

INTERPRETASI SEISMIK REFRAKSI 2D UNTUK MENGIDENTIFIKASI GEOMETRI *MUD VOLCANO* DI DAERAH BERAMBAI, SAMARINDA, KALIMANTAN TIMUR

INTERPRETATION OF 2D SEISMIC REFRACTION TO IDENTIFY THE GEOMETRY OF MUD VOLCANO IN BERAMBAI, NORTH SAMARINDA, EAST KALIMANTAN

Muhammad Amin Syam, Muhammad Dahlan Balfas, Hamzah Umar, Yoga Tri Wardana

Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

Jl. Sambaliung No.9, Kampus Gunung Kelua, Samarinda

Corresponding Email: muhammadamin.syam24@gmail.com

Abstrak

Lokasi penelitian terletak di Cekungan Kutai dengan luas wilayah pemetaan geologi 6,25 km². Fenomena geologi yang dapat dijumpai di lokasi penelitian sebagai efek tektonik di masa lampau adalah *mud volcano* yang terbentuk di perbukitan antiklin. Analisis yang digunakan adalah dengan melakukan interpretasi lapisan batuan di bawah permukaan yang terekam oleh alat seismik refraksi. Mekanisme akuisisi seismik refraksi di lapangan adalah dengan menentukan lintasan *geophone* yang berada di sekitar *mud volcano*. Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *software geosstru easyrefract* diperoleh nilai cepat rambat gelombang pada tiap lapisan batuan. Lapisan pertama memiliki kecepatan rambat gelombang 194.6 m/s - 379.6 m/s diinterpretasi sebagai lapisan *sand (unsaturated)*, lapisan kedua memiliki kecepatan rambat gelombang 500.8 m/s - 857.2 m/s yang diinterpretasi sebagai lapisan *sand and gravel saturated*, dan lapisan ketiga memiliki kecepatan rambat gelombang 1006.0 m/s - 1130.3 m/s diinterpretasi sebagai lapisan *clay*. Geometri *mud volcano* yang dapat diinterpretasi tersusun atas 3 lapisan batuan yang mengindikasikan lapisan dari *mud volcano* dengan kedalaman maksimal yang mampu dicapai adalah 38 meter di bawah permukaan.

Kata Kunci : Geometri, Interpretasi, *Mud Volcano*, Seismik Refraksi.

Abstract

*The research area was located in Kutai Basin with the area of geological mapping around of 6,25 km². The phenomena of geology in research area as effect of tectonism process in the past is mud volcano which is formed in anticline hills. The analysis used to interpretation of lithology in subsurface recording by seismic refraction. The mechanism of acquisition seismic refraction in the area is determine the line of geophone around of mud volcano. Based on data processing and interpretation using *geostru easyrefract* was obtained the velocity of wave for every layer of lithology in subsurface. First layer obtained velocity of wave 194.6 m/s - 379.6 m/s was interpreted as sand (unsaturated). Second layer obtained velocity of wave 500.8 m/s - 857.2 m/s was interpreted as sand and gravel saturated. Third layer obtained velocity of wave 1006.0 m/s - 1130.3 m/s was interpreted as clay. The geometry of mud volcano interpreted has three layer of lithology that indicate of the horizon of mud volcano with maximum*

Keyword : Geometry, Interpretation, *Mud Volcano*, Seismic Refraction.

PENDAHULUAN

Kondisi geologi di Kalimantan Timur memiliki tingkat kompleksitas yang menengah hingga tinggi dengan pengaruh tektonik yang dominan berdasarkan kondisi geologi regional cekungan kutai. Fenomena geologi yang dijumpai di lokasi penelitian daerah Gunung Batubiru, Berambai, Kelurahan Sempaja Utara, Kecamatan Samarinda Utara, Kalimantan Timur sebagai efek tektonik di masa lampau dapat diamati berupa *mud volcano* yang memiliki potensi positif dan negatif.

Kenampakan fenomena *mud volcano* di lapangan menjadi dasar penelitian. Salah satu metode yang digunakan adalah seismik refraksi dengan memberikan gelombang mekanik menembus lapisan batuan di bawah permukaan untuk kemudian diterima oleh *reciever* dan diproses menjadi informasi geologi bawah permukaan.

Berangkat dari fenomena geologi di atas memunculkan keingintahuan peneliti untuk mengetahui geometri lapisan batuan di sekitar *mud volcano* dengan menggunakan metode seismik refraksi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai cepat rambat gelombang pada setiap lapisan batuan di sekitar *mud volcano* dan menginterpretasikan ke dalam bentuk model penampang 2 dimensi lapisan batuan di bawah permukaan.

METODOLOGI

Waktu dan Lokasi

Proses pengambilan data di lapangan dilaksanakan pada tanggal 30 November 2019 dan 17 Desember 2019 di daerah Gunung Batubiru, Berambai, Kelurahan Sempaja Utara, Kecamatan Samarinda Utara, Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Pada lokasi penelitian pengambilan data seismik refraksi, terdapat 6 lintasan yang melingkupi wilayah di sekitar *mud volcano*.

Akuisisi Data

Salah satu metode untuk membuat model geologi bawah permukaan adalah dengan memancarkan gelombang mekanik melewati horizon dengan karakteristik litologi yang berbeda. Klasifikasi litologi didasarkan kepada perbedaan kecepatan rambat gelombang yang diterima oleh *reciever*. Akuisisi seismik refraksi terbatas pada luas daerah penelitian 44 meter x 24 meter dengan total 6 lintasan. Pada lintasan dengan total panjang 44 meter (lintasan A-B dan C-D) menggunakan spasi *geophone* 4 meter. Sedangkan lintasan dengan total panjang 22

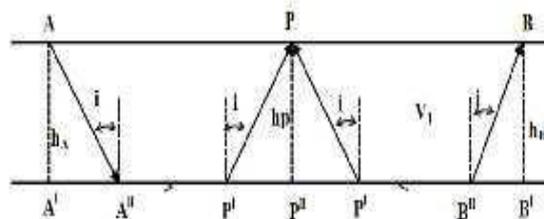
meter (lintasan A-C, E-F, G-H, dan B-D) menggunakan spasi *geophone* 2 meter.



Gambar 1. Skema Lintasan *Geophone* untuk Akuisisi Seismik Refraksi *Mud volcano*

Metode Analisis Data

Tahapan identifikasi litologi bawah menggunakan seismik refraksi adalah dengan menganalisa nilai gelombang pertama yang diterima oleh *geophone* dan terekam oleh alat seismik kemudian dicocokkan dengan data pemetaan geologi yang telah dilakukan. Metode kuantitatif yang digunakan untuk menganalisa data tersebut adalah metode Hagiwara. Perhitungan dengan metode Hagiwara dikembangkan untuk struktur bawah permukaan yang terdiri dari dua lapisan (gambar 2)



Gambar 2. Lintasan Gelombang Bias untuk Struktur Dua Lapis

Bila dinotasikan waktu perambatan gelombang bias dari titik tembak A ke titik penerima P dengan T_{AP} , waktu perambatan dari B ke P dengan T_{BP} dan waktu perambatan dari A ke B dengan T_{AB} . T_{AP} ditunjukkan oleh persamaan :

$$T'_{AP} = T_{AP} - \frac{(T_{AP} + T_{BP} - T_{AB})}{2} \quad (1)$$

$$T'_{AP} = \frac{h_1 \cos i}{V_1} + \frac{x}{V_2} \quad (2)$$

Bila jarak ke titik penerima adalah x , dengan mengambil titik B sebagai titik asal (refrensi awal) maka diperoleh :

$$T'_{BP} = \frac{h_1 \cos i}{V_1} + \frac{x}{V_2} \quad (3)$$

Dalam persamaan (3), V_2 dapat diperoleh dari kurva *travel-time* dari gelombang langsung dekat titik tembak. T_{AP} , T_{BP} , dan T_{AB} diperoleh dengan cara observasi. Tetap $\cos i$ tidak dapat dicari, karena V_2 biasanya tidak diketahui. Jika harga V_2

dapat diketahui, kedalaman h_p dan titik penerima P dapat diperoleh dari :

$$h_p = \frac{V_1}{2 \cos i} + T_{BP} - T_{AB} \quad (4)$$

Harga dari T'_{AP} atau T'_{BP} yang berhubungan dengan T_{AP} atau T_{BP} dapat dibaca dari ekstensi (memperpanjang) kurva T'_{AP} atau T'_{BP} . Jadi, harga kedalaman h_p dapat dihitung dari persamaan (5) dan (6).

$$h_p = \frac{V_1}{\cos i} - T'_{AP} \quad (5)$$

atau

$$h_p = \frac{V_1}{\cos i} (T_{BP} - T'_{BP}) \quad (6)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan hasil pengolahan data lapangan yang diperoleh dari pemetaan geologi maka geologi daerah penelitian dibagi menjadi satu satuan geomorfik, yaitu struktural dengan klasifikasi bentuklahan perbukitan antiklin disimbolkan dengan S1 dan perbukitan homoklin disimbolkan dengan S2.

Tabel I. Satuan Geomorfik Daerah Penelitian

BENTUK ASAL	BENTUK LAHAN	ASPEK GEOMORFOLOGI					PEMERIAN
		SIMBOL	MORFO METRI	MORFO GRAFI	STRUKTUR PASIF	STRUKTUR AKTIF	
STRUKTURAL	PERBUKITAN ANTIKLIN	S1	15% - 30%	Agak Curam	Litologi Batuan batupasir, batulempung	Kekar, lipatan, mof vol-ano	Menempati 32% dalam peta, bentuk lahannya ditandai dengan kontur yang mulai rapat.
	PERBUKITAN HOMOKLIN	S2	15% - 30%	Agak Curam	Litologi Batuan batubara, batupasir, batulempung	Kekar, sayap lipatan	Menempati 68% dalam peta bentuk lahan ditandai dengan pola pengaliran sungai sub-dendritik.

Stadia daerah penelitian termasuk dalam daerah yang pertumbuhannya pada stadia muda, dimana dicirikan dengan profil lembahnya yang berbentuk seperti huruf "V", sungai yang menunjukkan erosi vertikal lebih dominan daripada erosi lateral, tidak terbentuk meander sungai dan juga tidak terbentuk dataran banjir.

Gemorfologi Daerah Penelitian

Metode yang digunakan dalam kajian geomorfologi berupa analisis peta topografi dan pengamatan lapangan yang mencakup pola kontur, kisaran sudut lereng, sifat batuanpenyusun, pengamatan bentuk bentang alam, sifat aliran sungai, tingkat erosi, dan bentuk lembah sungai. Pembahasan pembagian satuan geomorfologi daerah penelitian mengacu pada klasifikasi morfologi menurut Verstappen (1985), dengan memperhatikan aspek-aspek penunjang seperti morfografi (meliputi sungai, dataran, perbukitan, dan pegunungan, dll).

Berdasarkan aspek aspek geomorfologi yang disebutkan oleh Verstappen (1985), maka bentuklahan yang terdapat di daerah penelitian dapat dibagi menjadi dua satuan bentuklahan, yaitu perbukitan antiklin (S1), dan perbukitan homoklin (S2).

Daerah penelitian dibentuk oleh satuan perbukitan homoklin dan perbukitan antiklin yang terdiri dari:

1. Perbukitan yang memperlihatkan pola kelurusan. Pada daerah telitian hampir 70% berupa daerah perbukitan, pada bagian barat daerah penelitian berupa perbukitan yang mempunyai kontur yang tinggi jika dibandingkan pada daerah timur.
2. Pola umum perbukitan pada daerah telitian relatif berarah utara-selatan yang memanjang dari utara hingga ke selatan.
3. Elevasi dan kelerengan pada daerah telitian dibagi menjadi lima yaitu: daerah dengan kelerengan hampir datar (0-2%), daerah dengan kelerengan landai (2-7%), daerah dengan kelerengan miring (7-15%), daerah dengan kelerengan agak curam (15-30%), dan daerah dengan curam (30-70%).

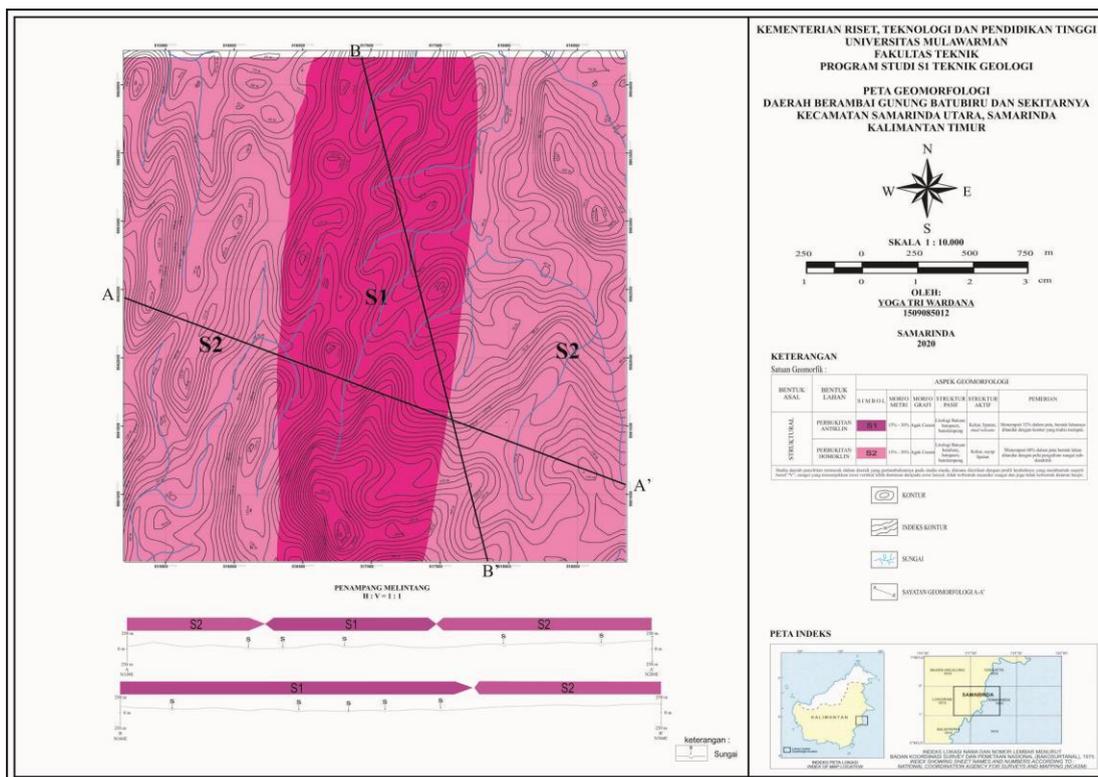
Dari hasil analisa kelurusan punggungang yang ada pada daerah telitian, ternyata memperlihatkan adanya suatu keterkaitan dan hubungan antara kelurusan punggungang, perbukitan maupun dataran dengan jurus dan kemiringan perlapisan batuan serta litologi penyusunnya yang mengindikasikan adanya gejala serta kontrol struktur geologi.

I. Bentuklahan Perbukitan Antiklin

Bentuklahan ini terbentuk karena adanya proses endogen atau proses tektonik, yang berupa pengangkatan, pelipatan, dan pensesaran. Gaya (tektonik) ini bersifat konstruktif (membangun), dan pada awalnya hampir semua bentuk lahan muka bumi ini dibentuk oleh kontrol struktural. Morfografi yang miring dengan morfometri yang berkisar antara 15%-30%. Satuan bentuklahan ini dipengaruhi oleh struktur geologi yang berkembang berupa lipatan. Serta terdiri dari litologi batupasir dan batulempung.

2. Bentuklahan Perbukitan Homoklin

Bentuklahan ini terbentuk karena adanya proses endogen atau proses tektonik, yang berupa pengangkatan, pelipatan, dan pensesaran. Gaya (tektonik) ini bersifat konstruktif (membangun), dan pada awalnya hampir semua bentuklahan muka bumi ini dibentuk oleh kontrol struktural. Morfografi yang miring dengan morfometri yang berkisar antara 15%-30% dengan dip atau kemiringan batuan 20° sampai dengan 30°. Satuan bentuklahan ini dipengaruhi oleh terdapatnya struktur geologi yang berkembang berupa lipatan. Serta terdiri dari litologi seperti batupasir, batulempung, batulanau, *shalycoal*, *coalyshale*, dan batubara.



Gambar 3. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

Stratigrafi Daerah Penelitian

Pada pembahasan stratigrafi daerah penelitian, digunakan istilah satuan batuan berdasarkan ciri fisik batuan yang diamati di lapangan, meliputi jenis batuan, keseragaman litologi serta posisi stratigrafi antar satuan batuan tersebut. Pembagian satuan batuan ini dilakukan untuk setiap jenis batuan yang seragam, sedangkan penamaan batuan didasarkan pada jenis batuan yang dominan. Penemuan satuan tersebut berdasarkan pada ciri-ciri (karakter) litologi meliputi tekstur, struktur sedimen, dan lingkungan pengendapan.

Pada lokasi penelitian daerah Berambai, Kecamatan Samarinda Utara, Kota Samarinda, Kalimantan Timur, proses diagenesa yang berlangsung diawali oleh dataran yang terbentuk lebih dahulu mengalami proses regresi yaitu penurunan muka air laut dengan membawa material sedimen yang terakumulasi di lingkungan transisi terbawa ke laut dangkal berasosiasi dengan organisme-organisme laut terbukti dengan ditemukannya fosil makro dan fosil mikro pada batuan karbonat. Kemudian proses transgresi ditandai dengan perubahan ukuran butir pada satuan batupasir sedang Berambai dan terendapkan satuan batupasir perselingan batulempung Berambai. Proses progradasi terjadi karena pengaruh pasang-surut air laut pada lingkungan transisi ditandai dengan struktur batuan dan perubahan ukuran butir pada satuan batupasir halus Kampung Jawa.

Tatanan stratigrafi di daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga satuan batuan dari muda ke tua sebagai berikut:

1. Satuan batupasir perselingan batulempung Berambai
2. Satuan batupasir sedang Berambai
3. Satuan batupasir halus Kampung Jawa

Tabel 2. Stratigrafi Daerah Penelitian

MASA	ZAMAN	KALA	BATUAN SEDIMEN
KENOZOIKUM	TERSIER	MIOSEN	
			SATUAN BATUPASIR PERSELINGAN BATULEMPUNG BERAMBAI
			SATUAN BATUPASIR SEDANG BERAMBAI
		NR	SATUAN BATUPASIR HALUS KAMPUNG JAWA

I. Satuan Batupasir Halus Kampung Jawa

Satuan ini terletak di Formasi Bebuluh, tersebar di bagian tengah daerah penelitian. Satuan ini menempati 28% dari keseluruhan luas daerah penelitian. Satuan batupasir halus Kampung Jawa ini menempati bentuklahan perbukitan antiklin.

Ciri litologi satuan batupasir halus Kampung Jawa yang mendominasi adalah batupasir halus dengan anggota satuan berupa batupasir halus, batupasir sangat halus, batulempung, dan batulanau. Berwarna putih dan kecoklatan, ukuran butir pasir halus, membulat, terpilah baik, kemas terbuka, komposisi kuarsa (matriks), karbonat (semen), struktur berupa masif, flaser, lentikuler, laminasi sejajar, wavy

laminasi, silang siur, dan *hummocky cross stratification*.

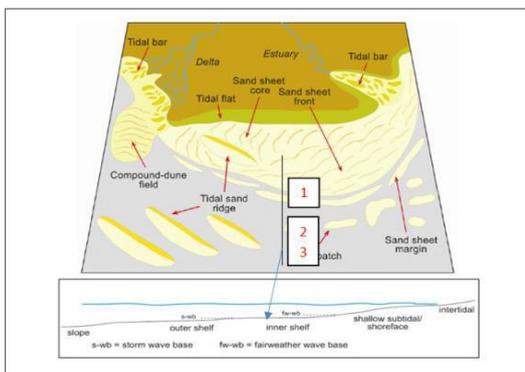


Gambar 4. Batupasir dengan struktur silang siur pada lokasi pengamatan 18 (arah foto N 104°E).



Gambar 5 Batupasir dengan struktur *hummocky cross stratification* pada lokasi pengamatan 23 (arah foto N 295°E).

Lingkungan pengendapan di daerah telitian terdapat tiga fasies yakni: *Foreshore*, *Upper shoreface*, *Lower shoreface*. Penentuan ini berdasarkan adanya semen karbonat pada batuan batupasir dengan struktur sedimen *hummocky cross stratification* (Hcs) sebagai salah satu penunjuk lingkungan laut dangkal.



Gambar 6. Lingkungan pengendapan satuan batupasir Kampung Jawa.(1) *Foreshore*, (2) *Upper shoreface*, (3) *Lower shoreface*.

Penentuan umur satuan batupasir ini memiliki kesamaan atau kesebandingan dengan daerah sekitarnya secara regional dengan peta zonasi plankton Cekungan Kutai yang memperlihatkan pembagian satuan berdasarkan zonasi umur biostratigrafi (Bachtiar, 2004). Sehingga berdasarkan hasil kesebandingan, maka satuan batupasir halus Kampung Jawa ini berumur Miosen (N8).

2. Satuan Batupasir Sedang Berambai

Satuan ini terdapat dalam Formasi Pulau Balang tersebar di bagian timur daerah penelitian. Satuan ini menempati 64% dari keseluruhan luas daerah.

Ciri litologi satuan batupasir sedang Berambai adalah perselingan batupasir-batulempung dengan anggota satuan batupasir sedang, batupasir kasar, batulempung. Dicirikan berwarna putih kecoklatan, ukuran butir pasir sedang, membundar, terpilah baik, kemas terbuka, komposisi kuarsa (matriks), silika (semen), struktur berupa masif, flaser, lentikuler, laminasi, *wavy laminasi*, perlapisan, dan silang siur.



Gambar 7. Batupasir dengan struktur perlapisan pada lokasi pengamatan 1 (arah foto N 189°E).



Gambar 8. Batupasir dengan struktur flaser pada lokasi pengamatan 6.

Penentuan umur satuan batupasir sedang Berambai tidak bisa dilakukan dengan analisa mikropaleontologi. Hal ini dikarenakan pada contoh lokasi pengamatan 6 tidak dijumpai fosil penunjuk (*barren*). Meskipun demikian penentuan umur satuan ini memiliki kesamaan atau kesebandingan dengan daerah sekitarnya secara regional. Sehingga berdasarkan hasil kesebandingan, maka satuan batupasir sedang Berambai ini berumur Miosen N8.

Lingkungan pengendapan di daerah telitian terdapat 4 fasies yakni: *Tidal channel*, *Tidal bar*, *Mud flat*, *Sand flat*. Untuk penentuan lingkungan pengendapan berdasarkan fosil foraminifera bentonik yang dikandung oleh batuananya, tidak dapat dilakukan (*barren*) karena tidak ada ditemukan fosil foraminifera bentonik.

Satuan batupasir sedang Berambai merupakan satuan batuan yang lebih muda dari satuan batupasir halus Kampung Jawa, sedangkan satuan batupasir halus Kampung Jawa merupakan satuan batuan yang terendapkan pada bagian paling bawah dari daerah penelitian, Tidak ditemukan kontak secara tegas dan jelas di daerah penelitian, sehingga hubungan stratigrafinya adalah selaras.

3. Satuan Batupasir Perselingan Batulempung

Satuan ini terdapat dalam Formasi Balikpapan tersebar di bagian timur laut daerah penelitian. Satuan ini menempati 8% dari keseluruhan luas daerah.

Ciri litologi satuan batupasir perselingan batulempung Berambai adalah perselingan batupasir-batulempung dengan anggota satuan berupa batulempung, batulanau, batubara, *shalycoal*, dan *coalyshale*. Dicitrakan berwarna putih kecoklatan, ukuran butir pasir halus, membundar, terpilah baik, kemas terbuka, komposisi kuarsa (matriks), silika (semen), struktur berupa masif, flaser, lentikuler, laminasi, *wavy laminasi*, dan silang siur.



Gambar 9. Batupasir perselingan batulempung lokasi pengamatan 10 (arah foto N 150°E).



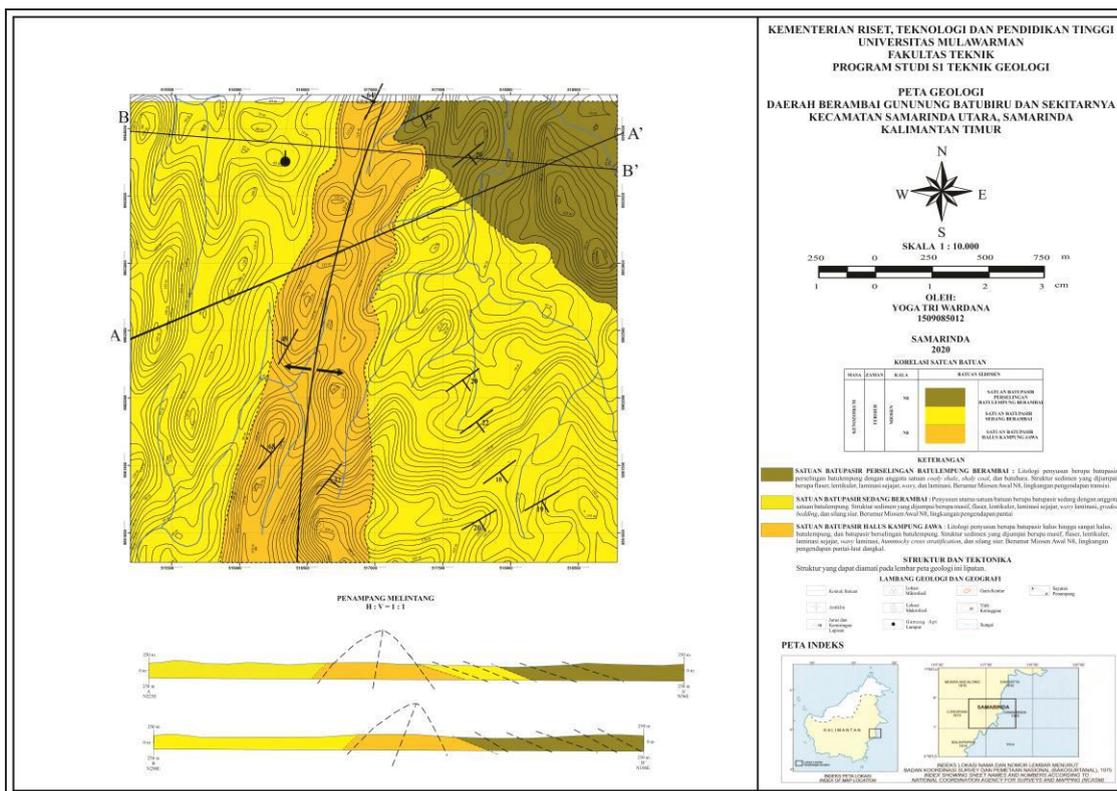
Gambar 10. Batupasir perselingan batulempung dengan struktur *wavy laminasi* lokasi pengamatan 11 (arah foto N 140°E).

Singkapan yang ditemukan pada daerah penelitian diendapkan pada lingkungan pengendapan transisi dengan sub lingkungan pengendapan *transitional lower delta plain* karena menunjukkan pola pengendapan batuan yang berselingan antara batupasir dan batulempung sebagai salah satu penciri lingkungan transisi yang mengalami perubahan muka air (pasang-surut) yang berubah-ubah secara dinamis yang sebanding dengan penelitian terdahulu.

Umur satuan batupasir perselingan batulempung Berambai tidak bisa ditentukan dengan analisa mikropaleontologi. Hal ini dikarenakan pada contoh lokasi pengamatan 9 tidak dijumpai fosil penunjuk (*barren*). Penentuan umur satuan ini memiliki kesamaan atau kesebandingan dengan daerah sekitarnya secara regional dengan peta zonasi plankton Cekungan Kutai yang memperlihatkan pembagian satuan berdasarkan zonasi umur biostratigrafi. Sehingga berdasarkan hasil kesebandingan, maka satuan batupasir sedang Berambai ini berumur Miosen N8.

Satuan batupasir perselingan batulempung Berambai dengan satuan batupasir sedang Berambai adalah selaras mengacu pada peta geologi regional lembar Samarinda menurut Supriyatna, 1995. Tidak ditemukan kontak secara tegas dan jelas di daerah penelitian, sehingga hubungan stratigrafi antara satuan batupasir perselingan batulempung dengan satuan batupasir sedang Berambai adalah selaras.

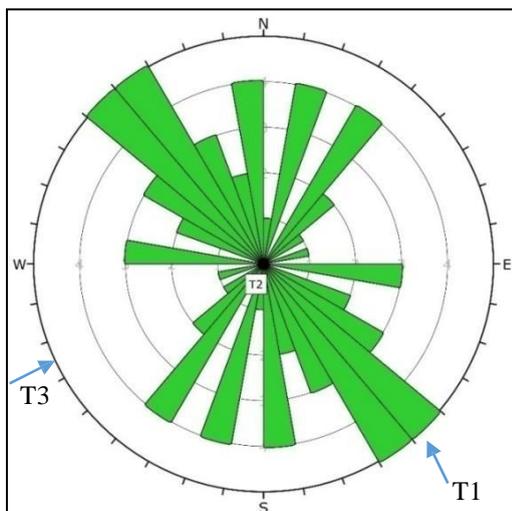
Keberadaan satuan batupasir perselingan batulempung di atas satuan batupasir sedang berambai sesuai urutan stratigrafi di daerah penelitian. Terendapkan pada satuan waktu geologi yang sama, yaitu miosen tengah hingga miosen akhir dengan struktur sedimen yang berkembang adalah laminasi dan perselingan batupasir dan batulempung.



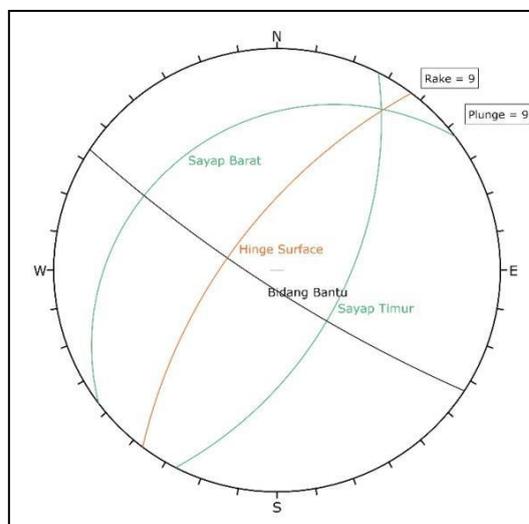
Gambar II. Peta Geologi Daerah Penelitian

Struktur Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan data pengamatan lapangan bahwa struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian dibagi menjadi dua, yaitu struktur kekar dan struktur lipatan. Struktur kekar di daerah penelitian memiliki orientasi arah relatif tenggara-barat laut dan timur laut-barat daya. dari hasil analisa kekar menggunakan diagram roset (gambar 4.14) didapatkan arah umum kekar N130°E-N149°E dimana tegasan relatif tenggara.



Gambar 12. Diagram Roset Arah Umum Kekar Pada Daerah Penelitian



Gambar 13. Stereonet Lipatan Daerah Penelitian.

Di daerah penelitian, pada Kala Miosen Tengah (McClay, 2000) setelah batuan terbentuk kemudian mendapat tekanan dari arah baratdaya-tenggara sehingga terbentuk struktur lipatan dengan arah sumbu lipatan utara timurlaut-selatan baratlaut yang relatif tegak lurus terhadap arah tegasan. Lipatan ini adalah antiklin Separi yang merupakan lipatan pertama di Mahakam fold belt pada Kala Miosen Tengah N8.

Hasil Analisa Data Akuisis Seismik Refraksi

Berdasarkan hasil pengolahan grafik *travel time curve* dan *picking first break* atau *first arrival time* diperoleh nilai kecepatan rambat gelombang pada masing - masing lapisan di setiap lintasan *geophone*. Nilai kecepatan rambat gelombang didapatkan dari hasil *plotting* grafik atau kurva *travel time curve* yang telah diproses melalui *calculate precessed travel time curve*.

Tabel 3. Nilai Kecepatan Rambat Gelombang Pada Setiap Lintasan *Geophone*.

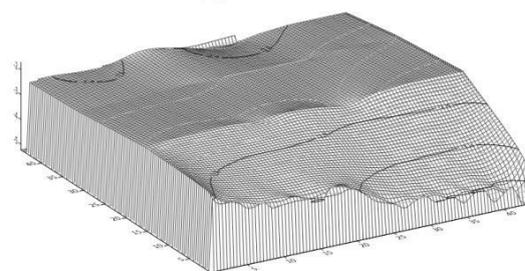
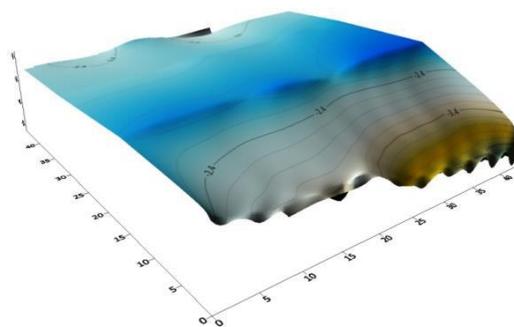
Kode Lintasan	V1 Lapisan 1 (m/s)	V2 Lapisan 2 (m/s)	V3 Lapisan 3 (m/s)
A-B	378.62	857.22	1107.90
C-D	379.57	669.13	1108.11
A-C	285.80	502.80	1006.00
E-F	218.60	500.80	1019.70
G-H	201.20	526.60	1097.90
B-D	194.60	511.00	1130.30

Metode yang digunakan untuk mengolah data adalah metode interpolasi. Metode interpolasi adalah proses pencarian dan penghitungan nilai suatu fungsi yang grafiknya melewati sekumpulan titik yang diberikan. Tujuannya adalah untuk menaksir nilai tengah antara titik data yang sudah tepat. Nilai *error* adalah faktor yang mempengaruhi ketepatan visualisasi bawah permukaan berupa penampang lapisan batuan di sekitar *mud volcano*. Dalam pengolahan menggunakan *software* *surfer16* digunakan metode *Natural Neighbor* yang memiliki nilai *error* paling kecil, yaitu 0,126.

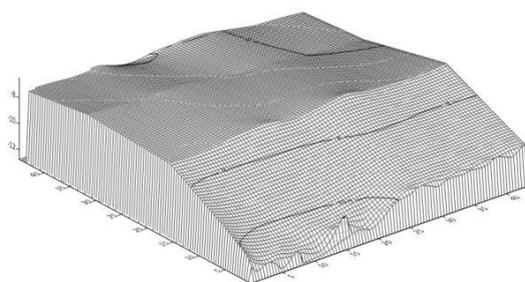
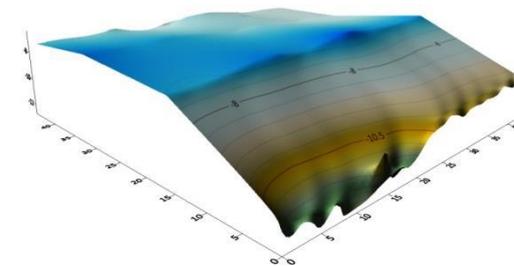
Salah satu faktor pengontrol terbentuknya *mud volcano* adalah tingkat aktifitas tektonik dan keberadaan zona lemah yang memiliki korelasi dengan kondisi lapisan batuan di sekitar *mud volcano*. Zona lemah yang berperan adalah rekahan atau kekar yang terdapat pada lokasi pengamatan 16. Singkapan atau *outcrop* batupasir dengan ukuran butir sedang mendapat pengaruh tektonik yang cukup kuat hingga menyebabkan batuan tersebut hancur menghasilkan struktur kekar.

Visualisasi Bawah Permukaan Mud Volcano

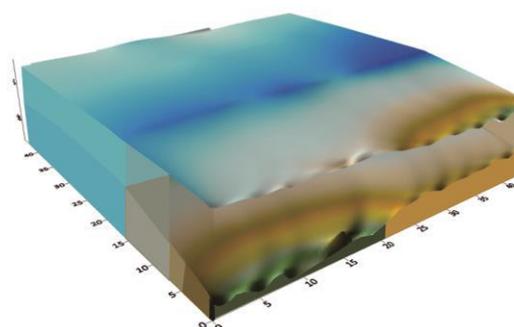
Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh bentuk geometri dari *mud volcano* pada lapisan satu dan dua sesuai dengan teori pembentukan *mud volcano* yang cenderung terbentuk pada struktur antiklin (Roberts,2010), dimana lapisan batuan di bawah permukaan membentuk lekukan akibat proses perlipatan karena pengaruh aktifitas geologi di daerah penelitian.



Gambar 14. Visualisasi Bawah Permukaan Lapisan Batuan pada Layer 1



Gambar 15. Visualisasi Bawah Permukaan Lapisan Batuan pada Layer 2

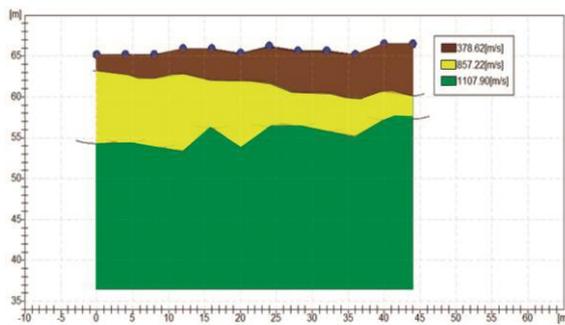


Gambar 16. Visualisasi Bawah Permukaan Lapisan Batuan pada Layer 1 dan Layer 2

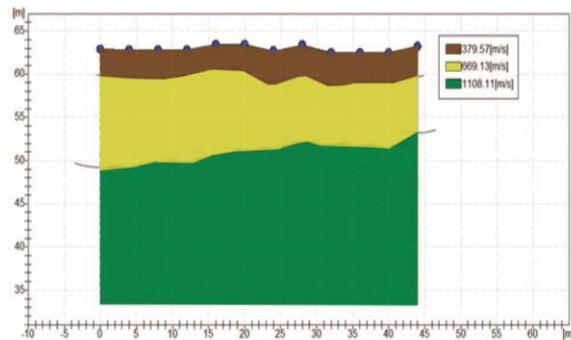
Tabel 4. Kecepatan Rambat Gelombang Minimum-Maksimum

Lapisan / Layer	Kecepatan Rambat Gelombang	Interpretasi Litologi	Simbol Warna
1	194.6 m/s - 379.6 m/s	<i>Sand (unsaturated)</i> (200 m/s – 1000 m/s)	Cokelat 
2	500.8 m/s - 857.2 m/s	<i>Sand and gravel saturated</i> (500 m/s – 1500 m/s)	Kuning 
3	1006.0 m/s - 1130.3 m/s	<i>Clay</i> (1000 m/s – 2500 m/s)	Hijau 

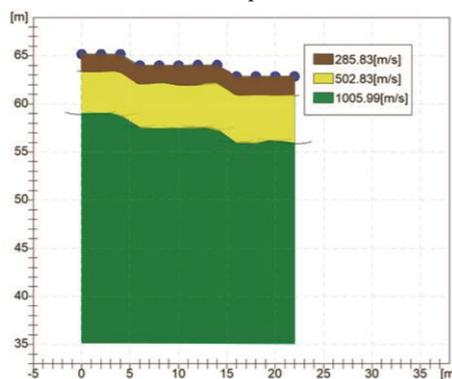
Interpretasi Morphology of Refractor



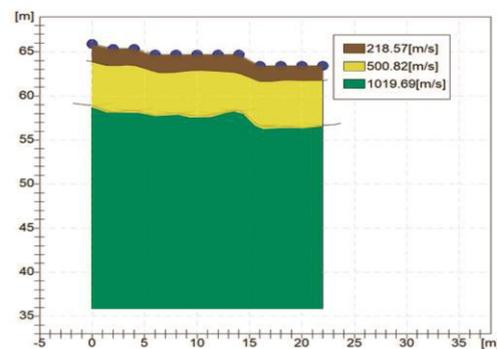
Gambar 17. Morphology of Refractors pada Lintasan Geophone A-B



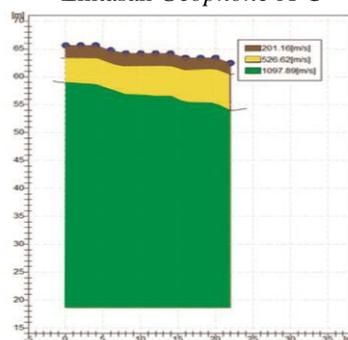
Gambar 20. Morphology of Refractors pada Lintasan Geophone C-D



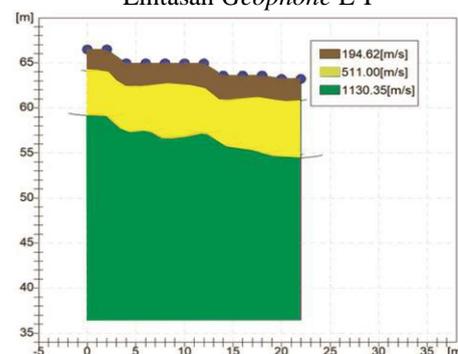
Gambar 18. Morphology of Refractors pada Lintasan Geophone A-C



Gambar 21. Morphology of Refractors pada Lintasan Geophone E-F



Gambar 19. Morphology of Refractors pada Lintasan Geophone G-H



Gambar 21. Morphology of Refractors pada Lintasan Geophone E-F

KESIMPULAN

Berdasarkan data akuisisi seismik refraksi yang dilakukan di sekitar *mud volcano* yang dilalui oleh lintasan *geophone* diperoleh nilai cepat rambat gelombang untuk 3 lapisan batuan, yaitu lapisan 1 memiliki kecepatan 194.6 m/s - 379.6 m/s yang diinterpretasikan sebagai lapisan *sand (unsaturated)*, lapisan 2 memiliki kecepatan rambat gelombang 500.8 m/s - 857.2 m/s diinterpretasikan sebagai lapisan *sand and gravel saturated*, dan lapisan 3 memiliki kecepatan rambat gelombang 1006.0 m/s - 1130.3 m/s diinterpretasikan sebagai lapisan *clay*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada bapak dan ibu dosen pembimbing serta semua pihak yang telah membantu baik secara moril, tenaga, dan materi.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, G.P dan Chambers, J.L.C., 1998, *Deltaic Sediment in The Modern and Miocene Mahakam Delta*, IPA, Jakarta.
- Arifullah, Ery. 2017. *Ichnofabric of Tidal Deposit in Balikpapan Formation, Kutai Basin Indonesia*. Bandung : ITB
- Bachtiar, A., Kristyuniyanto A., Purnama A.S., Purnama, Yudi S., Rozali M., Syaiful M., Wiyono J., 2010, *The Dynamics of Mahakam Delta – Indonesia, Based on Spatial and Temporal Variations of Grab Samples, Cores, and Salinity*, Jakarta, AAPG International Conference and Exhibition.
- Bachtiar, Andang. 2004. *Ichnological Characteristics in The Modern Mahakam Delta, East Kalimantan*. Bandung : IAGI
- Balfas, Muhammad Dahlan. 2015. *Geologi Untuk Pertambangan dan Umum*. Yogyakarta: Jogja Press.
- Enikanselu, P. A. 2008. *Geophysical Seismic Refraction and Uphole Survey Analysis of Weathered Layer Characteristics in the "Mono" Field, North Western Niger Delta, Nigeria. The Pacific Journal of Science and Technology*, Volume 9. Nomor 2 Hal : 537-545.
- Foulger, G. R., Pierce, C. 2007. *Geophysical Methods in Geology*. United Kingdom : University of Durham
- Harun, Satyana Awang, dan Asnidar, 2008, *Mud Diapirs and Volcanoes in depressions of Java to Madura: Orogins, Nature, and Implications to Petroleum System*. Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA), 32nd Annual Convention & Exhibition., IPA08- G-139..
- Hubbet, Richard John. 2017. *Fundamental of Geomorphology*. United Kingdom : University of Manchester.
- Kearey, P., Brooks, M., and Hill, I., *An Introduction to Geophysical Exploration*, 3rd edition Blackwell Science, 2002, ISBN0632049294.
- Kirkham, Christopher Brian, 2015, *A 2D Seismic Interpretation of Mud volcanoes within The Western Slope of The Nile Cone*, Wales, Cardiff University,
- Kopf, A. J. 2002. *Significance of mud volcanism. Reviews of Geophysics*, 40, 1-52.
- McClay, K., T. Dooley, A. Ferguson, and J. Poblet, 2000, *Tectonic evolution of the Sanga Sanga Block, Mahakam Delta, Kalimantan, Indonesia: AAPG Bulletin*, v. 84, p. 765–786.
- Moss, S.J. dan Chambers, J.L.C., 1999, *Depositional Modelling And Facies Architecture Of Rift And Inversion In The Kutai Basin, Kalimantan, Indonesia*, Indonesian Petroleum Association, Proceedings 27th Annual Convention, Jakarta, 459-486
- Nurdiyanto, B., E. Hartanto, D. Ngadmanto, B. Sunardi, & P. Susilanto. 2011. *Penentuan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi. Jurnal Meteorologi dan Geofisika Volume. 12 Nomor. 3. Hal : 211-220.*
- Redpath, B. B. 1973. *Seismic Refraction Exploration for Engineering Site Investigation*. California : NTIS
- Roberts, K. 2010. *Mud volcano systems: Structure, evolution and processes*. Doctor of Philosophy, Durham University.
- Setiawan, B. 2008. *Pemetaan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi*. Skripsi. Depok : Universitas Indonesia.
- Supriatna S., Sukardi R., Rustandi E. 1995. *Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimanta*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Susilawati. 2004. *Seismik Refraksi (Dasar Teori & Akuisisi Data)*. USU Digital Library.
- Telford, M.W., L.P. Geldart, R.E. Sheriff, & D.A. Keys. 1976. *Applied Geophysics*. New York : Cambridge University Press.
- Tinivella, Umberta., Giustiniani, Michela. 2013. *An Overview of Mud volcanoes Associated to Gas Hydrate System*. Italy : Intech