

GEOLOGICAL MAPPING AND PROVENANCE ANALYSIS: AS THE KEY TO IDENTIFY DISTRIBUTION OF MUD DIAPIR AND ITS IMPLICATION ON COAL RESERVES IN PT. ARUTMIN INDONESIA SITE SENAKIN

Hamzah Zamzami Mahmud¹⁾, Satrio E. Hapsoro²⁾, Guntur Ghiffari¹⁾

¹*Geological Engineering Program, Faculty of Earth Science and Technology, Institut Teknologi Bandung*
²*PT. Arutmin Indonesia*

ABSTRAK

Identifikasi keberadaan diapir merupakan hal esensial dalam pertambangan batubara mengingat sifatnya yang seperti intrusi dapat mengurangi cadangan batubara. Seperti yang teramati pada area pertambangan PT Arutmin Indonesia. Kehadiran mud diapir pada PIT HG telah terbukti mengurangi cadangan batubara, dengan luas area terdampak 0,7 Ha. Selain itu, beberapa diapir diperkirakan belum terpetakan karena terletak di bawah permukaan dan belum tersentuh oleh pengeboran eksplorasi PT Arutmin Indonesia, sehingga tanda-tanda permukaan seperti singkapan batuan dan struktur geologi maupun *provenance* diapir dapat menjadi petunjuk yang penting. Oleh sebab itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pola distribusi dan korelasi antara keberadaan diapir dengan struktur geologi, stratigrafi, dan *provenance* teridentifikasi yang kemudian dapat digunakan untuk memperkirakan persebaran diapir lainnya. Analisis dilakukan pada data primer hasil pemetaan geologi lapangan sebagai representasi struktur geologi maupun stratigrafi makro sebagai identifikator *provenance*.

Hasil pemetaan lapangan seluas 60 km² menunjukkan daerah penelitian terdiri dari tiga satuan batuan, yaitu satuan batupasir-batulempung termasuk lima singkapan diapir di dalamnya, satuan batulempung, dan satuan intrusi andesit. Satuan batupasir-batulempung memiliki kesetaraan dengan Formasi Tanjung yang merupakan formasi batuan sedimen tertua di daerah penelitian. Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian adalah sesar geser manganan serta sesar geser mengiri yang berperan besar sebagai pengontrol ketersediaan diapir. Analisis stratigrafi menunjukkan *provenance* mud diapir berasal dari satuan batupasir-batulempung, Formasi Tanjung.

Berdasarkan hasil analisis di atas, persebaran mud diapir berkorelasi dengan persebaran struktur geologi terutama sesar geser dan persebaran satuan batupasir-batulempung. Karena hal tersebut, maka pada area Tambang Senakin terdapat potensi keberadaan mud diapir yang tidak tersingkap di permukaan dan dapat menyebabkan hilangnya cadangan batubara termodelkan yang jauh lebih besar dari yang telah terbukti saat ini. Sebagai langkah preventif untuk mengetahui keberadaan diapir yang belum teridentifikasi, maka penulis membuat peta potensi ketersediaan diapir pada area penelitian di PT. Arutmin Indonesia Tambang Senakin. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, penulis menyarankan pihak pelaksana tambang untuk melakukan analisis geolistrik pada titik yang telah direkomendasikan penulis.

Kata kunci: mud diapir, Formasi Tanjung, analisis stratigrafi, pemetaan geologi lapangan, cadangan batubara

ABSTRACT

Identifying diapir occurrence is essential in coal mining activities knowing it behaves like an intrusion that can lead to a reduction in coal reserve. As we can observe in PT Arutmin Indonesia mining field. The presence of mud diapir on PIT HG has been proved to cut down its coal reserve, with the total area affected is 0,7 Ha. Since not all of the mud diapirs are exposed to the surface, we suspected that

some of them are still yet to be found by PT Arutmin Indonesia's exploration. Hence, diapir provenance and surface hints such as outcrop and geological structure can be a crucial indication. Therefore, this study objectives are to identify distribution and correlation between diapir occurrence and geological structures, stratigraphy, and its identified provenance that can be used to estimate other diapirs. This study began with geological mapping to identify the geological structure and its stratigraphy. Stratigraphic analysis is carried out as provenance identifier.

Geological mapping in 60 km² area concluded that the area have three lithological units, sandstone-claystone unit including five diapir outcrops, claystone unit, and andesite intrusion unit. Sandstone-claystone unit is equivalent to Tanjung Formation which is the oldest sedimentary rocks formation in the area. Dextral strike slip and sinistral strike slip faults which are found in the area considered to have a significant effect on diapirs occurrence. Further stratigraphic analysis shows that the the mud diapir's provenance is from Tanjung Formation.

Based on these analyses, we conclude that mud diapir occurrence has a good correlation to geological structures especially the strike slip faults and sandstone-claystone unit distribution. Consequently, Senakin Mine Field has a chance of losing its potential coal reserve much bigger than previously estimated due to unidentified mud diapirs occurrence below the surface. We will provide a mud diapir occurrence potential map as a preventive measure in identifying unknown diapirs. We also suggest doing subsurface resistivity analysis for further detailed and better results.

Keywords: mud diapir, Tanjung formation, stratigraphic analysis, geological mapping, coal reserve

A. PENDAHULUAN

Batubara adalah salah satu sumber daya alam yang bernilai tinggi dalam industri pertambangan. Batubara banyak digunakan untuk bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), reduktor industri baja, bahan bakar berbagai macam industri, dan lain sebagainya. Kegunaan batubara dinilai strategis untuk diolah secara berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan pertambangan batubara yang baik sehingga mendukung ketahanan energi berkepanjangan. Kehadiran *mud diapir* terbukti dapat mengurangi cadangan batubara karena sifatnya yang seperti intrusi. Seperti yang teramati pada area pertambangan PT Arutmin Indonesia Tambang Senakin, pada PIT HG, *mud diapir* telah mengurangi cadangan batubara dengan luas area terdampak 0,7 Ha. Selain itu, beberapa *mud diapir* diperkirakan belum terpetakan karena terletak di bawah permukaan dan belum tersentuh oleh pengeboran eksplorasi PT. Arutmin Indonesia, sehingga tanda-tanda permukaan seperti singkapan batuan dan struktur geologi dapat menjadi petunjuk yang penting. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola distribusi dan korelasi antara keberadaan *mud diapir* dengan struktur geologi dan stratigrafi penyusun daerah penelitian yang kemudian dapat digunakan untuk memperkirakan persebaran *mud diapir* lainnya.

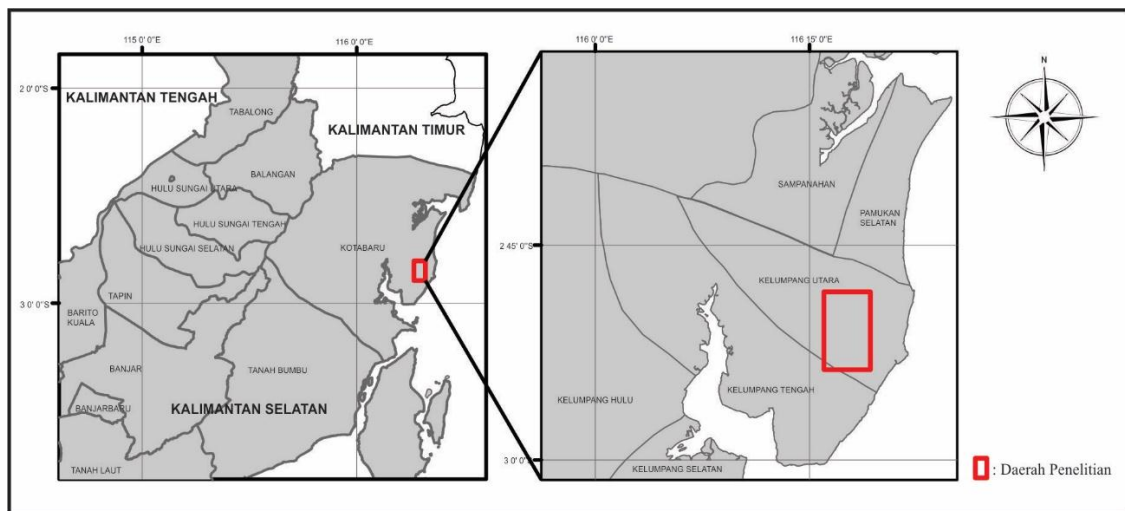
Lokasi daerah penelitian secara administratif berada di Kecamatan Kelumpang Utara, Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan. Tepatnya, kegiatan penelitian di lakukan di area pertambangan PT. Arutmin Indonesia Tambang Senakin (Gambar 1).

B. DATA & METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tahap pengambilan data lapangan dan tahap analisis serta pengolahan data. Tahap pengambilan data lapangan bertujuan untuk memperoleh data geologi detail yaitu jenis litologi, persebaran litologi, dan hubungan stratigrafi. Pengambilan data lapangan meliputi observasi geomorfologi, observasi singkapan batuan, pengambilan sampel batuan dan dokumentasi, serta pengukuran struktur geologi.

Tahap analisis dan pengolahan data terdiri dari:

- Analisis petrologi secara makroskopis dan analisis petrografi sayatan tipis batuan untuk mengetahui jenis batuan.
- Analisis kondisi geologi daerah penelitian yang digambarkan dengan peta geologi daerah penelitian
- Analisis hubungan antara *mud diapir*, struktur geologi, dan satuan batuan pada daerah penelitian yang digambarkan dengan peta estimasi keterdapatannya *mud diapir*.
- Analisis genesis *mud diapir* berdasarkan data observasi lapangan



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian berada di Kecamatan Kelumpang Utara, Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan.

Berdasarkan observasi lapangan, daerah penelitian dibagi menjadi empat satuan batuan tidak resmi, dari tua ke muda:

1. Satuan Batupasir
2. Satuan Batulempung
3. Satuan Intrusi Andesit
4. Endapan Aluvial

Hasil penelitian terhadap ciri litologi ini digambarkan dalam bentuk peta geologi dengan skala 1:25.000 dan kolom stratigrafi umum (tanpa skala) daerah penelitian.

Satuan Batupasir

Satuan batupasir menempati 34% luas daerah penelitian. Satuan ini merupakan satuan batuan tertua yang teramati di daerah penelitian, yang diperkirakan diendapkan secara tidak selaras di atas batuan dasar kelompok haruyan. Satuan ini terdiri atas batupasir, perselingan batupasir-batulempung, batulempung karbonan, dan batubara (Gambar 2 dan Gambar 3).

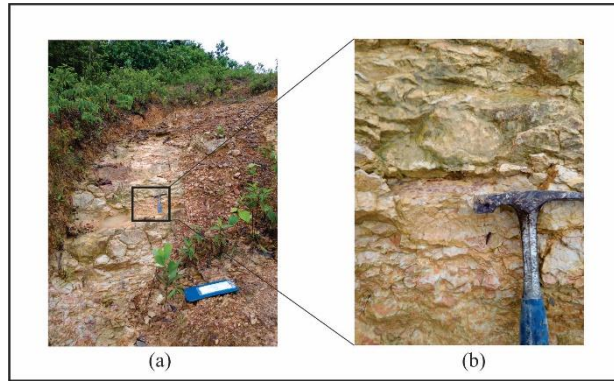
Hadirnya struktur sedimen berupa flaser (Gambar 3) menunjukkan bahwa satuan batupasir diendapkan pada lingkungan yang dipengaruhi oleh pasang-surut air laut. Terlebih lagi, dengan suksesi vertikal yang mendalam ke atas, penulis menginterpretasikan satuan batupasir diendapkan pada lingkungan estuari. Hal ini didukung pula oleh karakteristik batubara yang didominasi oleh *bright coal* dengan nilai *Gelification Indeks* (GI) yang tinggi, berdasarkan analisis kualitatif klasifikasi lingkungan pengendapan batubara menurut Diessel (1992).

Satuan Batulempung

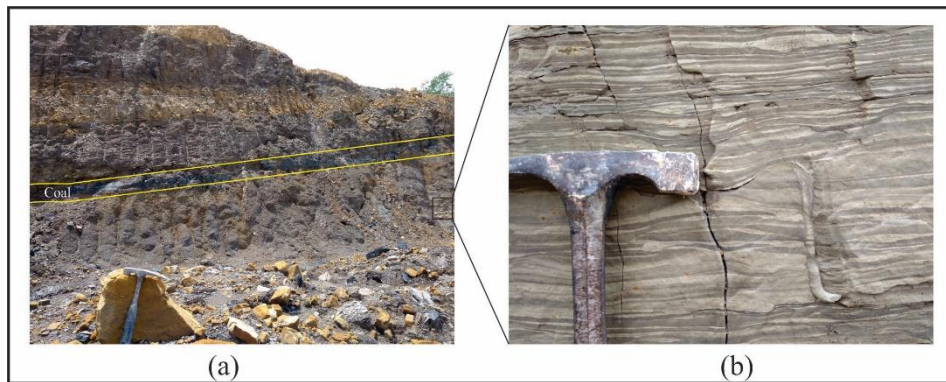
Satuan batulempung terdiri atas litologi batulempung dan sisipan batugamping klastik pada bagian atas satuan. Ciri megaskopis batulempung berwarna abu gelap, setempat ditemukan pengayaan unsur

besi (Gambar 4). Batugamping berupa kalsilitut berwarna abu terang, *friable*, mengandung foraminifera kecil planktonik dan bentonik. Berdasarkan asosiasi asosiasi foraminifera kecil, satuan batulempung ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal.

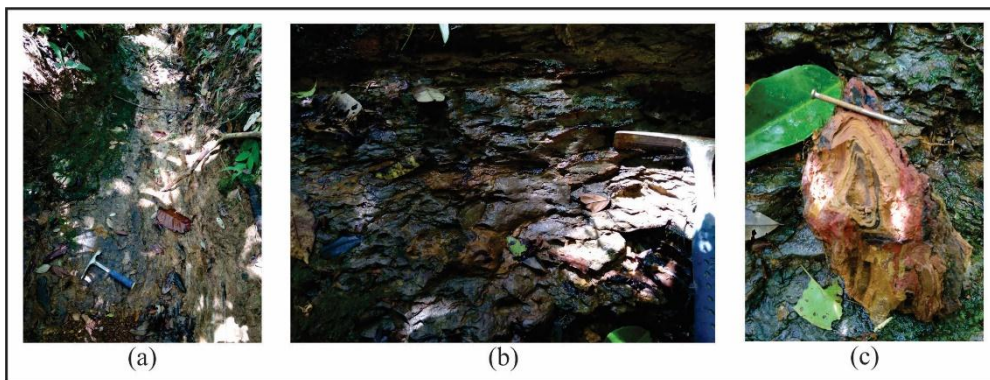
Berdasarkan karakteristik batuan, satuan betulempung disetarakan dengan Formasi Pamaluan. Umur satuan batuan ditentukan dengan metode analisis foraminifera kecil dan studi literatur yang menunjukkan umur Oligosen-Miosen Tengah.



Gambar 2. Singkapan satuan batupasir pada lereng jalan PIT HG. (a) tampak jauh. (b) tampak dekat



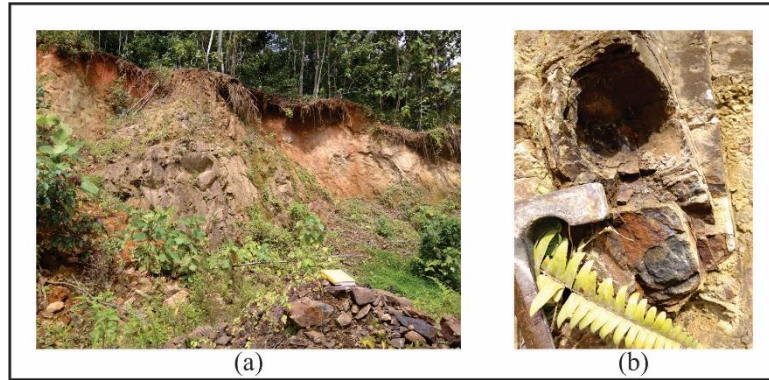
Gambar 3. Singkapan satuan batupasir pada lereng tambang PIT HG. (a) singkapan batubara. (b) struktur sedimen flaser dan fosil jejak.



Gambar 4. Singkapan batuan satuan batulempung di lembah sungai. (a) tampak jauh. (b) tampak dekat. (c) memperlihatkan pengayaan unsur besi pada batuan

Satuan Intrusi Andesit

Satuan ini menempati 10% daerah penelitian yang terdiri dari litologi berupa andesit yang hadir sebagai batuan terobosan dalam bentuk *sill* dan *dike*. Karakteristik batuan terdiri dari andesit berwarna abu dengan tekstur afanitik (Gambar 5).



Gambar 5. Singkapan batuan satuan intrusi andesit di lereng tambang galian C. (a) tampak jauh. (b) tampak dekat

Belum ada penelitian yang mengidentifikasi keberadaan batuan terobosan pada umur Tersier di daerah penelitian. Hal ini membuat penentuan umur batuan hanya dapat ditentukan secara relatif, yaitu lebih muda dari Satuan Batupasir dan Satuan Batulempung karena menerobos kedua satuan tersebut. Namun penulis menginterpretasikan bahwa satuan intrusi andesit serupa dengan batuan terobosan andesit yang terdapat di Kompleks Pegunungan Meratus, tepatnya Gunung Miing. Berdasarkan Lumbanbatu (2002), batuan terobosan andesit di Gunung Miing berkisar antara $12,7 \pm 1,0$ juta tahun yang lalu sampai $14,4 \pm 1,0$ juta tahun yang lalu, atau termasuk Miosen Akhir.

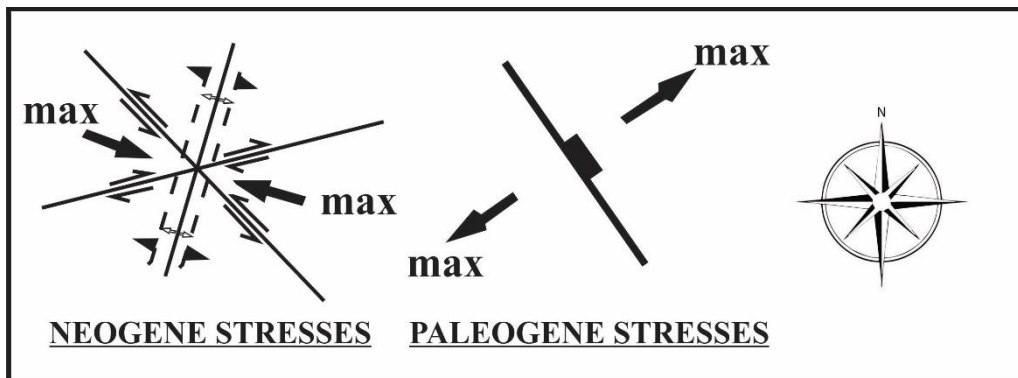
Endapan Aluvial

Endapan ini diendapkan secara tidak selaras terhadap seluruh satuan batuan pada daerah penelitian. Satuan ini terdiri dari material lepas berupa pasir kuarsa, lumpur, dan lempung kecoklatan.

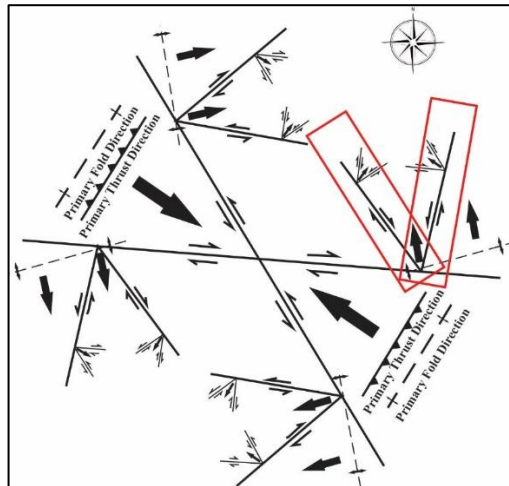
Struktur Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi di daerah penelitian yaitu berupa kemiringan lapisan dan sesar. Analisis struktur sesar didasarkan atas data kekar gerus dan breksiasi yang kemudian diolah menggunakan perangkat lunak. Klasifikasi jenis sesar diambil berdasarkan klasifikasi Rickard (1972). Pada daerah penelitian terdapat tiga struktur sesar utama, yaitu Sesar Normal Gumbil, Sesar Mengiri Gumbil, dan Sesar Menganan Wilas.

Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian dikontrol oleh tektonik kompresi dengan tegasan barat laut-tenggara pada Neogen (Gambar 6). Berdasarkan model Moody & Hill (1956), sesar yang berkembang pada daerah penelitian tergolong sesar orde kedua, ditandai dengan kotak merah pada Gambar 7.



Gambar 6. Tegasan tektonik regional yang bekerja pada Cekungan Barito dan Cekungan Asem-Asem, termasuk daerah penelitian (Satyana, 1999).

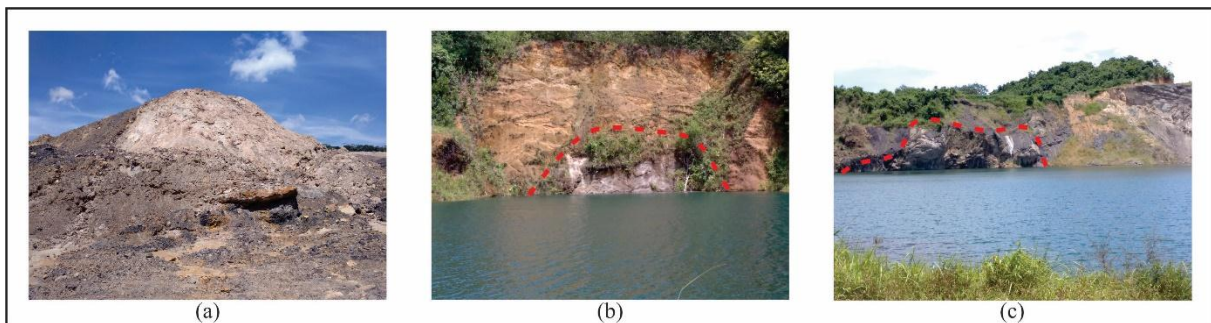


Gambar 7. Model struktur sesar yang berkembang pada daerah penelitian (dimodifikasi dari Moody & Hill, 1956).

Mud Diapir

Mud diapir ditemukan tersingkap pada satuan batupasir, menerobos batuan di atasnya termasuk lapisan batubara. Kegiatan ekskavasi pada PIT HG milik PT. Arutmin Indonesia Tambang Senakin telah menyingkap *mud diapir* yang telah mengurangi jumlah cadangan batubara dengan luas area sebesar 0,7 Ha, berdasarkan *in-pit mapping* dan pemodelan persebaran *mud diapir* tersebut. Selain di PIT HG, singkapan *mud diapir* ditemukan pula di beberapa tempat lainnya, yaitu di daerah wilas yang tersingkap di lereng jalan dan lereng aktifitas tambang batubara lainnya.

Secara megaskopis, *mud diapir* tersebut terdiri dari litologi batulempung berwarna abu terang, dengan mengandung fragmen batubara, batupasir, batulempung, dan andesit (Gambar 8). Hal ini menunjukkan bahwa *mud diapir* menerobos satuan batupasir dan satuan intrusi andesit.



Gambar 8. Singkapan mud diapir pada PIT HG, PT. Arutmin Indonesia Tambang Senakin.

C. PEMBAHASAN

Diapir merupakan sebuah terobosan massa plastis yang menerobos batuan yang lebih muda disebabkan oleh *buoyancy* dan perbedaan tekanan. Diapir berhubungan dengan *overpressure* pada lapisan yang cukup dalam. Secara lebih umum, terdapat beberapa faktor yang dapat menghasilkan tekanan anomali di bawah permukaan. Termasuk di dalamnya: kompaksi tidak seimbang, kompresi tektonik, tekanan aquathermal, pembentukan smectite atau illite, dan pembentukan hidrokarbon (Satyana, 2008).

Lempung atau serpih yang mengalami kompaksi merupakan tubuh yang di luar kesetimbangan tekanan dan gravitasi (Hedberg, 1974 dalam Satyana, 2008). Hal itu juga berupa tubuh plastis dengan

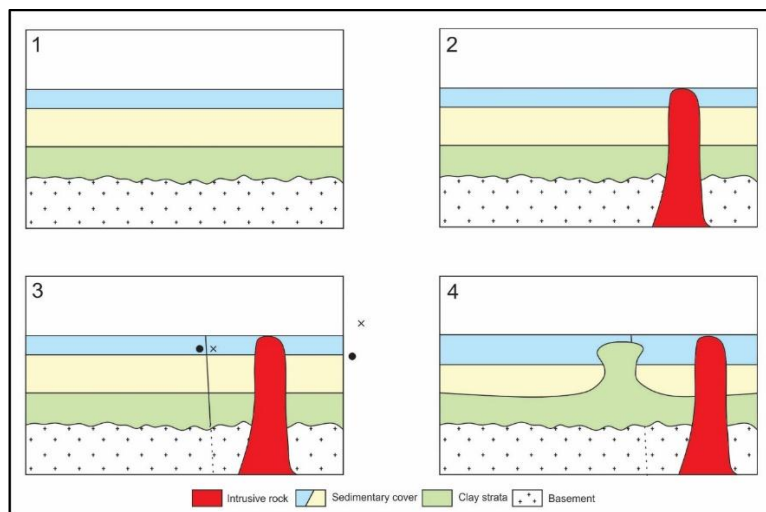
viskositas relatif rendah yang akan mengalir relatif terhadap material sekitarnya. Oleh karena itu tidak mengherankan bahwa lempung atau serpih sering kali menjadi sumber diapirisme. Diapir umumnya menerobos secara vertikal melalui rekahan atau zona lemah struktur melewati batuan penutup dengan densitas lebih tinggi, disebabkan oleh perbedaan densitas.

Berdasarkan analisis stratigrafi, *mud diapir* diinterpretasikan berasal dari Satuan Batupasir, atau Formasi Tanjung. Hal ini karena Formasi Tanjung merupakan batuan sedimen tertua yang mengisi cekungan, diendapkan secara tidak selaras di atas batuan dasar. Sehingga dapat dipastikan bahwa material *mud diapir* berasal dari material lempung pada Formasi Tanjung tersebut.

Persebaran *mud diapir* yang berdekatan dengan jalur sesar menunjukkan bahwa sesar-sesar geser pada daerah penelitian telah menjadi zona lemah untuk terbentuknya *mud diapir*. Selain itu, singkapan *mud diapir* pun ditemukan berdekatan dengan Satuan Intrusi Andesit. Penulis menginterpretasikan bahwa terdapat korelasi antara keberadaan *mud diapir* dengan terobosan batuan andesit pada daerah penelitian. Terlebih lagi, singkapan *mud diapir* tersebut tersebar pada satuan batupasir. Dan berdasarkan observasi lapangan, material *mud diapir* tersebut tidak menembus satuan batulempung. Hal ini mendukung bahwa *mud diapir* tersebut berasal dari satuan batupasir dan berkorelasi dengan persebaran satuan batupasir.

Berdasarkan analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa *mud diapir* pada daerah penelitian berkorelasi positif dengan struktur sesar yang berkembang dan batuan penyusun pada daerah penelitian, khususnya satuan batupasir dan satuan intrusi andesit. Sehingga potensi persebaran *mud diapir* pada daerah penelitian akan berkorelasi positif dengan ketiga faktor tersebut. Hal ini digambarkan dengan peta potensi persebaran diapir, dengan total luas area potensi persebaran diapir hingga 9 km².

Diinterpretasikan satuan intrusi andesit merupakan salah satu faktor pemicu pembentukan diapir pada daerah penelitian. Dengan kandungan air yang cukup, satuan intrusi andesit dapat mengubah karakteristik dari material lempung pada satuan batupasir menjadi lebih plastis karena adanya perubahan temperatur akibat terobosan andesit tersebut, sehingga diinterpretasikan awal mula terbentuknya diapir diinisiasi oleh proses tersebut. Lalu pada kondisi tektonik yang sama pada, yaitu tektonik kompresi, terbentuk sesar-sesar geser pada daerah penelitian yang dapat memotong satuan batuan cukup dalam. Sehingga struktur sesar tersebut menjadi zona lemah yang menghasilkan perbedaan tekanan yang membuat material plastis tersebut menerobos melalui zona lemah tersebut. Hipotesis ini digambarkan pada Gambar 9 berupa ilustrasi proses terbentuknya diapir pada daerah penelitian.



Gambar 9. Sketsa ilustrasi genesis *mud diapir* pada daerah penelitian. (1) lapisan batuan sedimen tidak terganggu. (2) Terbentuk batuan intrusif yang menerobos batuan sedimen sebelumnya yang mengubah

karakteristik dari lapisan batulempung menjadi lebih plastis. (3) tektonik kompresi pada kala Miosen Akhir membentuk sesar-sesar pada daerah penelitian. (4) Struktur sesar menjadi zona lemah yang dilalui oleh proses terbentuknya *mud diapir*.

Hipotesis ini serupa dengan hipotesis mengenai genesis *mud diapir* di daerah Porong, yang salah satu faktor pemicunya yaitu aktifitas magmatisme.

D. KESIMPULAN

1. Persebaran *mud diapir* di PT. Arutmin Indonesia Tambang Senakin berkorelasi positif dengan keberadaan struktur geologi berupa sesar geser, satuan batupasir, dan satuan intrusi andesit.
2. Genesis *mud diapir* di PT. Arutmin Indonesia Tambang Senakin dikontrol oleh beberapa faktor yaitu batuan terobosan andesit dan tektonik kompresi pada kala Miosen yang menghasilkan sesar-sesar geser pada daerah penelitian. Terobosan andesit mengubah karakteristik dari material lempung pada satuan batupasir, Formasi Tanjung sehingga bersifat plastis. Kemudian, material asal diapir tersebut menerobos batuan di atasnya setelah terbentuk sesar-sesar sebagai hasil dari tektonik kompresi pada kala Miosen.

DAFTAR PUSTAKA

- Diessel, Claus F. K. (1992): *Coal-Bearing Depositional System*. Berlin: Springer Verlag.
- Heryanto, R., Supriatna, S., Rustandi, E., Baharuddin. (1986): *Laporan Geologi Lembar Sampanahan, Kalimantan Selatan*. Bandung: Pusat Survei Geologi.
- Lumbanbatu, Kaspar. (2002): *Penentuan Umur dengan Metode Jejak Belah terhadap Batuan Terobosan di Daerah Gunung Miin dan Sekitarnya, Batulicin, Kalimantan Selatan*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Moody, J. D., dan Hill, M. J. (1956): Wrench Fault Tectonics, *Bulletin of The Geological Society of America Vol. 67*, 1207 – 1246.
- Rickard, M. (1972): *Fault Classification-Discussion*. Geological Society of America Bulletin 83.
- Satyana, A. H. (1999): Tectonic Controls on The Hydrocarbon Habitats of The Barito, Kutei, and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia: Major Dissimilarities in Adjoining Basins, *Journal of Asian Earth Sciences 24*.
- 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 32nd Annual Convention & Exhibition 2008*.