sonde, yang diendapkan pada lingkungan sublitoral- luar. Formasi ini tersusun oleh batu Napal tufan berwarna putih kekuningan, mengandung diatomae. Formasi Lidah diendapkan pada Kala Pliosen Tengah hingga Akhir pada lingkungan laut dangkal. Formasi Lidah tersusun oleh batulempung biru, setempat kehitaman, kenyal, pejal dan keras bila kering, miskin fosil, serta batulempung pasiran berlensa tipis.

Pada Kala Plio-Plistosen diendapkan formasi Pucangan pada lingkungan sub-litoral – dalam. Formasi Pucangan sebagian besar tersusun atas batupasir tufan, yang menunjukkan adanya aktivitas vulkanik pada saat itu [Jusf*arida, 2017*]. Sementara batuan penyusun formasi Pucangan tersusun atas batupasir tufan berlapis baik yang umumnya berstruktur perarian dan silangsiur. Pada Plistosen diendapkan Formasi Kabuh pada i lingkungan darat. Batuan penyusun formasi ini adalah batupasir, setempat kerikilan, berwarna kelabu muda, berbutir kasar, berstruktur perarian dan silang-siur; konglomerat terpilah buruk, kemas terbuka, berstruktur lapisan bersusun.

Gunung Lumpur

Proses Pembentukan Gunung Lumpur

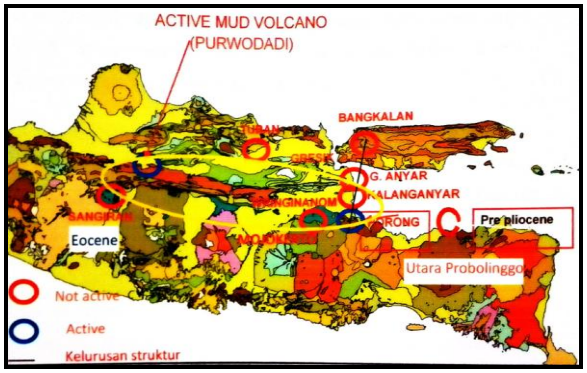
Mud volcano merupakan aliran lumpur bertekanan tinggi yang keluar melalui rekahan/ struktur, menembus hingga keatas permukaan bumi karena adanya daya apung dan perbedaan tekanan (Satyana & Asnidar, 2008). Material yang dikeluarkan gunung lumpur berupa sedimen cair dan fragmen batuan berukuran lempung, cairan serta gas (Mazzini, 2009; Istadi, dkk., 2012).

ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020

Penyebaran *Mud Volcano*

Penyebaran mud volcano di Pulau jawa terdapat dalam satu zona memanjang dan umumnya berada pada puncak antiklin. Adanya kelurusan sebaran mud volcano merupakan indikasi control setting tektonik dari sesar pada permukaan maupun bawah permukaan yang berarah relative timur laut- barat daya dan diyakini sebagai hasil rekativasi basement pada posisi yang cukup dalam.

Mud volcano tersebar dibeberapa tempat di sepanjang jawa tengah hingga jawa timur, seperti Bleduk Kuwu di Purwodadi Jawa tengah, Kalang Anyar, Gunung Anyar di Jawa timur, Pulungan, Bangkalan Madura yang berada dalam sat ugaris lurus NE-SW serta pada stratigrafi Mandala Kendeng, kecuali Bangkalan Madura yang berada pada stratigrafi Mandala Rembang (Gambar 4).



Gambar 4: Peta penyebaran mud volcano di Jawa pada bekas selat Madura purba yang dikontrol oleh struktur geologi berupa sesar (Agus Guntoro, 2007).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara surface mapping, dengan melakukan pengamatan faktor geologi (litologi, struktur geologi, stratigrafi dan Paleontologi) dan bentuk geomorfologi daerah penelitian. Data penelitian berupa data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari hasil pengamatan lapangan, sedangkan data sekunder berupa data penelitian terdahulu yang bisa dijadikan acuan dalam pengamatan daerah penelitian.

HASIL PENELITIAN

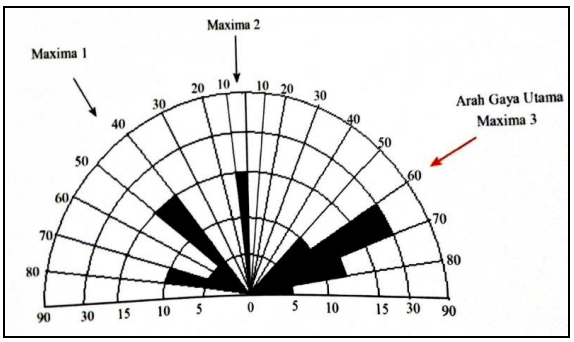
Struktur geologi dan Elemen Utama Gunung Lumpur

Struktur Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi yang berkembang pada daerah ini berupa kekar – kekar yang termasuk dalam aktivitas tektonik Cekungan Laut Jawa timur (Brandsen dan Matthews, 1992). Aktivitas tektonik terbagi dalam 2 fase tektoni, yaitu Fase Paleogen dan Fase Neogen. Fase Paleogen merupakan aktivitas peregangan dan penurunan cekungan yang diikuti oleh transgresi, pada fase Pada masa Neogen, daerah ini merupakan regim transpresif (sesar-sesar mendatar) dan adanya pembalikan (inversi) dari struktur peregangan (fase Paleogen) dan terjadi penumpukan sedimen pada beberapa sub-cekungan seperti sub-cekungan Madura. Reaktivasi sesar-sesar ditunjukkan pada data seismic sebagai pemicu kemunculan mud volcano (Jusfarida, J. (2014)

Menurut Abdurahman dkk (1981) sesar dan lipatan yang terdapat di daerah Sampang – Pamekasan merupakan sesar mendatar (wrenc faulting) yang tidak seluruhnya sejajar yang diakibatkan oleh gerak geser yang konvergen. Hal tersebut didasarkan pada; 1. Adanya lipatan yang merencong (echelon), 2. Sesar – sesar yang saling memotong, terutama sesar geser, 3. Intensitas sesar dan lipatan terdapat dalam bentuk cluster (mengelompok).

Data struktur yang ditemukan dilapangan hampir tidak jelas, hal tersebut dikarenakan oleh tingginya tingkat pelapukan yang terjadi pada daerah penelitian, namun ada ditemukan data struktur di lokasi penelitian yang menunjukkan arah Timur laut – Barat Daya.



Gambar 5: Hasil Analisa pengukuran Kekar Gerus

Elemen Utama Gunung Lumpur

Morfologi dari gunung lumpur berdasarkan pengklasifikasian Dmitrov (2002), dapat dibagi menjadi 2 (dua) type. Pembagian berdasarkan perbedaan morfologi dari gunung lumpur tersebut yang biasanya sangat berhubungan dengan perbedaan tahapan dan perkembangannya Gunung lumpur. Type gunung lumpur pada daerah penelitian termasuk Tipe Kelas I dan Type Kelas II.

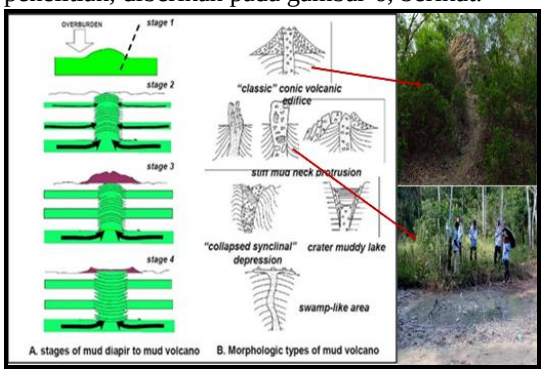
Tipe kelas I adalah pada ***gunung lumpur "Lanang"***. Gunung lumpur type ini memiliki karakteristik letusan eksplosif, biasanya berhubungan dengan jenis kandungan gas yang dikeluarkan. Material yang

ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020

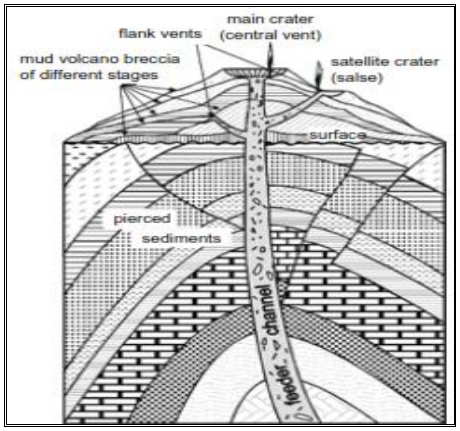
keluar pada ***gunung lumpur"Lanang"*** berupa ***mud breccia*** dengan viskositas fluida yang rendah. Bentukan dari gunung lumpur ini berbentuk kerucut dan jenis lumpur yang lebih kental.

Type kelas II pada ***gunung lumpur"Wedok".*** Gunung lumpur ini sangat berbeda dengan type kelas I, dimana type ini memiliki karakteristik letusan yang lebih tenang, aktivitas sedikit namun kontinu. Gas yang dikeluarkan secara terus menerus dalam jumlah yang hampir merata. Banyak rekahan yang ditemukan dan memuntahkan sejumlah kecil lumpur, hal tersebut karena adanya lapisan jenuh air dibagian atas dari strata sedimen. Bentuknya sangat rendah atau berbentuk kubah datar yang terisi oleh air.

Adapun bentuk gunung lumpur yang ada di lokasi penelitian, diberikan pada gambar 6, berikut.



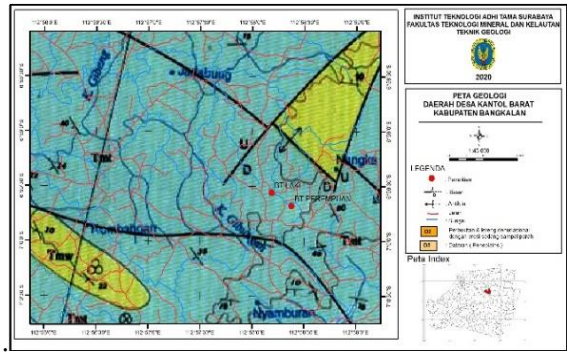
Gambar 6: Bentuk morfologi Mud volcano menurut Waluyo (2007) pada gambar A, dan menurut Akhmanov & Mazzini (2007) gambar B, dan mud volcano didaerah penelitan.



Gambar 7: Struktur dan elemen dasar dari sistem gunung lumpur (Dimitrov, 2002).

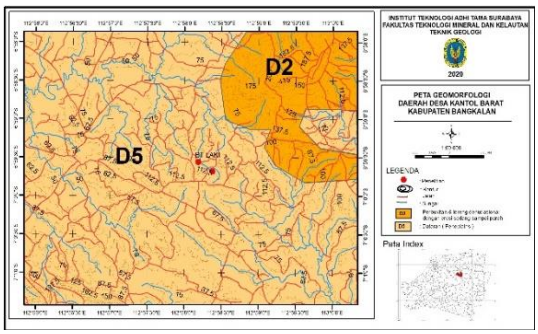
Kondisi Geologi dan Geomorfologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian termasuk dalam formasi Watukoceng dan formasi Tawun. Formasi Watukoceng didominasi oleh batuan lempung, sedangkan pada formasi Tawun terdiri dari batugamping, satuan batupasir, batuan Napal dan batugamping orbitoid pada bagian atas.



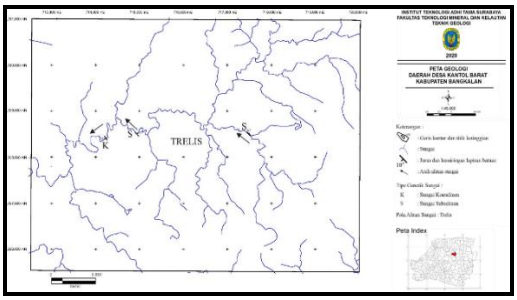
Gambar 8: Peta Geologi Daerah Penelitian

Pembagian roman muka bumi berdasarkan Van Zuidam, 1968, termasuk dalam satuan morfologi Perbukitan dan lereng denudasional dengan erosi sedang sampai parah (D2) dan Dataran (Peneplains) (D5).



Gambar 9: Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

Pola pengaliran pada daerah ini adalah pola aliran Trelis (Zenit, 1932 dan Howard ,1967), merupakan penciri genetic sungai dengan arah aliran yang searah jurus lapisan batuan. Tipe genetik sungai berupa tipe subsekuen dan tipe konsekuen. Tipe konsekuen mempunyai arah aliran searah kemiringan lapisan batuan.



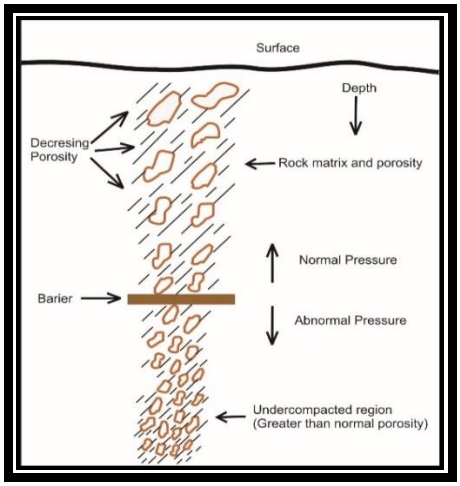
Gambar 10: Pola Pengaliran Daerah Penelitian

Genesa *Mud Volcano*

Genesa atau pembentukan mud volcano diawali oleh suatu kondisi pengisian cekungan oleh sedimen berbutir halus yang sangat intensif dalam waktu yang

ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020

singkat, sehingga menghasilkan sedimen yang cukup tebal. Proses pengendapan berupa lempung/serpih berlangsung sangat cepat, memiliki permeabilitas rendah (10^{-4} sampai 10^{-6} milidarcy dalam Fertl et al.,1976). Proses ini menyebabkan fluida yang mengisi ruang pori batuan tidak akan bisa meloloskan diri ketika terjadi pendesakan oleh penimbunan sedimen diatasnya. Fluida terjebak pada lempung/ serpih dengan permeabilitas sangat rendah, yang disertai penambahan beban secara cepat dan terus menerus, mengakibatkan sedimen tidak dapat terkompaksi dan mengalami pengurangan porositas walaupun kedalaman penimbunan semakin besar, akibatnya fluida akan ikut menyangga sebagian besar tekanan penimbung. Ruang pori batuan yang tidak mengecil tersebut terjadi karena air pada ruang pori tersumbat dan tidak bisa terdorong keluar.

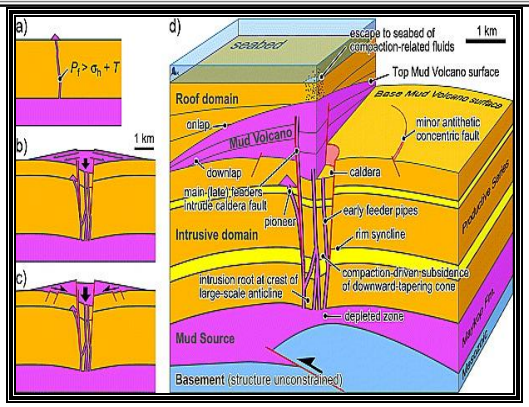


Gambar 11: Terjadinya Tekanan Abnormal Akibat Serpih Belum Terkompaksi (Rubiandini, 2001)

Faktor karakteristik lempung dan tingginya laju pembentukan lempung mengakibatkan penambahan tekanan yang terjadi secara terus menerus. Temperatur cendrung naik dengan adanya penambahan kedalaman yang disertai peningkatan tekanan sehingga terjadi pemuaian termal dari butir mineral maupun fluida yang juga menaikkan tekanan pori bawah permukaan.

Tekanan yang cukup besar dari fluida maupun partikel batuan menghasilkan bentukan liukan pada sedimen lunak yang disebut diaper serpih. Pada kondisi bawah permukaan yang terganggu (akibat aktivitas tektonik) menghasilkan tegangan sehingga fluida terhambat dan menyebabkan tekanan tinggi.

Fenomena erupsi dari lumpur di permukaan beserta fluida termasuk letupan *bubble* yang dihasilkan oleh gas ini disebut sebagai gununglumpur (*mudvolcano).*



Gambar 12: Genesa Mud Volcano
(http://rovicky.files.wordpress.com/2006/10/fg9.JPG)

KESIMPULAN

1. Aktivitas tektonik berupa sesar sangat berperan sebagai pemicu munculnya mud volcano.
2. Karakteristik mud volcano ada dua type, yaitu type kelas I, berbentuk kerucut dengan kandungan material lebih kental dan type kelas II berbentuk landai dengan kandungan air yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada pimpinan ITATS yang telah banyak mensupport penelitian ini, serta para pihak yang tidak bias disebutkan satu persatu. Akhirnya, terima kasih disampaikan kepada penyelenggara SEMITAN II, sehingga penulis dapat mepublikasikan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Dimitrov, L.I., 2002, *Mud Volcanoes – The Most Important Pathway for Degassing Deeply Buried Sediments*, Earth-Science Reviews, 59, p. 49 – 76.

Handoko T. Wibowo, 2007. Fault Reactivated Identification Due to Surface and Subsurface Geology Data in Sidoarjo Mud Flow Area.

Jusfarida, J. (2014). TIPE SEISMIK YANG MENGGAMBARKAN ADANYA PROSES TEKTONIK PADA SUATU FORMASI. *PROMINE*, *2*(1).

Jusfarida J. PEMODELAN GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN DAN PERHITUNGAN CADANGAN IODIUM PADA REMBESAN AIR FORMASI DI DESA SUMBEREJO, JOMBANG JAWA TIMUR. InSeminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V 2017 Oct 17.

Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G.G, Aloisi, G., Planke, S., Malthe Sørenssen,A. dan

ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020

Istadi, B. 2007. Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano, Indonesia. (2007) 375–388

Satyana, A.H., 2007, *Central Java, Indonesia – A Terra Icognita in Petroleum Exploration: New Considerations on the Tectonic Evolution and Petroleum Implication*, Proceedings Indonesian Petroleum Association, IPA 07-G-085.

Satyana, A.H. dan Asnidar, 2008, Mud Diapirs and Mud Volcanoes in Depressions of Java to Madura: Origins, Natures, and Implications to Petroleum System, Proceedings Indonesian Petroleum Association, IPA08-G-139.

Supandjono, J.B., Hasan, K., Panggabean, H., Satria, D., dan Sukardi, 1992, *Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu, Jawa*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology Of Indonesia*, Government Printing Office, The Hague.

http://rovicky.files.wordpress.com/2006/10/fg9.JPG)

http://www.intechopen.com/books/earth-sciences/mud-volcano-and-its-evolution.