

PENERAPAN METODE MIGRASI BEDA HINGGA PADA DATA SEISMIK POST STACK DI UTARA LAUT BALI PERAIRAN UTARA BALI

IMPLEMENTATION OF FINITE DIFFERENCE MIGRATION METHOD ON POST STACK SEISMIC DATA AT THE NORTHERN BALI SEA

M. Naufan Winggar Rahman¹, Siti Sailah^{2*}, & Tumpal B. Nainggolan³

¹Jurusan Fisika, Universitas Sriwijaya, Indralaya, 30862, Indonesia

²Departemen Jurusan Fisika, FMIPA - Universitas Sriwijaya, Indralaya, 30862, Indonesia

³Pusat Riset Sumber Daya Geologi, BRIN, Bandung, 40135, Indonesia

*Email: siti.sailah@unsri.ac.id

ABSTRACT

Field seismic data obtained during the marine survey at the Northern Bali Sea contained complex geological structures such as flat and steep-dip seabed and velocity perpendicular to the direction of motion (lateral velocity) variation. This study aims to implement the best finite difference algorithm namely fast explicit, steep dip and implicit migrations in yielding more accurate migrated seismic image with true reflection point of dipping structures. Finite difference method is a method which is applied to find differential operators in wave equations explicitly or implicitly. It is carried out after going through the stacking velocity stage, in which this stage produces the results of the interval velocity of seismic wave travel time on depth interval (V_{int}) model needed as input to carry out the finite difference process. Post-stack Implicit Finite Difference Time Migration algorithm shows the most accurate migrated seismic image with noise suppression of bandpass frequency results. It improves signal to noise ratio and image quality of migrated seismic section.

Keywords: *bandpass frequency, finite difference, migration, velocity*

ABSTRAK

Data seismik lapangan yang diperoleh dalam survei kelautan di Utara Laut Bali memiliki struktur geologi yang kompleks, seperti kontur dasar laut yang datar dan kemiringan curam serta variasi kecepatan yang tegak lurus terhadap arah pergerakan (kecepatan lateral). Kajian ini bertujuan untuk menerapkan algoritma yang berbeda yaitu migrasi beda hingga *fast explicit*, *steep dip* dan *implicit* sehingga didapatkan algoritma terbaik dalam menghasilkan citra penampang seismik termigrasi yang akurat dengan penempatan posisi titik refleksi sebenarnya pada struktur miring. Metode beda hingga merupakan suatu tahapan pengolahan data seismik yang digunakan untuk mencari operator diferensial dalam persamaan gelombang secara eksplisit dan implisit. Hal ini dilakukan setelah melalui tahapan kecepatan *stacking* untuk selanjutnya menghasilkan model kecepatan interval dari waktu tempuh gelombang seismik dalam kedalaman interval (V_{int}) yang dibutuhkan dalam proses beda hingga. Algoritma migrasi beda hingga *Post-stack Implicit* dalam domain waktu menunjukkan citra penampang seismik termigrasi paling akurat dengan penurunan derau berdasarkan hasil frekuensi *bandpass*. Algoritma tersebut meningkatkan rasio sinyal terhadap derau dan kualitas penampang seismik termigrasi.

Kata kunci: beda hingga, frekuensi *bandpass*, kecepatan, migrasi

I. PENDAHULUAN

Metode seismik adalah metode geofisika dengan memanfaatkan gelombang seismik untuk menghasilkan getaran di permukaan. Gelombang dihasilkan dari sumber (*source*) untuk selanjutnya direkam oleh penerima (*receiver*). Semakin jauh jarak antar sumber dan penerima, maka semakin lama proses perekamannya (Nainggolan *et al.*, 2019). Perangkat sumber seperti palu, dinamit dan *vibroseis* serta penerima yaitu *geophone* digunakan untuk perekaman data seismik darat, sedangkan perangkat sumber seperti *airgun* dan *watergun* serta penerima yaitu *hydrophone* digunakan untuk perekaman data seismik laut dengan menggunakan metode seismik refleksi. Metode tersebut merupakan salah satu metode geofisika yang menggunakan gelombang akustik dari sumber getaran untuk mengetahui keadaan bawah permukaan bumi. Sumber getaran tersebut berasal dari ledakan dinamit (seismik darat) atau *airgun* (seismik laut). Ledakan ini akan memancarkan gelombang-gelombang akustik ke bawah permukaan dan kemudian dipantulkan oleh bidang batas batuan sehingga dapat direkam oleh penerima (Pesma *et al.*, 2020). Keuntungan metode seismik refleksi adalah dapat mendeteksi variasi baik lateral maupun kedalaman dalam parameter fisis yaitu kecepatan gelombang akustik seismik yang dapat diinterpretasikan sebagai kenampakan struktur bawah permukaan bumi (Ustiawan *et al.*, 2015). Metode seismik refleksi memiliki 3 tahapan utama, yaitu perekaman/ akuisisi data, pemrosesan data dan interpretasi.

Salah satu tahapan dalam pemrosesan data seismik adalah migrasi. Migrasi adalah suatu proses dalam pengolahan data seismik yang bertujuan untuk memperbaiki citra penampang struktur geologi yang telah didapatkan dari hasil akuisisi data sebelumnya. Data yang didapat sebelumnya tidak berada pada reflektor bidang miring yang sebenarnya,

maka dari itu diperlukannya proses migrasi (Sidiq *et al.*, 2019). Migrasi dapat dilakukan baik sebelum ataupun pasca-stack. *Stack* adalah proses penjumlahan pada tras-tras seismik dalam satu *Common Depth Point* (CDP) untuk meningkatkan rasio *Signal to Noise* (S/N). Pada penelitian ini migrasi yang dilakukan adalah pasca-stack dalam domain waktu atau dapat juga disebut *Post-stack Time Migration*. Proses migrasi yang menghasilkan penampang migrasi dalam domain waktu (*time domain*) umumnya dapat berlaku selama variasi kecepatan secara lateral kecil sampai sedang yang dilakukan setelah *stack* sehingga waktu pengolahan data relatif lebih cepat dan efektif (Susanti *et al.*, 2020).

Metode beda hingga dilakukan pasca-stack dari hasil tahapan kecepatan *stacking* (V_{rms}) untuk selanjutnya menghasilkan model kecepatan interval (V_{int}). Metode beda hingga dapat dilakukan pada data seismik laut dengan kombinasi kedalaman dasar laut yang datar dan kemiringan curam serta kecepatan lateral yang sangat bervariasi. Tantangan paling berat adalah banyaknya kesalahan pada kecepatan lateral terutama pada kemiringan dasar laut yang curam, sehingga dibutuhkan suatu algoritma metode beda hingga yang sesuai untuk memecahkan masalah tersebut. Konsep dari metode ini adalah pemecahan persamaan gelombang dengan cara mendekatkan bidang sumber-penerima ke arah titik refleksi (Kurniawan *et al.*, 2016). Penampang seismik termigrasi dan spektrum frekuensi target dari beberapa algoritma *Post Stack Time Migration* dari metode beda hingga masing-masing ditunjukkan sesuai dengan rentang frekuensi gelombang akustik seismik.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Februari-Mei 2022 di *Geophysical Data Processing Laboratory* dengan perangkat

lunak ProMAX milik Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBS PGL) di Bandung.

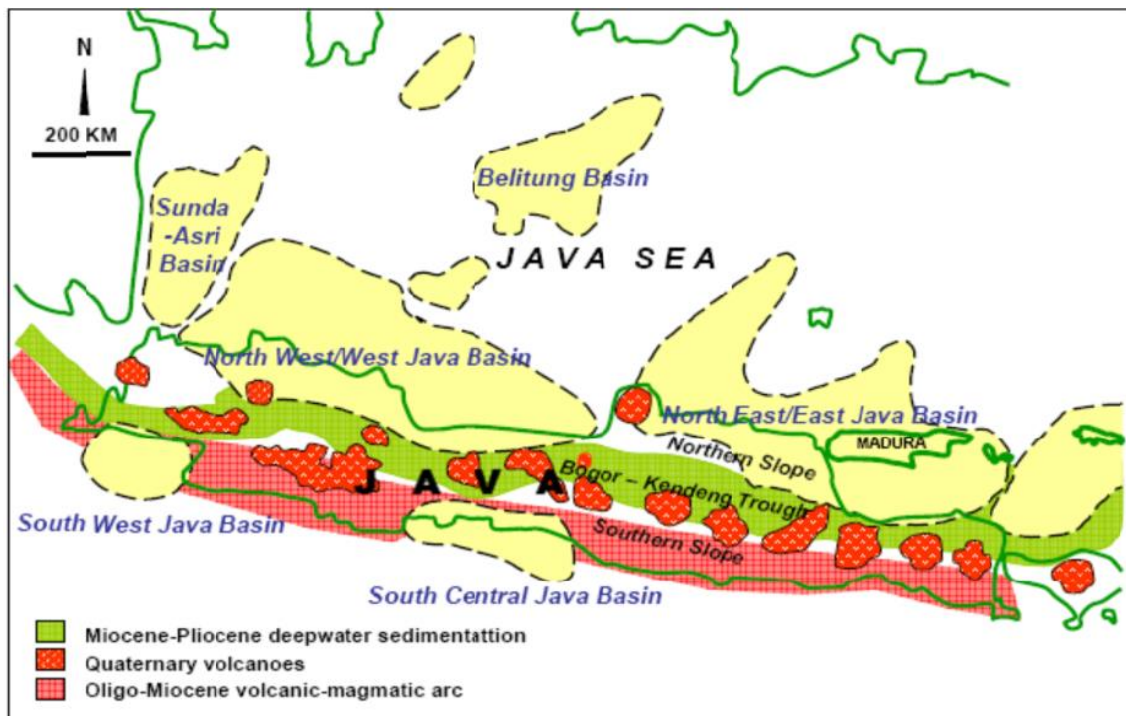
Lokasi penelitian terletak di utara Laut Bali yang termasuk ke dalam Cekungan Jawa Timur Utara. Posisi Cekungan Bali berada di bagian tenggara Cekungan Jawa Timur Utara. Sebelah barat Cekungan Jawa Timur Utara dipisahkan oleh Busur Karimun Jawa terhadap Cekungan Jawa Barat Utara. Bagian Selatan Cekungan Jawa Timur dibatasi oleh busur vulkanik, sedangkan sebelah utara dibatasi oleh Tinggian Paternoster, yang memisahkan Cekungan Jawa Timur Utara dengan Selat Makasar. Berdasarkan posisinya, Cekungan Jawa Timur Utara dapat dikelompokkan sebagai cekungan belakang busur dan berada pada batas tenggara dari Lempeng Eurasia (Gambar 1) (Mujiono & Pireno, 2002; Setiady *et al.*, 2017).

Secara administrasi, daerah penelitian terdapat di utara Bali termasuk Provinsi Bali, sedangkan di bagian Utara, yang termasuk dalam Kepulauan Madura

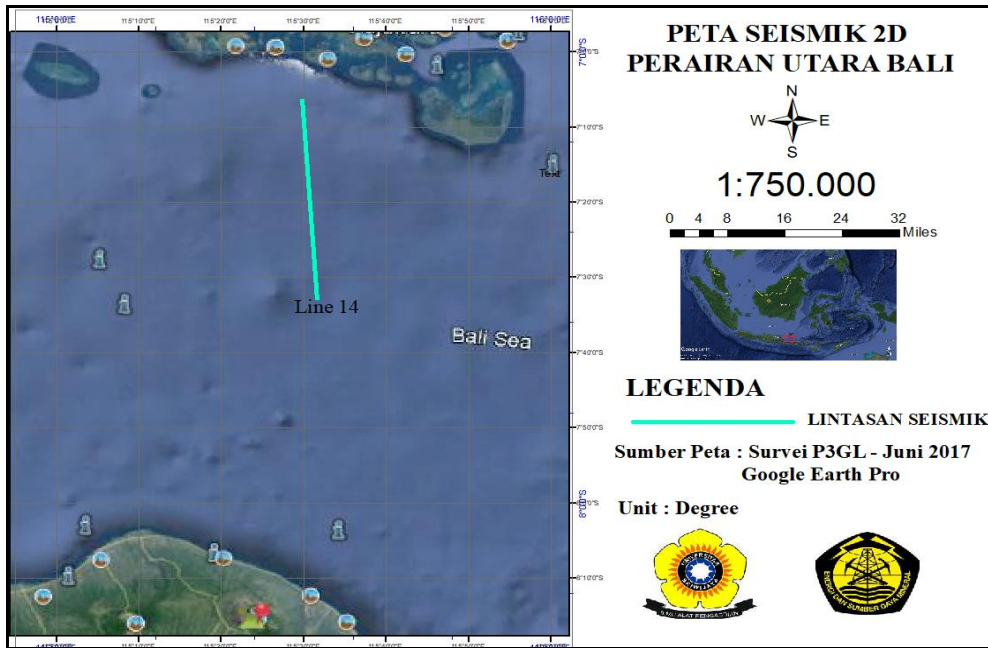
Bagian Timur. Secara geografis, lokasi penelitian terletak pada koordinat 114°32'-116°01' Bujur Timur dan 07°15'-08°02' Lintang Selatan (Gambar 2).

2.2. Pengolahan Data

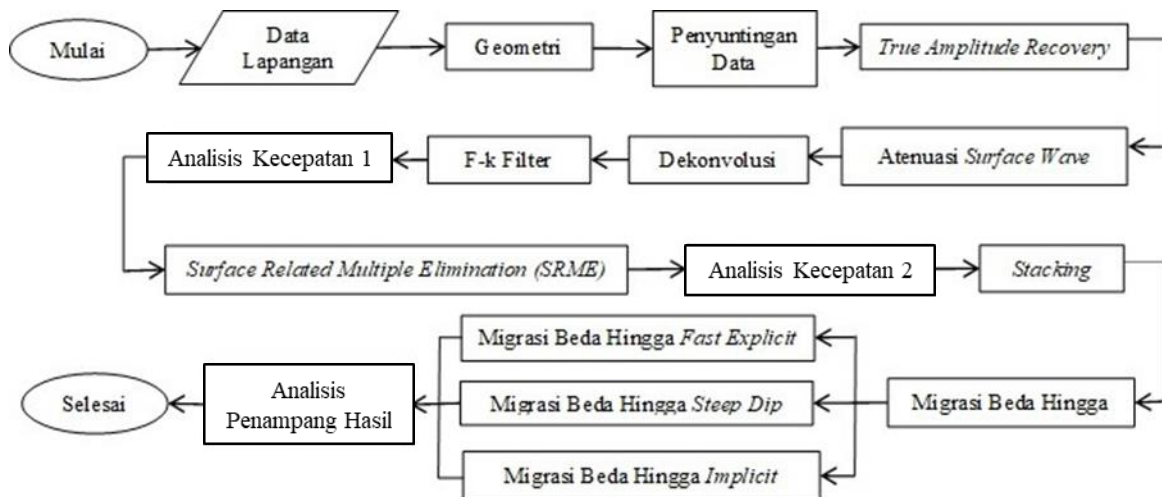
Tahapan dalam pengolahan data seismik ditunjukkan pada Gambar 3. Data lapangan (*raw data*) yang dimasukkan merupakan data dengan format SEG-D. Setelah data dimasukkan, maka dilakukan tahapan selanjutnya yaitu *pre-processing*. Proses ini meliputi geometri, penyaringan frekuensi menggunakan *bandpass filter*, *trace muting*, *Surface Wave (SW) attenuation*, *True Amplitude Recovery (TAR)*, dan dekonvolusi (Safitri *et al.*, 2016). Setelah *pre-processing*, tahapan dilanjutkan ke proses analisis kecepatan dengan metode *semblance* untuk mendapatkan V_{rms} . Analisis kecepatan (*velocity analysis*) adalah proses pemilihan kecepatan gelombang seismik yang sesuai pada suatu titik reflektor. Setelah mendapatkan V_{rms} , selanjutnya dapat dilakukan proses migrasi setelah *stack*.



Gambar 1. Cekungan Jawa Timur Utara dan sekitarnya (Setiady *et al.*, 2017).



Gambar 2. Peta lokasi lintasan seismik.



Gambar 3. Alur kerja pengolahan data seismik.

Pengolahan data diawali dengan memasukkan data lapangan (*raw data*) format SEG-D yang telah melalui tahapan *multiplex* pada perangkat lunak ProMAX serta memasukkan seluruh parameter akuisisi dari hasil pengambilan data seismik lapangan Lintasan-14 (Tabel 1). Setelah data dimasukkan, selanjutnya dilakukan tahapan *pre-processing*. Geometri bertujuan untuk mengetahui posisi koordinat survei dengan cara memasukkan parameter akuisisi yaitu koordinat sumber dan

penerima, serta elevasi dari masing-masing sumber dan penerima (Tabel 1). *Bandpass filter* berguna untuk membuang sinyal frekuensi yang terlalu rendah dan terlalu tinggi. Jenis dari *bandpass* yang digunakan adalah *Ormsby bandpass*. Jenis *bandpass* ini digunakan untuk membentuk rentang frekuensi yang sesuai dengan standar frekuensi gelombang akustik untuk seismik refleksi yaitu 10-80 Hz. *Trace muting* digunakan untuk menghilangkan efek gelombang langsung (permukaan air laut),

sehingga yang tersisa hanyalah data dari bawah permukaan dasar laut. *TAR denoising* digunakan untuk mengembalikan energi yang hilang dan memperkuat sinyal seismik, sehingga data seismik yang dihasilkan menjadi lebih jelas. Proses *TAR denoising* selain memperkuat sinyal, juga memperkuat *noise*, maka dari itu perlu dilakukan proses *SW attenuation* untuk melemahkan gelombang permukaan pada data seismik. Tahapan dekonvolusi pada penelitian ini menggunakan dekonvolusi prediktif. Dekonvolusi adalah suatu proses penting dalam pengolahan data seismik untuk menghilangkan efek filter bumi pada gelombang sumber dengan menggunakan *inverse* dari konvolusi (Romauli *et al.*, 2016). Proses dekonvolusi dilakukan untuk menganalisis autokorelasi sehingga mendapatkan parameter *prediction distance* dan *operator length*. Lalu ada proses *F-k filter* yang mana proses ini dilakukan untuk memisahkan antara *noise* dan sinyal pada data seismik dalam domain frekuensi dan gelombang (Yuza *et al.*, 2020).

Tabel 1. Parameter akuisisi dari data seismik lapangan Lintasan-14

No.	Parameter	Unit	Line-14
1.	Kanal terdekat	-	1
2.	Kanal terjauh	-	48
3.	<i>Offset</i> terpendek	m	150
4.	Interval penerima	m	12,5
5.	Jumlah tembakan		1496
6.	Sudut putar lintasan	degree	180
7.	Interval tembakan	m	25
8.	Kedalaman sumber	m	6
9.	Kedalaman penerima	m	7
10.	Interval CDP	m	6,25

Setelah *pre-processing* dilakukan, maka selanjutnya adalah melakukan analisis kecepatan (*velocity analysis*) seismik untuk mendapatkan nilai kecepatan dalam bentuk model *root mean square velocity* (V_{rms}). Metode yang digunakan dalam proses analisis kecepatan adalah metode *semblance* yaitu melakukan analisis kecepatan dengan

tampilan interaktif. Setelah mendapatkan V_{rms} , selanjutnya proses perhitungan untuk mendapat model kecepatan interval V_{int} yang digunakan sebagai kecepatan untuk migrasi metode beda hingga yang bertujuan untuk mengembalikan posisi reflektor miring pada kedalaman dan kemiringan yang sebenarnya.

2.3. Teori Dasar *Post Stack Time Migration* dengan metode Beda Hingga

Post Stack Time Migration dengan metode beda hingga merupakan metode migrasi yang menggunakan prinsip *downward continuation*. Permasalahan migrasi terkait dengan solusi persamaan gelombang skalar (Jamaluddin *et al.*, 2019), yaitu:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \dots\dots\dots(1)$$

Formula numerik metode beda hingga terkait dengan permasalahan migrasi dapat diselesaikan dengan transformasi koordinat penjalaran gelombang bawah permukaan bumi. Fungsi $\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}$ dan $\frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}$ menunjukkan medan gelombang yang simetris dengan masing-masing sumbu x dan z. Sedangkan fungsi $\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$ menunjukkan perambatan gelombang tersebut dengan konstanta kecepatan v. Transformasi koordinat dapat digunakan untuk mengamati penjalaran gelombang seismik pada arah tertentu. Jika suatu gelombang bidang mendekati permukaan dengan sudut θ , maka solusi Persamaan (1) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\psi(x,z,t) = A \exp \left[j\omega \left\{ t - \left(\frac{x}{v} \right) \sin \theta - \left(\frac{z}{v} \right) \cos \theta \right\} \right] \dots\dots\dots(2)$$

Jika sudut gelombang sangat kecil, yaitu $\sin \theta = \theta$ dan $\cos \theta = 1 - \frac{1}{2} \theta^2$, maka

Persamaan (2) dapat dituliskan dalam bentuk:

$$\psi(x,z,t) = A \exp \left[j\omega \left\{ t - \frac{x\theta}{v} - \frac{z}{v} + \frac{x\theta^2}{2v} \right\} \right] \dots\dots\dots(3)$$

Skala koordinat baru $t^* = t - \frac{z}{v}$ yang

merupakan sistem koordinat gelombang yang berpropagasi ke penerima atau gelombang data pada Persamaan (3) dapat ditulis kembali dalam bentuk :

$$\psi^*(x,z,t^*) = A \exp \left[j\omega \left\{ t^* - \frac{x\theta}{v} + \frac{x\theta^2}{2v} \right\} \right] \dots\dots\dots(4)$$

Transformasi persamaan gelombangnya adalah:

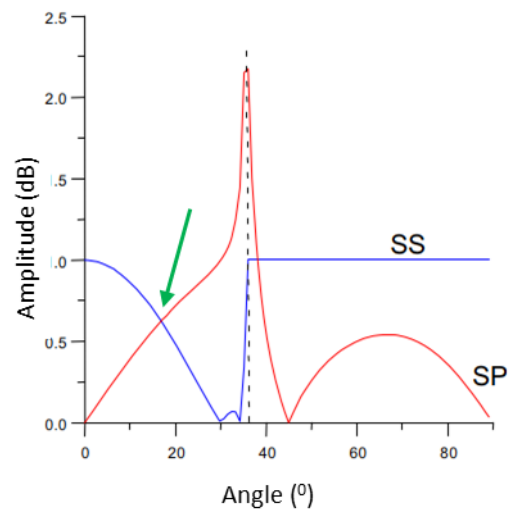
$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial t} &= \frac{\partial \psi^*}{\partial t^*} \frac{\partial t^*}{\partial t} = \frac{\partial \psi^*}{\partial t^*} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial t^{*2}} \\ \frac{\partial \psi}{\partial x} &= \frac{\partial \psi^*}{\partial x} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial x^2} \\ \frac{\partial \psi}{\partial z} &= \frac{\partial \psi^*}{\partial z} + \frac{\partial \psi^*}{\partial t^*} \frac{\partial t^*}{\partial z} = \frac{\partial \psi^*}{\partial z} - \frac{1}{v} \frac{\partial \psi^*}{\partial t^*} \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} &= \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial z^2} - \frac{2}{v} \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial z \partial t^*} + \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial t^{*2}} \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

Transformasi persamaan gelombang tersebut menghasilkan suatu bentuk persamaan gelombang datang berupa:

$$\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial z^2} - \frac{2}{v} \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial z \partial t^*} = 0 \dots\dots\dots(6)$$

Pendekatan sudut 15° diterapkan pada persamaan gelombang datang, selanjutnya digunakan asumsi bahwa gelombang menjalar hampir vertikal, perubahan ψ^* terhadap z sangat kecil.

Pendekatan sudut 15° dilakukan dengan menentukan batas sudut kritis sebelum gelombang P dan S saling berpotongan dalam medium homogen (Gambar 4).



Gambar 4. Perambatan gelombang P dan S dalam medium homogen (batas sudut kritis ditunjukkan oleh panah warna hijau). (Yanovskaya, 2010).

Sehingga sistem koordinat dapat dituliskan untuk pendekatan sudut 15° dalam bentuk:

$$\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial x^2} - \frac{2}{v} \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial z \partial t^*} = 0 \dots\dots\dots(7)$$

Hasil akhir Persamaan (7) dapat dijabarkan melalui pendekatan diskrit beda hingga, yaitu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial x^2} &= \frac{\psi^*(x,z,t^*) - 2\psi^*(x-\Delta x,z,t^*)}{(\Delta x)^2} + \\ &\frac{\psi^*(x-2\Delta x,z,t^*)}{(\Delta x)^2} \dots\dots\dots(8a) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial z \partial t^*} = \frac{\psi^*(x, z, t^*)}{\Delta z \Delta t^*} - \frac{\psi^*(x, z - \Delta z, t^*)}{\Delta z \Delta t^*} - \frac{\psi^*(x, z, t^* - \Delta t^*)}{\Delta z \Delta t^*} + \frac{\psi^*(x, z - \Delta z, t^* - \Delta t^*)}{\Delta z \Delta t^*} \dots (8b)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Post Stack Time Migration Metode Kirchhoff Summation

Metode *Post-stack Time Migration* konvensional dengan penjumlahan Kirchhoff (*Kirchhoff summation*) menunjukkan adanya kemunculan *noise* baru pada penampang seismik yang memberikan dampak penempatan posisi titik reflektor sebenarnya dari pemrosesan (Gambar 5). *Noise* baru tersebut menutupi reflektor primer terutama pada kedalaman dangkal. Metode beda hingga sangat dibutuhkan untuk menghindari kemunculan *noise* baru dan keakuratan dalam penempatan posisi titik reflektor baru.

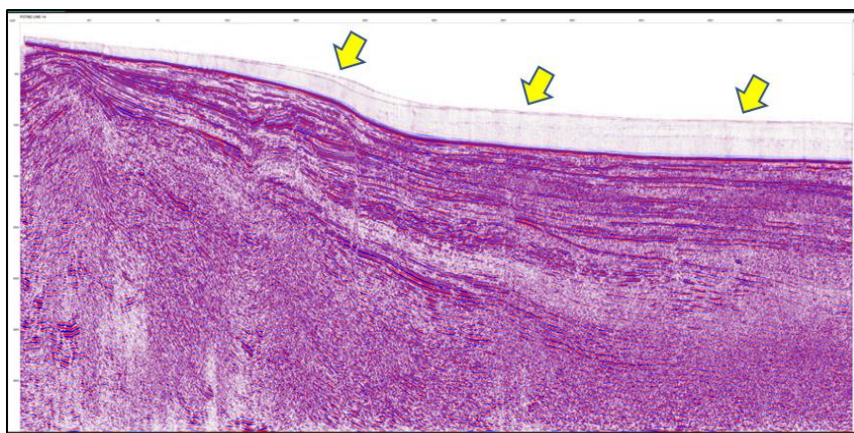
3.2. Post Stack Time Migration Metode Beda Hingga

Terdapat tiga algoritma yang digunakan dalam tahapan metode beda hingga untuk menentukan algoritma terbaik untuk menghasilkan citra penampang seismik terbaik. Metode beda hingga

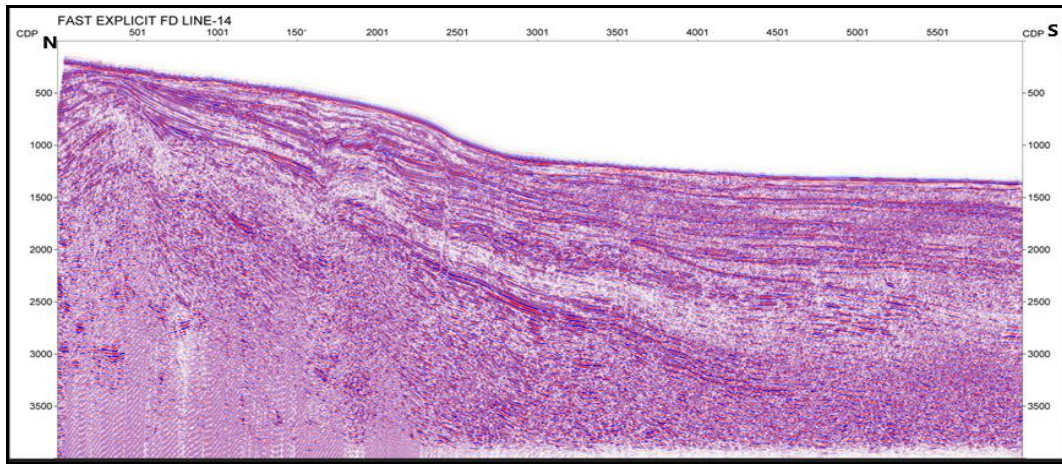
memproses data pada kemiringan di atas 50°. Algoritma *Fast Explicit FD Time Migration* diterapkan pada urutan pertama karena memiliki kecepatan proses yang lebih cepat dibandingkan algoritma lainnya. Migrasi menggunakan frekuensi maksimum hingga 80 Hz (Gambar 6). Input pada algoritma ini adalah hasil dari *final stack* dengan parameter kecepatan yang digunakan adalah kecepatan interval domain waktu.

Nilai level kuat energi (*dBPower*) adalah -19,6 dB pada frekuensi 1 Hz. Penurunan level kuat energi ke nilai -21,7 dB terjadi pada frekuensi 3 Hz. Hal ini membuat algoritma *Fast Explicit FD Time Migration* kurang baik dalam pengolahan data pada kemiringan dibawah 50°. Nilai tertinggi pada level kuat energi berada pada frekuensi 47 Hz dengan level kuat energi sebesar -0,04 dB. Nilai level kuat energi diatas rata-rata frekuensi 40-50 Hz, merupakan (Gambar 7).

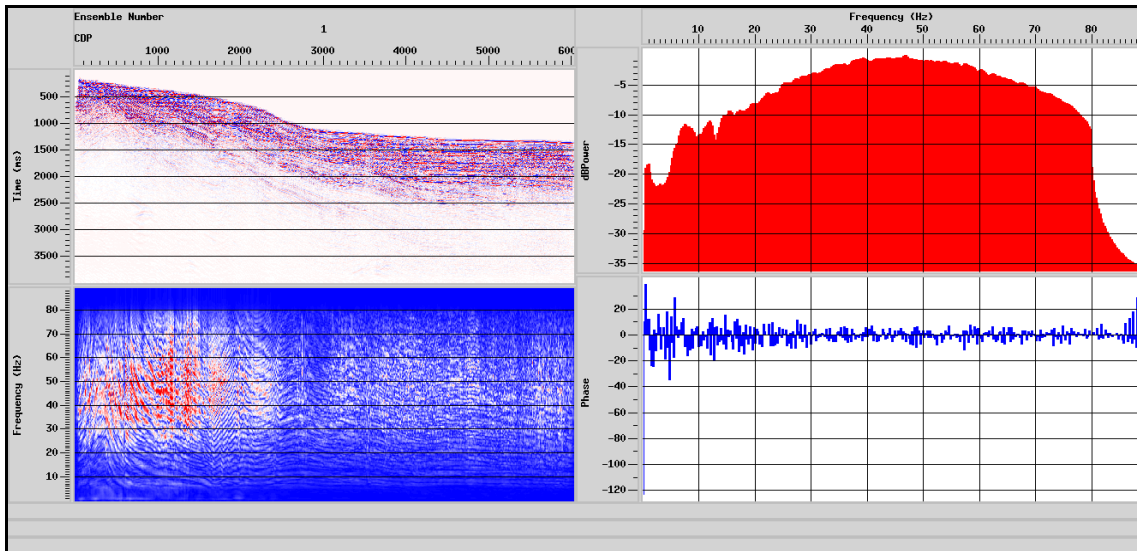
Algoritma kedua yaitu *Steep Dip FD Time Migration* digunakan oleh karena penampang seismik menunjukkan adanya kemiringan curam pada CDP 1-2500. Algoritma ini diproses menggantikan *Fast Explicit FD Time Migration* untuk membandingkan hasil keduanya. Input dari algoritma ini adalah hasil kecepatan *stack* dalam bentuk kecepatan RMS hingga yang dihitung menjadi kecepatan interval V_{int} dalam domain waktu (Gambar 8).



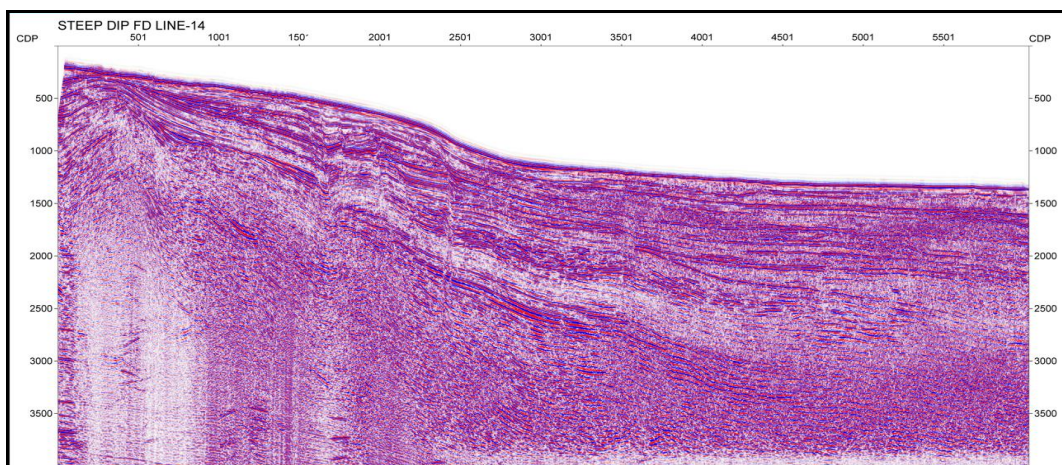
Gambar 5. Penampang seismik migrasi *Post-stack* domain waktu konvensional (tanda panah kuning menunjukkan posisi reflektor semu sebelum migrasi).



Gambar 6. Penampang seismik algoritma Migrasi *Fast Explicit FD* dalam domain waktu.



Gambar 7. Analisis Spektrum *Fast Explicit FD* dalam domain waktu.

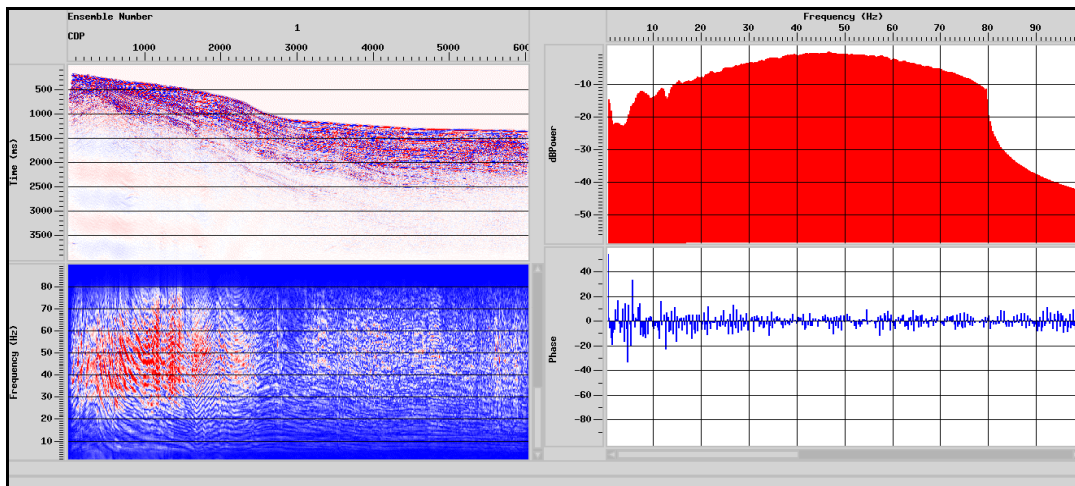


Gambar 8. Penampang seismik algoritma Migrasi *Steep Dip FD* dalam domain waktu.

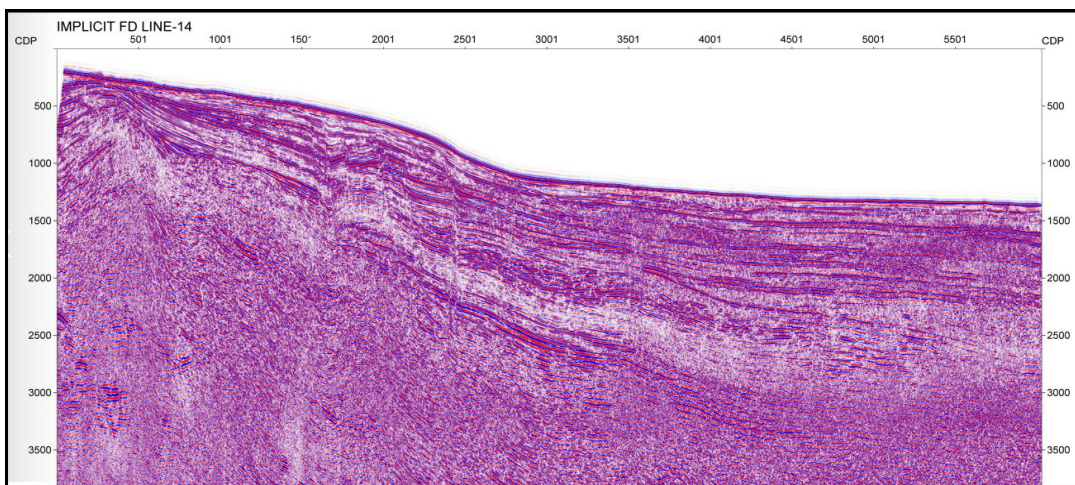
Algoritma ini menggunakan frekuensi maksimum sampai 80 Hz (Gambar 8). Algoritma *steep dip* dapat diolah dengan hasil sedikit lebih baik dibandingkan algoritma *fast explicit* pada kemiringan dibawah 50° . Hal ini dibuktikan dengan garis reflektor yang lebih kontras namun masih memiliki *noise* pada kedalaman 2000-4000 ms dengan rentang CDP 1-2500. Level kuat energi senilai -14,7 dB ditunjukkan pada frekuensi 1 Hz. Hasil analisis spektrum menunjukkan penurunan level kuat pada frekuensi 3,72 Hz menjadi -2,7 dB. Frekuensi diatas rata-rata sekitar 40-60 Hz dengan level kuat energi tertinggi berada pada 47 Hz dengan nilai 0 dB (Gambar 9).

Algoritma terakhir yang digunakan yaitu *Implicit FD Time Migration*. Migrasi ini menggunakan frekuensi maksimum hingga 80 Hz (Gambar 10). Flow dari algoritma ini adalah hasil dari *final stack* dengan parameter kecepatan yang digunakan adalah kecepatan interval V_{int} dalam domain waktu.

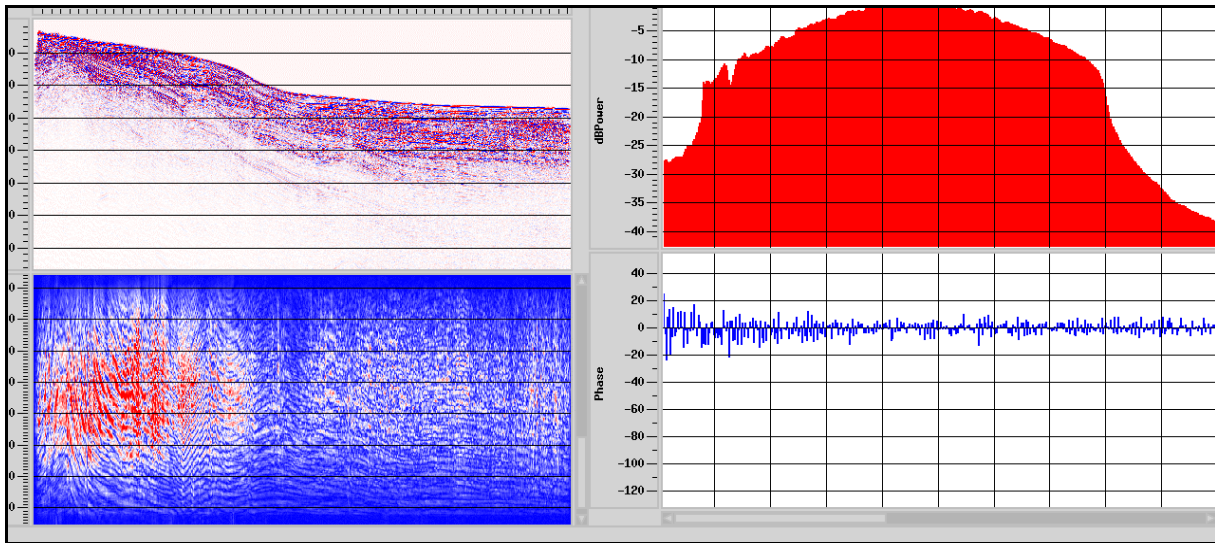
Algoritma *Implicit FD Time Migration* memberikan hasil data yang paling bagus dibanding dua algoritma sebelumnya pada kemiringan 50° . Hal ini dibuktikan dengan garis reflektor yang lebih kontras sekaligus atenuasi *noise* pada kedalaman 2000-4000 ms dengan rentang CDP 1-2500. Kontinuitas garis reflektor



Gambar 9. Analisis spektrum *Steep Dip FD* dalam domain waktu.



Gambar 10. Penampang seismik algoritma Migrasi *Implicit FD* dalam domain waktu.



Gambar 11. Analisis Spektrum *Implicit FD* dalam domain waktu.

terlihat jelas pada kedalaman 2000-4000 ms dari penampang seismik hasil algoritma *Implicit FD Time Migration*. Penurunan level kuat energi pada frekuensi dibawah 10 Hz (Gambar 10). Penurunan baru terjadi di frekuensi 13 Hz, lalu naik lagi pada frekuensi 14 Hz. Frekuensi dominan berada pada 40-60 Hz. Frekuensi di algoritma ini berada pada rentang 10-80 Hz. Frekuensi puncaknya berada pada 47 Hz dengan nilai sebesar level kuat energi -0,2 dB (Gambar 11).

3.3. Algoritma terbaik dengan Metode Migrasi Beda Hingga

Penelitian ini menunjukkan kesamaan hasil frekuensi yang dominan pada rentang 15-80 Hz dengan level kuat energi meningkat pada frekuensi rendah dan berkurang pada frekuensi tinggi serta konsisten pada level kuat energi -10 dB. Level kuat energi yang lebih baik pada penelitian ini menunjukkan rasio *signal to noise* yang lebih tinggi. Algoritma *Fast Explicit FD Time Migration* menunjukkan frekuensi yang dominan berada pada rentang 12-80 Hz dengan level kuat energi meningkat pada frekuensi rendah dan berkurang pada frekuensi tinggi serta konsisten pada level kuat energi -20 dB. Menurut Jamaluddin *et al.* (2019), algoritma

Steep Dip FD Time Migration menunjukkan penurunan level kuat energi menjadi sekitar -50 dB pada rentang frekuensi *bandpass* tinggi 60-80 Hz namun relatif sama sekitar -20 dB pada rentang frekuensi dibawahnya. Penjelasan diberikan bahwa algoritma ini dilakukan untuk menjaga data tetap aman dengan mereduksi *noise* pada frekuensi *bandpass* rendah. Penelitian ini menunjukkan sedikit perbedaan hasil dimana level kuat energi relatif stabil sebesar -10 dB pada frekuensi yang dominan 15-80 Hz. Hasil ini menunjukkan algoritma *Steep Dip FD Time Migration* berhasil mereduksi *noise* pada penampang seismik dengan kemiringan curam pada CDP 1-2500. Algoritma *Implicit FD Time Migration* menunjukkan frekuensi yang dominan berada pada rentang 10-60 Hz konsisten pada level kuat energi -20 dB dengan level kuat energi sedikit menurun dibawah -20 dB pada frekuensi *bandpass* tinggi 60-80 Hz (Jamaluddin *et al.*, 2019). Penjelasan diberikan bahwa algoritma tersebut berhasil mereduksi *noise* sehingga level kuat energi relatif stabil. Penelitian ini menunjukkan hasil lebih baik pada frekuensi yang dominan 15-80 Hz dengan level kuat energi yang tinggi bahkan di atas -10 dB. Level kuat energi yang lebih baik pada penelitian ini menunjukkan peningkatan rasio *signal to*

noise sehingga kualitas citra penampang seismik *Post-stack Time Migration* lebih baik.

Algoritma *Implicit FD Time Migration* mempunyai hasil terbaik dengan *noise* yang paling minimal terlihat jelas dibandingkan algoritma *Fast Explicit FD* dan *Steep Dip Explicit FD* dari metode beda hingga terutama pada reflektor primer. Algoritma *Fast Explicit FD* kurang dapat menghasilkan citra penampang seismik yang baik dari kecepatan interval yang pada waktu 2500 ms kebawah (CDP 950), terlihat adanya kemunculan *noise* baru yang menutupi reflektor yang sebenarnya. Penampang seismik *Post-stack Time Migration* dengan algoritma *Steep Dip FD Time Migration* menunjukkan lebih buruk untuk kecepatan interval pada CDP yang sama. Yang membedakan dari keduanya adalah data yang dihasilkan oleh *Steep Dip Explicit FD Time Migration* memiliki tingkat kerapatan yang lebih tinggi dari algoritma *Fast Explicit FD Time Migration*. Algoritma *Implicit FD Time Migration* dapat memproses data di sekitar kecepatan 2500 ms kebawah dengan baik, sehingga data yang dihasilkan terlihat lebih baik dari algoritma *Fast Explicit FD Time Migration* dan *Steep Dip Explicit FD Time Migration*.

IV. KESIMPULAN

Metode beda hingga digunakan oleh karena metode *Post-stack Time Migration* konvensional dengan penjumlahan Kirchhoff (*Kirchhoff summation*) menunjukkan adanya kemunculan *noise* baru yang dampak penempatan posisi titik reflektor sebenarnya dari pemrosesan. Dari ketiga algoritma beda hingga yang digunakan, algoritma *Implicit FD Time Migration* menunjukkan hasil citra penampang seismik yang terbaik dengan rentang frekuensi *bandpass* yaitu 10-80 Hz. Algoritma *Implicit FD Time Migration* berhasil menghindari kemunculan *noise* baru dan menunjukkan keakuratan dalam

penempatan posisi titik reflektor baru dan menghindari ketidakakuratan pada posisi reflektor primer. Analisis spektrum dari algoritma tersebut juga menunjukkan kestabilan gelombang akustik seismik terhadap frekuensi dominan seismik yang sesuai dengan rentang frekuensi gelombang akustik seismik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL) Bandung atas izin penggunaan data dan fasilitas selama penelitian hingga penelitian ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Jamaluddin, J.G., Y.S. Sea, M.A. Djajadihardja, S. Massinai, A. Aswad, & M. Maria. 2019. Analisis frekuensi data seismik hasil migrasi *finite difference*. *Jurnal Geosaintek*, 5(3): 119-126. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v5i3.6033>
- Kurniawan, H.C., A. Susilo, & T. Suroso. 2016. Structure modelling of subsurface by using Kirchoff migration method and finite difference anisotropy method. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 2(6): 82-83. <https://doi.org/10.13057/ijap.v6i02.1422>
- Mujiono, R. & G.E. Pireno. 2002. Exploration of the north Madura platform offshore, East Java Indonesia. *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, 28th Annual convention*. <https://doi.org/10.29118/ipa.980.707>
- Nainggolan, T.B., S.M. Rasidin, & I. Setiadi. 2019. Combined multiple attenuation methods and geological interpretation: Seram Sea case study

- 2D marine seismic data. *Bulletin of the Marine Geology*, 34(1): 17-28. <https://doi.org/10.32693/bomg.34.1.2019.622>
- Pesma, R.A., M.P. Erlangga, I.A. Putri, & R.M. Antosia. 2020. Prediksi lapisan akuifer dengan menggunakan metode seismik refraksi di Desa Jatimulyo, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(6): 92-93. <https://doi.org/10.23960/jge.v6i2.66>
- Romauli, A., H.M. Manik, & S. Subarsyah. 2016. Penerapan dekonvolusi spiking dan dekonvolusi prediktif pada data Seismik multichannel 2D di Laut Flores. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 7(2): 153-162. <https://doi.org/10.24319/jtpk.7.153-162>
- Safitri, D., T.B. Nainggolan, & H.M. Manik. 2020. Common reflection surface methods in low fold coverage seismic data of complex marine geological structures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 429. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/429/1/012032>
- Setiady, D., I.N. Astawa, G.M. Hermansyah, I.W. Luga, & T.B. Nainggolan. 2017. Stratigrafi Perairan Utara Bali dari hasil interpretasi seismik 2D. *Jurnal Geologi Kelautan*, 15(2): 95-106. <https://doi.org/10.32693/jgk.15.2.2017.349>
- Sidiq, A.P., H.M. Manik, & T.B. Nainggolan. 2019. Studi komparasi metode migrasi seismik dalam mengkarakterisasi reservoir migas di Blok Kangean, Laut Bali menggunakan inversi impedansi akustik berbasis model. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(1): 205-219. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v11i1.23028>
- Susanti, W., O. Ivansyah, M. Muliadi, & B. Avianthara. 2020. Analisis perbandingan migrasi metode Kirchhoff dan migrasi FX pada data seismik 2D darat. *Jurnal Prisma Fisika*, 1(8): 21-25. <https://doi.org/10.26418/pf.v8i1.39927>
- Ustiawan, A.B., T.B. Nainggolan, & R. Setiawan. 2019. Interpretasi struktur geologi di Perairan Aru Selatan, Maluku berdasarkan data seismik 2D multi-channel. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 2(2): 53-60. <https://doi.org/10.14710/jgt.2.2.2019.53-60>
- Yanovskaya, T. 2010. *Introduction to the theory of seismic wave propagation*. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, pp. 42.
- Yuza, N.H., T.B. Nainggolan, & H.M. Manik. 2020. Multiple attenuation methods in short-offset 2D marine seismic data: A case study in Cendrawasih Bay. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 429. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/429/1/012031>
- Submitted* : 17 June 2022
Reviewed : 15 September 2022
Accepted : 18 April 2023

FIGURE AND TABLE TITLES

Figure 1. Northern East Java Basin and its surrounding.

Figure 2. Seismic line location map.

Figure 3. Flowchart of seismic data processing.

- Figure 4. Propagation of P and S wave in homogeneous medium (critical angle ordinance shown by green arrow).*
- Figure 5. Seismic section of conventional Post-stack Time Migration.*
- Figure 6. Seismic section of Fast Explicit FD Time Migration algorithm.*
- Figure 7. Spectral Analysis of Fast Explicit FD Time Migration.*
- Figure 8. Seismic section of Steep Dip FD Time Migration algorithm.*
- Figure 9. Spectral Analysis of Steep Dip FD Time Migration.*
- Figure 10. Seismic section of Implicit FD Time Migration algorithm.*
- Figure 11. Spectral Analysis of Implicit FD Time Migration.*
- Table 1. Acquisition parameters of field seismic data Line-14.*

