

KARAKTERISASI RESERVOIR BATU PASIR BERDASARKAN PARAMETER IMPEDANSI AKUSTIK, ATRIBUT, DAN STANDAR DEVIASI SPEKTRUM AMPLITUDO GELOMBANG SEISMIC

Mokhammad Puput Erlangga¹, Kaswandhi Triyoso², Asido Saputra Sigalingging¹,
Nugroho Prasetyo¹, Andri Yadi Paembonan¹, Rizka¹

¹Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Industri-Institut Teknologi Sumatera

²PT.Rock Fluid Imaging Laboratory

e-mail: mokhammad.erlangga@tg.itera.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan gas yang tersaturasi pada reservoir batu pasir di luar interval formasi yang terdapat pada data sumur melalui analisis parameter impedansi akustik, atribut, dan standar deviasi spektrum amplitudo gelombang seismik. Proses inversi data seismik *post-stack* untuk mendapatkan nilai impedansi akustik diterapkan untuk memperoleh model bawah permukaan yang merepresentasikan distribusi nilai impedansi secara vertikal dan lateral. Analisis atribut seismik yang meliputi atribut AVO (*Gradient* dan *Intercept*), *Amplitude Envelope*, *Sweetness*, dan Standar Deviasi spektrum amplitudo gelombang seismik dilakukan untuk mendeteksi anomali gelombang seismik yang berkaitan dengan perubahan litologi dan keberadaan gas. Hasil analisa impedansi akustik menunjukkan adanya zona impedansi akustik rendah yang dapat diindikasikan sebagai batu pasir yang memiliki porositas tinggi. Berdasarkan nilai atribut AVO yang diturunkan dari data seismik *angle gather*, pada zona tersebut memiliki nilai *gradient* dan *intercept* negatif, yang dapat diindikasikan bahwa pada zona tersebut merupakan jenis reservoir batu pasir kelas III yang tersaturasi oleh gas. Pada zona tersebut juga menunjukkan respon *Amplitude Envelope*, *Sweetness*, dan Standar Deviasi spektrum amplitudo gelombang seismik yang tinggi yang mengindikasikan adanya saturasi gas di dalam pori batu pasir. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi metode inversi impedansi akustik dan analisis atribut seismik mampu meningkatkan akurasi dalam mengidentifikasi dan memetakan keberadaan gas pada reservoir batu pasir secara kuantitatif dan spasial.

Kata Kunci: *amplitude envelope*; atenuasi; inversi; *intercept*; *gradient*; *sweetness*; standar deviasi

Abstract. This study aims to identify the presence of gas-saturated sandstone outside the formation intervals observed in well data through the analysis of acoustic impedance parameters, attributes, and standard deviation of seismic wave amplitude spectrum. The post-stack seismic inversion process was applied to obtain acoustic impedance values, resulting in a subsurface model that represents the vertical and lateral distribution of impedance. Seismic attribute analysis including AVO (gradient and intercept), amplitude envelope, sweetness, and the standard deviation of the seismic amplitude spectrum were conducted to detect seismic anomalies associated with lithological variations and the presence of gas. The acoustic impedance analysis revealed a low-impedance zone, which can be indicated as sandstone with high porosity. Based on the AVO attributes derived from seismic angle gathers, this zone exhibited negative gradient and intercept values, suggesting that it indicates to a Class III gas-saturated sandstone reservoir. In this zone, high responses of amplitude envelope, sweetness, and standard deviation of the seismic amplitude spectrum were also observed, indicating gas saturation within the sandstone pores. This study demonstrates that the combination of acoustic impedance inversion and seismic attribute analysis enhances the accuracy of identifying and mapping the presence of gas in sandstone reservoirs both quantitatively and spatially.

Keywords: *amplitude envelope*; attenuation; inversion; *intercept*; *gradient*; *sweetness*; standard deviation

PENDAHULUAN

Eksplorasi dan karakterisasi reservoir hidrokarbon, khususnya gas alam, merupakan salah satu tantangan utama dalam kegiatan geofisika eksplorasi. Seiring meningkatnya kebutuhan energi dan berkurangnya cadangan minyak konvensional, perhatian terhadap reservoir gas yang berada pada batu pasir dengan karakteristik fisis kompleks semakin meningkat. Identifikasi keberadaan gas dalam batu pasir tidak hanya bergantung pada data sumur, tetapi juga pada interpretasi data seismik tiga dimensi yang mampu menggambarkan variasi sifat elastik batuan secara spasial (Brown, 2004; Sheriff & Geldart, 1995).

Metode seismik refleksi telah berkembang pesat dari sekadar pemetaan struktur bawah permukaan menjadi alat analisis kuantitatif untuk menafsirkan sifat fisik reservoir. Salah satu pendekatan penting dalam hal ini adalah inversi seismik, yang mengubah data amplitudo seismik menjadi model impedansi akustik bawah permukaan (Sukmono, 2007). Nilai impedansi akustik merupakan hasil kali antara kecepatan gelombang P dan

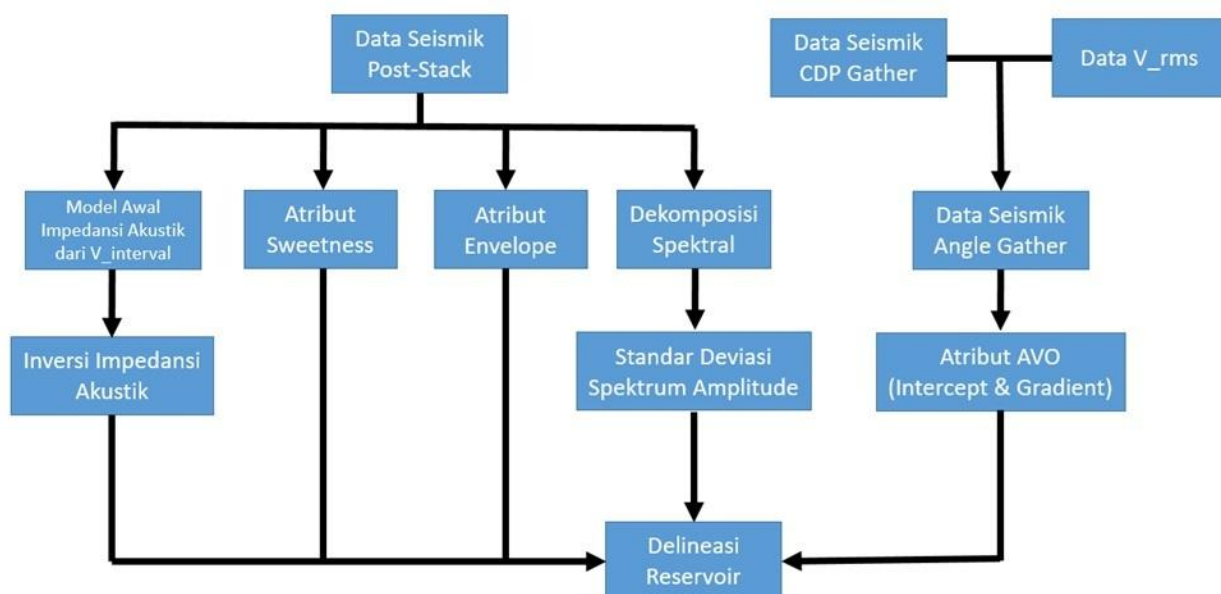
densitas batuan, yang dapat digunakan untuk membedakan litologi serta mengidentifikasi zona dengan kemungkinan keberadaan fluida seperti gas atau air (Siguaw et al., 2001).

Selain itu, perkembangan analisis atribut seismik telah memberikan kontribusi signifikan dalam interpretasi karakter reservoir. Atribut-atribut seperti Amplitudo, Fase, Frekuensi instan, dan *Sweetness* telah terbukti efektif untuk menyoroti anomali yang berkaitan dengan perubahan litologi atau keberadaan fluida (Taner et al., 1979; Hart, 2008). Analisis atribut gelombang seismik, terutama yang berbasis frekuensi dan amplitudo, dapat memberikan informasi tambahan tentang keberadaan saturasi gas yang tidak dapat diungkap hanya dari inversi impedansi akustik. Misalnya, pendekatan *Amplitude Variation with Frequency* (AVF) terhadap offset telah digunakan untuk memetakan nilai saturasi gas pada reservoir berimpedansi rendah (Erlangga et al., 2024), sementara atribut spektral dan kualitas gelombang instan (*instantaneous quality factor, Q*) telah diaplikasikan untuk mengkarakterisasi batu karbonat dan serpih (Barnes, 1993; Egiesoba, 2015).

Dalam konteks analisis AVO (*Amplitude Variation with Offset*), hubungan antara gradien dan intersep amplitudo dapat mengindikasikan perbedaan sifat fluida dan litologi pada lapisan batuan (Shuey, 1985; Castagna & Swan, 1998). Integrasi antara inversi impedansi akustik, analisis AVO, dan atribut seismik multidimensi memungkinkan peningkatan akurasi dalam mendeteksi anomali gas. Pendekatan ini memberikan gambaran yang lebih komprehensif terhadap variasi sifat elastik, sehingga meningkatkan keandalan interpretasi reservoir gas (Brown, 2004; Siguaw et al., 2001).

Penelitian ini juga menerapkan parameter standar deviasi spektrum amplitudo gelombang seismik. Pada penelitian ini spektrum amplitudo dihasilkan dari dekomposisi spektral transformasi Stockwell *trace* seismik. Gelombang seismik yang merambat melalui medium yang tersaturasi gas akan mengalami atenuasi. Kurva spektrum amplitudo dari gelombang seismik yang teratenuasi akan memiliki standar deviasi spektrum amplitudo yang tinggi. Hal tersebut disebabkan karena komponen amplitudo pada frekuensi rendah akan mengalami peningkatan (Erlangga et al., 2025) dan lebar kurva spektrum amplitudo mengalami pengurangan. Berdasarkan hal tersebut, standar deviasi dari kurva spektrum amplitudo dapat digunakan untuk mendeskripsikan atenuasi yang dialami oleh gelombang seismik.

Kombinasi antara hasil analisa parameter impedansi akustik, atribut-atribut gelombang seismik seperti *Intercept*, *Gradient*, *Amplitude Envelope*, *Sweetness*, dan Standar Deviasi spektrum amplitudo pada penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan gas pada reservoir batu pasir di daerah penelitian. Pendekatan integratif ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai distribusi lateral dan vertikal zona gas, serta memperkuat interpretasi geologi bawah permukaan secara kuantitatif dan spasial. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir deliniasi reservoir batu pasir berdasarkan parameter impedansi akustik, atribut AVO, atribut kompleks, dan standar deviasi spektrum amplitudo.

METODOLOGI

Data

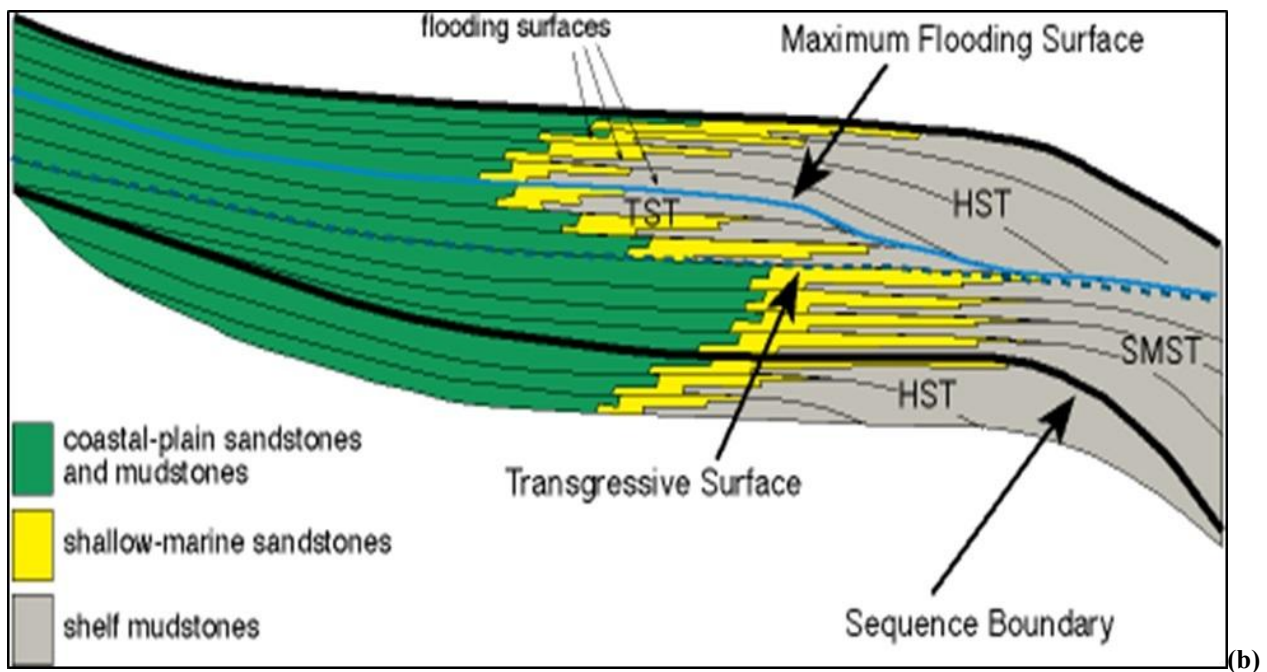
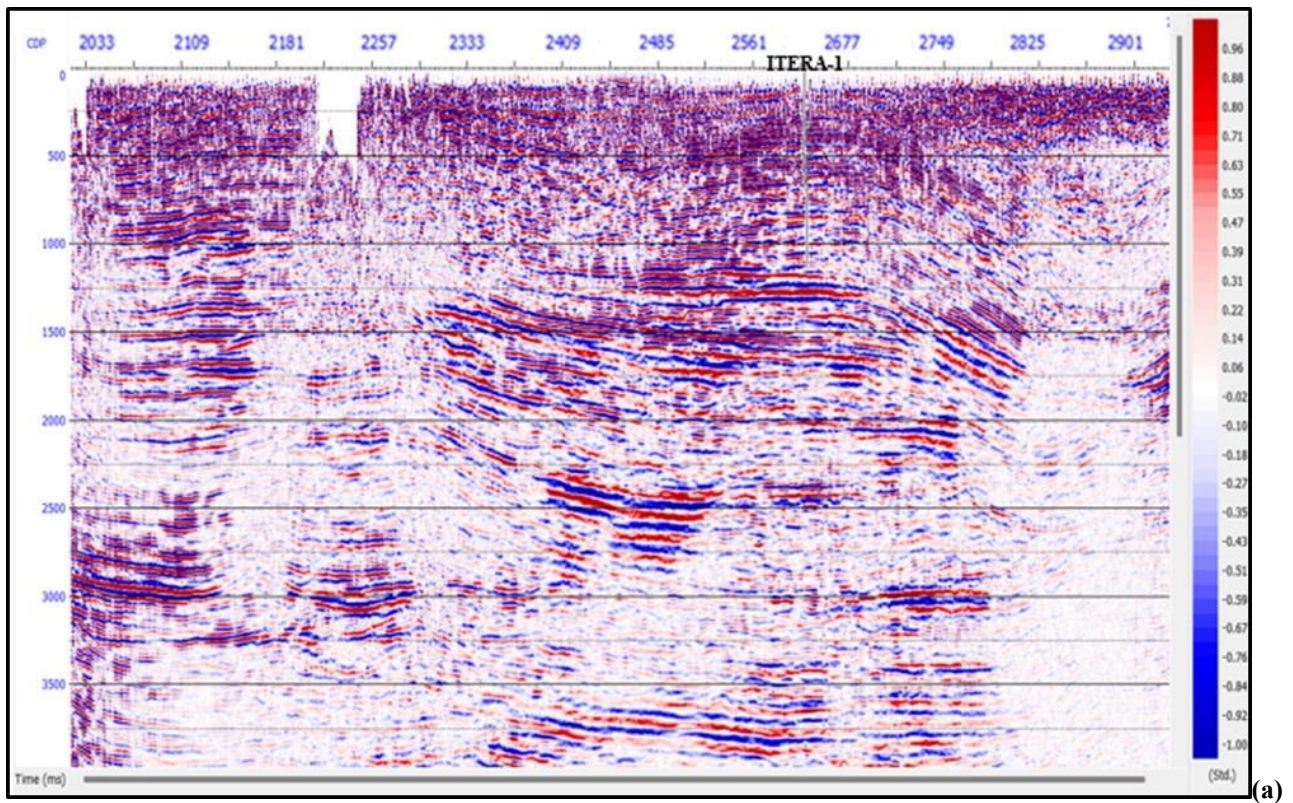
Penampang seismik *post-stack* yang ditampilkan pada Gambar 2a memperlihatkan pola reflektor yang cukup jelas dengan variasi amplitudo dan geometri lapisan yang menggambarkan kondisi geologi bawah permukaan. Skala vertikal menunjukkan waktu tempuh dua arah (*two-way time, TWT*) dengan rentang antara 0 hingga 2800 milidetik, sedangkan skala horizontal menggambarkan CDP *trace* seismik.

Lapisan bagian atas (0–1000 ms) menunjukkan reflektor yang relatif paralel dan kontinu, mengindikasikan adanya endapan sedimen muda yang terendapkan secara tenang, kemungkinan berupa batulempung dan batupasir halus hasil proses sedimentasi laut dangkal atau deltaik. Pada interval waktu antara 1000–2000 ms, reflektor mulai menunjukkan pola bergelombang dengan kontinuitas yang masih baik. Kondisi ini menandakan adanya deformasi ringan berupa lipatan antiklinal dan sinklinal yang terbentuk akibat aktivitas tektonik.

Penampang seismik tersebut memperlihatkan reflektor yang relatif subparalel dan menerus pada interval sekitar 1200–1800 ms. Konfigurasi tersebut menunjukkan indikasi pola pengendapan agradasional, yang dapat terbentuk ketika suplai sedimen relatif seimbang dengan pembentukan ruang akomodasi. Pola ini sejalan dengan karakter stratigrafi *Northeast Java Basin* yang menunjukkan perkembangan sistem pengendapan secara vertikal selama Miosen Tengah–Akhir sebagai respons terhadap perubahan akomodasi dan suplai sedimen (Yuniardi, 2015). Evolusi depocenter dan kondisi tektonik regional Jawa Timur juga berperan dalam mengontrol perkembangan serta geometri endapan sedimen (Lunt, 2019). Dengan demikian, pola reflektor pada zona yang dilingkari dapat ditafsirkan sebagai indikasi awal fase sedimentasi agradasional, meskipun diperlukan analisis terminasi reflektor dan korelasi data sumur untuk memastikan interpretasinya.

Pola geologi yang menonjol pada penampang ini adalah adanya pola pengendapan batuan sedimen dengan bentuk agradasi (Gambar 2b) (Erlangga et al., 2025). Pola penumpukan agradasi terbentuk jika ada kenaikan muka air laut relatif sebanding dengan jumlah suplai sedimen. Pola penumpukan ini dapat berpotensi untuk menahan akumulasi hidrokarbon, terutama gas, apabila kondisi litologi dan porositas batuan mendukung.

Gambar 2c memperlihatkan data log densitas, kecepatan gelombang P, impedansi akustik, dan *Gamma Ray* pada sumur ITERA-1. Kedalaman sumur ITERA-1 hanya mencapai 2000 feet, atau dalam domain waktu adalah 700 ms. Berdasarkan data log sumur ITERA-1 tersebut, maka zona target di dalam penelitian ini tidak memiliki informasi dari data log sumur tersebut. Analisa potensi zona target pada penelitian ini hanya dapat diturunkan dari data seismik.





Received: 14-07-2026

Reviewed: 23-07-2026

Reviewed: 23-07-2026

Accepted: 19-08-2026

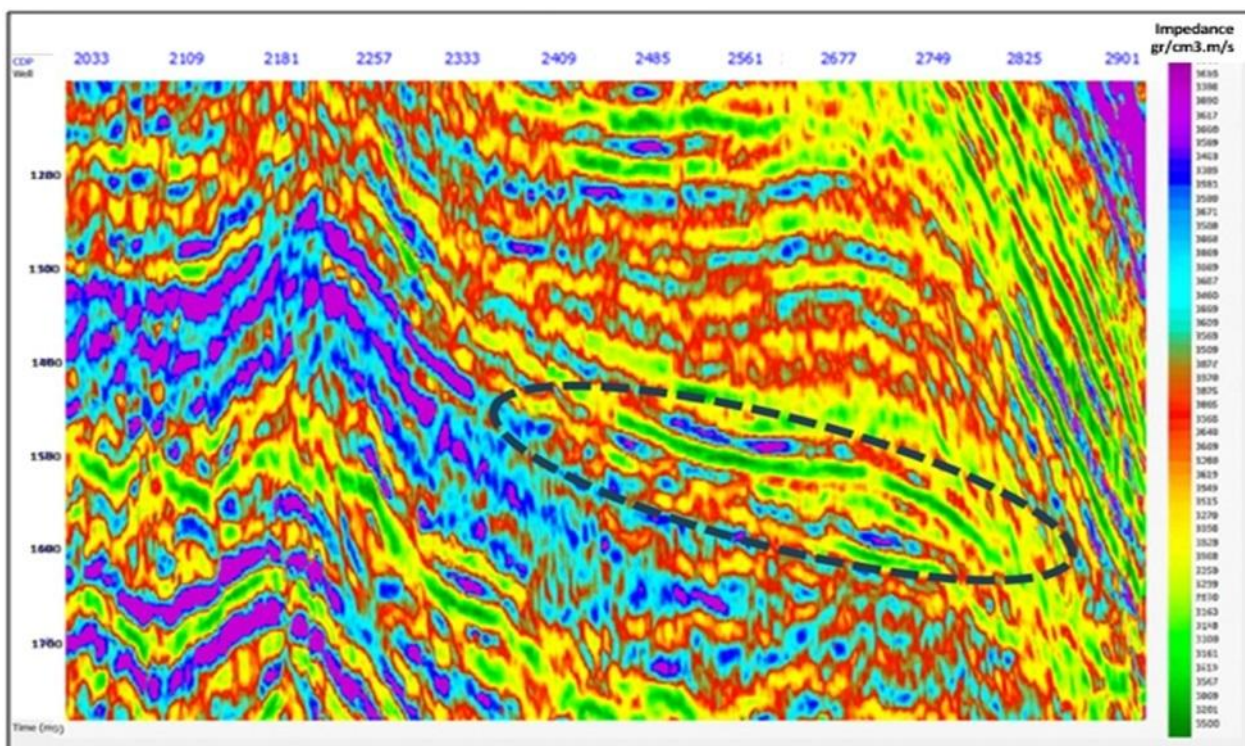
Available Online: 24-08-2026

Accepted: 19-08-2026

Accepted: 19-08-2026

Accepted: 19-08-2026

Distribusi impedansi akustik pada penampang memperlihatkan kontras yang jelas antara zona yang *soft* dan *tight*. Nilai impedansi yang paling rendah dicirikan oleh warna hijau dan muncul pada area di dalam lingkaran (pada interval TWT 1400–1600 ms dan CDP 2450–2700). Zona tersebut secara umum diinterpretasikan sebagai batu pasir berpori, karena karakter fisiknya yang memiliki impedansi lebih rendah dibandingkan litologi pengapitnya. Sebaliknya, zona dengan impedansi tinggi (biru–ungu) diasosiasikan dengan batu lempung kompak, yang bertindak sebagai lapisan penyekat (*seal*). Zona ini kemudian akan dijadikan sebagai zona target untuk dilakukan analisa lebih lanjut.



Gambar 3. Penampang impedansi akustik hasil inversi data seismik *post-stack*

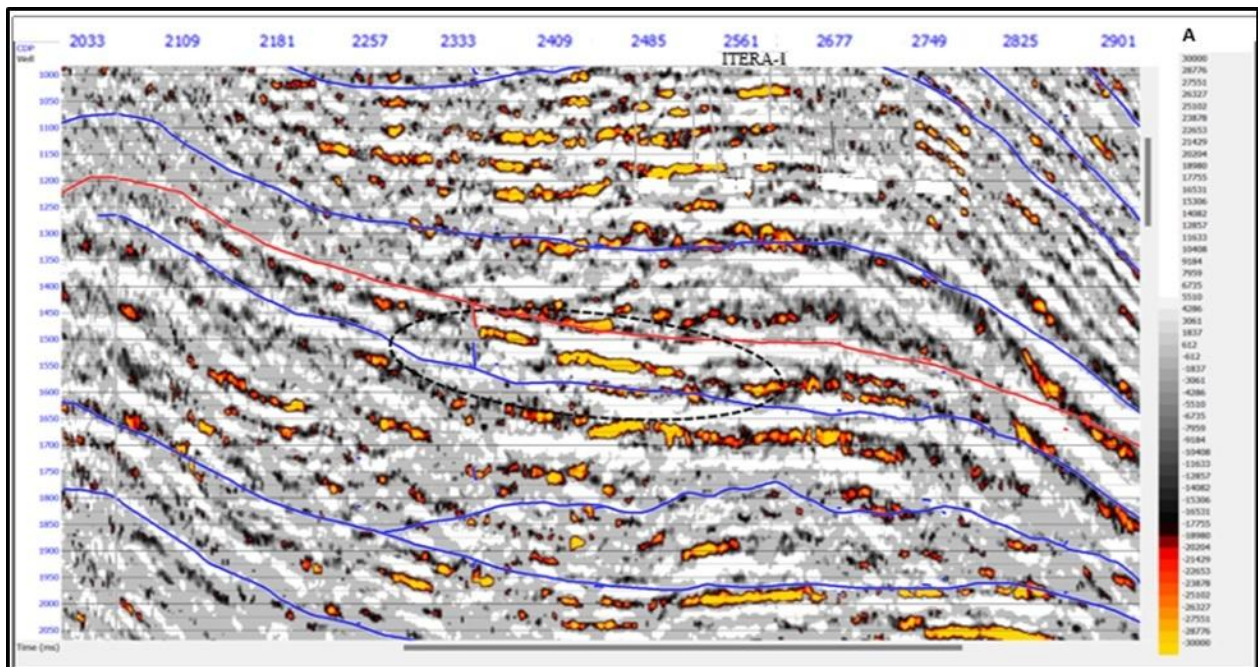
Atribut Seismik

Nilai Intercept (A) dan Gradient AVO (G) dihitung menggunakan regresi linear nilai amplitudo data seismik *angle gather* terhadap nilai sinus kuadrat dari offset yang berupa *angle*. Data *angle gather* memiliki rentang domain sudut sebesar 0–35°. Data seismik *angle gather* pada penelitian ini merupakan data hasil pengolahan dengan skema *amplitude-preserving processing*, sehingga informasi amplitudo refleksi tetap dipertahankan selama tahapan *preprocessing*. Koreksi amplitudo dilakukan untuk mengurangi pengaruh faktor-faktor non-geologi, seperti *geometrical spreading*, variasi energi sumber, dan efek atenuasi selama propagasi gelombang, tanpa menghilangkan variasi amplitudo yang berkaitan dengan perubahan sifat fisis bawah permukaan.

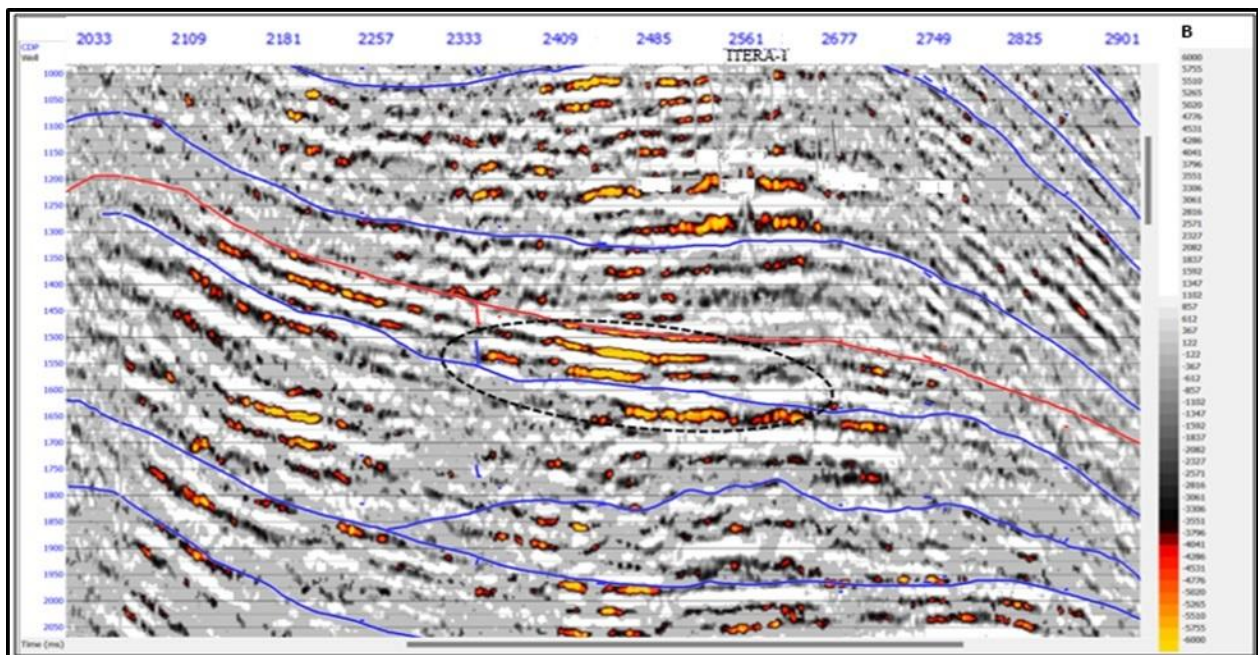
Pada penampang Intercept (A) dan Gradient AVO (G) (Gambar 4a dan 4b), zona target (zona yang berada di dalam lingkaran) memperlihatkan beberapa segmen dengan nilai Intercept dan Gradient AVO negatif, yang ditandai oleh kemunculan anomali warna kuning-oranye yang bersifat terfokus sepanjang reflektor tertentu. Nilai Intersep dan Gradien negatif pada interval ini mengindikasikan keberadaan batu pasir impedansi rendah yang tersaturasi gas. Reservoir batu pasir yang tersaturasi gas tersebut berdasarkan analisa atribut AVO dan penampang inversi impedansi akustik termasuk ke dalam batu pasir kelas III.

Atribut *Amplitude Envelope* (Gambar 5) memperlihatkan respons energi yang bervariasi pada zona bawah permukaan. Pada interval zona target (zona yang berada di dalam lingkaran) yang berkorespondensi dengan impedansi rendah, beberapa anomali energi tinggi muncul dalam bentuk warna hijau. Hal ini menunjukkan adanya kontras impedansi yang signifikan, yang umum dijumpai pada perubahan litologi dari batu lempung ke batu pasir berpori sehingga memperkuat interpretasi keberadaan reservoir.

Atribut *Sweetness* (Gambar 6), yang menggabungkan *Instantaneous Amplitude* dan *Instantaneous Frequency*, memberikan perspektif tambahan dalam mendelineasi reservoir batu pasir. Pada penampang *Sweetness*, zona prospek menunjukkan nilai *Sweetness* tinggi (oranye), terutama pada area yang bertepatan dengan anomali impedansi rendah dan *Envelope* tinggi. Karakter *Sweetness* yang tinggi ini menandakan kehadiran batu pasir dengan porositas yang baik, respon amplitudo yang kuat, serta penurunan frekuensi akibat efek atenuasi pada medium yang tersaturasi gas hidrokarbon. Dengan demikian *Sweetness* berfungsi sebagai atribut validasi yang memperkuat indikasi keberadaan reservoir batu pasir yang tersaturasi gas pada zona target penelitian.

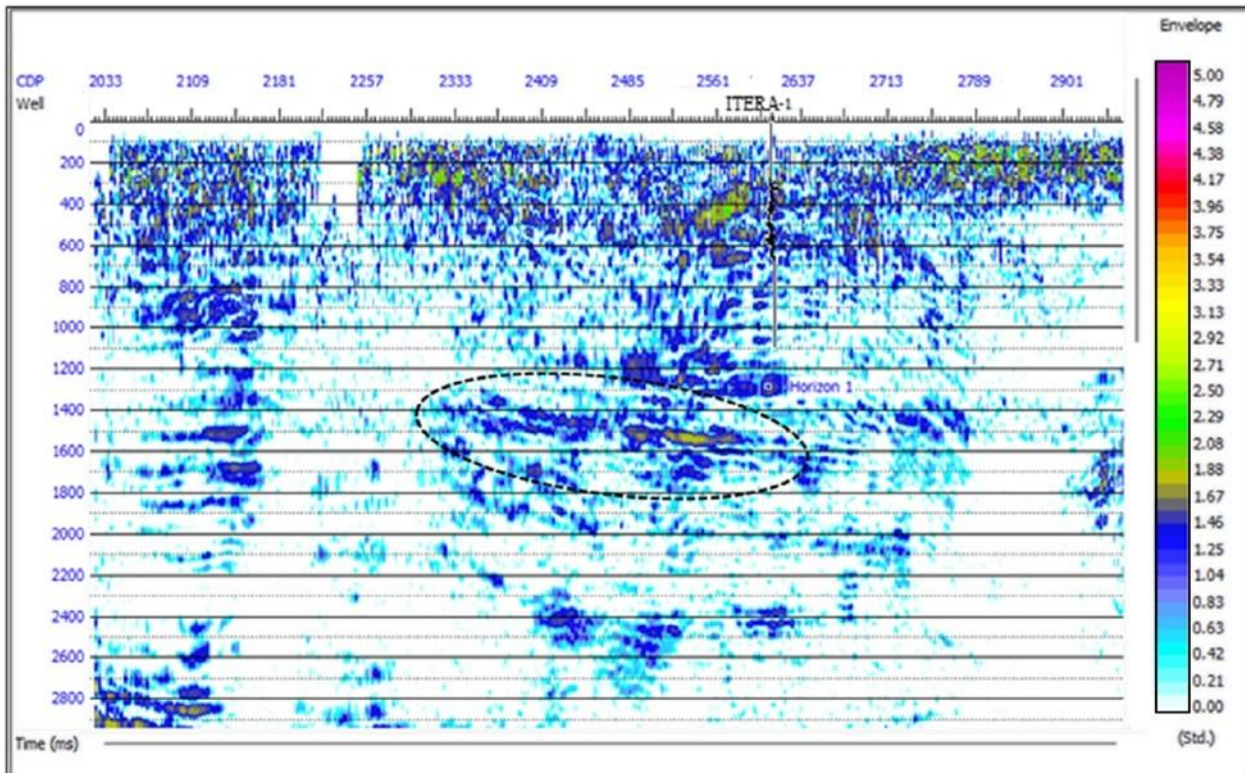


(a)

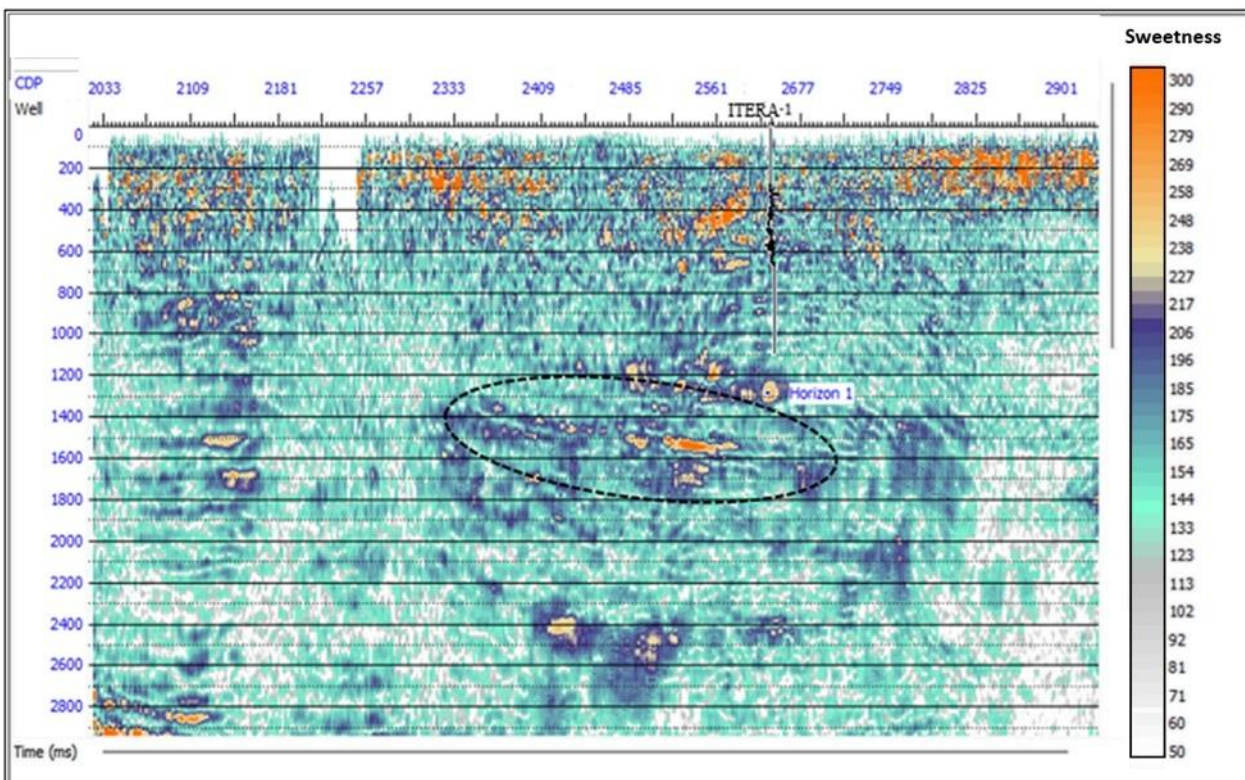


(b)

Gambar 4. (a) Penampang intersep (A), dan (b) penampang gradien (B) yang diturunkan dari data angle gather.



Gambar 5. Penampang atribut seismik *Amplitude Envelope*.



Gambar 6. Penampang atribut seismik *Sweetness*.

Standar Deviasi Spektrum Amplitudo Gelombang Seismik

Kurva spektrum amplitudo gelombang seismik dapat diturunkan berdasarkan hasil dekomposisi spectral trace seismik. Metode dekomposisi spektral yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Transformasi Stockwell. Secara matematis persamaan Transformasi Stockwell dapat dituliskan sebagai berikut (Erlangga et al., 2025).

$$U(\omega, \tau) = \int h(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(\tau-t)^2 \omega^2}{8\pi^2}} e^{-i\omega t} dt \quad (3)$$

$U(\omega, \tau)$ adalah spektrum amplitudo sebagai fungsi frekuensi dan TWT . Spektrum amplitudo hasil dekomposisi spektral dapat didekati dengan fungsi Gaussian (Zhang et al., 2002) dengan persamaan sebagai berikut.

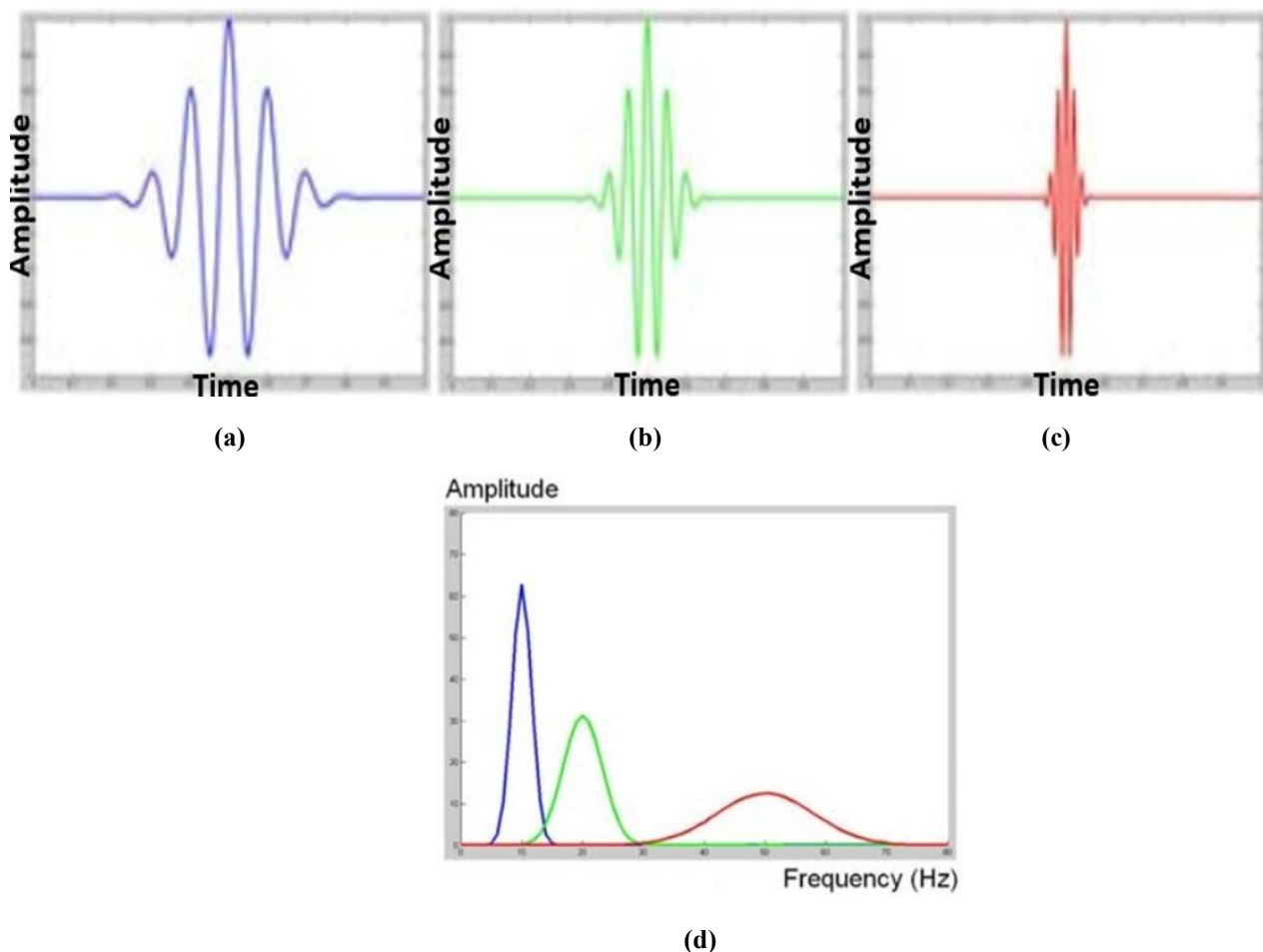
$$U(f, \tau) = U_s(f) e^{-\frac{\pi f \tau}{Q}} \quad (4)$$

Dimana wavelet sumber memiliki fungsi spektrum frekuensi sebagai berikut.

$$U_s(f) = \exp \left[\frac{-(f - f_m)^2}{\sigma^2} \right] \quad (5)$$

$U_s(f)$ adalah spektrum amplitudo sebagai fungsi frekuensi τ adalah *two way travel time* gelombang seismik, f_m adalah frekuensi dominan. Hubungan f dan ω adalah $\omega = 2\pi f$. Q adalah *Quality Factor*. Gelombang seismik yang merambat melalui medium dengan nilai Q yang rendah akan mengalami atenuasi atau pelemahan energi. σ adalah standar deviasi untuk spektrum amplitudo wavelet sumber.

Ketika gelombang merambat melalui medium lapisan bumi yang memiliki nilai Q rendah, maka komponen spektrum amplitudo gelombang seismik pada domain frekuensi tinggi akan mengalami pelemahan. Sehingga pada domain frekuensi rendah akan memiliki spektrum amplitudo tinggi.



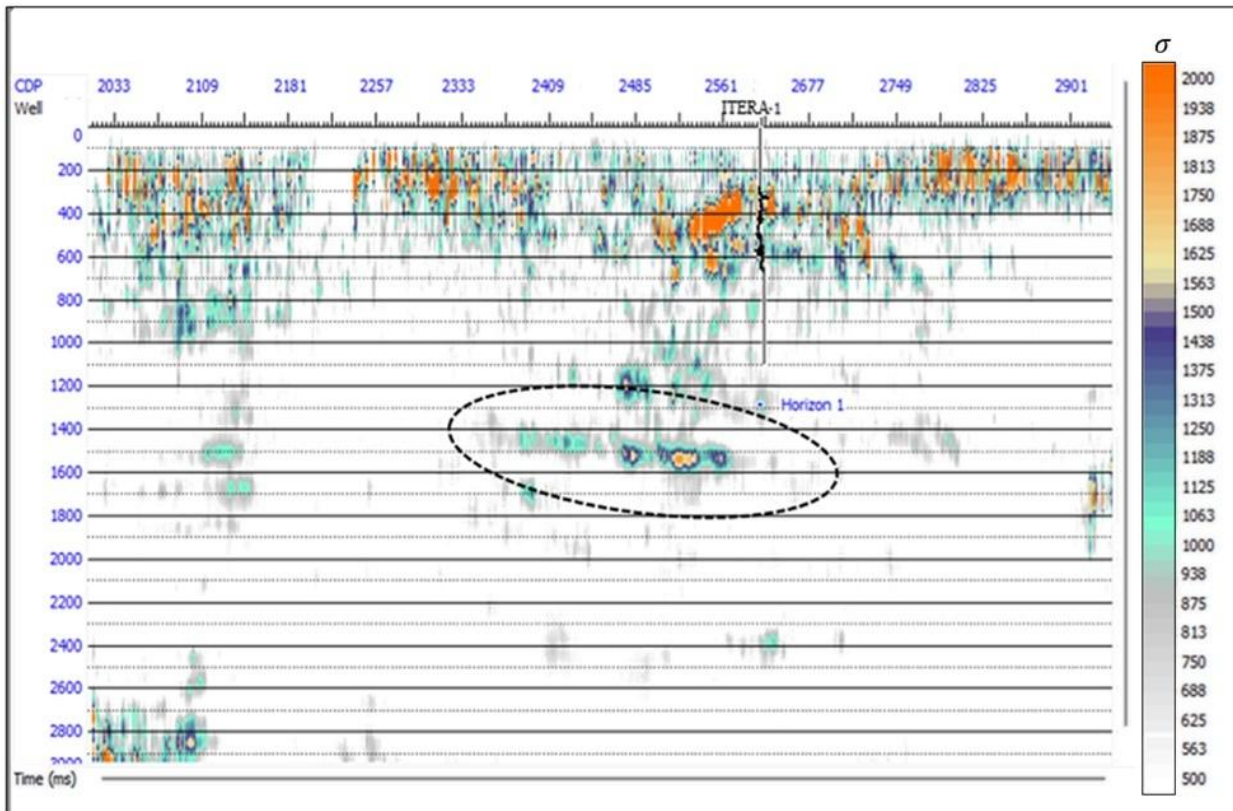
Gambar 7. Wavelet Morlet Cosinus dan spektrum amplitudo hasil dekomposisi spectral menggunakan metode transformasi Stockwell untuk frekuensi rata-rata (a) 10 Hz (biru), (b) 20 Hz (hijau), dan (c) 50 Hz (merah). (d) menunjukkan spektrum amplitudo untuk (a), (b), dan (c) (Liu, J., 2006).

Gambar 7 menunjukkan tiga wavelet Morlet dengan ukuran jendela yang berbeda dan spektrum amplitudonya yang sesuai. Wavelet Morlet dengan frekuensi rata-rata 10 Hz memiliki jendela yang lebih panjang dalam domain waktu, sehingga menghasilkan lebar pita yang lebih sempit dalam domain frekuensi. Sebaliknya, wavelet Morlet dengan frekuensi rata-rata 50 Hz memiliki jendela yang lebih pendek dalam domain waktu, sehingga menghasilkan lebar pita yang lebih lebar dalam domain frekuensi. Selain itu, amplitudo frekuensi dominan pada frekuensi rata-rata 10 Hz memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan amplitudo frekuensi dominan pada frekuensi rata-rata 50 Hz. Secara umum, transformasi Stockwell memberikan resolusi frekuensi rendah yang lebih baik dan resolusi frekuensi tinggi yang lebih rendah. Transformasi Stockwell menerapkan jendela Gaussian yang berbeda atau wavelet Morlet dengan ukuran yang berbeda untuk menghitung distribusi waktu-frekuensi (Liu, J., 2006).

Berdasarkan analisa hasil transformasi Stockwell tersebut maka gelombang seismik yang teratenuasi karena melalui medium yang tersaturasi gas akan memiliki frekuensi dominan yang rendah dan amplitudo yang tinggi, sehingga standar deviasi yang dihitung dari spektrum amplitudo hasil transformasi Stockwell juga akan memiliki nilai yang tinggi. Standar deviasi (σ) dari spektrum amplitudo dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^f (U_s(f) - \langle U_s \rangle)^2}{f}} \quad (6)$$

$\langle U_s \rangle$ adalah nilai amplitudo rata-rata dari spektrum amplitudo yang dihitung menggunakan transformasi Stockwell untuk setiap TWT.



Gambar 8. Penampang standar deviasi spektrum amplitudo gelombang seismik.

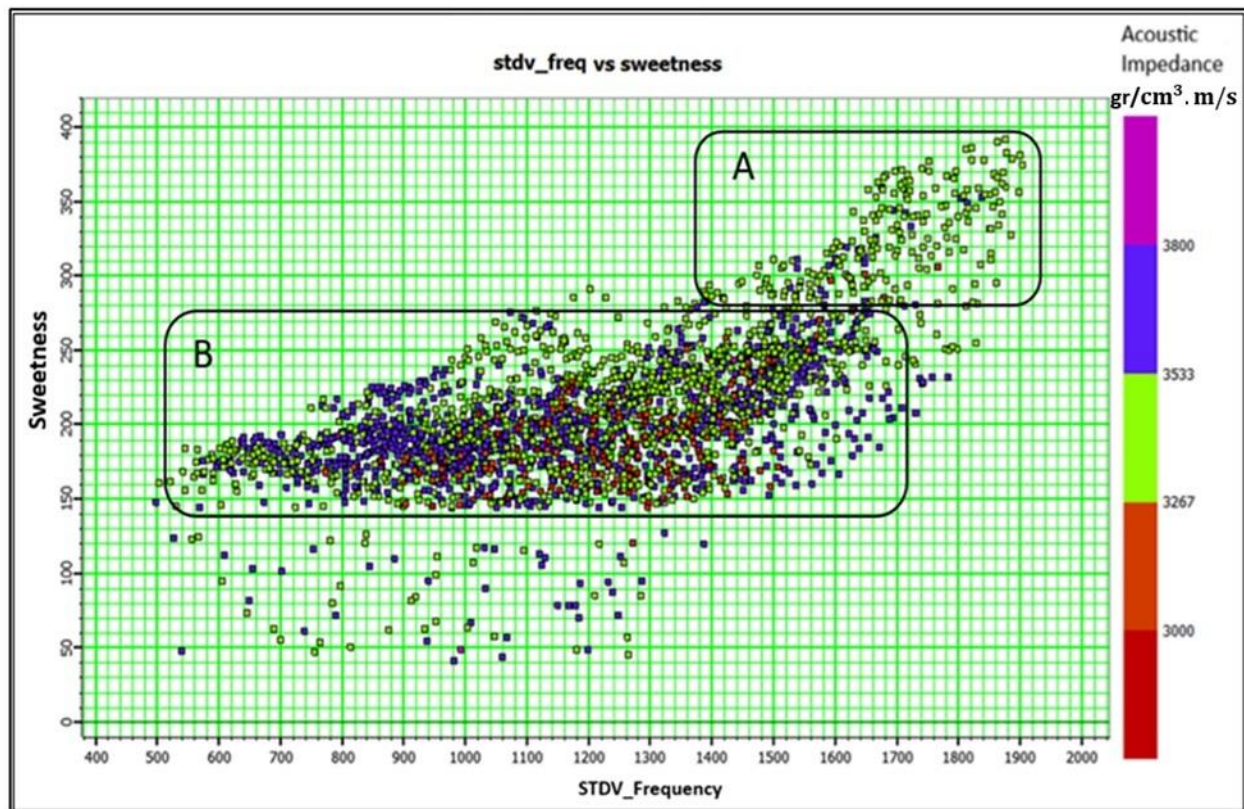
Gambar 8 adalah penampang distribusi nilai standar deviasi dari spektrum amplitudo gelombang seismik yang dihitung menggunakan metode transformasi Stockwell. Anomali yang menunjukkan nilai standar deviasi yang tinggi muncul pada interval zona target (zona di dalam lingkaran). Jika dikorelasikan dengan penampang impedansi akustik maupun atribut lainnya (misalnya *Envelope* atau *Sweetness*), anomali ini menunjukkan hasil yang konsisten secara lateral dan memperkuat interpretasi bahwa interval ini merupakan zona reservoir batu pasir pada lintasan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk melihat secara lebih jelas bagaimana hubungan antara atribut Standar Deviasi amplitudo, *Sweetness*, dan impedansi akustik, maka dilakukan *crossplot* antar atribut tersebut pada zona target (Gambar 9). Hasil analisa *crossplot* menunjukkan bahwa antara atribut *Sweetness* dan Standar Deviasi amplitudo memiliki hubungan yang berbanding lurus. Hasil *crossplot* juga dapat dibagi menjadi dua zona, yaitu zona A dan zona B. Zona A didominasi oleh nilai impedansi akustik yang rendah (warna hijau), sedangkan zona B didominasi oleh nilai impedansi tinggi (warna biru tua) dan rendah (warna coklat dan hijau). Nilai impedansi akustik yang rendah pada zona A memiliki nilai atribut *Sweetness* dan Standar Deviasi amplitudo yang tinggi, sedangkan nilai impedansi akustik yang rendah dan tinggi pada zona B memiliki nilai atribut *Sweetness* dan Standar Deviasi amplitudo yang rendah.

Nilai impedansi akustik yang rendah serta nilai *Sweetness* dan Standar Deviasi amplitudo yang tinggi menunjukkan bahwa pada zona tersebut memiliki porositas batuan yang tinggi dan atenuasi gelombang

seismik yang disebabkan kehadiran gas. Nilai impedansi akustik yang tinggi serta nilai *Sweetness* dan Standar Deviasi amplitudo yang rendah menunjukkan bahwa pada zona tersebut memiliki porositas batuan yang rendah dan ketiadaan gas. Nilai impedansi akustik yang rendah serta memiliki nilai *Sweetness* dan Standar Deviasi amplitudo yang rendah menunjukkan bahwa pada zona tersebut terdapat batuan berpori tetapi tidak tersaturasi gas. Kondisi ini menggambarkan sifat batuan yang memiliki ruang pori yang tidak saling terhubung.



Gambar 9. Crossplot atribut Standar Deviasi terhadap atribut *Sweetness* dengan skala warna berupa nilai impedansi akustik pada zona target (TWT 1400-1600 ms, CDP 2500-2600).

Penampang data seismik *post-stack* menunjukkan kemiringan perlapisan yang relatif konstan ke arah timur (kanan), tanpa adanya indikasi struktur tektonik besar seperti sesar atau lipatan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol tektonik pada interval tersebut relatif rendah, sehingga geometri stratigrafi lebih dipengaruhi oleh proses sedimentasi daripada deformasi struktural. Dengan demikian, keberadaan reservoir kemungkinan besar dikendalikan oleh perangkat stratigrafi.

Perubahan lateral impedansi akustik yang bertahap, terutama peralihan dari zona impedansi rendah ke zona impedansi tinggi, memperlihatkan adanya transisi litologi yang dapat berperan sebagai mekanisme perangkat. Pola ini mengindikasikan adanya pinch-out stratigrafi atau penyempitan lensa batupasir menuju arah lateral. Pola impedansi rendah yang tersusun dalam pita memanjang dan sejajar mengindikasikan keberadaan interval batu pasir berpori dan berpotensi sebagai reservoir. Secara khusus, zona impedansi rendah pada zona target memperlihatkan geometri lentikular dengan kontinuitas lateral yang cukup baik, mengarah pada interpretasi sebagai endapan *channel-fill* atau *sheet-sand*. Fasies ini secara umum memiliki porositas yang baik dan dapat menjadi target prospek hidrokarbon.

Ketiadaan struktur tektonik signifikan pada penampang menunjukkan bahwa mekanisme perangkat yang dominan adalah perangkat stratigrafi. Dalam konteks sistem petroleum, zona batupasir berimpedansi rendah berperan sebagai reservoir, sedangkan lapisan shale berimpedansi tinggi di atasnya bertindak sebagai top seal yang efektif.

Integrasi kedua atribut AVO (Intercept dan Gradient) pada interval zona target menunjukkan kecocokan pola anomali. Respons Intercept negatif jika dikombinasikan dengan Gradient negatif merupakan tanda

diagnostik untuk AVO kelas III, yang umumnya berasosiasi dengan reservoir batu pasir impedansi rendah yang tersaturasi gas.

Pada interval TWT 200–600 ms, nilai atribut seismik (*Envelope*, *Sweetness*) dan nilai standar deviasi spektrum amplitudo cenderung tinggi dan tersebar tidak merata. Distribusi ini mengindikasikan adanya perubahan amplitudo yang signifikan secara lateral, yang umum dijumpai pada lingkungan sedimentasi dangkal yang bersifat sangat heterogen. Variasi ini dapat disebabkan oleh perubahan litologi yang cepat, atau struktur sedimen lunak. Zona ini tidak merupakan interval target, namun memberikan konteks mengenai kompleksitas stratigrafi bagian atas.

Anomali atribut seismik (*Envelope*, *Sweetness*) dan standar deviasi spektrum amplitudo yang lebih signifikan muncul pada interval zona target (zona yang berada di dalam lingkaran). Kehadiran variasi nilai atribut seismik dan standar deviasi yang kontras merupakan indikasi kuat adanya heterogenitas internal reservoir, seperti perubahan porositas atau ketidakmenerusan lateral reservoir batu pasir. Nilai atribut seismik (*Envelope*, *Sweetness*) dan Standar Deviasi spektrum amplitudo yang tinggi serta nilai impedansi akustik yang rendah pada zona target dapat mengindikasikan keberadaan reservoir batu pasir yang tersaturasi gas. Distribusi anomali yang terfokus dan konsisten secara lateral memperkuat interpretasi bahwa interval ini merupakan zona reservoir pada lintasan penelitian.

PENUTUP

Simpulan

Hasil integrasi analisis impedansi akustik dengan atribut seismik yang berupa *Intercept*, *Gradient*, *Sweetness*, dan *Envelope* serta standar deviasi spektrum amplitudo menunjukkan indikasi yang konsisten terhadap keberadaan reservoir batu pasir yang tersaturasi gas. Zona target dengan nilai *Intercept* dan *Gradient* yang negatif serta impedansi akustik yang rendah mencerminkan penurunan densitas dan kecepatan gelombang diindikasikan akibat porositas efektif yang tinggi serta kehadiran gas (reservoir batu pasir AVO kelas III). Kondisi ini diperkuat oleh respon atribut *Sweetness*, atribut *Envelope*, dan Standar Deviasi spektrum amplitudo yang menunjukkan nilai tinggi, yang mengindikasikan nilai amplitudo gelombang seismik yang tinggi pada rentang frekuensi rendah yang khas pada batu pasir impedansi rendah yang tersaturasi gas. Keselarasan keenam parameter tersebut—impedansi rendah, *Intercept* negatif, *Gradient* negatif, *Sweetness* tinggi, *Envelope* tinggi, dan Standar Deviasi Spektrum Amplitudo tinggi—membentuk bukti yang kuat bahwa zona tersebut berpotensi sebagai reservoir batu pasir dengan saturasi gas yang baik, sekaligus mempertegas potensi gas hidrokarbon pada interval zona target.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Sumatra untuk dukungan finansialnya dalam melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, A.R. (2004), "Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data", *AAPG Memoir 42, SEG Investigations in Geophysics*, No.9, 2004.
- Barnes, A.E. (1993), "Instantaneous Spectral Bandwidth and Dominant Frequency with Applications to Seismic Reflection Data", *Geophysics*, Vol.58, hal. 419-428. <https://doi.org/10.1190/1.1443425>.
- Castagna, J., and Swan, H. (1998), "Framework for AVO Gradient and Intercept Interpretation", *Geophysics*, Vol.63, No.3, hal. 948-956. <https://doi.org/10.1190/1.1444406>.
- Egiesoba, O. (2015), "Application of the Instantaneous Quality Factor (Q) in the Characterization of the Austin Chalk and Eagle Ford Shale, South Texas," *Oral Presentation at Geoscience Technology Workshop, Unconventional Updates, Austin, Texas*.
- Ejeke, C.F., Anakwuba, E.E., Preye, I.T., Kakayor, O.G., Uyouko, I.E. (2016), "Evaluation of reservoir compartmentalization and property trends using static modelling and sequence stratigraphy", *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, Vol.7, hal. 361-377. <https://doi.org/10.1007/s13202-016-0285-z>.

- Erlangga, M.P., Sigalingging, A. S., Nugraha, P. (2025). "Identifikasi Keberadaan Gas pada Reservoir Batuan Pasir Berdasarkan Anomali Frekuensi Rendah dan Atribut Atenuasi Gelombang Seismik", *Jurnal Geosaintek*, Vol.11, No.1, hal. 31-41. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v11i1.2381>.
- Erlangga, M.P., Triyoso, W., Sukmono, S., Fatkhan, Wardaya, P., Septama, E. (2024), "The Application of Amplitude Variation with Frequency (AVF) Seismic Attribute to Map Gas Saturation Values in Low Impedance Sandstone Reservoirs", *First Break*, Vol.42, No.9, hal. 95-105. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.fb2024080>.
- Erlangga, M.P., Triyoso, W., Sukmono, S., Fatkhan, Wardaya, P., Septama, E. (2025), "The Application of Dispersion and Attenuation Seismic Attributes to Determine the Gas Saturation in Low Impedance Sandstone: A Case Study in the Sadewa Field, Indonesia", *First Break*, Vol.43, No.7, hal. 69-78. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.fb2025055>.
- Hart, B. (2008), "Channel Detection in 3-D Seismic Data Using Sweetness", *AAPG Bulletin*, Vol.92, No.6, hal. 733-742. <https://doi.org/10.1306/02050807127>.
- Liu, J. (2006), "Spectral Decomposition and Its Application in Mapping Stratigraphy and Hydrocarbons", Ph.D Dissertation.
- Lunt, P. (2019), "The origin of the East Java Sea basins deduced from sequence stratigraphy", *Marine and Petroleum Geology*, Vol.105, hal. 17–31. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.03.038>.
- Sheriff, R.E., and Geldart, L.P. (1995), *Exploration Seismology*, Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139168359>.
- Shuey, R.T. (1985), "A simplification of the Zoeppritz equations", *Geophysics*, Vol.50, No.4, hal. 530-743.
- Sukmono, S. (2007), *Seismic Inversion Method*. Institut Teknologi Bandung.
- Siguaw, S.G., Jackson, J.E.E., Igraham, S.E., and Shewmake, D.W. (2001), "An Integrated 3-D Reservoir Characterization at Riverton Dome Field, Wyoming", *The Leading Edge*, Vol.20, No.11, hal. 1226–1238.
- Taner, M.T., Koehler, F., and Sheriff, R.E. (1979), "Complex Seismic Trace Analysis", *Geophysics*, Vol.44, No.6, hal. 1022-1143.
- Yuniardi, Y. (2015), "Seismic and sequence analysis of Middle to Late Miocene deposits of Northeast Java Basin", *Indonesian Journal on Geoscience*, Vol.2, No.2, hal. 101–110. <https://doi.org/10.17014/ijog.2.2.101-110>.