

KARAKTERISASI RESERVOIR MENGGUNAKAN METODE INVERSI LAMBDA MU RHO (LMR) DAN ELASTIC IMPEDANCE PADA LAPANGAN 'X'

Dian L. Silalahi¹⁾, Udi Harmoko¹⁾ dan M. Razi²⁾

¹⁾Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

²⁾Divisi Geologi dan Geofisika, PT Pertamina EP Region Jawa, Cirebon

E-mail: ian90.766hi@gmail.com

ABSTRACT

Lambda Mu Rho (LMR) inversion method has been used to diagnose the validity of the brightspot concept as the indication of the existence of hydrocarbon fluid and to find the sandstone lithology distribution of 'X' field with validation lithology by using the result of Elastic Impedance (EI) inversion. In fact the existence of brightspot apparently not always be the indication of the hydrocarbon fluid and sand stone. The application of Lambda Mu Rho inversion method was able to indicate the existence of the hydrocarbon fluid and lithology well by using the incompressibility and rigidity of the rocks. The target zone was Z2260 layer with lithologies of sandstone and shale.

Inversion analysis showed the distribution of fluid hydrocarbon and sandstone through indication of the low value of the incompressibility and high value of the rigidity in the target zone. The value of incompressibility and rigidity is obtained from the data log crossplot which is then used as a reference to determine the distribution of the hydrocarbon and lithology through map inversion. To give a certain type of lithologies we made validation using the result of EI inversion which is sensitive to distinguish the lithologies.

*LMR inversion result showed hydrocarbon fluid distribution in layer Z2260 with Lambda Rho value 33 to 44 Mpa*gr/cc, the distribution of sandstone lithology with Mu Rho value 30 to 35 Mpa*gr/cc. The lithology was validated by the result of EI inversion which able to show the distribution of sandstone lithology in the Z2260 layer with value 8000 to 9800 (m/s)²*gr/cc.*

Keywords: *Inversion, Lambda Mu Rho (LMR), Elastic Impedance (EI), sandstone, hydrocarbon.*

ABSTRAK

Metode inversi Lambda Mu Rho (LMR) telah digunakan untuk mendiagnosa kebenaran konsep brightspot sebagai indikasi dari keberadaan fluida hidrokarbon sekaligus untuk mengetahui persebaran litologi batu pasir di Lapangan X dengan validasi litologi menggunakan hasil inversi Elastic Impedance (EI). Keberadaan brightspot ternyata tidak selamanya menjadi indikasi keberadaan fluida hidrokarbon yang berada di zona batu pasir. Penggunaan metode inversi Lambda Mu Rho dapat mengindikasikan fluida hidrokarbon dan litologi dengan baik dengan menggunakan pendekatan inkompresibilitas serta rigiditas batuan. Zona target merupakan lapisan Z2260 dengan litologi perselingan batu pasir dan batu lempung.

Analisis inversi LMR memperlihatkan indikasi persebaran fluida hidrokarbon dan litologi batu pasir pada zona target. Hal ini ditunjukkan oleh nilai inkompresibilitasnya yang rendah dan tingginya nilai rigiditas pada zona target. Nilai inkompresibilitas dan rigiditas ini didapatkan dari hasil crossplot data log yang kemudian digunakan sebagai acuan saat menentukan persebaran hidrokarbon dan litologi melalui peta penampang inversi. Untuk memberikan kepastian litologi dilakukan validasi menggunakan inversi EI yang sensitif membedakan litologi.

*Hasil inversi LMR memperlihatkan indikasi persebaran fluida hidrokarbon pada lapisan Z2260 dengan nilai Lambda Rho 33 sampai 44 Mpa*gr/cc, persebaran litologi batu pasir dengan nilai Mu Rho 30 sampai 35 Mpa*gr/cc. Litologi ini divalidasi oleh hasil inversi EI yang memperlihatkan sebaran litologi batu pasir di lapisan Z2260 dengan nilai impedansi 8000 sampai 9800 (m/s)²*gr/cc.*

Kata kunci: *Inversi, Lambda Mu Rho (LMR), Elastic Impedance (EI), batu pasir, hidrokarbon.*

PENDAHULUAN

Proses karakterisasi reservoir memerlukan suatu metode untuk dapat mencitrakan parameter fisika batuan yang memberikan efek yang diakibatkan oleh litologi maupun fluida. Dari sudut seismik eksplorasi, kenaikan porositas secara lokal menyebabkan pantulan yang kuat terhadap gelombang seismik, gejala ini disebut *bright spot*, dan dikenal sejak tahun 1976 sebagai indikasi adanya akumulasi gas dibawah permukaan yang terlihat oleh data seismik. Namun demikian, dalam kenyataannya tidak semua *bright spot* mengandung gas, banyak kondisi-kondisi bawah permukaan yang lain dapat memberikan efek *bright spot*, misal sisipan tipis batubara, batuan berpori atau rekah-rekah, lapisan garam, konglomerat, turbidit, ataupun efek tuning dari lapisan tipis. Ini berarti bahwa konsep *bright spot* bukanlah merupakan indikator langsung hidrokarbon yang dapat dijadikan jaminan.[1]

Pada tahun 1997, Goodway memperkenalkan suatu metode baru dalam inversi AVO berdasarkan pendekatan parameter Lamda, Mu dan Rho (LMR). Parameter Lamda Rho ($\lambda\rho$) atau inkompresibilitas bisa mengindikasikan keberadaan fluida karena nilainya merefleksikan resistensi fluida terhadap perubahan volume karena *compressional stress*. Semakin mudah dikompresi maka semakin kecil nilai inkompresibilitasnya. Parameter Mu Rho ($\mu\rho$) atau rigiditas sangat sensitif terhadap matrik batuan dan bisa digunakan untuk menentukan jenis batuanya.[2]

Pada tahun 1999, Conolly memperkenalkan teknik inversi *Elastic Impedance* (EI) dengan menggunakan data *pre stack* dan data sumur sebagai inputnya dengan cara melakukan *partial stack* data seismik pada sudut datang tertentu. Teknik inversi *Elastic Impedance* adalah generalisasi dari inversi Impedansi Akustik pada sudut tidak sama dengan nol.[3]

Dengan melakukan inversi seismik LMR dan EI diharapkan bisa memberikan informasi dan gambaran yang lebih baik tentang kondisi dan penyebaran reservoir pada daerah yang diteliti.

TINJAUAN PUSTAKA

Fisika Batuan (*Rock Physics*)

Analisis AVO bertumpu pada perubahan amplitudo sinyal terpantul terhadap jarak dari sumber gelombang ke *geophone* penerima (*offset*). Variasi

amplitudo refleksi seismik terhadap *offset* ataupun sudut datang bergantung pada parameter-parameter batuan. Parameter-parameter ini bergantung pada properti batuan seperti kandungan fluida dalam pori, litologi, dan porositas. Analisa AVO untuk mengekstraksi properti batuan memerlukan pemahaman yang baik mengenai hubungan parameter seismik dengan properti batuan.

Densitas Batuan

Densitas (ρ) didefinisikan sebagai massa batuan per unit volumenya. Besar densitas suatu batuan dipengaruhi oleh komposisi dari mineral yang berbeda-beda, porositas batuan dan jenis fluida yang mengisi ruang pori batuan. Persamaan densitas (ρ) ditulis sebagai persamaan 1 :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

dengan ρ adalah densitas (kg/m^3), m adalah *massa* (kg), dan V adalah volume (m^3).

Densitas *bulk* batuan adalah rata-rata dari densitas kandungan yang terdapat di dalamnya. Gas mempunyai modulus *bulk* yang lebih rendah dibandingkan dengan modulus *bulk* minyak, sementara modulus *bulk* air lebih tinggi dibandingkan dengan modulus *bulk* minyak. Sehingga kecepatan gelombang P (V_p) dan gelombang S (V_s) pada medium yang tersaturasi gas, lebih rendah dibandingkan medium yang tersaturasi minyak dan air. Perbedaan nilai kecepatan gelombang P (V_p) dalam batuan yang terisi hidrokarbon dan air berkaitan dengan perbedaan modulus *bulk* hidrokarbon dan air.

Kecepatan Gelombang P (V_p) dan Gelombang S (V_s)

Gelombang secara umum adalah fenomena perambatan gangguan (usikan) dalam medium sekitarnya. Gangguan ini mula-mula terjadi secara lokal yang menyebabkan terjadinya osilasi (pergeseran) kedudukan partikel-partikel medium, osilasi tekanan maupun osilasi rapat massa. Karena gangguan merambat dari suatu tempat ke tempat lain, berarti ada transportasi energi yang terjadi.

Proses perambatan gelombang yang terjadi selama proses perekaman data seismik dikontrol oleh sifat elastisitas batuan yang berarti bahwa

bagaimana batuan terdeformasi (perubahan bentuk) yang dihasilkan dari gaya yang bekerja pada batuan tersebut. Hal ini berarti bahwa batuan lunak akan mempunyai reaksi *strain* yang berbeda dibandingkan batuan yang lebih keras. Teori elastisitas berhubungan dengan deformasi yang disebabkan oleh tekanan terhadap suatu batuan.

Besar kecepatan gelombang P (V_p) dan kecepatan gelombang S (V_s) diberikan dalam persamaan (2) dan (3):

$$V_p = \sqrt{\frac{\kappa + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (2)$$

dan

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (3)$$

dengan λ adalah koefisien lame, κ adalah modulus bulk, μ adalah modulus geser dan ρ adalah densitas.

Dari persamaan (2) dan (3) dapat disusun kembali hubungan antara V_p dan V_s sebagai berikut:

$$V_p = V_s \sqrt{\frac{\kappa/\mu + 4/3}{1}} \quad (4)$$

Rasio V_p/V_s mengandung informasi tentang litologi, fasies, kandungan pori (terutama kehadiran gas) dan sifat mekaniknya.

Lambda Mu Rho

Review Matematis Persamaan Lambda Rho dan Mu Rho

Pada tahun 1997 Goodway memperlihatkan bahwa parameter $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ memiliki hubungan dengan impedansi gelombang P (I_p) dan impedansi gelombang S (I_s) yang dapat dinyatakan dengan persamaan (5) dan (6):

$$\lambda\rho = I_p^2 - 2I_s^2 \quad (5)$$

$$\mu\rho = I_s^2 \quad (6)$$

Arti Fisis Lambda Mu Rho

Hasil dari inversi AVO dapat digunakan untuk menurunkan parameter rigiditas (μ) dan modulus Lamé (λ) (Goodway dkk., 1997). Gray dan Andersen (2001) menyatakan bahwa rigiditas (μ) atau modulus geser didefinisikan sebagai resistensi batuan terhadap sebuah *strain* yang mengakibatkan perubahan bentuk tanpa merubah volume total dari batuan tersebut. Rigiditas

digunakan untuk membedakan kualitas lapisan pasir karena secara umum tidak dipengaruhi oleh fluida reservoir. Sedangkan modulus Lamé (λ) yang berkaitan erat dengan inkompresibilitas mengandung informasi lebih banyak mengenai kandungan fluida batuan. Inkompresibilitas juga disebut sebagai modulus Bulk yaitu resistensi batuan terhadap perubahan volume yang disebabkan oleh perubahan tekanan dan merupakan kebalikan dari kompresibilitas.[4]

Interpretasi Lambda Mu Rho

Konsep inkompresibilitas dan rigiditas ditunjukkan dengan $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$. Pada reservoir seismik, keberadaan dan perubahan fluida dan litologi akan mempengaruhi nilai $\lambda\rho$. Batuan berpori yang terisi fluida tidak mudah mengalami kompresi. Akan tetapi, fluida gas dapat dengan mudah mengalami kompresi. Oleh karena itu keberadaan gas pada batuan seperti batupasir menyebabkan penurunan nilai inkompresibilitas yang signifikan. Gas yang mengisi batuan berpori akan menghasilkan respon AVO yang signifikan ditunjukkan dengan kontras antara inkompresibilitas dan rigiditas.

Pada *crossplot* $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ dapat menunjukkan litologi yang berbeda dan terpisah sepanjang batas ortogonal dengan jelas. Oleh karena itu kedua parameter ini dapat digunakan sebagai interpretasi untuk mengidentifikasi zona menarik secara terpisah maupun menggabungkan keduanya dengan *crossplot* yang dapat memperkuat interpretasi awal. Sebagai contoh, zona inkompresibilitas rendah menunjukkan keberadaan gas dan batubara, tetapi dengan menggunakan informasi tambahan pada rigiditas, pasirgas dapat dipisahkan dengan jelas dari batubara karena pasirgas mempunyai rigiditas tinggi sedangkan batubara memiliki rigiditas yang rendah.

Persamaan Zoeppritz

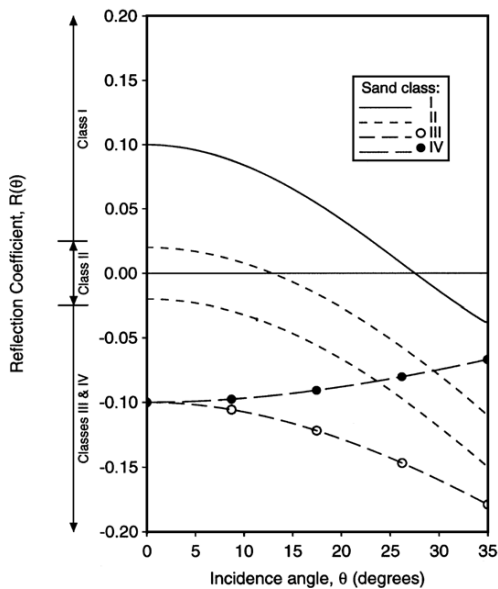
Persamaan dasar AVO pertama kali diperkenalkan oleh Zoeppritz (1919) dengan menggambarkan koefisien refleksi dan transmisi sebagai fungsi dari sudut datang pada medium elastik.[5]. Zoeppritz (1919) menurunkan nilai koefisien refleksi dan transmisi dengan mengamati

tekanan dan pergeseran yang terjadi di sepanjang batas lapisan antara dua medium, baik pada arah normal maupun *tangensial*. Persamaan yang menggambarkan koefisien refleksi dan transmisi sebagai fungsi dari sudut datang pada medium elastik dituliskan dalam bentuk persamaan matriks (7):

$$\begin{bmatrix} R_{PP} \\ R_{PS} \\ T_{PP} \\ T_{PS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta_1 & \cos \phi_1 & -\sin \theta_2 & \cos \phi_2 \\ -\cos \theta_1 & \sin \phi_1 & -\cos \theta_2 & -\sin \phi_2 \\ \sin 2\theta_1 & \frac{v_{p1}}{v_{s1}} \cos 2\phi_1 & \frac{\rho_2 v_{s2}^2 v_{p1}}{\rho_1 v_{s1}^2 v_{p2}} \sin 2\phi_1 & -\frac{\rho_2 v_{s2}^2 v_{p1}}{\rho_1 v_{s1}^2} \cos 2\phi_2 \\ \cos 2\phi_1 & -\frac{v_{s1}}{v_{p1}} \sin 2\phi_1 & -\frac{\rho_2 v_{p2}}{\rho_1 v_{p1}} \cos 2\phi_2 & -\frac{\rho_2 v_{s2}}{\rho_1 v_{p1}} \sin 2\phi_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sin \theta_1 \\ -\cos \theta_1 \\ \sin 2\theta_1 \\ -\cos 2\theta_1 \end{bmatrix}$$

Klasifikasi AVO

Rutherford dan Williams (1989) mempublikasikan klasifikasi anomali AVO yang membagi anomali AVO (berdasarkan kandungan minyak dan gas) menjadi tiga kelas yaitu: kelas I, (*high impedance contrast sands*); kelas II, (*near-zone impedance contrast sands*); dan kelas III, (*low impedance contrast sands*). Tahun 1998 Castagna et al. memperkenalkan *sandstone* kelas IV setelah ia melakukan *crossplot* AVO berdasarkan klasifikasi Rutherford dan Williams.[6]



Gambar 1. Koefisien refleksi gelombang bidang pada puncak masing-masing klasifikasi gas *sand* oleh Rutherford & Williams (1989).[7]

Elastic Impedance (EI)

Connolly (1999) mengenalkan konsep EI sebagai generalisasi AI untuk beberapa sudut datang.[8]. EI merupakan pendekatan yang diturunkan

dari linierisasi persamaan Zoeppritz (pendekatan Aki dan Richards, 1980). EI merupakan fungsi dari kecepatan gelombang P (V_p), gelombang S (V_s), densitas dan sudut datang (θ) sehingga dapat dihasilkan seismogram sintetik untuk beberapa sudut datang.[9].

Perbedaan prinsip dasar Impedansi Elastik (EI) dengan Impedansi Akustik (AI) adalah pada Impedansi Elastik (EI) gelombang datang tidak diasumsikan tegak lurus terhadap bidang pantul sehingga mengikuti hukum snellius yang mengatakan bahwa ketika suatu gelombang melewati batas antara 2 medium isotropik, gelombang akan berubah arah dan akan menghasilkan gelombang P dan gelombang S yang dipantulkan maupun diteruskan.

EI dapat dinormalisasikan nilai impedansinya untuk semua sudut seperti pada persamaan (8):

$$EI(\theta) = v_{p0} \rho_0 \left[\left(\frac{v_p}{v_{p0}} \right)^p \left(\frac{v_s}{v_{s0}} \right)^q \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^r \right]$$

dengan:

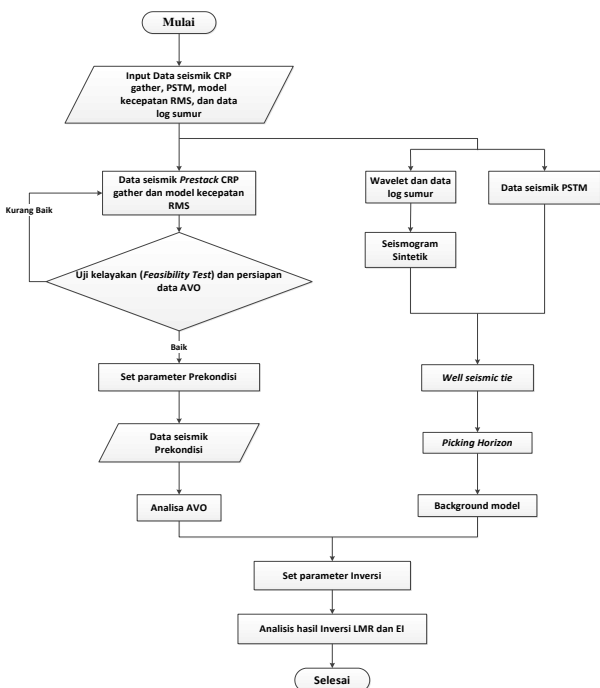
$p = 1 + \sin^2 \theta$, $q = -8\kappa \sin^2 \theta$, $r = 1 - 4\kappa \sin^2 \theta$, v_p adalah kecepatan gelombang P, v_{p0} adalah kecepatan gelombang P referensi, v_s adalah kecepatan gelombang S, v_{s0} adalah kecepatan gelombang S referensi, ρ adalah densitas, dan ρ_0 adalah densitas referensi.

METODE PENELITIAN

Daerah penelitian berada pada lapangan 'X'. Lapisan penelitian berada pada formasi Talang Akar litologi perselingan batulempung, dan batupasir.

Prosedur penelitian dimulai dengan pengolahan data sumur pada zona target yang digunakan sebagai pengontrol proses pengolahan data seismik yang akan digunakan pada proses inversi. Dari hasil pengolahan data sumur akan digunakan pada proses well seismic tie yaitu proses pengikatan data sumur dengan data seismik. Setelah proses well seismic tie sudah dilakukan dengan benar dilanjutkan dengan proses picking horizon yang nantinya digunakan sebagai salah satu input dalam pembuatan background model.

Pada proses inversi parameter yang digunakan adalah Lambda Rho, Mu Rho, dan EI yang digunakan untuk validasi litologi dari hasil inversi Mu Rho. Selanjutnya dilakukan analisis *crossplot* dari beberapa parameter-parameter fisika batuan dari data log yang ada. Hasil inversi Lambda Rho, Mu Rho dan EI berupa penampang hasil inversi dan peta *time* hasil inversi. Untuk lebih jelasnya alur sistematika penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



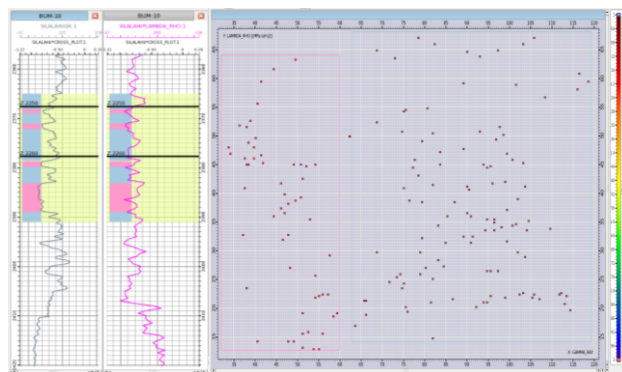
Gambar 2. Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN Crossplot Data Sumur

Sebelum melakukan proses inversi lambda mu rho (LMR) dan *elastic impedance* (EI), terlebih dahulu dilakukan proses *crossplot* log lambda rho, log mu rho, dan log *elastic impedance* dengan log *gamma ray* untuk melihat apakah log-log tersebut dapat memisahkan litologi dengan baik atau tidak. Khusus untuk log *elastic impedance*, dilakukan *crossplot* untuk sudut yang berbeda-beda dimulai dari sudut 5°, 10°, 15°, 20°, 25° dan 30°, kemudian dilihat perbandingan hasil *crossplot* antara sudut-sudut tersebut. *Crossplot* dilakukan dengan log *Gamma Ray* karena log ini sudah terbukti dapat memisahkan litologi dengan baik.

Dari hasil *crossplot* log Lambda Rho dan log *Gamma Ray* pada gambar 3 ditunjukkan bahwa zona target yang berlitologi batu pasir dan batu lempung

dapat dipisahkan dengan baik, dimana batu pasir ditunjukkan dengan warna merah muda (*pink*) dan batu lempung berwarna biru muda. Parameter *Lame*, Lambda menunjukkan inkompresibilitas batuan yang sensitif terhadap batuan bertipe pori dan berfluida. Zona batu pasir yang teridentifikasi mengandung fluida hidrokarbon ini ditunjukkan pada nilai Lambda Rho sekitar 0 Mpa*gr/cc sampai

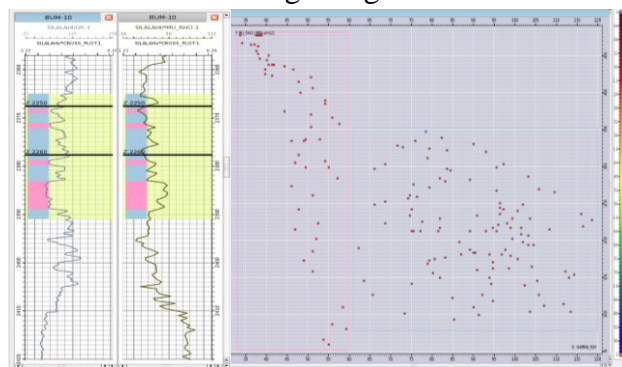


60Mpa*gr/cc.

(a) (b)

Gambar 3.(a) Hasil *cross section* log Lambda Rho dengan log *Gamma Ray*.

(b) Hasil *crossplot* log Lambda Rho dengan log *Gamma Ray*.



(a) (b)

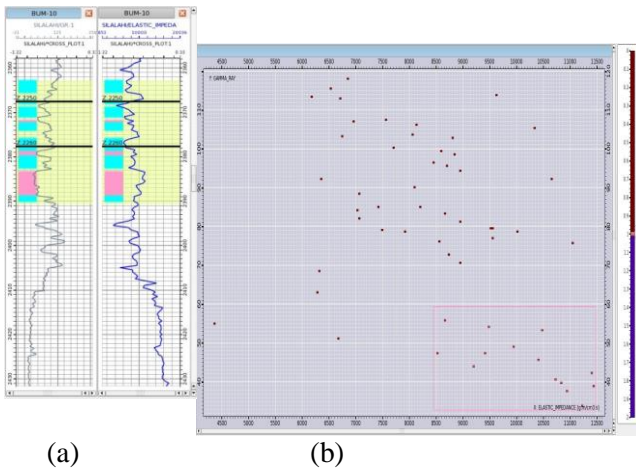
Gambar 4.(a) Hasil *cross section* log Mu Rho dengan log *Gamma Ray*

(b) Hasil *crossplot* log Mu Rho dengan log *Gamma Ray*

Crossplot log Mu Rho dan log *Gamma Ray* (Gambar 4) dilakukan untuk memisahkan litologi, dalam kasus ini adalah batu pasir (*sandstone*) dan batu lempung (*shale*). Pada hasil *crossplot* log dapat dilihat bahwa batu pasir (merah muda) dan batu lempung (biru) dapat dipisahkan dengan baik.

Zona batu pasir ditunjukkan dengan nilai Mu Rho sekitar 5 Mpa*gr/cc sampai 60 Mpa*gr/cc.

Crossplot log *Elastic Impedance* dan log *Gamma Ray* (Gambar 5) dilakukan dengan sudut yang berbeda-beda, mulai dari sudut 5°, 10°, 15°, 20°, 25° dan 30°. Dari semua hasil *crossplot* yang dilakukan, yang paling baik memisahkan litologi batu pasir (merah muda) dan batu lempung (biru) adalah *crossplot* dengan sudut 5°. Hal ini dikarenakan *crossplot* pada sudut tersebut dapat memisahkan persebaran litologi batu pasir dan batu lempung dengan lebih baik jika dibandingkan dengan *crossplot* menggunakan sudut yang lebih besar dan dapat ditentukan dengan jelas range nilai impedansi antara batu pasir dan batu lempung. Berdasarkan hasil *crossplot* antara log *Elastic Impedance* dan log *Gamma Ray* dapat dilihat bahwa litologi batu pasir (warna merah muda) memiliki nilai impedansi 8400 (m/s)²*gr/cc – 11500 (m/s)²*gr/cc dan batu lempung (warna biru) memiliki nilai impedansi 6000 (m/s)²*gr/cc – 9000 (m/s)²*gr/cc.



Gambar 5. (a) Hasil *cross section* log *Elastic Impedance* 5° dengan log *Gamma Ray*
 (b) Hasil *crossplot* log *Elastic Impedance* 5° dengan log *Gamma Ray*.

Semua proses *crossplot* dilakukan di zona lapisan Z.2260 dengan kedalaman 2365-2392 meter dan waktu 1825.722-1835.172 ms.

Analisis Background Model dan Parameter Inversi

Dari proses korelasi antara log Lambda Rho hasil ekstraksi background model dengan log Lambda Rho turunan dari log utama (Gambar 6) didapat nilai

korelasi sebesar 0.779. Proses korelasi antara log Mu Rho hasil ekstraksi background model dengan log Mu Rho turunan dari log utama (Gambar 7) didapat nilai korelasi sebesar 0.901. Proses korelasi antara log EI (5°) hasil ekstraksi background model dengan log EI (5°) turunan dari log utama (Gambar 8) didapat nilai korelasi sebesar 0.880. Nilai korelasi yang didapatkan sudah bagus sehingga background model dapat digunakan sebagai input pada proses inversi..Nilai korelasi yang didapatkan jika sudah mendekati nilai 1 maka korelasinya semakin baik sehingga background model dapat digunakan sebagai input pada proses inversi.

Analisis Hasil Inversi

Analisis Hasil Inversi Lambda Rho dan Mu Rho

Pada gambar 9 penampang hasil inversi Lambda Rho terlihat bahwa zona batu pasir dan batu lempung tidak terpisah. Pada hasil *crossplot* data log dapat dilihat bahwa zona target memiliki litologi batu pasir dan batu lempung yang saling berseling, sementara pada hasil inversi ternyata pemisahan kedua litologi ini sulit dilihat. Hal ini dapat terjadi karena kemungkinan bahwa Lambda Rho bukan parameter yang baik untuk memisahkan batu pasir dan batu lempung pada daerah yang diteliti. Hal lain yang dapat menyebabkan hal ini adalah karena banyaknya perselingan antara batu pasir dan batu lempung pada zona target yang memang sudah dilaporkan pada hasil penelitian petrofisik perusahaan. Namun berdasarkan marker Z2260 yang digunakan kita masih tetap dapat mengidentifikasi bahwa zona target yang berupa batu pasir mengandung fluida hidrokarbon, karena pada hasil penampang inversi dapat terlihat bahwa zona target memiliki nilai Lambda Rho yang rendah yaitu sekitar 20 Mpa*gr/cc – 60 Mpa*gr/cc, dimana nilai ini masih berada pada *range* nilai hasil *crossplot* data log yaitu sekitar 0 Mpa*gr/cc – 60 Mpa*gr/cc.

Pada penampang hasil inversi pada gambar 10 dapat terlihat bahwa hasil inversi Mu Rho dapat memisahkan litologi batu pasir (kuning kehijauan) dan batu lempung (merah) pada zona target dengan baik. Pada hasil penampang inversi ini, nilai Mu Rho batu pasir berkisar antara 44 Mpa*gr/cc – 60 Mpa*gr/cc, sementara nilai batu pasir dari hasil

crossplot data log adalag 5 Mpa*gr/cc – 60 Mpa*gr/cc. Melalui nilai sebaran Mu Rho dari hasil inversi dan hasil *crossplot* data log dapat dilihat bahwa nilainya bersesuaian.

Analisis Hasil Inversi *Elastic Impedance*

Pada gambar 11 dibawah ini memperlihatkan penampang hasil inversi EI pada sudut 5°. Pada penampang hasil inversi EI (5°) batu pasir ditunjukkan dengan warna merah pada zona target Z2260. Nilai sebaran inversi EI untuk batu pasir berada diantara nilai 7000 (m/s)²*gr/cc – 9000 (m/s)²*gr/cc.

Pada hasil penampang dapat dilihat bahwa inversi EI dapat memisahkan litologi batu pasir dan batu lempung pada zona target yang ditandai dengan garis putus-putus dengan baik. Pada hasil inversi EI batu pasir ditandai dengan range nilainya yang paling rendah, sedangkan batu lempung memiliki nilai sebaran EI yang tinggi yang berada tepat diatas batu pasir yang ditandai dengan warna kuning sampai hijau.

Analisis Map Inversi Lambda Rho, Mu Rho dan *Elastic Impedance*

Hasil map inversi Lambda Rho (Gambar 12) menunjukkan bahwa zona target pada sumur BUM-10 menunjukkan adanya sebaran litologi batu pasir ke arah Barat Daya. Ditinjau dari nilai inkompresibilitasnya yang relatif rendah (merah) (30 MPa*gr/cc-44 MPa*gr/cc) dapat teridentifikasi bahwa zona target memiliki kandungan fluida hidrokarbon.

Daerah zona target ditandai dengan garis putus-putus berwarna hitam yang menunjukkan bahwa zona target berupa batu pasir yang mengandung hidrokarbon yang didukung oleh rendahnya nilai inkompresibilitasnya (Lambda Rho).

Gambar map hasil inversi Mu Rho (Gambar 13) menunjukkan adanya sebaran batu pasir kearah Barat Daya-Utara yang didukung oleh relatif tingginya nilai inversi Mu Rho disekitar sumur BUM-10. Zona target ini ditunjukkan oleh warna kuning cerah dengan nilai diatas 30 MPa*gr/cc – 35 MPa*gr/cc disekitar sumur. Hal ini sekaligus mengindikasikan bahwa zona target memiliki tingkat rigiditas yang tinggi yang merupakan penanda batu pasir disekitar sumur.

Gambar 14 menunjukkan hasil inversi EI sudut 5° pada zona target Z.2260. Hasil inversi ini merupakan yang paling bagus dalam memetakan litologi batu pasir dan batu lempung. Pada map hasil

inversi dapat dilihat bahwa batu pasir tersebar ke arah Barat Daya-Utara, dengan nilai impedansi 8000 (m/s)²*gr/cc – 9800 (m/s)²*gr/cc.

Dari ketiga map hasil inversi terlihat bahwa persebaran batu pasir disekitar sumur BUM-10 tidak jauh berbeda antara ketiga map. Yang terlihat berbeda hanyalah penyebaran batu lempung. Hal ini dikarenakan kesensitifan tiap parameter Lambda Rho, Mu Rho, dan EI yang berbeda-beda dalam memisahkan litologi batu pasir dan batu lempung yang memang terdapat pada daerah penelitian.

Kesimpulan

1. Reservoir pada zona target memiliki litologi batu pasir yang memiliki kandungan fluida hidrokarbon, yang kemungkinan adalah gas.
2. Hasil analisis inversi LMR pada zona target menunjukkan persebaran fluida hidrokarbon dengan nilai Lambda Rho sebesar 33 Mpa*gr/cc – 44 Mpa*gr/cc. Hasil ini bersesuaian dengan nilai *crossplot* data log yang ditunjukkan oleh *crossplot* log Lambda Rho dan Gamma Ray sebesar 0 Mpa*gr/cc – 60 Mpa*gr/cc. Nilai Mu Rho yang menunjukkan litologi batu pasir dengan nilai sebesar 30 Mpa*gr/cc – 35 Mpa*gr/cc yang didukung oleh hasil *crossplot* log Mu Rho dan Gamma Ray dengan nilai Mu Rho sebesar 5 Mpa*gr/cc – 60 Mpa*gr/cc.
3. Hasil inversi Mu Rho menunjukkan litologi batu pasir pada zona target yang divalidasi oleh hasil inversi EI yang juga menunjukkan litologi yang sama yaitu batu pasir dengan nilai impedansi sebesar 8000 (m/s)²*gr/cc – 9800 (m/s)²*gr/cc. Nilai impedansi ini juga ditunjukkan oleh hasil *crossplot* log EI dengan Gamma Ray yang memberikan rentang nilai litologi batu pasir sekitar 8000 (m/s)²*gr/cc – 10000 (m/s)²*gr/cc. Pola persebaran batu pasir tersebut memiliki orientasi Barat Laut-Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Munadi, Suprajitno, 1993, *AVO dan Eksplorasi Gas*, Lembaran publikasi LEMIGAS, No.1, 1993, 3-13.
- [2]. Goodway, B., Chen, T., and Downton, J., 1997, *Improved AVO fluid detection and lithology discrimination using Lamé petrophysical parameter; " $\lambda\rho$ ", " $\mu\rho$ ", and " λ/μ " fluid stack, from P and S inversion*, CSEG Recorder.
- [3]. Connolly, P., 1999, *Elastic Impedance*, The Leading Edge, April Issue, pp 438-452.
- [4]. Gray, D., and Andersen, E., 2001, *The application of AVO and inversion to the estimation of rock properties*, CSEG Recorder.
- [5]. Zoeppritz, R., 1919, *On the reflection and propagation of seismic waves*, Erdbebenwellen VIII B; Gottinger Nachrichten I, 66-68.
- [6]. Rutherford, S., and Williams, R., 1989, *Amplitude versus offset variation in gas sands*, Geophysics 54, 680-688.
- [7]. Castagna, J.P., Swan, H.W., and Foster, D.J., 1998, *Framework For AVO Gradient and Intercept Interpretation*, Geophysics, 63, 948-956.
- [8]. Aki A., and Richard P.G., 1980, *Quantitative Seismology: Theory and Methods*, W.H.Freeman & Company

