

**STUDI KOMPARASI METODE MIGRASI SEISMIK DALAM
MENGKARAKTERISASI RESERVOIR MIGAS DI BLOK KANGEAN, LAUT BALI
MENGUNAKAN INVERSI IMPEDANSI AKUSTIK BERBASIS MODEL**

***COMPARATIVE STUDY OF SEISMIC MIGRATION METHOD TO CHARACTERIZE
RESERVOIR HYDROCARBON IN KANGEAN BLOCK, BALI SEA USING MODEL
BASED ON ACOUSTIC IMPEDANCE INVERSION***

Aditya P. Sidiq^{1*}, Henry M. Manik², dan Tumpal B. Nainggolan³

¹Program Studi Teknologi Kelautan, Sekolah Pascasarjana-IPB, Bogor

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB, Bogor

³Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung

*E-mail: adit31ps@gmail.com

ABSTRACT

Reservoir characterization is an important method in gas and oil exploration. In order to obtain accuracy for defining reservoir, required seismic image that similar to the actual seismic image. The complexity of earth structure could cause diffracted waves, therefore, seismic image was diffracted from its actual position. This study applies Kirchhoff and Stolt (F-K) seismic migration methods to restore the position of the reflector at the actual time and depth seismic data in North Bali. Seismic data is integrated with APS-1 well data as controls to be converted with model-based inversion techniques so as to characterize the reservoir. This study aims to compare the results of seismic migration namely Stolt and Kirchhoff migration to be converted using a model-based inversion method so that it can be seen to what extent the quality of seismic data influences the reservoir characterization process. Correlation value from the results of regression analysis between inversion log impedance and well impedance log data in Kirchhoff migration is 0.739 and regression error is 873.54, while the Stolt migration has a correlation value of 0.698 and an error value of 1236.17. This shows that Kirchhoff's migration is better than Stolt migration both qualitatively and quantitatively in characterizing hydrocarbon reservoirs.

Keywords : *inversion, F-K migration, Kirchhoff migration, reservoir characterization*

ABSTRAK

Karakterisasi reservoir menjadi penting dalam tahapan eksplorasi minyak dan gas bumi. Salah satu hal yang dibutuhkan untuk mencapai keakuratan dalam mengkarakterisasi reservoir adalah penampang seismik yang sesuai dengan penampang aslinya. Struktur lapisan bumi yang kompleks mengakibatkan gelombang terdifraksi, sehingga penampang seismik mengalami pembelokan dari posisi sebenarnya. Penelitian ini menerapkan metode migrasi seismik Kirchhoff dan Stolt (F-K) untuk mengembalikan posisi reflektor pada waktu dan kedalaman yang sebenarnya pada data seismik 2D di Perairan Utara Bali. Data seismik diintegrasikan dengan data sumur APS-1 sebagai kontrol untuk diinversikan dengan teknik inversi berbasis model sehingga dapat mengkarakterisasi reservoir. Penelitian ini bertujuan membandingkan hasil migrasi seismik yaitu migrasi Stolt dan migrasi Kirchhoff untuk diinversikan menggunakan metode inversi berbasis model sehingga dapat diketahui sejauh mana kualitas data seismik mempengaruhi proses karakterisasi reservoir. Nilai korelasi dari hasil analisis regresi antara log impedansi inversi dengan log impedansi data sumur pada migrasi Kirchhoff sebesar 0,739 dan galat regresi sebesar 873,54, sedangkan pada migrasi Stolt memiliki nilai korelasi sebesar 0,698 dan nilai galat sebesar 1236,17. Hal ini menunjukkan bahwa migrasi Kirchhoff lebih baik dari migrasi Stolt baik secara kualitatif maupun kuantitatif dalam mengkarakterisasi reservoir hidrokarbon.

Kata kunci: inversi, migrasi F-K, migrasi Kirchhoff, karakterisasi reservoir

I. PENDAHULUAN

Minyak dan gas bumi (migas) menjadi salah satu prioritas nasional pada bidang energi. Kebutuhan nasional akan sumber daya ini terus meningkat terutama pada sektor transportasi dan industri. Permintaan pasar yang tinggi, perlu diantisipasi agar cadangan migas tetap mampu memenuhi kebutuhan nasional. Salah satu tindakan yang dapat dilakukan untuk menunjang ketersediaan sumber daya migas yaitu melakukan kegiatan eksplorasi migas meliputi karakterisasi reservoir untuk menemukan wilayah kerja baru menggunakan metode dan teknologi yang tepat.

Metode seismik refleksi merupakan salah satu cara yang digunakan dalam eksplorasi migas seperti penentuan tipe batuan reservoir (Kadkhodaie and Kadkhodaie, 2018) dan karakterisasi reservoir gas biogenik (Putri *et al.*, 2016). Metode ini memanfaatkan penjalaran gelombang suara pada batuan dan kemudian direfleksikan sepanjang perbedaan lapisan batas-batas batuan tersebut. Energi yang terpantulkan menandakan nilai impedansi (kekerasan) suatu batuan. Oleh karena itu, penggunaan metode seismik dapat menggambarkan pelapisan batuan dan struktur geologi yang berpotensi sebagai sumber minyak dan gas bumi. Namun, struktur lapisan bumi yang kompleks seperti lapisan miring dan patahan menyebabkan gelombang seismik terdifraksi sehingga menimbulkan bidang reflektor semu. Hal ini, dapat mengurangi keakuratan dalam interpretasi data seismik. Efek difraksi gelombang tersebut dapat diminimalisir dengan metode migrasi pada pemrosesan data seismik. Migrasi dibutuhkan untuk memetakan refleksi seismik pada permukaan yang miring (Gray, 2014). Metode ini dilakukan untuk mengembalikan posisi reflektor pada kedalaman dan kemiringan sebenarnya yang

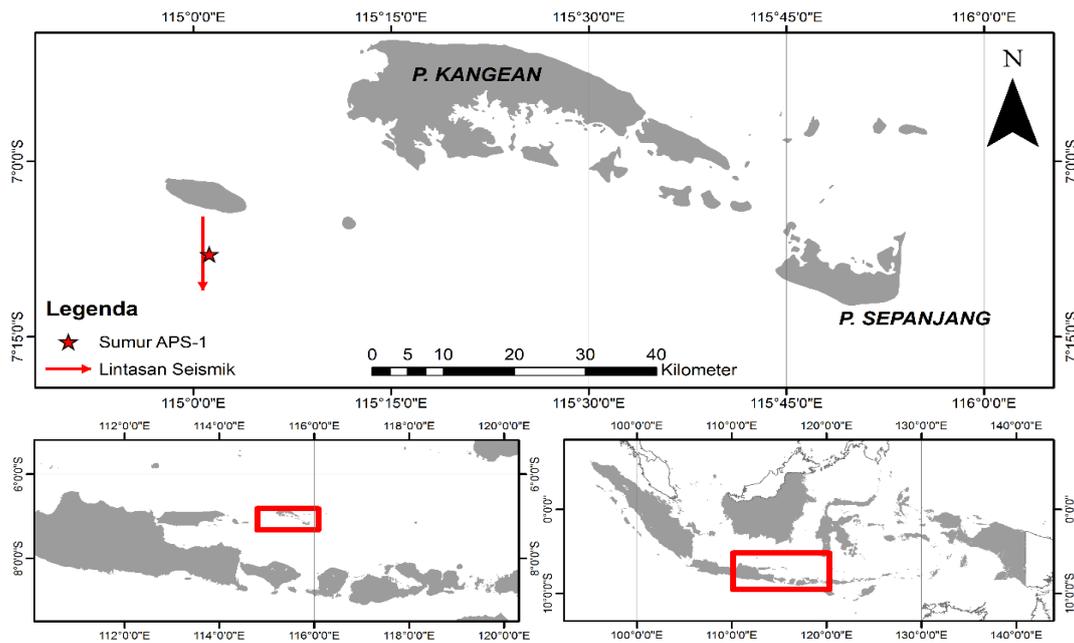
selanjutnya berguna dalam proses karakterisasi reservoir.

Proses karakterisasi reservoir dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh data yang ada sehingga dapat menggambarkan karakter reservoir secara kualitatif dan kuantitatif (Sukmono, 2002). Salah satu cara dalam mengkarakterisasi reservoir adalah dengan teknik inversi impedansi akustik. Inversi seismik diartikan sebagai teknik pemodelan geologi lapisan bumi menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai kontrol (Dikman *et al.*, 2015). Berdasarkan uraian di atas, dapat ditarik hipotesis bahwa data seismik memiliki pengaruh terhadap proses karakterisasi reservoir. Penelitian ini bertujuan membandingkan hasil migrasi seismik yaitu migrasi Stolt dan migrasi Kirchhoff untuk diinversikan menggunakan metode inversi berbasis model sehingga dapat diketahui sejauh mana kualitas data seismik mempengaruhi proses karakterisasi reservoir.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Akuisisi data seismik dilaksanakan pada tahun 2017 di Perairan Utara Bali oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL), Bandung menggunakan kapal riset Geomarin III yang dilengkapi alat seismik multi-kanal. Pengolahan data dilakukan di PPPGL, Bandung dan Laboratorium Akustik dan Instrumentasi Kelautan, FPIK-IPB. Lintasan seismik yang diteliti berada sepanjang koordinat awal 7°10'00" LS dan 115°00'00" BT hingga 7°30'00" LS dan 115°00'00" BT dengan panjang lintasan 70,96 km dan melewati sebuah sumur bernama APS-1. Pemilihan lokasi penelitian berkaitan dengan metode yang diterapkan, sehingga dapat terlihat jelas perbedaan hasil antar metode dalam mengkarakterisasi reservoir. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

2.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah komputer dengan perangkat lunak yaitu ProMAX 2D untuk pemrosesan data seismik, Hampson-Russell Software untuk pengolahan inversi impedansi akustik berbasis model, ArcGIS untuk pembuatan peta dan Microsoft Excel untuk pengolahan dan perhitungan data angka. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah data seismik laut 2D dan data sumur yang dilengkapi data log, *marker* dan *checkshot*. Data log yang diperlukan meliputi log gamma ray (GR), log densitas (RHOB), log porositas (NPHI), log kecepatan suara (p-wave) dan log resistivitas (LLD).

2.3. Metode Migrasi Stolt (Frekuensi – Bilangan Gelombang)

Metode Migrasi F-K dilakukan pada kawasan yang berbeda, jika pada umumnya migrasi dilakukan pada kawasan jarak (*offset*) dan waktu (t-x) maka migrasi Stolt dilakukan pada kawasan frekuensi dan bilangan gelombang (f-k) pada kecepatan konstan (Ibrahim and Sacchi, 2015). Penggunaan transformasi Fourier pada proses

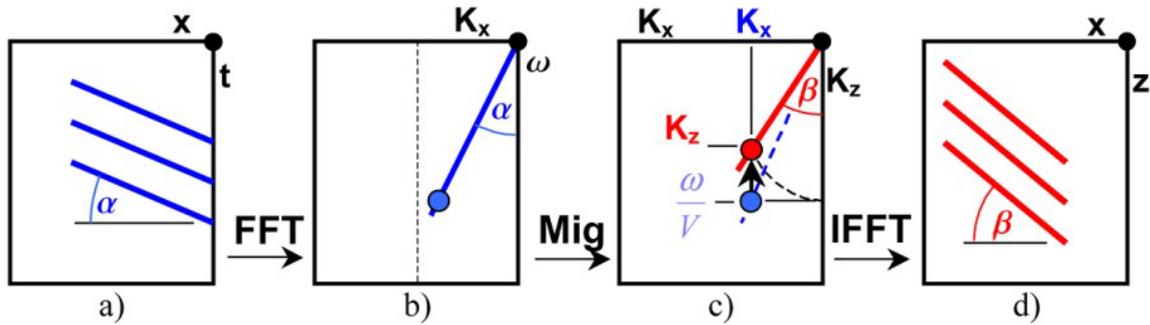
migrasi dapat dilakukan dengan sederhana. Secara singkat persamaan gelombang dalam domain waktu-ruang adalah persamaan (1) dan persamaan gelombang dalam domain bilangan gelombang-frekuensi didefinisikan persamaan (2) (Bancroft, 2001).

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 P}{v^2 \partial t^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$k_x^2 + k_z^2 = \frac{\omega^2}{v^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$k_z = \sqrt{\frac{\omega^2}{v^2} - k_x^2} \dots\dots\dots (3)$$

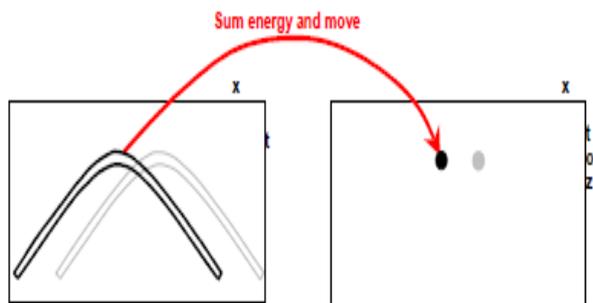
Keterangan k_x adalah transformasi Fourier dari komponen x . Variabel ω adalah transformasi Fourier dari komponen t . Variabel V adalah kecepatan. Operasi matematika dilakukan pada Persamaan (2) untuk mendapatkan k_z pada Persamaan (3), sehingga data yang energinya semula berada pada $P(k_x, \omega/v)$ dengan kemiringan α sebelum migrasi, berpindah ke $P(k_x, k_z)$ dengan kemiringan β setelah migrasi dan jarak radial setelah pergerakan dinotasikan dengan ω/v (Gambar 2).



Gambar 2. Ilustrasi langkah migrasi F-K pada kecepatan konstan. a) input domain waktu, b) input transformasi fourier, c) penampang migrasi fourier dan d) penampang setelah migrasi (Bancroft, 2001). Warna biru adalah ilustrasi untuk data sebelum migrasi dan warna merah adalah hasil migrasi.

2.4. Migrasi Kirchhoff

Migrasi Kirchhoff pada penelitian ini dilakukan pada kawasan waktu dengan menggunakan kecepatan RMS dan *straight ray*. Metode migrasi Kirchhoff didasarkan pada penjumlahan kurva difraksi berupa nilai amplitudo dengan pendekatan secara statistik dimana posisi suatu titik di bawah permukaan dapat saja berasal dari berbagai kemungkinan lokasi dengan tingkat probabilitas yang sama (Gambar 3).



Gambar 3. Metode migrasi Kirchhoff dengan prinsip penjumlahan kurva difraksi (Bancroft, 2001).

Berdasarkan Gambar 3, amplitudo dari reflektor hiperbola akan dijumlahkan dan menghasilkan satu titik yang berada pada lokasi yang sebenarnya. Secara matematis proses penjumlahan amplitudo pada migrasi Kirchhoff dapat dilihat pada Persamaan 4 :

$$t^2(x) = t^2(0) + \frac{4x^2}{V_{rms}^2} \dots\dots\dots (4)$$

Variabel $t(x)$ menunjukkan waktu pada posisi yang sebenarnya dalam satuan milisekon (ms). Waktu posisi awal reflektor, $t(0)$ dalam satuan milisekon (ms). Variabel x adalah jarak dari titik puncak ke input tras, sedangkan V_{rms} adalah kecepatan pada titik kurva.

2.5. Metode Inversi Berbasis Model

Metode ini dilakukan dengan membuat sebuah model geologi dan membandingkannya dengan data seismik (Putri *et al.*, 2016). Secara iteratif, model geologi diperbaharui sehingga tingkat korelasinya dengan data seismik lebih baik (tingkat kesalahan kecil). Inversi berbasis model berada pada inversi pasca penumpukan yaitu pengolahan data dengan melakukan penumpukan terlebih dahulu dan berdasarkan algoritmanya, berada pada inversi amplitudo. Informasi yang didapatkan dari metode inversi ini lebih akurat dan jelas, karena metode ini memasukkan komponen frekuensi rendah dari data log. Nilai impedansi akustik yang dihasilkan memiliki tingkat kontras yang jelas, sehingga memudahkan interpreter dalam menentukan batas atas dan batas bawah lapisan reservoir.

$$IA = \rho \cdot v \dots\dots\dots (5)$$

$$KR = \frac{IA_2 - IA_1}{IA_2 + IA_1} \dots\dots\dots (6)$$

$$s(t) = w(t) * r(t) \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan : IA_1 = Impedansi akustik medium pertama ((ft/s) * (g/cc)); IA_2 = Impedansi akustik medium kedua ((ft/s)*(g/cc)); ρ = densitas (g/cc); v = kecepatan (ft/s); KR = koefisien refleksi bernilai -1 sampai +1; $s(t)$ = seismogram sintetik; $w(t)$ = wavelet; dan $r(t)$ = deret koefisien refleksi.

Hasil akhir dari inversi berbasis model adalah berupa model impedansi akustik yang mencerminkan sifat fisis dari batuan sedangkan nilai bidang batas batuan itu sendiri dibantu oleh keberadaan data seismik. Model impedansi akustik didapatkan dengan perkalian data log kecepatan suara dengan data log densitas (Pers 5). Nilai impedansi tersebut diturunkan sehingga diperoleh koefisien refleksinya (Pers 6). Nilai koefisien refleksi yang didapat dikonvolusikan dengan sebuah wavelet untuk mendapatkan seismogram sintetik (Pers 7). Jejak seismik asli dibandingkan dengan hasil seismogram sintetik untuk memperoleh korelasi yang tinggi antara keduanya. Proses ini dilakukan secara iteratif, sehingga model yang dibuat memiliki tingkat kecocokan yang tinggi dengan data seismik.

2.6. Pengolahan Data

Pengolahan data dibagi menjadi dua tahapan yaitu, pengolahan data seismik dan inversi seismik berbasis model. Pengolahan data seismik dimulai dengan memasukkan data mentah ke dalam database pada ProMAX 2D. Data yang telah berhasil dikenali oleh ProMAX, dikaji dengan tahapan geometri untuk memasukkan parameter akuisisi ke dalam data seismik. Data yang telah memiliki atribut geometri, memerlukan proses penyuntingan untuk mengeliminasi data perekaman yang buruk. Kualitas data seismik yang telah dipisahkan dari data buruk, dapat ditingkatkan dengan proses *True Amplitude Recovery* (TAR)

untuk mengembalikan energi yang hilang selama penjalaran gelombang akibat atenuasi oleh lapisan bumi. Hasil perekaman data seismik setidaknya memiliki *multiple* periode pendek sehingga proses dekonvolusi digunakan untuk memprediksi jarak reflektor dengan *multiple* untuk meningkatkan resolusi temporal data seismik. Gelombang yang menjalar pada suatu medium dengan sifat elastis yang berbeda akan menyebabkan perbedaan kecepatan gelombang sehingga analisis kecepatan diperlukan untuk menentukan kecepatan gelombang yang terpantul pada suatu reflektor. Hasil dari analisis kecepatan digunakan pada proses *Normal Move Out* untuk menghilangkan pengaruh jarak terhadap penjalaran gelombang dan analisis kecepatan digunakan juga pada proses penumpukan. Proses akhir yaitu melakukan dua metode migrasi ; Stolt dan Kirchhoff. Hasil kedua migrasi digunakan sebagai masukan (*input*) pada inversi berbasis model untuk dibandingkan.

Pengolahan inversi seismik diawali dengan penentuan zona target, proses selanjutnya dilakukan dengan pengikatan data sumur (*well*) terhadap data seismik, proses ini disebut *well seismic tie*. Tingkat korelasi yang baik antara data sumur dan data seismik menyebabkan proses inversi menjadi lebih akurat. Data yang dibutuhkan untuk pengolahan data sumur adalah log kecepatan suara (p-wave), densitas (RHOB) dan *checkshot* untuk menghasilkan seismogram sintetik. Seismogram sintetik dibuat dengan mengkonvolusikan koefisien refleksi yang didapat dari data log kecepatan suara dan log densitas dengan sebuah wavelet yang berasal dari zona target.

Proses *well seismic tie* dengan korelasi tinggi berdampak baik pada proses inversi, yaitu dapat mengetahui kedalaman aktual zona target. Kedalaman aktual diperlukan untuk penelusuran horizon yaitu proses menelusuri garis seismik yang diduga melewati zona target pada sumur. Horizon yang telah didapat, digunakan

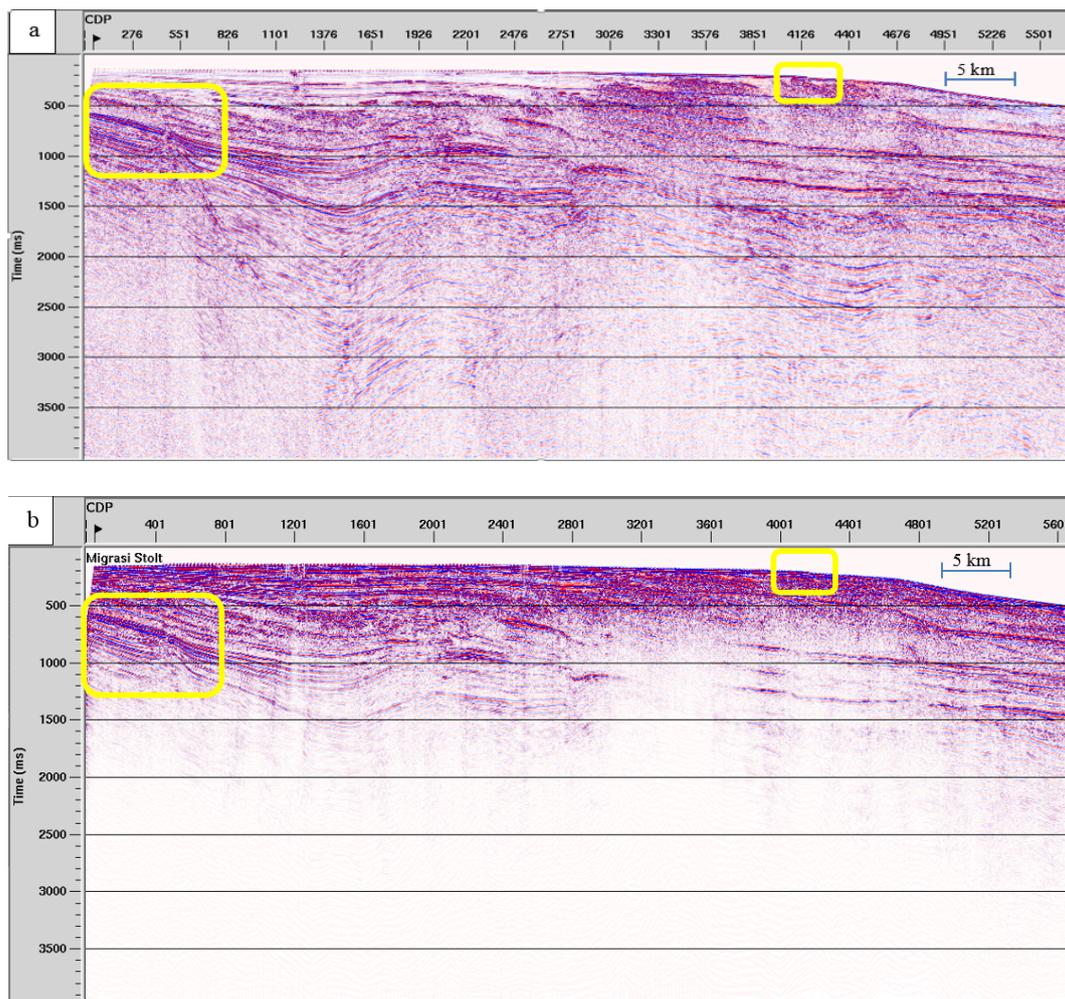
dalam membuat model inisial bumi untuk melihat zona reservoir dan non-reservoir, kualitas model dipengaruhi data seismik. Tahap akhir adalah pembuatan model inversi seismik berbasis model dari masing-masing migrasi yang kemudian dibandingkan hasilnya secara kualitatif dan kuantitatif untuk mengetahui migrasi yang baik dalam mengkarakterisasi reservoir.

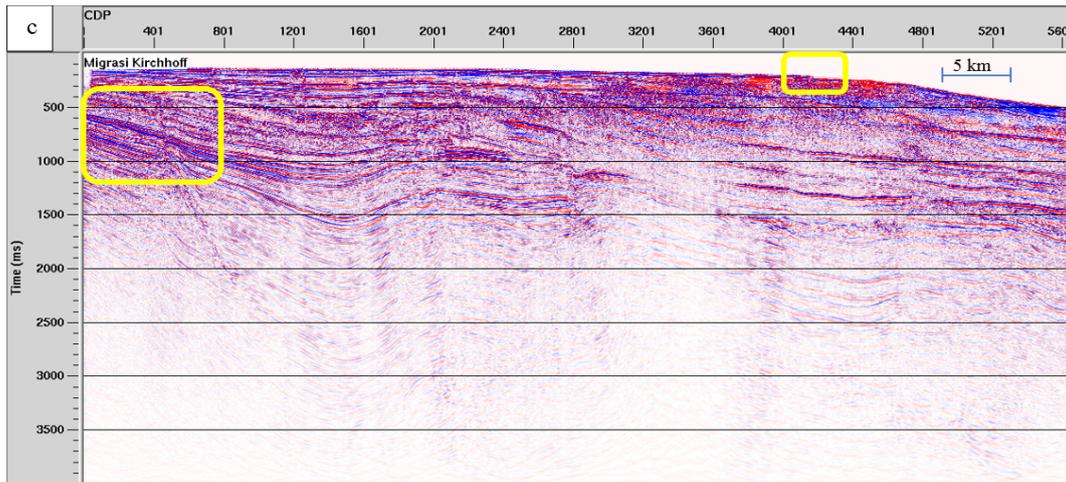
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Pengolahan Data Seismik

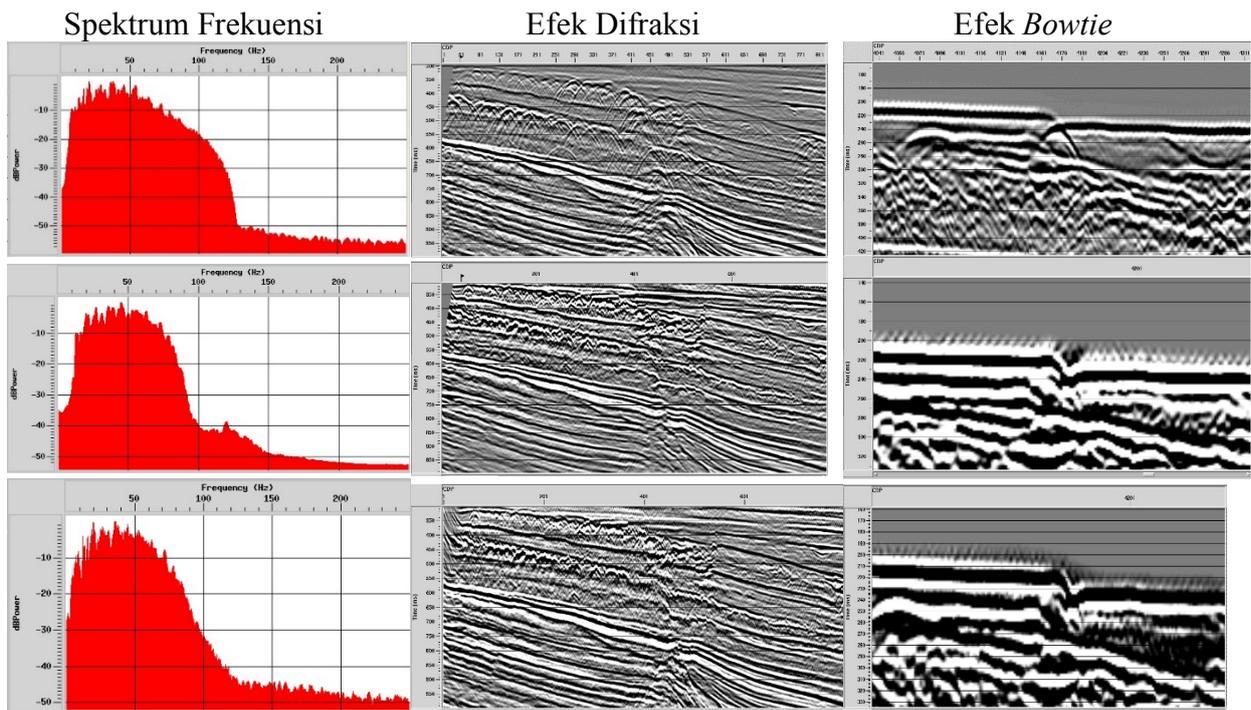
Data seismik refleksi yang diterima dipengaruhi oleh variasi kecepatan, posisi reflektor dan difraksi gelombang seismik. Faktor-faktor tersebut mempengaruhi kualitas penampang seismik karena tidak jarang menyebabkan posisi reflektor tidak pada kedalaman dan posisi yang sebenarnya.

Salah satu proses yang dapat dilakukan untuk mengurangi efek tersebut adalah proses migrasi. Proses migrasi menghasilkan gambaran struktur lapisan bumi yang dapat menginterpretasikan kemungkinan lokasi adanya hidrokarbon (Gray, 2014). Gambar 4 menunjukkan hasil dari migrasi Kirchhoff dan migrasi Stolt dibandingkan dengan sebelum dilakukan migrasi pada lintasan yang diteliti. Kotak kuning menunjukkan daerah yang mengalami perubahan signifikan dari hasil migrasi yang secara detail dibahas pada Gambar 5. Secara umum, penampang yang telah dimigrasi menunjukkan peningkatan kualitas. Hal ini dapat dilihat dari tereduksinya derau, reflektor menjadi lebih tegas akibat difraksi gelombang yang tereduksi dan kemenerusan lapisan yang jelas.





Gambar 4. Hasil perbandingan antara hasil penumpukan (a), migrasi Stolt (b) dan migrasi Kirchhoff (c). Bingkai berwarna kuning menunjukkan daerah yang mengalami perubahan. Secara mendalam, area bingkai kuning diperbesar pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil pemrosesan data seismik sebelum migrasi (atas), migrasi Stolt (tengah) dan migrasi Kirchhoff (bawah) terhadap frekuensi, atenuasi difraksi dan efek bowtie.

Frekuensi menjadi parameter yang perlu diperhatikan saat melakukan migrasi. Data seismik yang baik memiliki rentang frekuensi antara 10 – 80 Hz dengan frekuensi dominan sekitar 30 Hz (Yilmaz, 2001). Hasil analisis frekuensi pada sebelum dan sesudah

migrasi dapat dilihat pada Gambar 5 dengan sumbu x menyatakan frekuensi dan sumbu y menyatakan nilai *dB Power*. Frekuensi sebelum migrasi menunjukkan rentang frekuensi yang dibuat pada saat bandpass filter dengan batas 130 Hz. Hasil migrasi

menunjukkan frekuensi berada pada rentang 10-80 Hz. Migrasi F-K dapat mereduksi frekuensi dibawah 10 Hz dan mampu mengatenuasi derau dengan frekuensi tinggi, terlihat pada spektrum frekuensi menjadi lebih halus. Frekuensi hasil migrasi Kirchhoff menunjukkan peningkatan energi, terlihat pada *dB Power* yang bertambah dari -37 dB ke -27 dB. Selain itu, migrasi Kirchhoff juga meningkatkan sinyal pada frekuensi tinggi sehingga derau frekuensi tinggi kembali muncul. Ramdhani *et al.* (2013) menyatakan frekuensi seismik dominan berada pada rentang 70 Hz – 150 Hz, diatas frekuensi 150 Hz amplitudo semakin kecil diakibatkan adanya proses atenuasi energi gelombang seismik.

Difraksi gelombang seismik menyebabkan penampang seismik menjadi kurang akurat sehingga efek ini harus dihilangkan. Gambar 5 memperlihatkan kemampuan masing-masing metode migrasi dalam mengatasi efek difraksi. Penampang sebelum migrasi menunjukkan efek *bowtie* masih terlihat jelas pada lintasan yang diteliti. Selain itu, pada penampang sebelum migrasi, efek difraksi gelombang masih jelas terlihat, sedangkan penampang yang telah termigrasi menunjukkan bahwa kurva difraksi sudah berkurang. Metode Stolt dapat meminimalisir keberadaan *bowtie* namun migrasi ini memunculkan derau baru seperti difraksi gelombang yang lainnya sehingga gambaran yang dihasilkan kurang akurat.

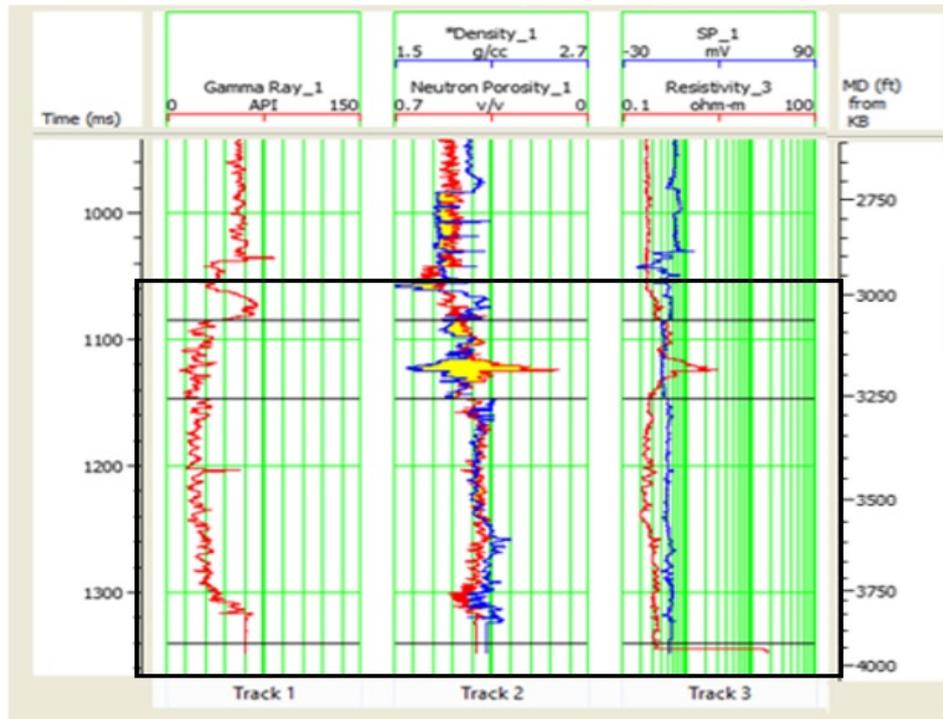
Metode Kirchhoff menghasilkan penampang yang bebas dari efek difraksi, migrasi Kirchhoff membuat kurva-kurva difraksi berada pada titik refleksinya. Efek *bowtie* cenderung membentuk lengkungan ke bawah sebelum dimigrasi, setelah dimigrasi efek tersebut hilang dan memberikan kemenerusan yang lebih baik pada masing-masing metode. Efek *bowtie* sudah tidak terlihat dan lebih halus, selain itu struktur geologi lapisan bumi mengalami peningkatan kualitas.

Penampang yang telah dimigrasi menunjukkan peningkatan resolusi. Migrasi Stolt menunjukkan resolusi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sebelum migrasi, namun karena masih adanya derau, penampang menjadi kurang akurat. Migrasi Kirchhoff mampu memperbaiki struktur geologi lapisan bumi namun resolusinya lebih rendah dari migrasi Stolt. Kelemahan migrasi Kirchhoff memang terletak pada kualitas resolusinya yang kurang baik pada data dengan frekuensi yang rendah (Yilmaz, 2001). Proses migrasi pada penelitian ini dilakukan setelah penumpukan pada *zero offset* dalam domain waktu atau disebut *Poststack Time Migration* sehingga jumlah data pada kedua migrasi mengalami pengurangan (Sulistiana *et al.*, 2011).

3.2. Analisis Pengolahan Inversi Seismik

3.2.1. Zona Target Penelitian

Tahap awal sebelum melakukan interpretasi adalah menentukan zona target dengan menganalisis data sumur yang tersedia. Log *gamma ray* yang terdefleksi ke kiri mengindikasikan adanya zona reservoir yang tersusun atas batuan dengan tingkat radioaktif rendah dan bersifat permeabel. Log resistivitas mengindikasikan adanya respon fluida hidrokarbon, keberadaan gas akan membuat nilai resistivitas tinggi atau terdefleksi ke kanan. Nilai log porositas dan densitas mengindikasikan adanya zona reservoir, dimana batuan yang memiliki porositas tinggi berpotensi mengandung hidrokarbon. Pola *crossover* pada kombinasi log ini menandakan adanya gas (Putri *et al.*, 2016). Zona target pada sumur APS-1 diprediksi berada pada batas lapisan batugamping sampai batas bawah lapisan batupasir yaitu dari kedalaman 3077 ft sampai 3950 ft (937,87 m sampai 1203,96 m). Ketebalan lapisan zona target APS-1 diperkirakan 873 ft (266,09 m). Zona target pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6 pada area bingkai hitam.



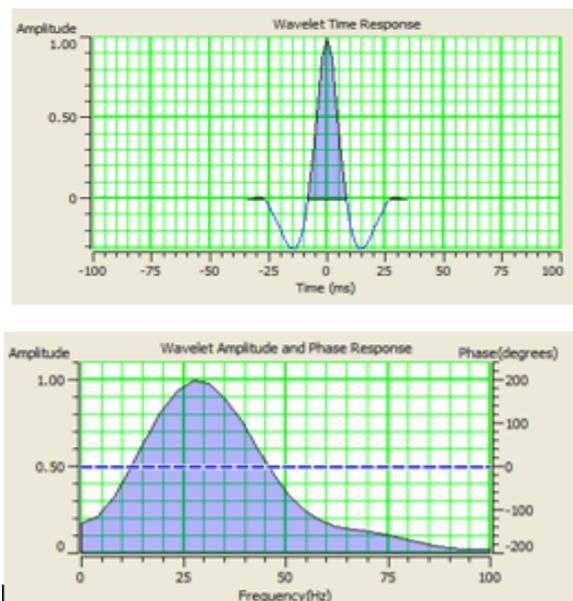
Gambar 6. Zona target penelitian.

3.2.2. Analisis *Well Seismic Tie*

Well seismic tie digunakan untuk mengkorelasikan data sumur dengan data seismik sehingga mendapatkan posisi kedalaman yang sebenarnya dengan memanfaatkan seismogram sintetik (Sukmono, 2002). Proses *well seismic tie* dipengaruhi oleh atribut wavelet yang digunakan. Wavelet sebaiknya memiliki atribut yang sama dengan wavelet seismik pada zona target untuk memudahkan proses pengikatan dan meningkatkan akurasi.

Ekstraksi wavelet yang digunakan pada proses ini menggunakan ekstraksi statistik (dari data seismik) karena memiliki nilai korelasi yang tinggi dibandingkan jenis metode ekstraksi lainnya. Wavelet diekstraksi berada pada daerah zona target. Wavelet yang digunakan berjenis *zero phase* dengan panjang wavelet sebesar 71 ms, *taper length* 14 ms, fasa 0 derajat dan *sample rate* 2 ms. Panjang wavelet sebaiknya dibawah 1/3 dari jendela window agar zona target dapat digambarkan dengan baik. Nilai *taper length* berkisar 10-20% dari panjang wavelet. Gambar 7 menunjukkan hasil

ekstraksi wavelet.



Gambar 7. Hasil ekstraksi wavelet pada proses *well seismic tie*. Panel kiri merupakan plot respon wavelet terhadap waktu dan panel kanan merupakan plot respon wavelet terhadap fase.

Hasil yang didapatkan menunjukkan korelasi yang cukup tinggi pada masing-masing data seismik. Korelasi data sumur dengan data seismik migrasi Kirchhoff relatif lebih tinggi dari migrasi Stolt. Hasil pengikatan data sumur dan seismik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengikatan data sumur dengan data seismik

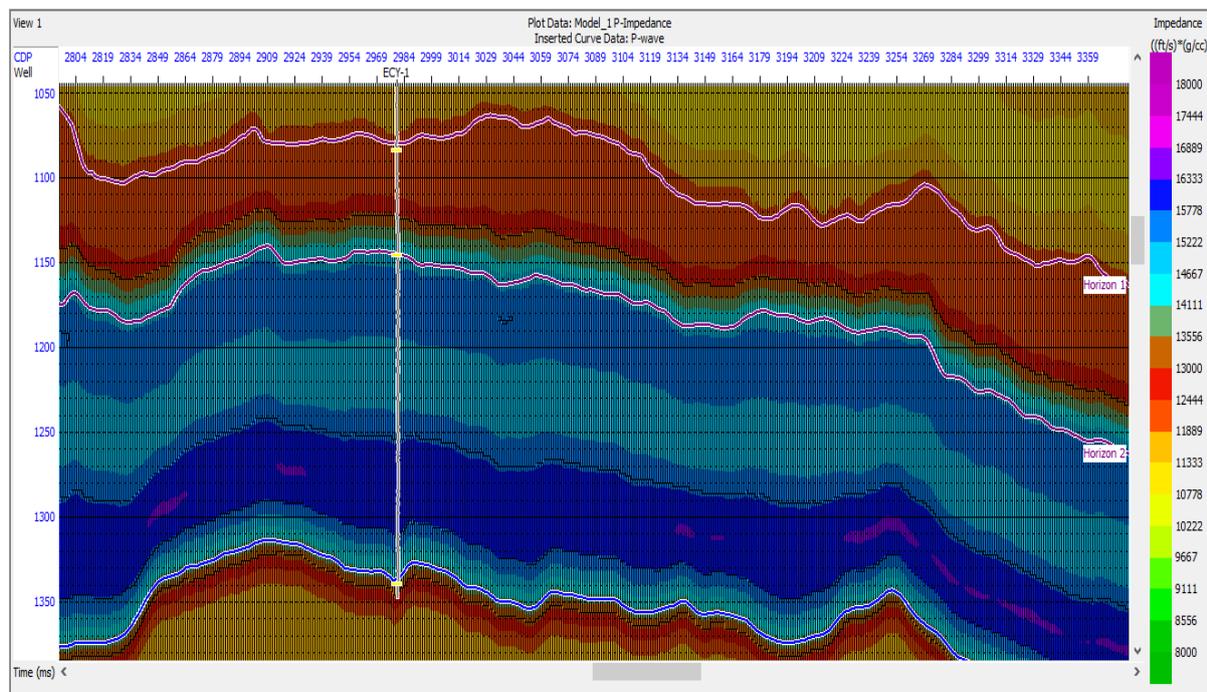
Metode Migrasi	Korelasi Data Sumur dengan Data Seismik
Migrasi Kirchhoff	0,649
Migrasi Stolt	0,618

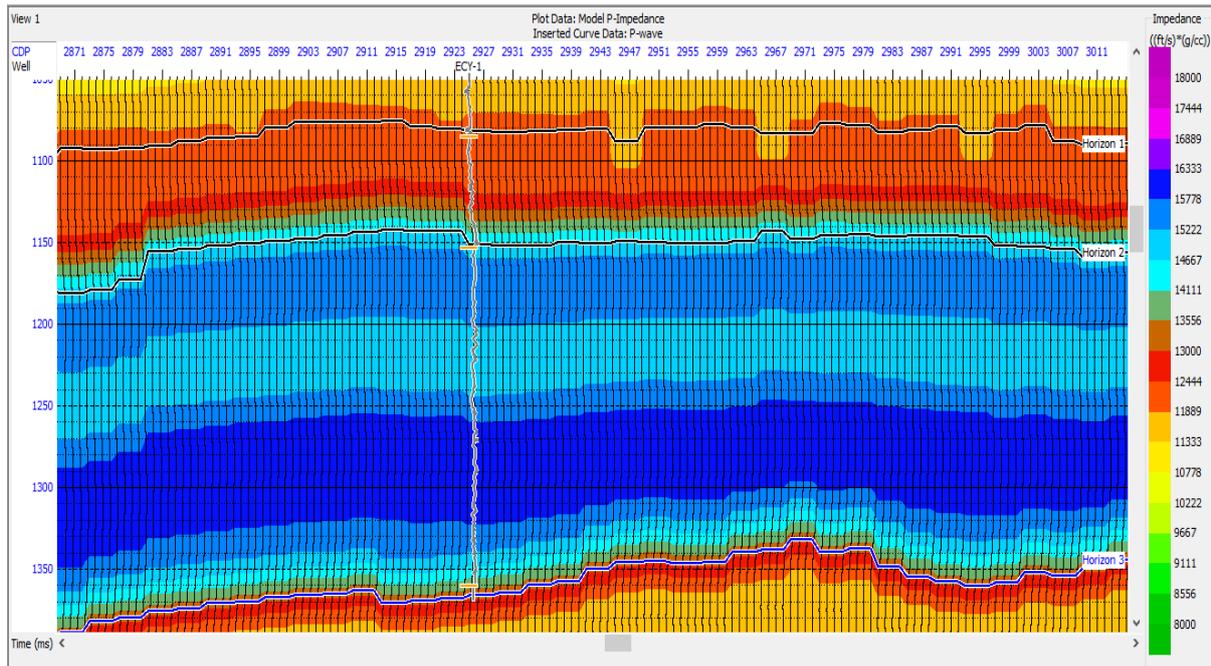
Nilai korelasi ini dapat dikategorikan kuat mengingat data seismik dan data sumur sulit mendapatkan korelasi sempurna akibat perbedaan frekuensi dalam masing-masing survei (Lines and Newrick, 2004). Faktor lain yang menyebabkan pengikatan data seismogram sintetik sering tidak memuaskan adalah faktor lapisan bumi yang berperan sebagai filter dalam proses penjaralan gelombang (merubah bentuk wavelet).

3.2.3. Analisis Model Inisial Bumi

Model inisial bumi dibuat sebagai kontrol nilai sebaran impedansi suatu batuan. Data sumur dan data seismik diperlukan untuk membuat suatu model bumi. Log impedansi akan diaplikasikan pada seluruh data seismik sehingga didapatkan sebaran nilai impedansi secara horizontal. Model inisial bumi berfungsi untuk melengkapi nilai frekuensi rendah dari data seismik sehingga reflektor dengan frekuensi rendah dan tinggi dapat dikontrol dengan baik (Sukmono, 2002). Selain, kedua data di atas, hasil penelusuran horizon dimasukkan sebagai acuan dalam ekstrapolasi data sumur pada volume seismik.

Model inisial bumi pada penelitian ini dibuat pada sumur APS-1, hasil kedua migrasi seismik dan ketiga horizon yang telah dibuat. *Highcut frequency* yang digunakan adalah 10/15 Hz. Kualitas model inisial bumi juga dipengaruhi oleh korelasi *well seismic tie*, selanjutnya apabila telah didapatkan model bumi yang sesuai inversi seismik dapat dilakukan dengan baik.





Gambar 8. Hasil inisial model bumi pada migrasi Kirchhoff (atas) dan Stolt (bawah).

Model awal menunjukkan nilai impedansi diekstrapolasikan dengan baik pada zona target. Secara kualitatif, dilihat dari penampang seismik, migrasi Kirchhoff menghasilkan kualitas data yang baik. Hal ini dapat terlihat dengan batas-batas lapisan yang terlihat dengan jelas, sehingga mudah dalam penentuan titik horizon. Migrasi Stolt menunjukkan hasil yang berbeda, batas lapisan kurang terlihat dengan jelas, sehingga sulit dalam menentukan titik horizon. Selain itu, tingkat kualitas horizon dalam menggambarkan lapisan bumi yang sebenarnya pada migrasi Kirchhoff lebih baik. Hasil inisial model bumi dapat dilihat pada Gambar 8.

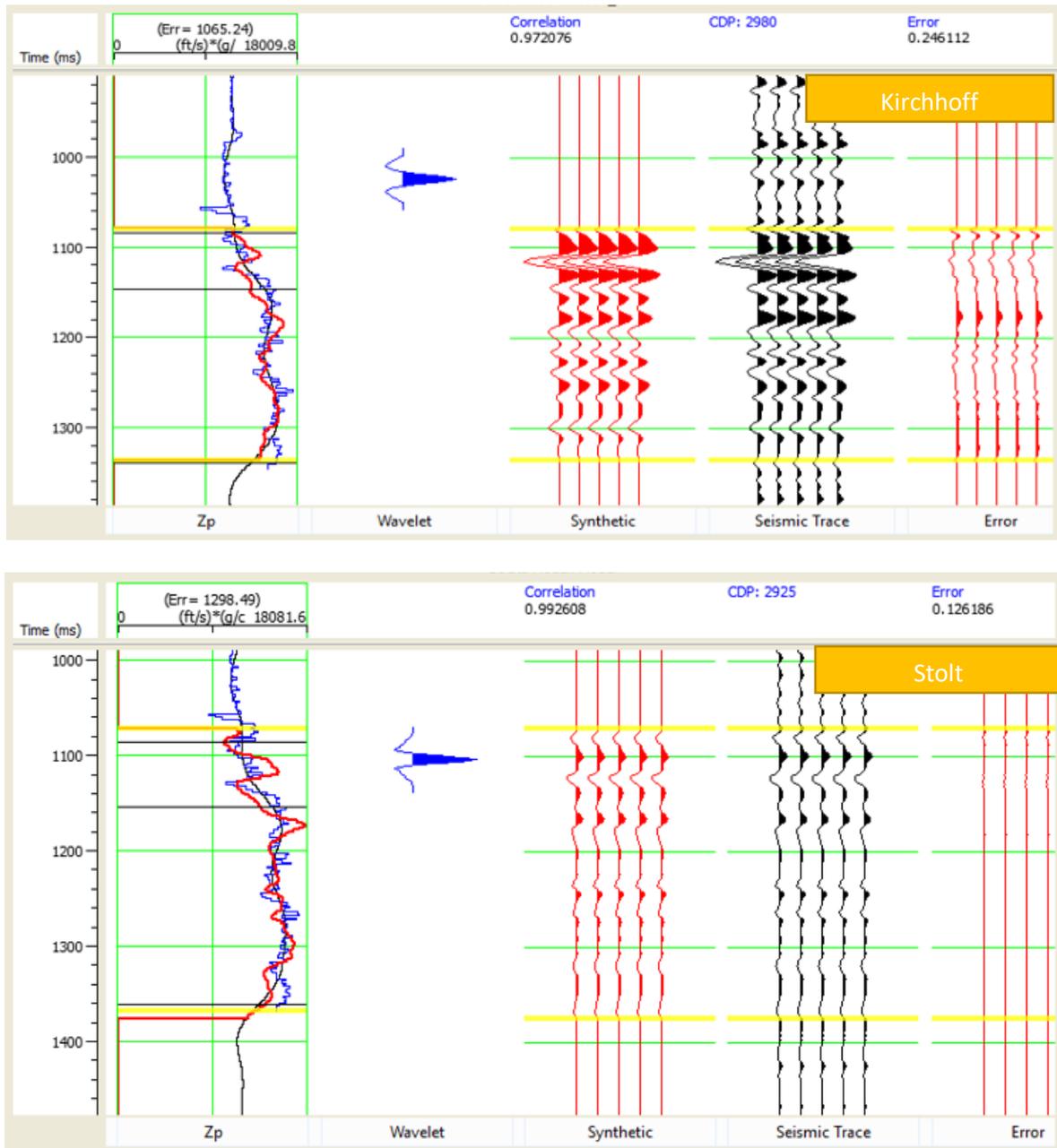
3.2.4. Analisis Inversi Berbasis Model

Analisis pra-inversi terlebih dahulu dilakukan sebagai kontrol kualitas sebelum dilakukan inversi. Analisis ini digunakan untuk mencari nilai korelasi antara log impedansi data sumur dan log impedansi hasil inversi, nilai kesesuaian seismogram sintetik dengan seismik dan nilai galat. Nilai-nilai ini diatur untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan harapan bahwa log inversi dapat mencakup log impedansi dan log

model awal dengan nilai galat sekecil mungkin (Alifudin *et al.*, 2016).

Penelitian ini menggunakan parameter inversi berbasis model pada daerah inversi meliputi zona target pada horizon 1 (-10 ms) dan horizon 3 (+10 ms), metode *Constraint* yang digunakan adalah *Soft Constraint* dengan nilai parameter 0,6. *Prewhitening* : 1 %, *Average block size* : 2 ms dan iterasi : 20.

Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa hasil kurva log impedansi hasil inversi (warna merah) dibandingkan dengan log impedansi sumur (warna biru) memiliki trend yang sesuai (Gambar 9). Error total yang didapatkan pada migrasi Kirchhoff sebesar 1065,24, sedangkan migrasi Stolt 1298,49. Nilai korelasi seismogram sintetik dengan data seismik asli menunjukkan korelasi yang tinggi pada kedua metode migrasi. Migrasi Kirchhoff memiliki nilai korelasi 0,97, sedangkan migrasi Stolt memiliki nilai korelasi 0,99 dengan maksimal korelasi adalah 1. Tingkat galat spesifik pada kedua migrasi juga rendah, migrasi Kirchhoff memiliki galat spesifik sebesar 0,24 sedangkan migrasi Stolt memiliki galat spesifik sebesar 0,12.



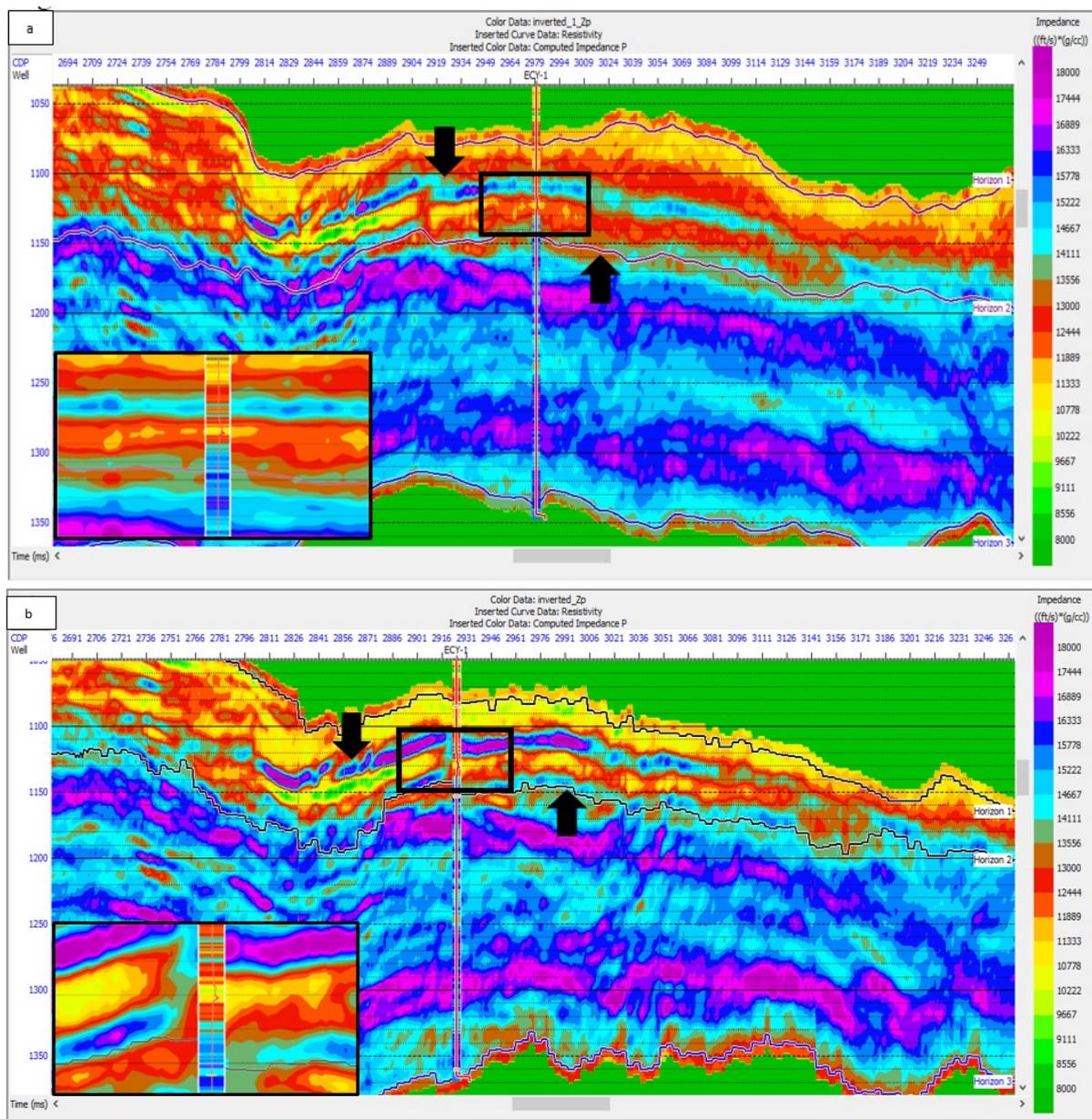
Gambar 9. Analisis pra-inversi migrasi Kirchhoff dan Stolt.

Hasil regresi antara log impedansi inversi dengan log impedansi data sumur pada masing-masing migrasi menunjukkan bahwa migrasi Kirchhoff memiliki tingkat korelasi tinggi dan error yang lebih rendah dari migrasi Stolt. Hal ini berarti, hasil inversi dari migrasi Kirchhoff lebih sesuai dibandingkan dengan migrasi Stolt. Hasil pra-inversi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil regresi pra-inversi metode migrasi Kirchhoff dan migrasi Stolt.

$Y = aX + b$	Galat Regresi	Korelasi
$Y = 0.6087X + 5713.4150$	873,54	0,74
$Y = 0.73X + 3573.8274$	1236,17	0,70

Inversi berbasis model pada penelitian ini diterapkan pada kedua migrasi dengan parameter yang telah dilakukan sebelumnya. Gambar 10a dan 10b menunjukkan hasil inversi berbasis model pada kedua migrasi. Hasil inversi berbasis model pada masing-masing migrasi tidak jauh berbeda dengan hasil inisial model bumi. Persebaran nilai impedansi akustik menandakan adanya perbedaan litologi, hal ini memudahkan interpretasi arah sebaran reservoir. Batu gamping berada pada nilai impedansi berkisar 9800 – 13800 ((ft/s)*(g/cc)) setara 2987,04 - 4206,24 ((m/s)*(g/cc)) dan batupasir pada nilai impedansi 13800-19200 ((ft/s)*(g/cc)) setara 4206,24 - 5852,16 ((m/s)*(g/cc)). Selain itu, reservoir karbonat diprediksi berada pada rentang yang sama dengan batugamping. Pada hasil inversi batugamping direpresentasikan dengan warna kuning sampai merah, sedangkan batu pasir direpresentasikan dengan warna biru sampai ungu.



Gambar 10. Hasil akhir inversi migrasi Kirchhoff (a) dan Stolt (b).

Zona target yang didapatkan pada hasil inversi berada pada waktu 1114 ms sampai 1140 ms dengan rentang impedansi akustik berkisar 10778 - 12800 ((ft/s)*(g/cc)) setara 3285,13 - 3901,44 ((m/s)*(g/cc)). Zona target berada pada jenis batugamping dimana dari hasil penelitian Putri *et al.* (2016) pada rentang 3500 ((m/s)*(g/cc)) - 3800 ((m/s)*(g/cc)) atau 11482,94 - 12467,19 ((ft/s)*(g/cc)) merupakan nilai impedansi reservoir batugamping yang berisi gas. Tanda panah menunjukkan batas atas dan batas bawah reservoir. Reservoir gas akan menurunkan nilai kecepatan gelombang seismik akibat penyerapan energi. Berdasarkan jenis *Direct Hydrocarbon Indicator* (DHI), apabila nilai impedansi akustik reservoir lebih kecil dari nilai impedansi litologi sekitarnya, fenomena ini dinamakan *Bright Spot* (Sukmono, 2002). Anomali ini mengindikasikan reservoir tersusun dari batuan karbonat yang berasosiasi dengan gas (Putri *et al.*, 2016; Alifudin *et al.*, 2016).

Hasil inversi pada Gambar 10 menunjukkan adanya keserasian data log dengan data seismik pada zona target yang diekstrapolasi secara horizontal. Data log resistivitas memiliki keserasian dengan nilai impedansi akustik dalam skala warna. Nilai resistivitas yang meningkat dari daerah sekitarnya menunjukkan adanya fluida berjenis gas dalam hal ini, data log resistivitas sesuai dengan representasinya pada data seismik. Keserasian ini banyak dipengaruhi oleh tingkat korelasi *well seismic tie* yang dilakukan. Nilai korelasi yang didapatkan cukup tinggi berkisar 0.6 dimana nilai korelasi tersebut cukup kuat untuk mengikat data seismik yang memiliki resolusi vertikal rendah dengan data sumur.

Berdasarkan hasil inversi, dapat terlihat jelas bahwa kualitas data seismik menentukan kualitas inversi. Migrasi Kirchhoff menunjukkan hasil yang baik dalam mengekstrapolasi sebaran reservoir dan memiliki tingkat kepercayaan geologi yang tinggi secara kualitatif dibandingkan dengan migrasi Stolt. Jadi dapat disimpulkan

bahwa pada daerah penelitian, migrasi Kirchhoff lebih baik dari migrasi Stolt, baik secara kualitatif dan kuantitatif.

IV. KESIMPULAN

Kualitas data seismik mempengaruhi hasil inversi dalam mengkarakterisasi reservoir. Migrasi Kirchhoff menunjukkan hasil yang lebih baik dari migrasi Stolt baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Dalam pengolahan data seismik, parameter yang tepat untuk menghasilkan penampang yang baik perlu diperhatikan, seperti analisis kecepatan dan penentuan parameter saat migrasi. Selain itu pengolahan inversi seismik hendaknya dilakukan pada minimal tiga sumur untuk melihat sebaran hidrokarbon di daerah lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL) Bandung atas izin penggunaan data dan fasilitas selama penelitian hingga penelitian ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alifudin, R.F., W. Lestari, F. Syaifuddin, dan M.W. Haidar. 2016. Karakterisasi reservoir karbonat dengan aplikasi seismik atribut dan inversi seismik impedansi akustik. *J. Geosaintek*, 2(2):107-112. <http://dx.doi.org/10.12962/j25023659.v2i2.1924>.
- Bancroft, J.C. 2001. Review of seismic imaging : post-stack. *CREWES Research Report*, 26 (7):535-549. <https://csegrecorder.com/articles/view/seismic-imaging-post-stack>.
- Dikman, T., A. Susilo, dan S. Sabbeq. 2015. Korelasi data log sumur dan seismik untuk penyebaran litologi dan porositas reservoir hidrokarbon formasi gumai cekungan Sumatera

- Selatan. *NATURAL B*, 3(2):166-174. <http://dx.doi.org/10.21776/ub.natural-b.2015.003.02.10>.
- Gray, S.H. 2014. Encyclopedia of exploration geophysics : 4. seismic imaging. *SEG*. USA. S1-1-S1-16 p. <https://doi.org/10.1190/1.9781560803027.entry4>.
- Ibrahim, A. and M.D. Sacchi. 2015. Fast simultaneous seismic source separation using Stolt migration and demigration operators. *GEO-PHYSICS*, 80(6):27-36. <https://doi.org/10.1190/geo2015-0044.1>.
- Kadkhodaie, A. and R. Kadkhodaie. 2018. A review of reservoir rock typing methods in carbonate reservoir: relation between geological, seismic and reservoir rock types. *J. Oil and Gas Scien and Tech*, 7(4):13-35. DOI: 10.22050/IJOGST.2019.136243.1461
- Putri, N.A., D.D. Warnana, dan P.H. Wijaya. 2016. Karakterisasi reservoir gas biogenik pada Lapangan "TG" dengan menggunakan atribut inversi IA dan dekomposisi spektral. *J. Geosaintek*, 2(2):99-106. <http://dx.doi.org/10.12962/j25023659.v2i2.1923>.
- Ramdhani, H., H.M. Manik, dan Susilohadi. 2013. Deteksi karakteristik akustik sedimen dasar laut dengan teknologi seismik dangkal di Perairan Rambat, Bangka Belitung. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(2):441-452. <http://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v5i2.7572>.
- Sukmono, S. 2002. Interpretasi seismik refleksi. ITB Press. Bandung. 252 hlm.
- Sulistiana, N., R.D. Indriana, dan U. Harmoko. 2011. Processing data seismic untuk meningkatkan kualitas penampang stack. Prosiding pertemuan ilmiah XXV HFI Jateng dan DIY, Universitas Jendral Sudirman, 9 April 2012. Hlm: 134-136.
- Yilmaz, O. 2001. Seismic data analysis: processing, inversion, and interpretation of seismic data vol I. Geophysics 2nd ed. Society of Exploration Geophysicists. Tulsa. USA. 42 p.

Received : 29 September 2019

Reviewed : 07 December 2019

Accepted : 23 March 2019

