

KARAKTERISASI RESERVOAR KARBONAT MENGGUNAKAN EXTENDED ELASTIC IMPEDANCE DI LAPANGAN “VAN HALEN”

Characterization of Carbonate Reservoir Using Extended Elastic Impedance in “Van Halen” Zone.

Sulistyo Oetomo Putro¹, Adi Wibowo Johannes², Dody Apriadi², dan Sudarmaji¹

¹Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281

²JOB Pertamina-Talisman Jambimerang, Desa Kaliberau, Kec. Bayung Lencir, Kab Musi Banyuasin, Sumatera Selatan

E-mail : sulistyoetomoputro@gmail.com; ajisaroji@ugm.ac.id,

Intisari

Metode inversi seismik dapat digunakan untuk karakterisasi reservoir hidrokarbon (litologi+fluida). Karakterisasi untuk menghasilkan pemisahan litologi dan fluida dapat menggunakan metode inversi elastik. Estimasi sebaran litologi dan fluida pada reservoir karbonat dilakukan menggunakan metode extended elastic impedance. Crossplot antara lambda rho dengan mu rho mampu memisahkan karbonat berisi gas terhadap litologi karbonat. Karbonat Halen porous berisi gas mempunyai cut off lambda rho 20 - 45 Gpa*g/cc dan mu rho 25 - 40 Gpa*g/cc. Sedangkan karbonat Van porous berisi gas mempunyai cut off lambda-rho 20 - 60 Gpa*g/cc dan mu-rho 15 - 44 Gpa*g/cc. Intercept dan Gradient untuk EEI di ekstrak dari seismik Near Angle Stack dan Far Angle Stack. Sudut optimal dari hasil korelasi silang antara log lambda rho dan log mu rho dengan log EEI mendapatkan sudut sensitif 16° (lambda rho) dan -40° (mu rho). Inversi sparse spike volume reflektifitas pada sudut -40° menghasilkan sebaran karbonat porous pada zona Halen-west, Van-north, Van-southeast. Sedangkan inversi pada volume reflektifitas pada sudut 16° menunjukkan sebaran gas di zona karbonat Halen-west, Van-southeast, Van-north. Zona prospek pada karbonat bertipe build up yang bersifat porous berisi gas.

Kata kunci : extended elastic impedance, lambda rho, mu rho, karbonat

Abstract

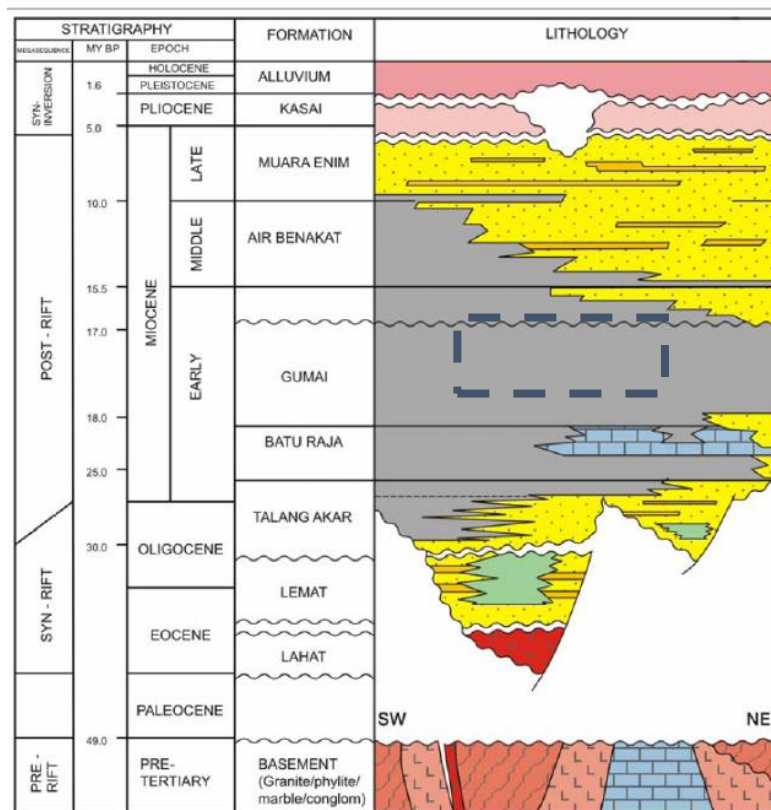
Seismic inversion method used to reservoir hydrocarbon characterization (lithology + fluid). Reservoir characterization to produce discrimination of lithology and fluid need elastic inversion method. Estimation the distribution of lithology and gas in carbonate reservoir has done using extended elastic impedance method. Cross plot between lambda rho with mu rho can discriminate carbonate porous bearing gas toward carbonate lithology. Carbonate Halen porous bearing gas has cut off lambda rho about 20 - 44 Gpa*g/cc and mu rho 25 - 40 Gpa*g/cc. Meanwhile carbonate Van porous bearing gas has lambda rho cut off lambda rho 20 - 60 Gpa*g/cc and mu rho 15 - 44 Gpa*g/cc. Intercept and Gradient for EEI extracted from Near Angle Stack and Far Angle Stack seismic. The optimum angle of cross correlation between lambda rho and mu rho log versus EEI log obtained a sensitive angle 16° (lambda rho) and -40° (mu rho). Sparse spike inversion of reflectivity volume -40° result the distributions porous carbonate in Halen-west, Van-north, Van-southeast zone. Meanwhile, inversion of reflectivity volume 16° showed distributions of gas in Halen-west, Van-southeast, Van-north carbonate zone. Carbonate prospect zone build up type has characteristic porous gas carbonate.

Keywords : extended elastic impedance, lambda rho, mu rho, carbonate.

1. Pendahuluan

Inversi seismik merupakan salah satu metode interpretasi data seismik yang berkembang pesat. Metode ini didefinisikan sebagai suatu pemodelan bawah permukaan bumi menggunakan proses dekonvolusi dari data seismik dengan data sumur sebagai kontrol inversi dan didukung data frekuensi rendah untuk mengakomodasi frekuensi seismik yang bersifat *bandlimited* (Sukmono, 2002). Melalui pemodelan geologi diharapkan karakterisasi reservoir dapat dilakukan dengan baik. Dibandingkan dengan metode inversi *post-stack*, metode inversi *pre-stack* mampu mengkarakterisasi reservoir berdasarkan sifat fisika reservoir. Metode inversi *pre-stack Simultaneous Inversion (PP & PS angle gathers)* banyak diterapkan untuk mendapat volume ZP (Acoustic Impedance), ZS (Shear Impedance), dan ρ (Densitas) (Sudarmaji, dkk, 2013). Data kecepatan gelombang S menjadi komponen penting dalam inversi elastik, komponen ini dapat diperoleh dengan pengukuran langsung atau dengan pendekatan *Biot-Gassmann Fluid Substitution* (Sudarmaji dkk, 2016). Karakterisasi reservoir menggunakan teknik inversi *pre-stack* mampu memisahkan reservoir dengan baik. Penurunan dari inversi *pre-stack* menghasilkan properti *rock physics* yang dipengaruhi oleh sifat fisika dari fluida yang mengisi batuan berdasarkan sifat dari gelombang P dan S. Metode ini sangat baik dilakukan untuk memetakan persebaran reservoir terutama dalam pemisahan litologi dan fluida hidrokarbon.

Sub Cekungan Jambi terdiri dari beberapa formasi yang berdasarkan fase pengendapannya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu fase transgresi dan fase regresi. Fase transgresi mencakup Formasi Talang Akar, Baturaja, dan Gumai, sedangkan fase regresi mencakup Formasi Air Benakat dan Muara Enim. Zona target penelitian ini berada di Formasi Baturaja Sub Cekungan Jambi (Ginger dan Kevin, 2005) Formasi Baturaja.



Gambar 1. Zona target Formasi Baturaja ditandai garis biru hitam putus-putus (Ginger dan Kevin, 2005)

Formasi ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal secara selaras saat kala Awal Miosen. Karbonat Formasi Baturaja pada lapangan Van Halen membentuk *build up*. Lapangan Van Halen mempunyai 3 kompartemen karbonat yaitu Karbonat Van, Karbonat Halen, dan Karbonat Halen-E. Ketiga karbonat ini mempunyai fasies *reefal build up* dengan dasar karbonat bertipe fasies *platform*. Beberapa distribusi fasies batugamping yang terdapat dalam formasi Baturaja diantaranya *mudstone*, *wackestone*, dan *packestone*.

Dong (1996) menunjukkan pendekatan linear dari persamaan Zoeppritz dapat menuntun pada pendekatan properti elastik, seperti persamaan berikut :

$$\Delta K = \frac{(3A+B+2C)\alpha^2\rho}{1.5} \quad (1)$$

$$\Delta\lambda = (2A + B + C)\alpha^2\rho \quad (2)$$

$$\Delta\mu = \frac{(C-B)\alpha^2\rho}{2} \quad (3)$$

dengan,

ΔK : perubahan modulus *bulk* (Gpa)

$\Delta\lambda$: perubahan modulus *lame* (Gpa)

$\Delta\mu$: perubahan modulus *shear* (Gpa)

A : *Intercept*

B : *Gradient*

C : *Curvature*

α : Kecepatan Gelombang P (ft/s)

ρ : Densitas (g/cc)

Substitusi dan eliminasi pada persamaan menghasilkan persamaan koefisien refleksi dari properti elastik modulus *bulk*, modulus *lame*, dan modulus *shear* :

$$R_K = \left(\frac{\Delta K}{2K}\right) = \left(A + \frac{B}{3+2f}\right) \left(\frac{3+2f}{3-4K}\right) \quad (4)$$

$$R_\lambda = \left(\frac{\Delta\lambda}{2\lambda}\right) = \left(A + \frac{B}{2+f}\right) \left(\frac{2+f}{2-4K}\right) \quad (5)$$

$$R_\mu = \left(\frac{\Delta\mu}{2\mu}\right) = \left(A - \frac{B}{f}\right) \left(\frac{f}{4K}\right) \quad (6)$$

dengan, $K = (V_s/V_p)^2$

Suku pertama dari ketiga persamaan diatas dapat dianggap sebagai persamaan orde dua dari pendekatan linear $R = A + B\sin^2\theta$. Sementara suku kedua dapat dianggap sebagai konstanta pengali jika K dan f konstan (Whitcombe, 2002). Maka nilai sudut konstan koefisien refleksi dari ketiga modulus dengan rentang nilai f dari 0-1 yaitu :

$$\sin^2\theta_K = \frac{1}{3+2f}, \quad \theta_K = 26^\circ - 35^\circ \quad (7)$$

$$\sin^2\theta_\lambda = \frac{1}{2+f}, \quad \theta_\lambda = 33^\circ - 45^\circ \quad (8)$$

$$\sin^2\theta_\mu = \frac{-1}{f}, \quad \theta_\mu = \text{tidak ada nilai} \quad (9)$$

Sementara itu pembentukan volume reflektivitas di *Extended Elastic Impedance* menggunakan kombinasi *Intercept* (A), *Gradient* (B), dan sudut sensitif (χ) hasil korelasi silang log *Extended Elastic Impedance* dengan log properti fisika sensitif terhadap litologi dan fluida dengan persamaan :

$$R (EEI) = A + B \tan\chi \quad (10)$$

Pembentukan data *Intercept* dan *Gradient* dapat menggunakan data *partial stacks* (*near angle stack* dan *far angle stack*). Berdasarkan eliminasi dan substitusi persamaan orde dua linearisasi Zoeppritz :

$$R_{near} = A + B \sin^2 \theta \quad (11)$$

$$R_{far} = A + B \sin^2 \theta \quad (12)$$

Maka didapat persamaan *Intercept* dan *Gradient* yaitu :

$$Intercept (A) = R_{near} - \left[\frac{(R_{far} - R_{near})}{(\sin^2 \theta_{far} - \sin^2 \theta_{near})} * \sin^2 \theta_{near} \right] \quad (13)$$

$$Gradient(B) = \left(\frac{R_{far} - R_{near}}{\sin^2 \theta_{far} - \sin^2 \theta_{near}} \right) \quad (14)$$

Extended elastic impedance didefinisikan sebagai *range* antara Impedansi Akustik (*AI*) dan Impedansi Gradien (*GI*) yang dikontrol oleh sudut χ , sebagai fungsi dari θ yang merupakan sudut datang dari target horizon.

Korelasi silang antara log EEI dengan log properti fisika mampu menghasilkan sudut yang sensitif dengan korelasi maksimal. Oleh karena itu, pendekatan properti fisika dapat dilakukan melalui EEI, sehingga dapat dihasilkan sebaran properti fisika tertentu melalui proses inversi seismik. Sehingga didapat persamaan *Extended elastic impedance* :

$$EEI(\chi) = V_{p0} \rho_0 \left[\left(\frac{V_p}{V_{p0}} \right)^p \left(\frac{V_s}{V_{s0}} \right)^q \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^r \right]$$

dengan, $p = (\cos \chi + \sin \chi)$
 $q = -8K \sin \chi$
 $r = (\cos \chi - 4K \sin \chi)$

keterangan,

V_{p0} = Kecepatan gelombang P rata-rata (ft/s)

V_{s0} = Kecepatan gelombang S rata-rata (ft/s)

ρ_0 = Densitas rata-rata (g/cc)

V_p = Kecepatan gelombang P (ft/s)

V_s = Kecepatan gelombang S (ft/s)

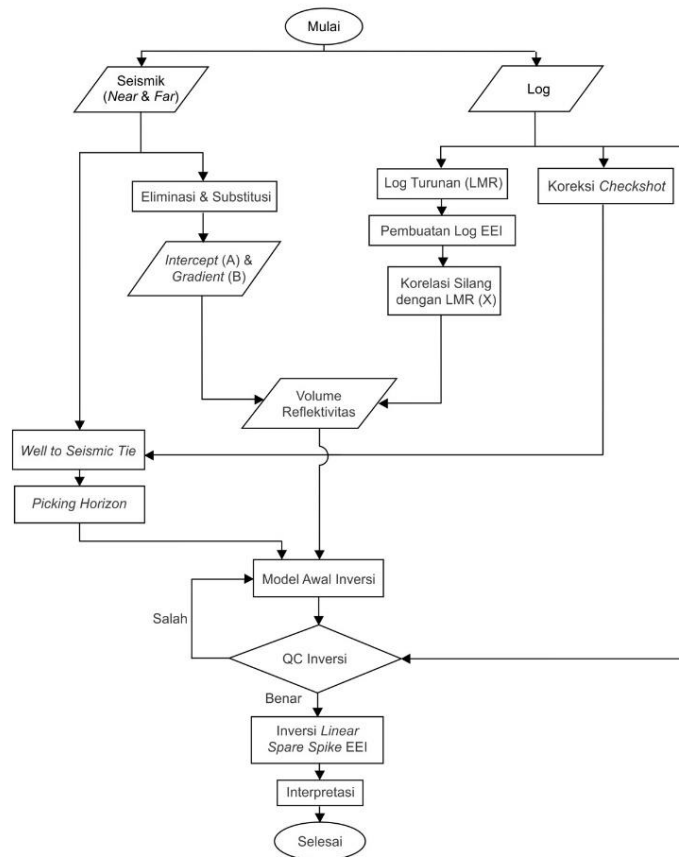
ρ = Densitas (g/cc)

K = $(V_s/V_p)^2$

χ = Sudut EEI dengan rentang -90° hingga 90°

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan analisis sensitivitas log elastik dengan log petrofisika yang sensitive terhadap keberadaan litologi dan fluida. Beralih ke data seismik dari *near stack*, *mid stack*, dan *far stack* dibentuk *intercept* dan *gradient* menggunakan persamaan 13 dan 14. Volume reflektivitas dibentuk menggunakan *intercept* dan *gradient* menggunakan persamaan 10. Proses *well seismic tie* dan *picking horizon* dilakukan pada data *near stack*. Inversi dilakukan pada volume reflektivitas yang sensitif terhadap litologi dan fluida. Hasil inversi di interpretasi dengan kolaborasi data sumur dan geologi regional.

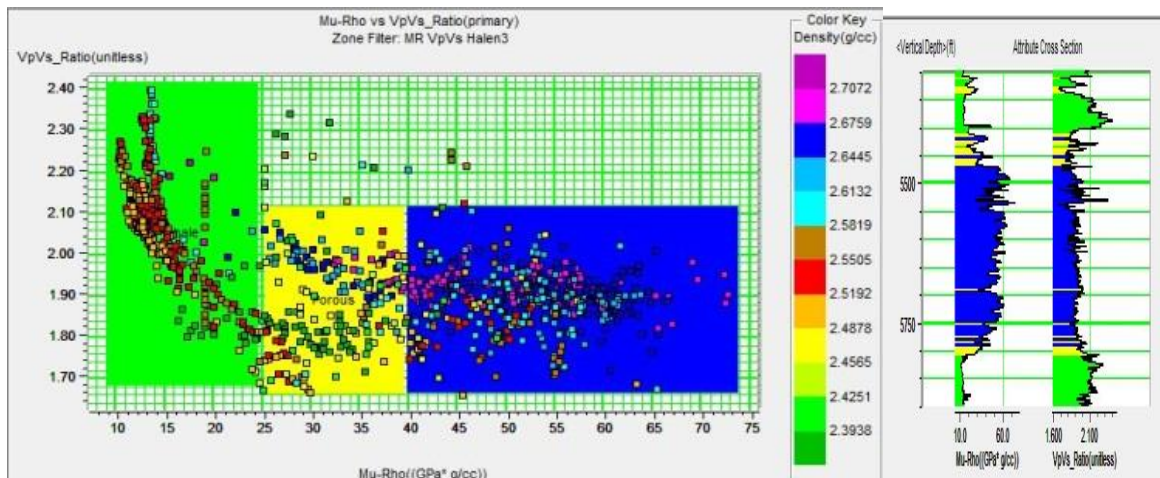


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Crossplot Log μ rho vs Log V_p/V_s (Litologi Karbonat)

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk memetakan persebaran litologi karbonat terlebih karbonat *porous*. Properti fisika μ rho dipilih karena sifatnya yang sensitif terhadap rigiditas karena hanya menggunakan kecepatan gelombang S.

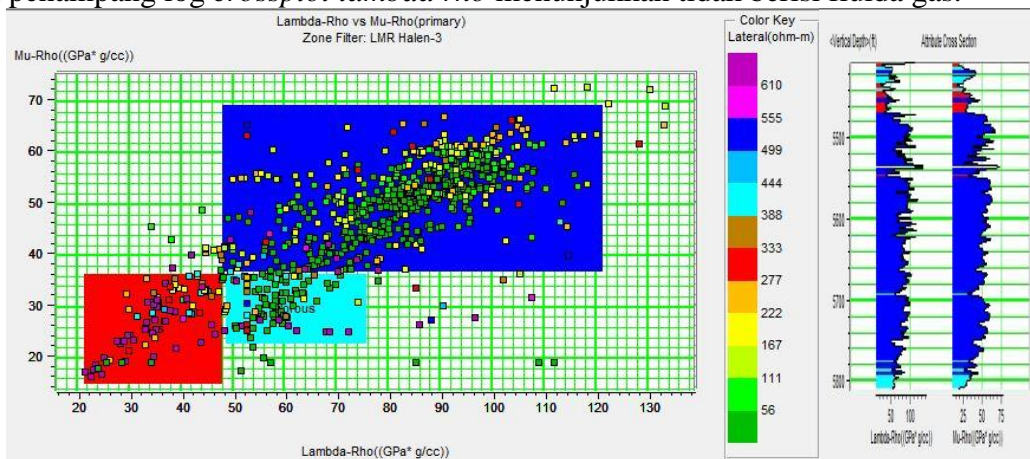


Gambar 3. Crossplot μ Rho versus V_p/V_s sumur Halen-3. Serpilh ditunjukkan oleh warna hijau, warna kuning untuk karbonat porous, dan biru untuk karbonat kompak

Karbonat Van dan Halen mempunyai nilai *mu rho* yang berbeda karena litologi karbonat dan fasies yang berbeda. *Mu rho* mampu memisahkan antara serpih formasi Intra Gumai dan Pendopo dengan karbonat Baturaja dan sensitif terhadap karbonat *porous* dan karbonat kompak. Karbonat *porous* Van-7 mempunyai nilai *mu rho* 25 - 45 Gpa*g/cc dan ditandai densitas yang rendah 2,3 g/cc. Sedangkan pada lapangan Halen, karbonat *porous* mempunyai nilai *mu rho* 22 - 35 Gpa*g/cc. Karbonat *porous* ini yang menjadi target inversi EEI *mu rho* untuk melihat persebarannya.

3.2 Crossplot Log Lambda rho vs Log Mu rho (Fluida Gas)

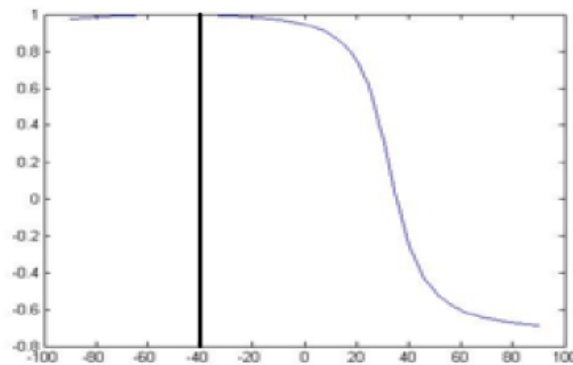
Karbonat *porous* gas mempunyai nilai *lambda rho* berkisar antara 21 - 45 Gpa*g/cc. Sedangkan nilai *mu rho* untuk karbonat *porous* gas berada pada 15 - 37 Gpa*g/cc (Gambar 4). Karakteristik yang terlihat pada sumur Halen-2 tampak juga pada sumur Halen-3 untuk karbonat *porous* non gas dengan nilai *lambda rho* yang tinggi (45 - 79 Gpa*g/cc) dan nilai *mu rho* yang rendah (23 - 36 Gpa*g/cc). *Crossplot* ini juga membuktikan bahwa karbonat *porous* di bagian tengah dan bawah karbonat yang terlihat menggunakan impedansi akustik pada penampang log *crossplot lambda rho* menunjukkan tidak berisi fluida gas.



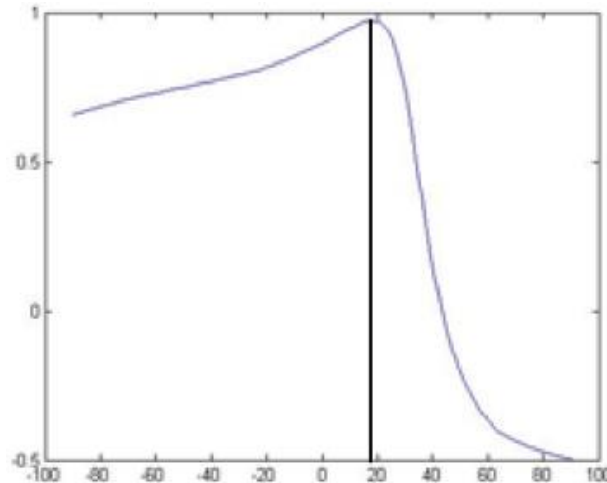
Gambar 4. *Crossplot* Log *Lambda rho* dengan Log *Mu rho* sumur Halen-3 terlihat karbonat porous gas (warna merah), karbonat *porous* kosong (warna biru muda), karbonat kompak (warna biru tua)

3.3 Korelasi Silang Log EEI dengan Log Lambda Mu Rho

Korelasi silang digunakan untuk mencari sudut datang gelombang seismik yang sensitif terhadap properti fisika batuan pada zona target. Korelasi silang Log EEI *versus* Log *Mu rho* (Gambar 5) dilakukan untuk mencari sudut seismik yang sensitif terhadap litologi di



Gambar 5. Korelasi silang antara log EEI dengan log *Mu rho* pada sumur Halen-3 menunjukkan nilai korelasi satu pada sudut -40°

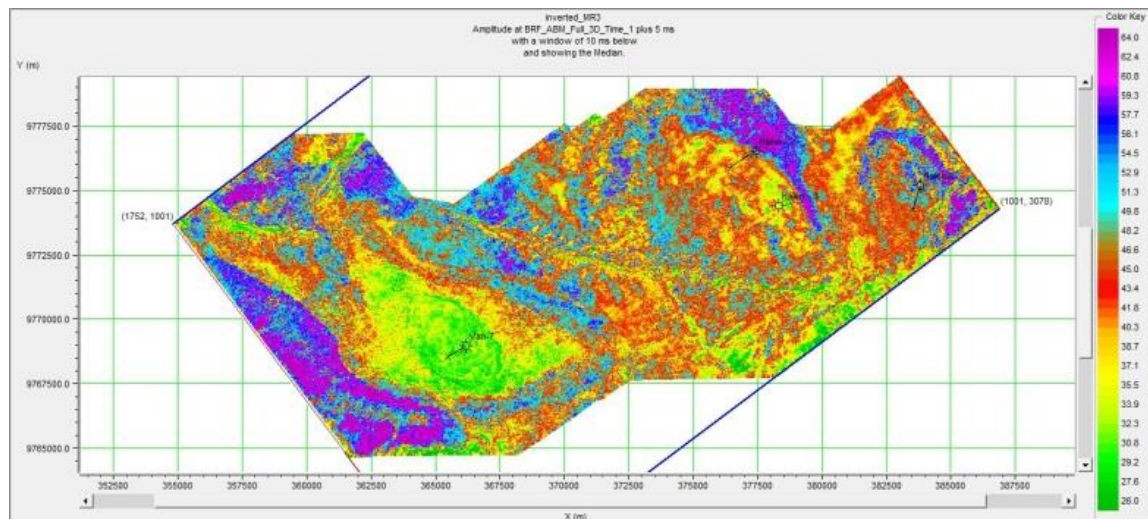


Gambar 6. Korelasi silang antara Log EEI dengan Log Λ ρ sumur Halen-3 (0,973) pada sudut 16° .

mana dihasilkan sudut -40° dengan nilai korelasi mendekati satu di sumur Halen-3. Sementara itu korelasi silang Log EEI *versus* Log Λ ρ dilakukan untuk mencari sudut seismik yang sensitif terhadap gas dengan hasil 15° di sumur Halen-3 mendapat sudut 16° (Gambar 6).

3.4 Inversi Extended Elastic Impedance

Hasil inversi volume reflektivitas μ ρ didukung dengan nilai *cut off* sensitivitas μ ρ di ketiga sumur menunjukkan karbonat *porous* terlihat pada kompartemen Van dan Halen. Terdapat karbonat di selatan dan barat dari kompartemen Van yang bersifat *porous*. Sementara di sebelah timur dari kompartemen Karbonat Halen terdapat karbonat yang bersifat kompak ditandai dengan nilai μ ρ yang tinggi.



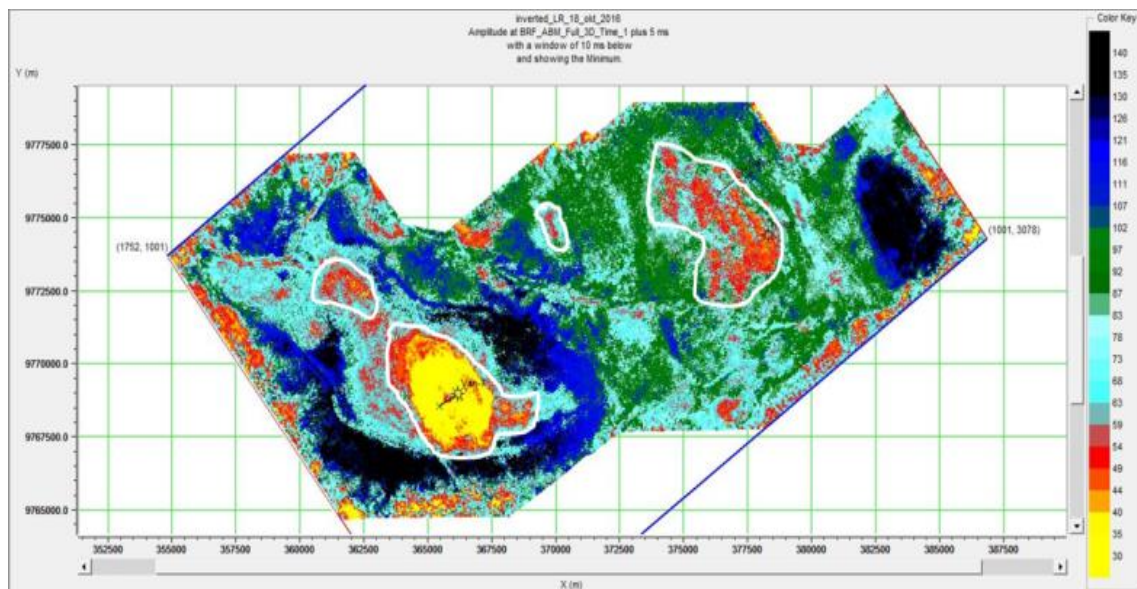
Gambar 7. Slice inversi volume reflektivitas -40° μ ρ pada horison Baturaja + 5 ms

Penampang hasil inversi volume reflektivitas -40° (Gambar 7) menunjukkan tubuh Karbonat Van terdiri dari karbonat porous yang cukup tebal ditandai dengan nilai μ ρ yang rendah. Karbonat porous ini merupakan bentuk dari karbonat *build up* akibat

pengendapan *reefal*. Pada bagian dasar karbonat bertipe *platform* ditandai tipe karbonat yang lebih kompak dengan nilai *mu rho* yang tinggi.

Hal ini diduga proses pengendapan Karbonat Van berada pada lingkungan laut dangkal yang sangat optimal, sehingga pembentukan *reefal* menjadi sangat bagus. Setelah karbonat *reefal build up* terbentuk, air laut kemudian turun sehingga tubuh karbonat ini terangkat ke permukaan, membentuk porositas sekunder. Pada bagian utara kompartemen Karbonat Van juga menunjukkan indikasi karbonat dengan porositas kecil yang ditandai dengan nilai *mu rho* yang tinggi. Berdasarkan hasil inversi volume reflektivitas *mu rho* menunjukkan pada bagian bawah formasi baturaja terendapkan karbonat fasies *build up*.

Inversi volume reflektivitas *lambda rho* (Gambar 8) menunjukkan sebaran fluida gas yang mengisi pada kedua karbonat tersebut. Pada Karbonat Halen fluida gas mengisi di daerah puncak dari *build up* yang berada di timur laut Karbonat.



Gambar 8. Slice inversi volume reflektivitas 16° pada horizon Baturaja + 5 ms. Batas putih menunjukkan keberadaan anomali gas

4. Kesimpulan

Penelitian ini mendasarkan pada aplikasi inversi *extended elastic impedance* menggunakan data seismik *gathers* beserta data sumur V_p , V_s , dan Densitas. Properti elastik yang sensitive terhadap litologi dan fluida pada reservoir akan menghasilkan nilai sudut tertentu. Sehingga fungsi karakterisasi mampu menonjolkan efek fluida yang terdapat didalam reservoir. Properti elastik yang sensitif terhadap karbonat pada penelitian ini yaitu *lambda rho* dengan nilai rendah berasosiasi keberadaan gas.

Daftar Pustaka

- Bishop, M. G., 2001, *South Sumatra Basin Province, Indonesia : The Lahat/Talang Akar-Cenozoic Total Petroleum System*, United States Geological Survey, Washington.
- Dong, W., 1996, *A Sensitive Combination of AVO Slope and Intercept For Hydrocarbon Indicator*, 58th Conference and Technical Exxhibition, Eur. Assn. Geoscience. Eng, paper M044
- Ginger, D dan Fielding, K, 2005, *The Petroleum System and Future Potential of The Sumatra Basin*, Proceedings Indonesian Petroleum Association 33th Annual Convention & Exhibition

- Shuey, R.T., 1985, A Simplification of The Zoeppritz Equation, *Geophysics*, 50, 609-614
- Sudarmaji, Sismanto, Waluyo, dan Bambang Soedijono, 2016, Analysis of Permeability Variation of Gas Sand Reservoir toward the Low Frequency Seismic Reflection Based on Well and Seismic Data. *International Journal of Applied Engineering Research*, 6204-6209.
- Sudarmaji, Sismanto, Waluyo, dan Bambang Soedijono, 2016, Improving the Reliability of Synthetic S-Wave Extraction Using Biot-Gassman Fluid Substitution. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 52-56.
- Sudarmaji, Budi Eka Nurcahya, dan Sismanto, 2013, *Application of Biot-Gassman Substitution Method in Generating Synthetic of S-Wave Sonic Log for Simultaneous AVO Inversion*. Proceedings 3rd Annual Basic Science International Conference
- Sukmono, S., 2002, *Seismic Inversion & AVO Analysis for Reservoir Characterization*, Bandung: Department of Geophysical Engineering ITB
- Whitcombe, D. N, Patrick A. Connolly, Roger L. Reagan, dan Terry C. Redshaw, 2002, *Extended Elastic Impedance for Fluid and Lithology Prediction*, British Petroleum
- Zoeppritz, R., 1919, *On the Reflection and Propagation of Seismic Waves*, *Erdbebenwellen VIII B*; *Göttinger Nachrichten I*, 66-68