

Inversi Impedansi Akustik Seismik 3D Untuk Estimasi Porositas Batuan (*Studi Kasus Lapangan X Cirebon*)

Mualimin, dan M.Irham Nurwidyanto

Laboratorium.Geofisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Diponegoro

Intisari

Telah dilakukan inversi impedansi akustik pada data seismik 3D *time migrated amplitude preserved stack* dengan kontrol data log sumur pada lapangan X Cirebon. Metode yang digunakan adalah *constraint sparse-spike in eigenvalue basis* yang bertujuan mengestimasi porositas reservoir dari impedansi akustik di lapangan X Cirebon. Sebagai data input proses inversi *wavelet* dari fase residual seismik 3D dibandingkan dengan *wavelet seismogram* sintetik pada tiap lokasi sumur. Model awal inversi yang diperoleh dari 8 data log sumur diinterpolasi dengan metode *kriging*. Impedansi akustik hasil inversi selanjutnya dibuat model garis regresi linear kuadrat minimum terhadap log porositas sumur AL-03. Persamaan yang diperoleh digunakan untuk mengestimasi nilai porositas berdasarkan nilai impedansi akustik reservoir. Dari hasil inversi impedansi akustik yang dilakukan diperoleh tiga zona impedansi akustik di area penelitian. Nilai impedansi akustik untuk lapisan yang diduga merupakan lapisan reservoir memiliki nilai impedansi relatif rendah dibanding sekitarnya yaitu berkisar antara (1500 – 6500) $\times 10^3 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ yang berada pada *tw* 940 ms sampai 1010 ms, dengan porositas berkisar antara 18% sampai 34%.

I. PENDAHULUAN

Inversi impedansi akustik merupakan suatu proses untuk mengubah *trace* seismik menjadi *trace* impedansi akustik semu pada tiap *Common Mid Point (CMP)* [1]. Permasalahan yang sering dihadapi dalam proses inversi yaitu tidak adanya komponen frekuensi rendah dari data seismik sehingga akan menyebabkan lebar pita (*bandwidth*) frekuensi hasil inversi tidak mencakup nilai keseluruhan data lapangan [2]. Metode inversi *constraint sparse-spike in eigenvalue basis* menyertakan *constraint* sebagai pengisi komponen frekuensi rendah dan pembatasan nilai impedansi akustik berdasarkan nilai *log* sumur [3]. Penurunan porositas batuan reservoir dari impedansi akustik berdasarkan hubungan linear antara porositas dengan impedansi akustik telah dilakukan antara lain oleh Buxton dkk. [4], Pendrel dan Riel [1]. Penurunan tersebut mampu

memberikan informasi porositas reservoir dari data seismik untuk karakterisasi reservoir.

Inversi impedansi akustik metode *constraint sparse-spike in eigenvalue basis* dan penentuan porositas dari nilai impedansi akustik pada reservoir lapangan X Cirebon diharapkan mampu membantu dalam studi tentang karakteristik reservoir sehingga berguna untuk analisa lebih lanjut mengenai kemungkinan peningkatan produksi hidrokarbon.

II. DASAR TEORI

II.1. Inversi Impedansi Akustik

Tujuan inversi impedansi akustik adalah untuk merubah data seismik menjadi *log* impedansi akustik semu pada tiap *CMP* [1]. Seismogram bebas *noise* dapat diasumsikan sebagai konvolusi *wavelet* pita terbatas (*band limited*) $w(t)$ fase nol pada interval frekuensi (F_1 F_2) dengan koefisien refleksi :

$$r(t): x(t) = r(t) * w(t) \quad (1)$$

$T_1 \leq t \leq T_2$, dengan t adalah *two-way traveltime*.

Impedansi akustik pada lapisan ke- k didefinisikan sebagai :

$$I_k = \rho_k \alpha_k, \quad (2)$$

dengan ρ_k densitas lapisan bumi pada lapisan ke- k dan α_k kecepatan gelombang seismik pada lapisan ke- k . Koefisien refleksi pada dasar lapisan ke- k tergantung pada perbedaan impedansi akustik yaitu :

$$r_k = \frac{I_{k+1} - I_k}{I_{k+1} + I_k}, \quad (3)$$

Dengan menyusun kembali persamaan (3) diperoleh:

$$I_{k+1} = I_k \left(\frac{1+r_k}{1-r_k} \right) = I_1 \prod_{j=1}^k \left(\frac{1+r_j}{1-r_j} \right), \quad (4)$$

yang menunjukkan hubungan antara impedansi akustik dengan koefisien refleksi [5]. Inversi *constraint in eigenvalue basis* berdasarkan estimasi seri koefisien refleksi $r(t)$ dalam bentuk ekspansi [3] :

$$r(t) = x(t) + \sum_{k=1}^{k=K} \alpha_k \varnothing_k(t), \quad (5)$$

dengan $x(t)$ merupakan *trace* seismik *input* (persamaan 1), $\varnothing_k(t)$ merupakan *orthonormal basis vector* dan α_k adalah koefisien $\varnothing_k(t)$.

II.2. Kriging

Apabila terdapat nilai hasil pengamatan Y pada suatu lokasi i , maka dapat diestimasi nilai pengamatan di luar lokasi tersebut :

$$\bar{Y}_p = \sum W_i Y_i, \quad (6)$$

dengan \bar{Y}_p adalah nilai estimasi pada titik P di luar lokasi i , W_i koefisien

bobot pada titik i . Koefisien bobot W_i diperoleh dari *semivariance* γ sebagai berikut [6] :

$$\sum W_i \gamma(h_{ij}) = \gamma(h_{ip}), \quad h_{ij} = h_{ji}, \quad (7)$$

dengan $\gamma(h_{ij})$ adalah *semivariance* pada jarak h antara i dan j serta $\gamma(h_{ip})$ *semivariance* pada jarak h antara titik i dengan P .

II.3. Regresi Linear Kuadrat Minimum

Hubungan antara dua variabel dapat diketahui melalui metode persamaan linear :

$$y = a_0 + a_1 x, \quad (8)$$

dengan a_0 dan a_1 adalah koefisien-koefisien yang masing-masing menyatakan *intercept* dan *slope* garis. Persamaan (8) dapat ditentukan dengan metode kuadrat minimum [7]. Prinsip yang digunakan yaitu pemilihan garis yang mempunyai nilai a_0 dan a_1 yang dapat meminimumkan jumlah kuadrat deviasi S [8] :

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 \quad (9)$$

dengan x_i adalah variabel bebas pada observasi ke- i dan x_m nilai rata-rata variabel bebas. II.4. Porositas Reservoir. Penentuan parameter reservoir dari data seismik disebut reservoir seismik [9]. Reservoir seismik menganggap batuan reservoir sebagai medium berpori berisi fluida dengan saturasi tertentu. Dalam medium seperti ini gelombang seismik merambat dengan kecepatan yang tidak saja tergantung pada sifat-sifat elastik medium tersebut tetapi juga pada porositas dan saturasi fluidanya.

Kecepatan gelombang P dalam medium berisi fluida diberikan sebagai [10]:

$$\alpha = \left[\left[\left(k_d + \frac{4}{3}\mu \right) + \frac{k_f \left(1 - \frac{k_d}{k_m} \right)^2}{\left(1 - \frac{k_f}{k_m} \right) \phi + (k_m - k_d) \frac{k_f}{k_m^2}} \right] \frac{I}{\rho_b} \right]^{\frac{1}{2}} \dots(10)$$

Impedansi akustik mempunyai korelasi dengan porositas batuan, semakin besar porositas maka semakin kecil impedansi akustik batuan tersebut. Berdasarkan persamaan (2) dan persamaan (10) dapat dibuat model persamaan regresi linear antara impedansi akustik dengan porositas yaitu

$$Y = a_0 + a_1 X \quad (\text{kg/m}^2\text{s}) \quad (11)$$

dengan Y adalah impedansi akustik, dan X adalah porositas.

III. METODE PENELITIAN

III.1. Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang berupa data seismik 3D *time migrated amplitude preserved stack*, 8 data sumur yang meliputi log densitas logd V_p dan data *checkshot*, serta satu data *Log Porositas*. Semua data tersebut milik PERTAMINA D.O.H. J.B.B. Cirebon.

III.2. Metode Penelitian

1. Impedansi akustik yang diperoleh dari perkalian densitas dan kecepatan, diinterpolasi dengan metode *Universal Kriging* ke dalam seluruh daerah penelitian sehingga diperoleh model awal impedansi akustik.
2. Seismogram sintetis diperoleh dari konvolusi antara impedansi akustik dengan *wavelet* hasil ekstraksi dari data seismik. *Wavelet* tersebut dirotasi fasenya menjadi nol dengan frekuensi 10-60 Hz, frekuensi ini merupakan

frekuensi dominan dari data seismik.

3. Analisis dilakukan dengan membandingkan *wavelet* seismik dengan *wavelet* seismogram sintetis. Prosedur ini dilakukan untuk mengestimasi fase residual *wavelet* seismik, apabila terdapat komponen fase residual maka *wavelet* seismik dirotasi fasenya agar nol. Dilakukan dekonvolusi data seismik dengan metode *sparse-spike* dengan *spike sparseness* dengan faktor skala amplitudo $5,37 \times 10^{-14}$ dB untuk mendapatkan koefisien refleksi, hasilnya kemudian diinversi dengan model awal impedansi akustik hasil interpolasi 8 log sumur. Selama proses inversi komponen frekuensi rendah yang tidak terdapat dalam seismik digantikan oleh komponen yang sama dari model awal. Komponen frekuensi ini seringkali tidak *smooth* secara lateral sehingga dilakukan lateral filtering untuk mensmoothkan komponen frekuensi rendah.
4. Dibuat garis regresi linear antara impedansi akustik dengan porositas pada lokasi sumur AL-03 untuk mengestimasi nilai porositas batuan reservoir.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil

Dari gambar 1. terlihat bahwa seismogram sintetis memiliki *event* yang kontras pada *twt* antara 860 ms sampai 1120 ms, yang berkorelasi dengan puncak horison Parigi dan puncak horison Cibulakan Atas pada data seismik. Pola refleksi yang direpresentasikan dengan amplitudo *wavelet* seismogram sintetis bersesuaian dengan *wavelet* seismik. *Marker* sumur horison Parigi berada pada *twt* 870 ms dan puncak horison Cibulakan Atas

pada *twt* 1112 ms. Model awal berupa model impedansi akustik bumi memberikan pendugaan perlapisan bumi (bawah permukaan). Kesesuaian model impedansi dengan keadaan bumi sebenarnya diketahui dengan mencocokkan impedansi pada lokasi sumur dengan data *log* impedansi dan *trend* model impedansi yang mengikuti horison Puncak Parigi dan Cibulakan Atas. Gambar 2 merupakan hasil penampang model impedansi akustik pada *inline* 1390. Dari penampang model impedansi akustik secara umum dapat dibagi kedalam tiga zona yaitu zona dengan nilai impedansi akustik tinggi yaitu $(10000 - 12500) \times 10^3 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (merah muda-merah tua), zona dengan nilai impedansi akustik sedang yaitu $(7500 - 9000) \times 10^3 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (kuning-merah muda), dan zona dengan nilai impedansi akustik rendah yaitu $(4000 - 6000) \times 10^3 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (hijau-hijau muda) berada pada lapisan pada *twt* 850 ms sampai 1050 ms dan tanda panah memperlihatkan terdapat lapisan tipis dengan nilai impedansi rendah dengan nilai impedansi $(4000 - 6000) \times 10^3 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (hijau-hijau muda) yang berada di antara lapisan dengan nilai impedansi tinggi $(10000 - 12000) \times 10^3 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (merah muda-merah tua) mengindikasikan lapisan batuan *porous* dengan nilai porositas tinggi yang patut diduga sebagai reservoir hidrokarbon yang potensial.

IV.2. Pembahasan

Penentuan zona reservoir dengan porositas tinggi ditunjukkan dengan zona dengan impedansi akustik rendah. Gambar 3 merupakan penampang impedansi akustik pada *inline* 1457 dan data *log* porositas sumur AL-03, dari kurva *log* (elips biru) terlihat bahwa zona porositas tinggi (23,60 % sampai 26%) berada pada *twt* 890 ms sampai 930 ms. Pada kedalaman tersebut merupakan zona dengan nilai

impedansi akustik batuan rendah dibandingkan sekitarnya yaitu $(5000 - 7500) \times 10^3 \text{ kg/m}^2\text{s}$. Kurva hitam putus-putus memperlihatkan zona impedansi akustik rendah dibandingkan sekitarnya dengan nilai impedansi $(3000 - 8000) \times 10^3 \text{ kg/m}^2\text{s}$ pada *twt* 890 sampai 1020 ms.

Untuk mengetahui reservoir lapangan CRB dan penyebaran nilai porositas batuan dengan nilai porositas tinggi maka dibuat sayatan horisontal (*time slice*) berdasarkan penampang impedansi akustik yang memperlihatkan zona dengan nilai impedansi akustik rendah dibandingkan sekitarnya. Berdasarkan gambar 2 dan 3 zona dengan impedansi akustik rendah berada pada kisaran *twt* 900 ms sampai 1020 ms. Selanjutnya analisis penyebaran nilai porositas batuan dilakukan dengan membuat sayatan horisontal mulai puncak horison Parigi sampai pada *twt* 1020 ms. Sayatan horisontal pada *twt* 950 ms ditunjukkan oleh gambar 4, zona reservoir terdapat pada daerah kurva hitam.

Pada sayatan horisontal ini porositas batuan reservoir berkisar antara 6% sampai 34% dengan dominasi batuan dengan porositas 12% sampai 18%. Nilai porositas batuan pada tersebut bersesuaian dengan nilai impedansi akustik batuan yang berkisar antara $(1500 - 9500) \times 10^3 \text{ kg/m}^2\text{s}$. Pada *time slice* ini nilai porositas batuan pada lokasi sumur AL-03 adalah 18% nilai ini bersesuaian dengan nilai porositas sumur pada *twt* 950 ms yaitu 18%. Nilai porositas batuan tinggi dibandingkan sekitarnya berkisar antara 24% sampai 34% yang berada pada zona kurva merah

Berdasarkan gambar 2, 3 dan 4 diketahui bahwa penyebaran batuan reservoir dengan nilai porositas tinggi dibandingkan sekitarnya yang patut diduga sebagai zona reservoir berada pada *twt* 940 ms sampai 1010 ms

dengan nilai impedansi akustik berkisar antara $(1500 - 6500) \times 10^3 \text{ kg/m}^2\text{s}$. Zona tersebut batuan penyusunnya memiliki nilai porositas berkisar antara 18% sampai 34%.

Batuan reservoir dengan nilai porositas tinggi tersebut berada pada *twt* 940 ms yang kemudian semakin ke bawah semakin meluas dan arah pola penyebaran cenderung ke Barat daya yang mengikuti pola atau *trend* horison puncak Parigi. Penyebaran batuan tersebut semakin menyempit pada *twt* 1020 ms.

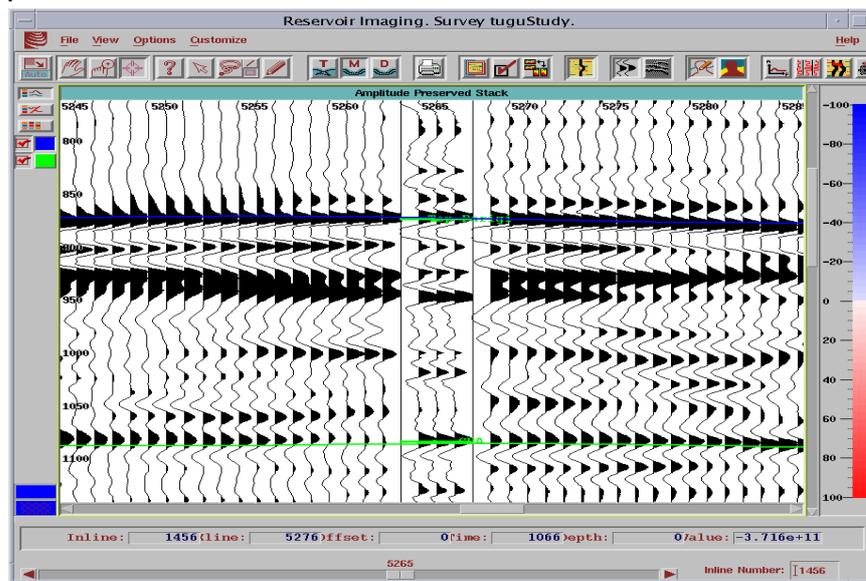
KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

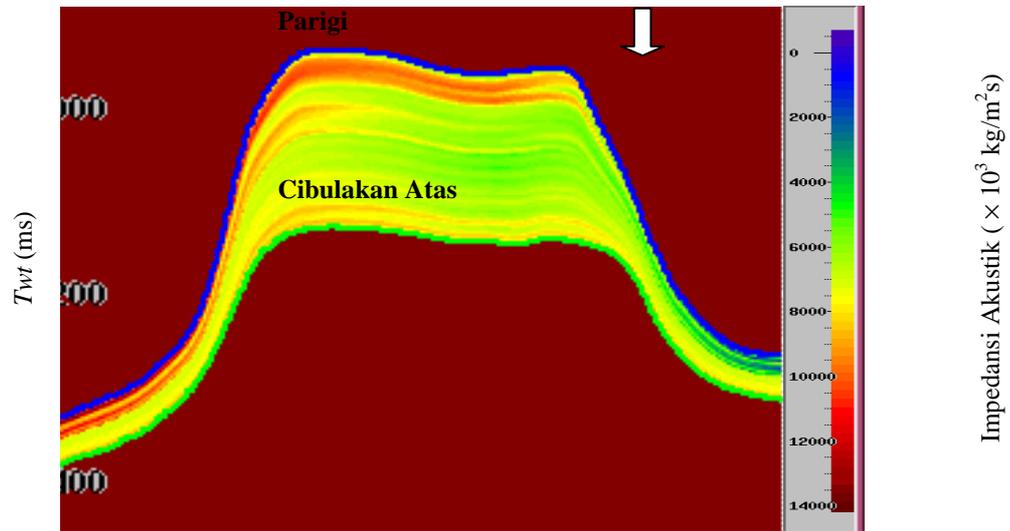
1. Dari hasil inversi impedansi akustik diketahui bahwa lapisan yang diduga merupakan reservoir lapangan CRB berada pada *twt* 940 ms sampai 1010 ms dengan nilai impedansi akustik berkisar antara $(1500 - 6500) \times 10^3 \text{ kg/m}^2\text{s}$.
2. Porositas reservoir lapangan CRB berkisar antara 18% sampai 34%.

DAFTAR PUSTAKA

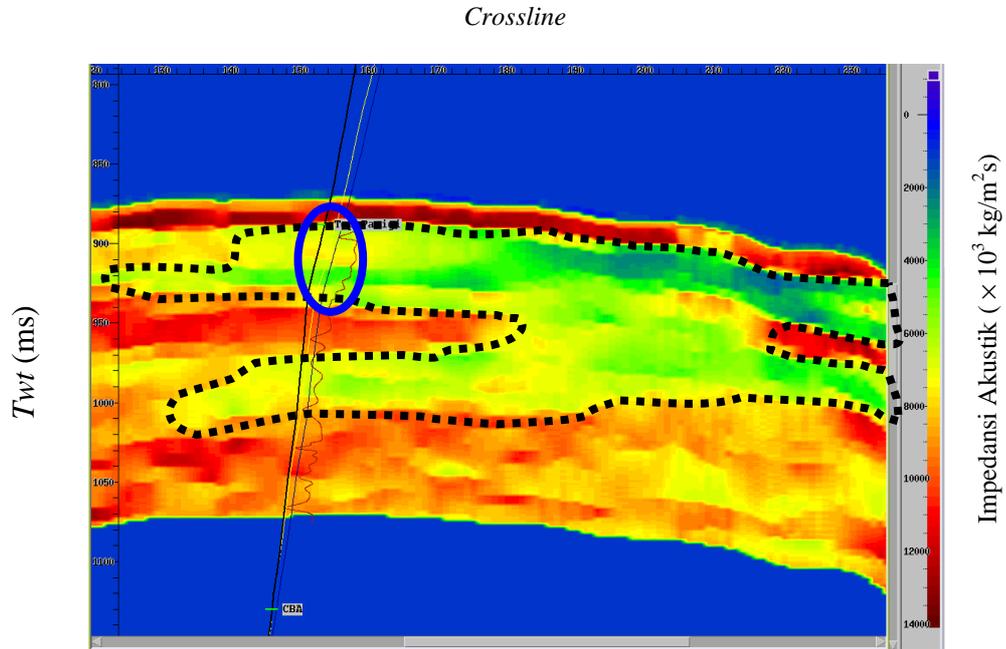
- [1] Pendrel J, van Riel Paul., *Methodology for Seismic Inversion and Modelling : A Western Canadian Reef Example*, CSEG Recorder, Jason Geosys-tem, Calgary, Canada. 2000,
- [2] Yilmaz, O., *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion and Interpretation of Seismic Data*, SEG, Tulsa, USA. 2001,
- [3] Malkin, A., Zakhem, I. U., Canning, A., *Amplitude Inversion of Reflectivity Type AVO Attributes*, SEG Expanded Abstract. SEG, Tulsa-USA. 1999,
- [4] Buxton, R., Rick .D, van Paul .R., *An Interpreter's Guide to Understanding and Working With Seismic Derived Acoustic Impedance Data, The Leading Edge*, SEG, Tulsa-USA. 2000
- [5] Oldenburg, D.W., Scheuer T, Levy S, *Recovery of The Accoustic Impedance from Reflection Seismogram*, Geophysics, SEG, Tulsa-USA. 1983
- [6] Davis, C. John, *Statistic and Data Analysis in Geologi*, John Willey & Sons, Singapore. 1986,
- [7] Algifari, *Analisis Regresi, Teori, Kasus dan Solusi*, BPFE, Yogyakarta, 1997
- [8] Holman, J.P., *Metode Pengukuran Teknik*, Terjemahan, Erlangga, Jakarta. 1985
- [9] Munadi, S., *Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi*, Program Studi Geofisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Indonesia. 2000,
- [10] Saptono, F., Munadi, S., *A Simple Approach for Understanding Seismic Wave Propagation in Porous Media, Lemigas Scientific Contributions*, Jakarta. 1999



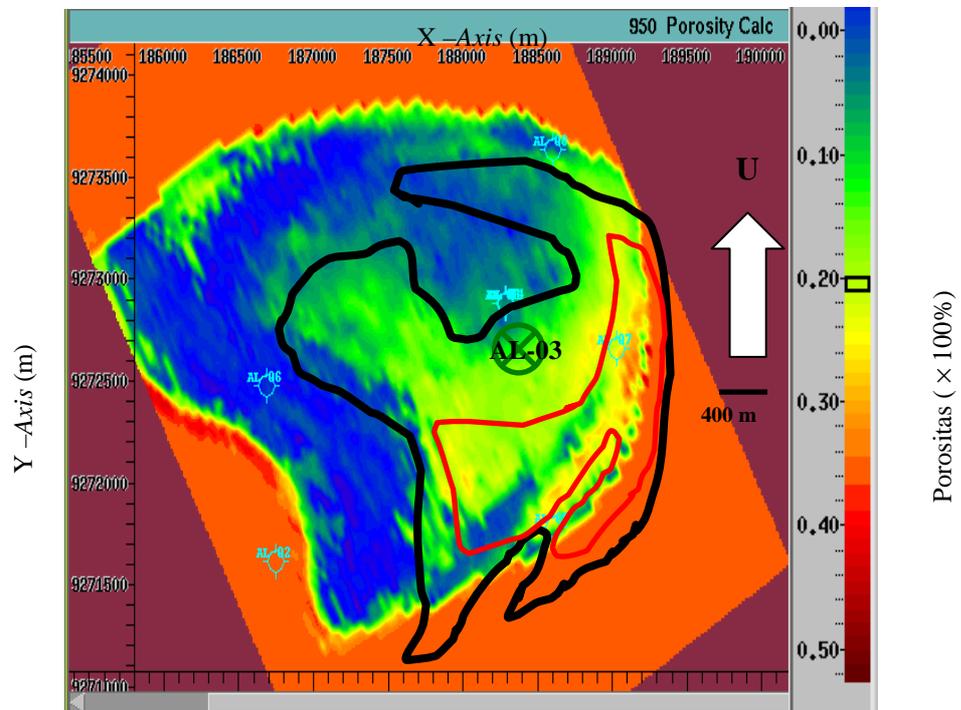
Gambar 1. Pengikatan Sumur AL-01 dengan penampang seismik pada inline 1456



Gambar 2. Model impedansi akustik lapangan CRB pada *inline* 1390, tanda panah merupakan zona dengan impedansi akustik rendah yang berasosiasi dengan zona porositas tinggi.



Gambar 3. Penampang impedansi akustik pada inline 1457



Gambar 4. Sayatan horisontal pada *twt* 950 ms, pada *twt* ini batuan memiliki nilai porositas berkisar antara 6% sampai 34%, porositas tinggi berada pada zona kurva merah.