

OPTIMALISASI PENCITRAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN MENGUNAKAN METODE KIRCHHOFF PRE-STACK TIME MIGRATION PADA DATA SEISMIC LAUT WETAR

OPTIMIZATION OF SUBSURFACE STRUCTURE IMAGING USING KIRCHHOFF PRE-STACK TIME MIGRATION ON SEISMIC DATA AT WETAR SEA

Syamsurijal Rasimeng^{1*}, Amelia Isti Ekarena², Bagus Sapto Mulyanto³, Subarsyah⁴, Andrian Willyan Djaja⁵

¹²³Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung

⁴⁵Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Laut (P3GL), Bandung

Received: 2020, 09th May

Accepted: 2020, 10th June

Keyword:

PSTM;

Kirchhoff;

Aperture

Correspondent Email:

syamsurijal.rasimeng@eng.unila.ac.id

How to cite this article:

Rasimeng, S., Ekarena, A.I., Mulyanto, B.S., Subarsyah, & Djaja, A.W. (2020).

Optimalisasi Pencitraan

Bawah Permukaan

Menggunakan Metode

Kirchoff Prestack Time

Migration Pada Data Seismik

Laut Wetar. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 6(2), 101-112.

© 2020 JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative

Abstrak. Migrasi merupakan salah satu tahap dalam pemrosesan data seismik yang bertujuan untuk mengembalikan efek difraksi ke titik reflektor yang sebenarnya. Pengolahan data seismik disesuaikan dengan permasalahan yang ada pada data itu sendiri, sehingga ketepatan dalam menggunakan teknik migrasi dan penentuan parameter pengolahan data sangat berpengaruh terhadap penampang seismik yang dihasilkan. *Kirchhoff Pre-Stack Time Migration* merupakan salah satu metode migrasi yang banyak digunakan karena menunjukkan hasil yang lebih baik daripada metode stacking konvensional. Parameter yang perlu diperhatikan dalam Migrasi Kirchhoff adalah nilai *migration aperture*. Berdasarkan hal tersebut, digunakan beberapa variasi nilai *migration aperture* yakni 75 m, 200 m dan 512,5 m. Nilai *migration aperture* 512,5 m menunjukkan hasil penampang seismik yang terbaik. Hal tersebut dibuktikan dengan kemampuannya dalam menghilangkan efek bowtie di sekitar CDP 600 sampai dengan CDP 800, menghilangkan efek difraksi di sekitar CDP 3900 sampai CDP 4050, dan menunjukkan penampang seismik dengan resolusi lateral yang lebih baik dibandingkan dengan nilai *migration aperture* 75 m dan 200 m. Dari penampang seismik hasil migrasi, struktur geologi yang berhasil teridentifikasi pada lokasi penelitian adalah struktur berupa patahan yang terdapat di beberapa CDP.

Abstract. *Migration is one of the stages in seismic data processing aimed at returning the diffraction effect to the actual reflector point. The processing of a seismic data is adjusted to the existing problems in the data itself, so the accuracy in using the migration technique and determination of data processing parameters greatly affects the resulting seismic cross-section. Kirchhoff Pre-Stack Time Migration is one of the most used migration methods in seismic data processing because it shows better results than conventional stacking methods. The parameters that need to be noticed in the Kirchhoff migration are the migration aperture values. Based on this, variations of migration aperture values used are 75 m, 200 m and 512,5 m. The 512,5 m aperture migration value shows the best seismic cross-section results. This is evidenced by the capability in eliminating bowtie effects around CDP 600 up to CDP 800, eliminating diffraction effects around CDP 3900 to CDP 4050, and*

Commons Attribution (CC BY NC)

showing a seismic cross-section with better lateral resolution compared to the migration value of the aperture of 75 m and 200 m. Based on the seismic cross-section of migration results, the geological structure that can be identified is a fault that found in some CDP.

1. PENDAHULUAN

Pemodelan *zero-offset* untuk menggambarkan penampang seismik belum mencitrakan *event* seismik pada posisi sebenarnya, sehingga perlu dilakukan proses migrasi untuk mengembalikan *event* seismik ke posisi yang sesuai terutama pada reflektor miring. Migrasi seismik akan memindahkan posisi reflektor miring ke posisi bawah permukaan yang sebenarnya dan juga menghilangkan efek difraksi dengan mengembalikan energi difraksi ke difraktor yang sesuai sehingga proses ini dapat meningkatkan resolusi spasial dari penampang seismik (Yilmaz, 2001).

Pemrosesan standar data seismik meliputi: *sorting common mid-point* (CMP), analisis kecepatan, koreksi *normal move out* (NMO) dan juga *stacking*. Teknik *stacking* dikembangkan untuk mendekati tampilan *zero-offset* dan *picking velocity* yang baik merupakan hal yang penting untuk mengoptimalkan fungsi *stacking*. Hasil dari proses *stacking* belum sepenuhnya sesuai dengan keadaan sebenarnya dan dapat mengganggu keakuratan *post-stack migration* (Bonomi & Cabitza, 1994). Oleh karena itu, dilakukan proses *pre-stack migration*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional

Wetar adalah bagian dari busur vulkanik Banda, sebuah cincin kepulauan di sekitar Cekungan Banda. *Inner arc* dan *outer arc* dari cincin kepulauan ini membentuk batas luar cekungan. Busur berasal dari zona intrakratonik di batas tenggara lempeng Asia, di mana terdapat interaksi kompleks antara lempeng India-Australia yang bergerak ke

utara dan Lempeng Pasifik yang bergerak ke barat.

Fenomena geologi yang berkembang di bagian utara Pulau Wetar akibat tumbukan Lempeng Australia dan Busur Sunda merupakan zona sesar naik yang telah diklasifikasikan berupa *Normal Fault Zone*, *Proto Thrust Zone* dan *Thrust Zone* (Ku & Hsu, 2009). *Normal Fault Zone* merupakan zona yang didominasi oleh sesar normal pada bagian atas dari kerak, sementara *Proto Thrust Zone* merupakan zona antara *Normal Fault Zone* dan *Thrust Zone* yang umumnya ditandai dengan zona lipatan atau *Proto Thrust* (Subaryah & Rahardiawan, 2016).

2.2. Stratigrafi

Stratigrafi Pulau Wetar utamanya tersusun atas batuan vulkanik *submarine*. Geologi regional secara stratigrafi terdiri dari Aluvium (Qal), Batugamping Koral (Ql), Batuan Gunungapi Tua (QTV), Formasi Alor (Tm_{pa}), Formasi Naumatang (Tm_n), Batuan Terobosan (Tm), Batuan Gunung api Riolit Sakir (Tm_{vs}), Formasi Tihu (Tmt). Secara struktur geologi daerah wetar termasuk dalam busur vulkanik Banda (Siraju dkk., 2018).

Erosi yang terjadi secara cepat selama proses pengangkatan menyebabkan tergalinya stratigrafi vulkanik, yang sebagian besar berasal dari *submarine*. Batuan dasar dari kepulauan Wetar tidak terpapar ke permukaan, tetapi diasumsikan sebagai batuan vulkanik kerak samudera sebelum Oligosen.

2.3. Hukum Fisika Gelombang Seismik

Metode seismik merupakan metode yang didasarkan dari peristiwa penjalaran gelombang mekanis pada medium elastik (bumi). Gelombang mekanis yang merambat dengan bumi sebagai mediumnya inilah yang

disebut dengan gelombang sesimik (Dewanto, 2004).

Prinsip Huygens menyatakan bahwa gelombang datang pada suatu penghalang akan dipantulkan sedemikian rupa sehingga sudut pantul besarnya sama dengan sudut datang. Dalam kedua kemungkinan ini, besar sudut datang dan sudut bias dihubungkan oleh Hukum Snellius yang menyatakan bahwa sudut datang sama dengan sudut refleksi dan sudut refraksi ditentukan oleh kontras kecepatan pada batas lapisan (Sutrisno, 1997).

2.4. Seismic Trace

Model konvolusi menyatakan bahwa *trace* seismik secara sederhana merupakan hasil konvolusi antara reflektifitas bumi dengan suatu fungsi sumber seismik dengan tambahan komponen *noise*. Model ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S_t = W_t * r_t + n_t \quad (1)$$

dengan:

S_t = *trace* seismik

W_t = wavelet seismik

r_t = reflektivitas bumi

n_t = *noise*

* = menyatakan konvolusi

2.5. Multiple Attenuation

Prosedur standar untuk mengatenuasi *multiple* adalah *stacking* atau penjumlahan lurus dari *trace* CDP (Naess & Bruland, 1985). Penjumlahan *trace* yang didapatkan pada waktu yang berbeda atau tempat yang berbeda atau keduanya merupakan dasar dari beberapa teknik *stacking* termasuk *vertical stacking*, *common midpoint stacking*, *uphole stacking* dan beberapa metode yang lebih rumit (Telford dkk., 1990).

Multiple bisa terjadi dalam dua bentuk yaitu jangka pendek atau panjang. *Multiple* jangka pendek adalah *multiple* yang memiliki interval pengulangan hanya beberapa kali panjang wavelet sumber (kelipatan periodik). Maka proses penghilangan *multiple* jangka

pendek biasanya dilakukan dengan dekonvolusi prediktif dan pada kasus *multiple* jangka panjang metode ini tidak akan memberikan hasil yang baik dikarenakan *multiple* yang ada memiliki refleksi yang lebih panjang dibandingkan dengan durasi wavelet (Dimri, 1992).

2.6. Seismic Processing

Pemrosesan data seismik dimulai dari *demultiplexing* data. Data yang telah di *demultiplex* merupakan data sekuensial waktu dan tersusun dalam bentuk *trace* yang berurutan. Setelah itu dilakukan *stacking* dari *trace* seismik dengan menjumlahkan beberapa *trace* yang berada pada satu CMP (*Common Mid-Point*).

Sebelum melakukan proses *stacking*, penting untuk menerapkan koreksi *normal moveout*. Rekaman data yang telah tersusun dalam CMP gathers akan melewati proses *velocity analysis*, koreksi NMO, dan *stacking*. Proses *stacking* akan mengurangi *random noise* dan melemahkan *multiple*. *Multiple* akan mengalami penekanan dan akan keluar dari fase gelombang seismik tergantung pada gelombang primer yang terdapat pada data saat proses *stacking*. Proses dekonvolusi dapat dilakukan sebelum ataupun sesudah *stacking*.

2.7. Migrasi

Migrasi seismik akan mengoreksi posisi reflektor miring ke posisi bawah permukaan yang sebenarnya dan akan menghilangkan efek difraksi, sehingga meningkatkan resolusi spasial dan menghasilkan gambaran seismik dari permukaan bawah tanah.

Tujuan dari migrasi adalah untuk membuat penampang hasil *stacking* menggambarkan keadaan geologi yang hampir sama dengan *cross-section* yang ada di sepanjang lintasan seismik. Hasil dari migrasi umumnya ditampilkan dalam fungsi waktu. Salah satu alasannya adalah estimasi kecepatan berdasarkan data seismik dan data lainnya memiliki akurasi yang terbatas, oleh karena itu

konversi dalam bentuk kedalaman tidak sepenuhnya akurat. Proses migrasi yang menghasilkan tampilan dalam fungsi waktu disebut *time migration*.

2.8. Pre-Stack Time Migration

Algoritma *pre-stack migration* relatif sederhana dibandingkan dengan metode *post-stack*. Perbedaan mendasar dari kedua metode ini adalah dimana *pre-stack migration* mengatur *traveltime* dan faktor koreksi yang terkait dengan sumber dan masalah serupa untuk setiap *receiver* (Bednar, 2008).

Pre-stack migration dapat digambarkan sebagai penjumlahan difraksi yang dilakukan sepanjang *diffraction response curve* (*Kirchhoff migration*). *Diffraction response curve* dapat diperoleh dari persamaan berikut ini

$$T = \frac{\sqrt{((y-h)^2 + z^2)) + ((y+h)^2 + z^2))}}{V} \quad (2)$$

dengan:

T = waktu tempuh

z = kedalaman ($z = V \cdot T_0 / 2$)

h = *offset*/2

y = *aperture*

V = reflektivitas bumi

T_0 = *noise*

2.9. Kirchhoff Migration

Penjumlahan difraksi yang menggabungkan faktor kemiringan, *spherical spread*, dan wavelet disebut sebagai penjumlahan Kirchhoff, dan metode migrasi yang didasari oleh penjumlahan ini adalah migrasi Kirchhoff.

Metode ini merupakan suatu pendekatan secara statistik di mana posisi suatu titik di bawah permukaan dapat saja berasal dari berbagai kemungkinan lokasi dengan tingkat probabilitas yang sama. Secara praktis migrasi Kirchhoff dilakukan dengan cara menjumlahkan amplitudo dari suatu titik reflektor sepanjang suatu tempat kedudukan yang merupakan kemungkinan lokasi yang sesungguhnya.

3. METODE PENELITIAN

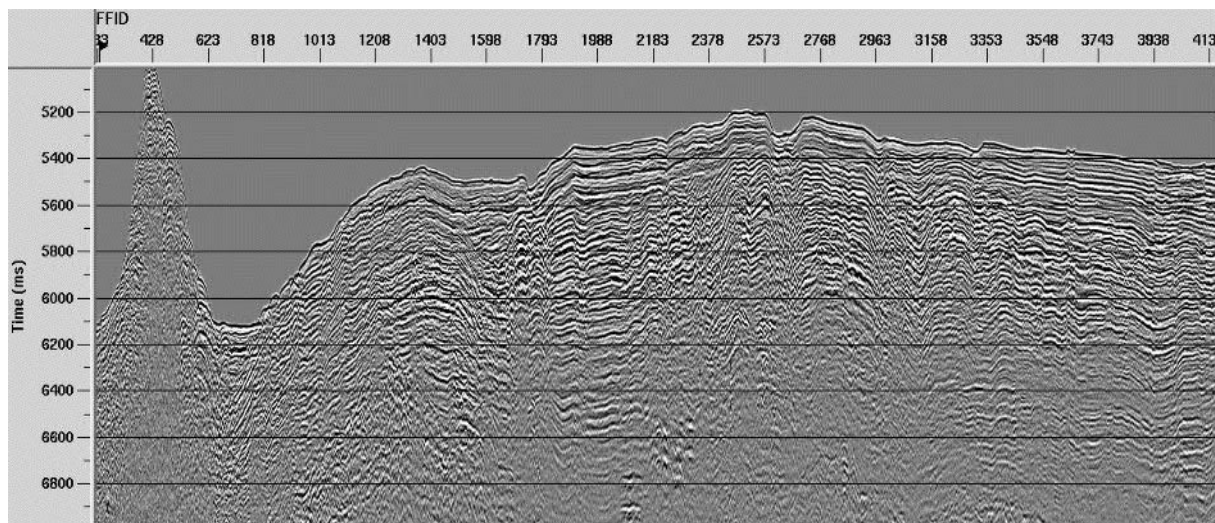
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data seismik 2D Laut Wetar dengan metode *Kirchhoff pre-stack time migration* yang digunakan sebagai optimalisasi pencitraan struktur bawah permukaan.

Data seismik dalam format SEG-D diolah menggunakan software ProMax melalui tahap *demultiplexing* hingga didapatkan *raw data* dan kemudian dilakukan proses *geometry* untuk memasukkan nilai parameter lapangan. Hasil dari proses *geometry* digunakan sebagai input pada proses selanjutnya yaitu *pre-processing* dan *processing*. Tahap *pre-processing* terdiri dari proses *bandpass filter*, *true amplitude recovery* dan dekonvolusi. Tahap pengolahan data terdiri dari proses analisa kecepatan, migrasi dan juga *stacking*. Tahap akhir pada penelitian ini yaitu menganalisis penampang seismik hasil *Kirchhoff pre-stack time migration* yang memiliki nilai *aperture* yang berbeda.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data seismik pada penelitian ini menghasilkan penampang seismik dua dimensi dari perairan Wetar line 01, seperti terlihat pada Gambar 1. dengan arah lintasan dari tenggara ke barat laut. Penampang seismik pada Gambar 1. merupakan penampang seismik dua dimensi, dimana penampang ke arah lateral menggambarkan posisi atau jarak, sedangkan ke arah bawah menggambarkan waktu atau kedalaman.

Pengolahan data seismik akan disesuaikan dengan permasalahan yang ada pada data itu sendiri. Seperti pengaplikasian *pre-stack time migration* yang dilakukan pada penelitian ini yang bertujuan untuk memperjelas arah kemenerusan reflektor. Proses migrasi *pre-stack* pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode Kirchhoff.

Gambar 1. Penampang hasil *stacking*

Pre-stack time migration menggunakan metode Kirchhoff dipilih karena kemampuan metode ini dalam melakukan migrasi dalam keadaan non *zero-offset*. Keuntungan lainnya menggunakan metode ini, karena metode ini mampu mengatasi jarak *trace* yang tidak tepat pada data seismik. Namun metode migrasi Kirchhoff sendiri memiliki kelemahan, yaitu ketidakmampuan mencitrakan secara akurat ketika terdapat struktur kecepatan yang kompleks. Data setelah diaplikasikan metode Kirchhoff menghasilkan penampakan seismik yang lebih optimal daripada beberapa metode *pre-stack time migration* lain yang digunakan pada penelitian ini.

4.1. Analisis Hasil Stacking

Stacking adalah proses yang akan meningkatkan *S/N ratio* dengan menjumlahkan *trace* seismik dalam satu CDP. Penerapan koreksi NMO pada proses ini akan secara efektif menggeser sinyal seismik dari sumber dan *receiver* yang berbeda pada suatu titik tengah yang sama. Koreksi NMO ini membutuhkan suatu model kecepatan yang didapatkan dari proses *velocity analysis*.

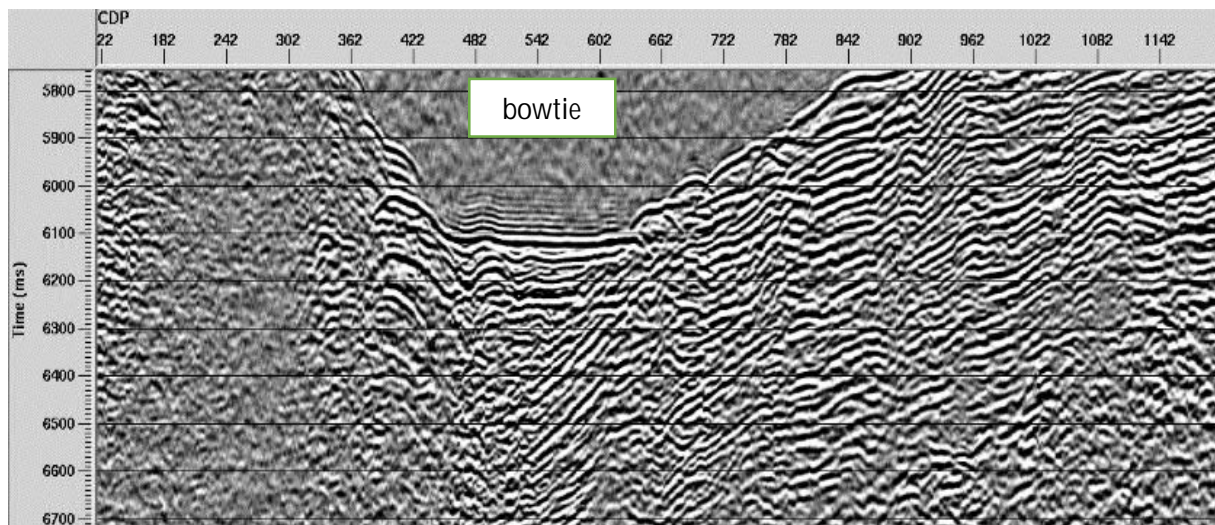
Penampang seismik yang diperoleh dari proses *stacking* pada Gambar 1. memperlihatkan reflektor yang pola kemenerusannya belum jelas akibat adanya

efek difraksi. Pada penampang hasil *stacking* ini juga terdapat efek *bowtie* yang terdapat pada reflektor bagian atas yang merupakan dasar laut dari lokasi penelitian, sehingga perlu dilakukan proses migrasi untuk mengembalikan reflektor ke posisi yang seharusnya.

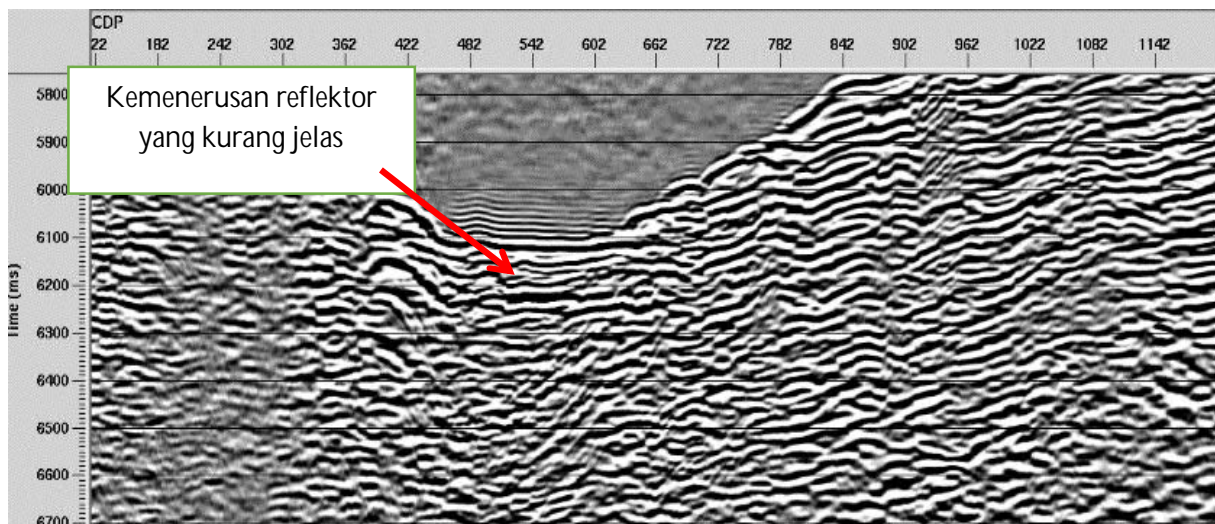
4.2. Analisis Hasil Migrasi

Dalam penelitian ini dilakukan migrasi dalam domain waktu yang dilakukan sebelum tahapan *stacking*. *Pre-stack* mengacu pada migrasi data seismik sebelum *stacking* yang berisi banyak *trace* per bin, sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama daripada migrasi yang dilakukan setelah *stacking*. Proses *pre-stack time migration* kali ini menggunakan metode penjumlahan Kirchhoff dengan nilai *aperture* sebesar 75 m, 200 m, dan 512,5 m. Nilai *aperture* 75 m merupakan nilai dari *near offset* data pengukuran, 512,5 m merupakan nilai dari *far offset*, dan nilai 200 m merupakan nilai yang diambil diantara *near offset* dan *far offset*.

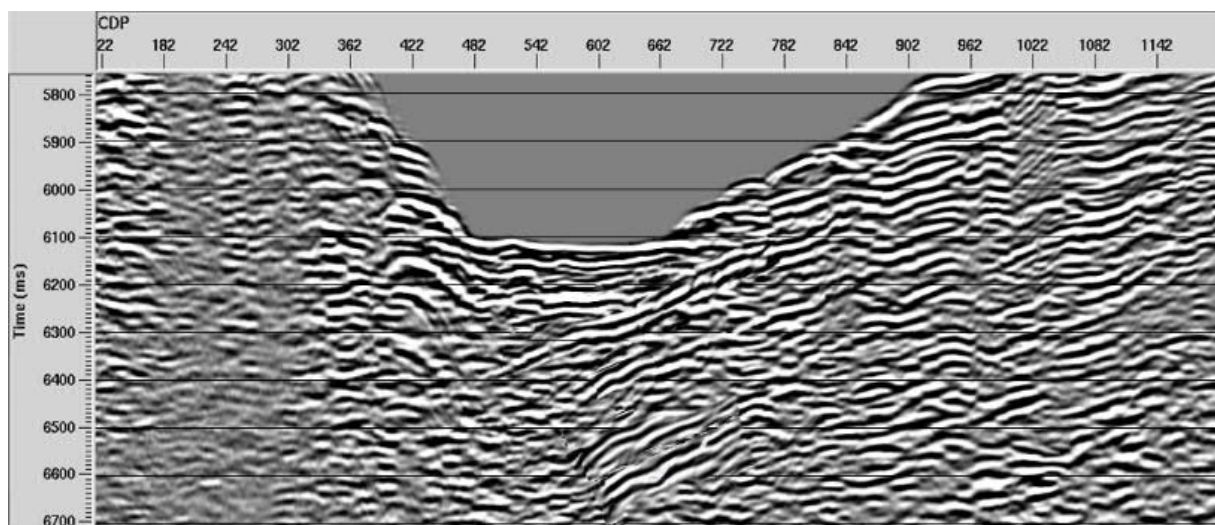
Hasil migrasi Kirchhoff dengan nilai *aperture* 75 m pada Gambar 2, 5, 8 dan 11 menunjukkan hasil migrasi yang belum maksimal, karena masih terdapatnya efek difraksi dan *bowtie*. Nilai *aperture* 75 m tidak mampu memperbaiki kemenerusan reflektor



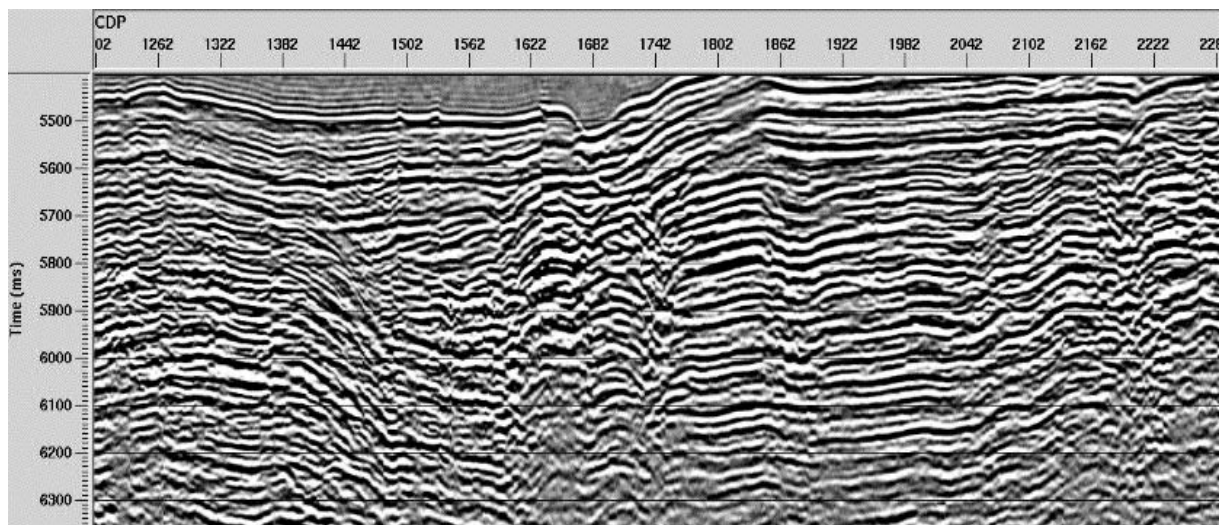
Gambar 2. Penampang seismik hasil migrasi dengan *aperture* 75 m CDP 172-1142.



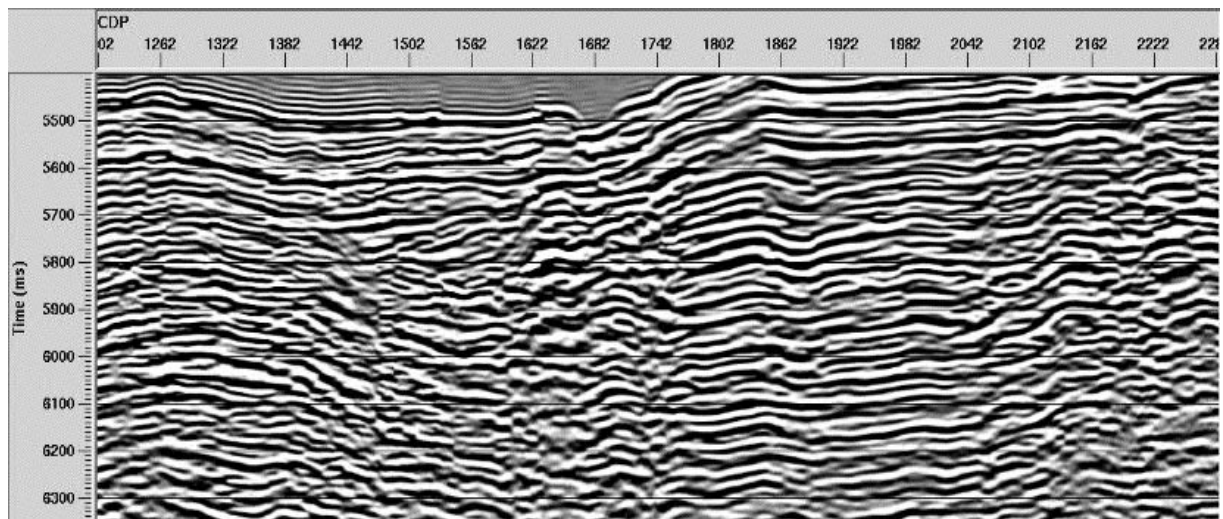
Gambar 3. Penampang seismik hasil migrasi dengan *aperture* 200 m CDP 172-1142.



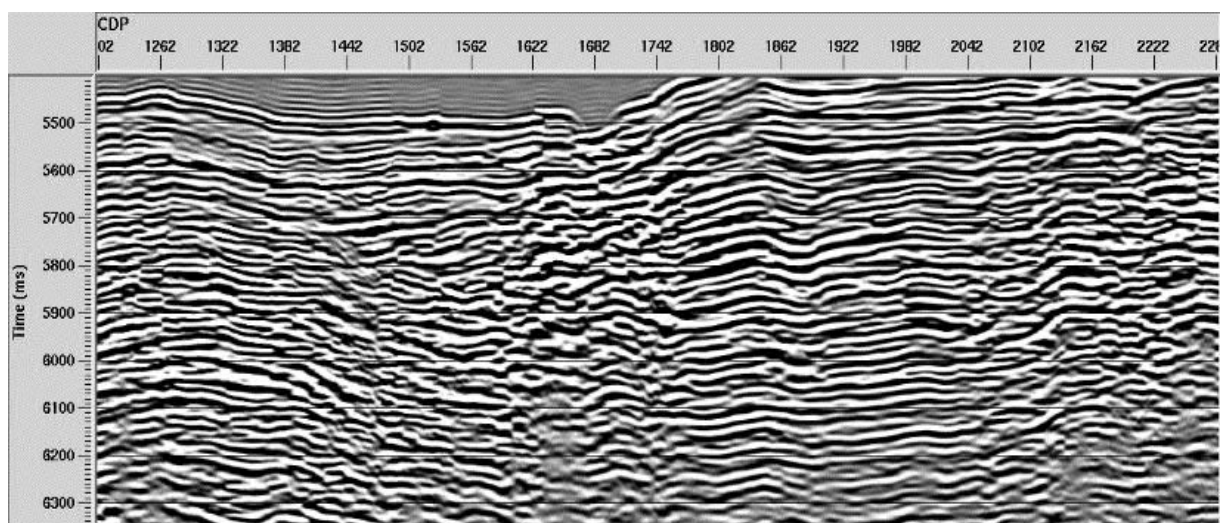
Gambar 4. Penampang seismik hasil migrasi dengan *aperture* 512,5 m CDP 172-1142.



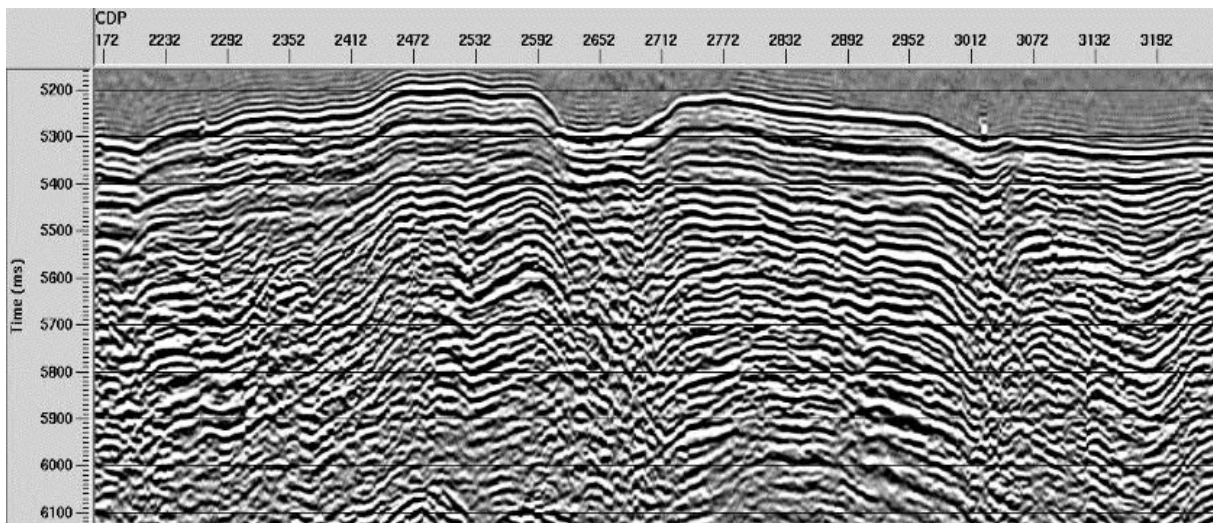
Gambar 5. Penampang seismik hasil migrasi dengan *aperture* 75 m CDP 1202-2282.



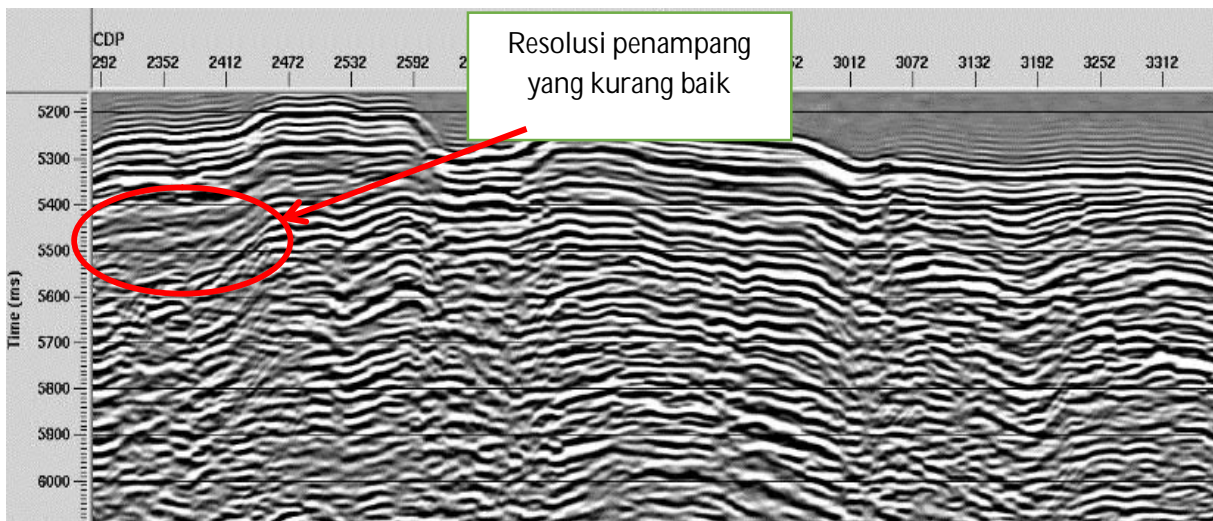
Gambar 6. Penampang seismik hasil migrasi dengan *aperture* 200 m CDP 1202-2282.



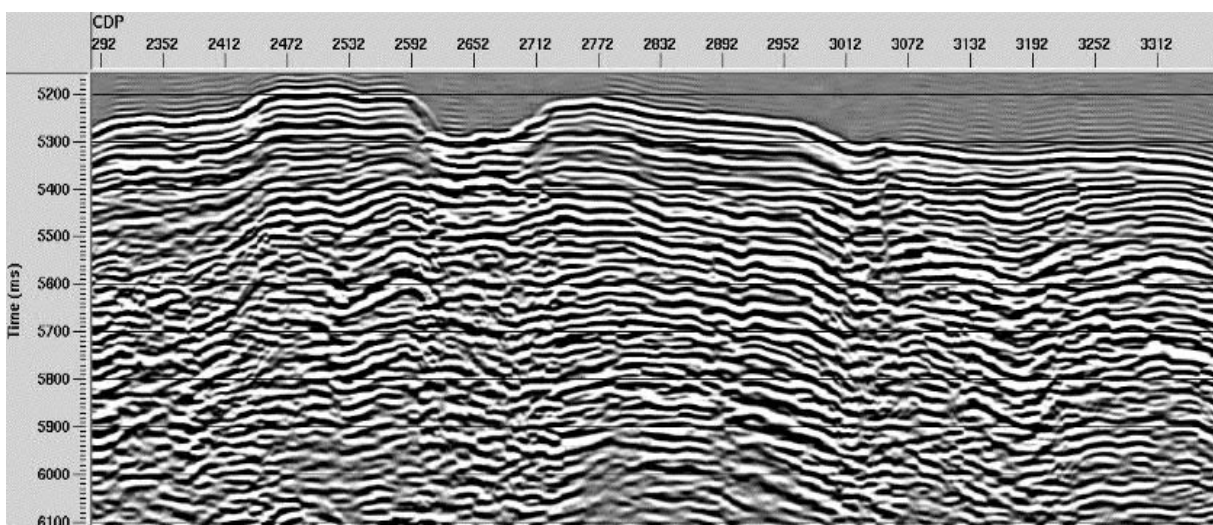
Gambar 7. Penampang seismik hasil migrasi dengan *aperture* 512,5 m CDP 1202-2282.



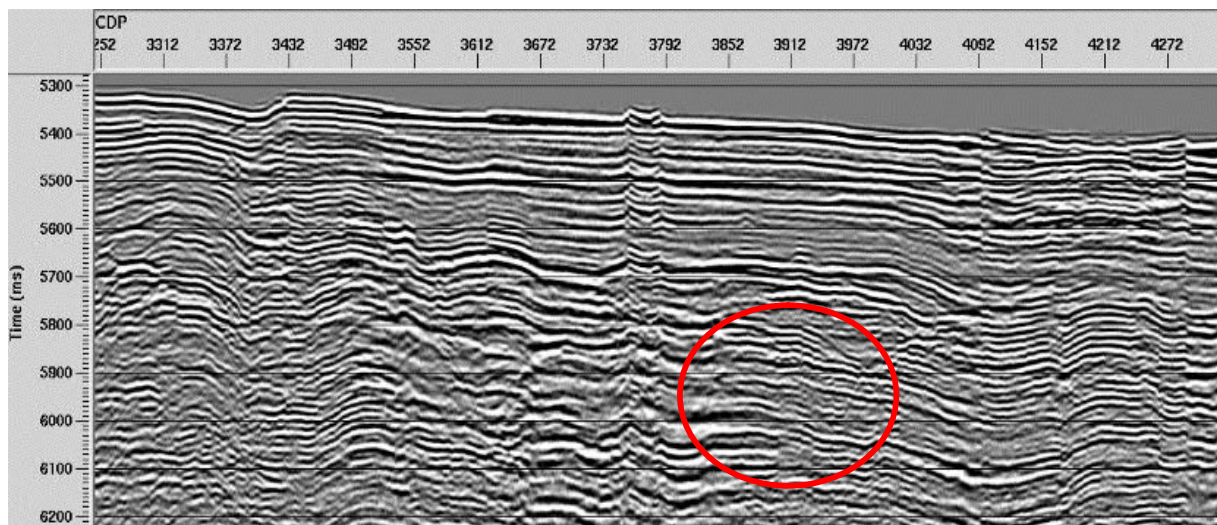
Gambar 8. Penampang seismik hasil migrasi dengan *aperture* 75 m CDP 2172-3182.



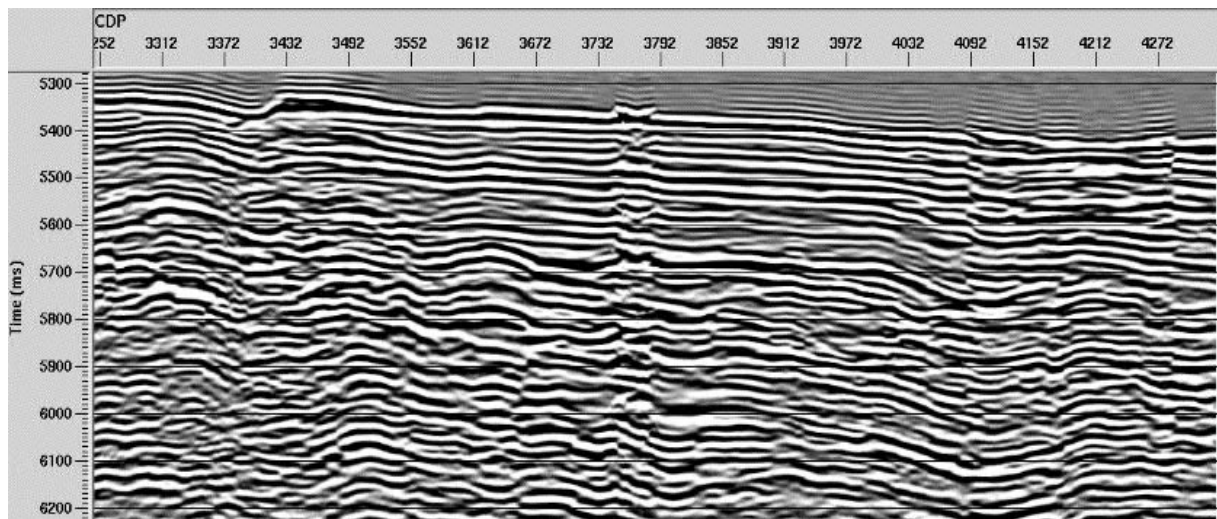
Gambar 9. Penampang seismik hasil migrasi dengan *aperture* 200 m CDP 2292-3182.



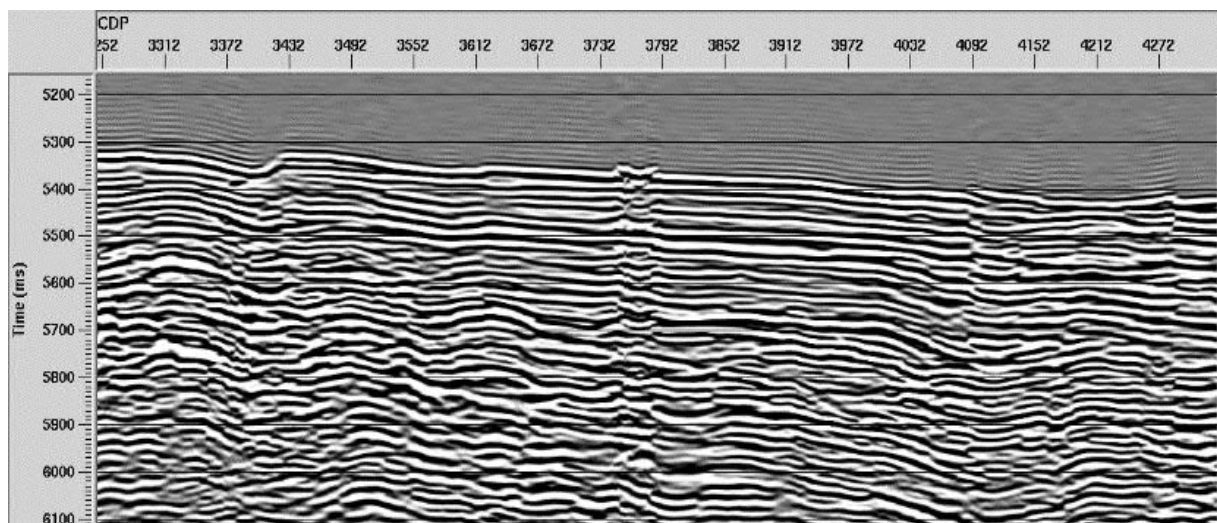
Gambar 10. Penampang seismik hasil migrasi dengan *aperture* 512,5 m CDP 2292-3182.



Gambar 11. Penampang seismik hasil migrasi dengan *aperture* 75 m CDP 3252-4272.



Gambar 12. Penampang seismik hasil migrasi dengan *aperture* 200 m CDP 3252-4272.



Gambar 13. Penampang seismik hasil migrasi dengan *aperture* 512,5 m CDP 3252-4272.

miring dan juga reflektor yang memiliki ketidakmenerusan berupa patahan dilihat dari masih banyaknya *bowtie* yang terdapat pada penampang seismik.

Hasil migrasi Kirchhoff dengan nilai *aperture* 200 m pada Gambar 3, 6, 9 dan 12 menampilkan gambaran yang lebih baik dibandingkan hasil dari proses *stacking* dan hasil migrasi dengan nilai *aperture* 75 m, karena dapat menghilangkan efek difraksi dan *bowtie* yang terdapat pada penampang seismik. Namun nilai *aperture* 200 m tidak mampu memperbaiki kemenerusan reflektor miring pada CDP 542-722 dan juga terjadi pelemahan resolusi yang terdapat pada CDP 2292-2242.

Hasil migrasi Kirchhoff dengan nilai *aperture* 512,5 m pada Gambar 4, 7, 10 dan 13 menampilkan gambaran bawah permukaan yang lebih baik dibandingkan hasil dari proses *stacking* serta hasil migrasi dengan nilai *aperture* 75 m dan 200 m. Nilai *aperture* 512,5 meter lebih mampu menangani reflektor miring, juga menghilangkan efek difraksi yang terdapat pada penampang seismik lintasan penelitian dan juga mereduksi efek *bowtie* dengan baik pada reflektor miring dan juga menunjukkan ketidakmenerusan reflektor yang dapat diinterpretasi sebagai patahan.

4.3. Analisis Penampang Seismik

Pengolahan data seismik menghasilkan penampang seismik Wetar yang berarah tenggara ke barat laut. Berdasarkan penampang yang dihasilkan, morfologi berupa horst atau tinggian terletak pada CDP 0-422, kemudian lubuk laut terletak pada CDP 422-662 dan juga *shelf* atau paparan yang melandai ke arah barat laut.

Untuk mengidentifikasi struktur geologi pada penelitian ini, digunakan penampang seismik yang memberikan hasil optimum, yakni penampang seismik hasil migrasi yang menunjukkan bidang reflektor dan resolusi penampang yang cukup jelas yaitu penampang

dengan nilai *migration aperture* sebesar 512.5 meter yang merupakan nilai *far offset*.

Pulau Wetar mumnya tersusun oleh batuan vulkanik berumur Tersier, sehingga pola reflektor yang dihasilkan tidak memiliki penetrasi yang dalam dikarenakan sifat batuan vulkanik yang keras dan ditunjukkan dengan adanya perulangan pantulan (*multiple*). *Multiple* yang terdapat pada data seismik lintasan ini berada pada kedalaman TWT 10400, sehingga tidak mengganggu interpretasi dari data seismik.

Berdasarkan geologi regional dan tatanan stratigrafi pada daerah ini, lapisan paling atas yang terlihat pada penampang seismik merupakan batuan termuda berumur kuartar berupa endapan aluvial dan sedimen gamping koral yang terdapat disepanjang pantai. Lapisan pertama dari penampang seismik Gambar 14. menunjukkan pola kemenerusan reflektor kontinyu yang menunjukkan adanya proses pengendapan yang seragam, namun pada beberapa titik terdapat pola ketidakmenerusan yang diidentifikasi sebagai patahan. Berdasarkan penelitian dari Pusat Survey Geologi, jenis sedimen yang terdapat di sepanjang pantai Wetar adalah berupa endapan aluvial dan sedimen gamping.

Penampang seismik yang dihasilkan menunjukkan beberapa reflektor yang mengindikasikan keberadaan patahan yang terbentuk akibat dari proses tumbukan busur belakang Wetar. Patahan- patahan ini terdapat di beberapa titik CDP seperti yang dapat dilihat pada Gambar 14.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

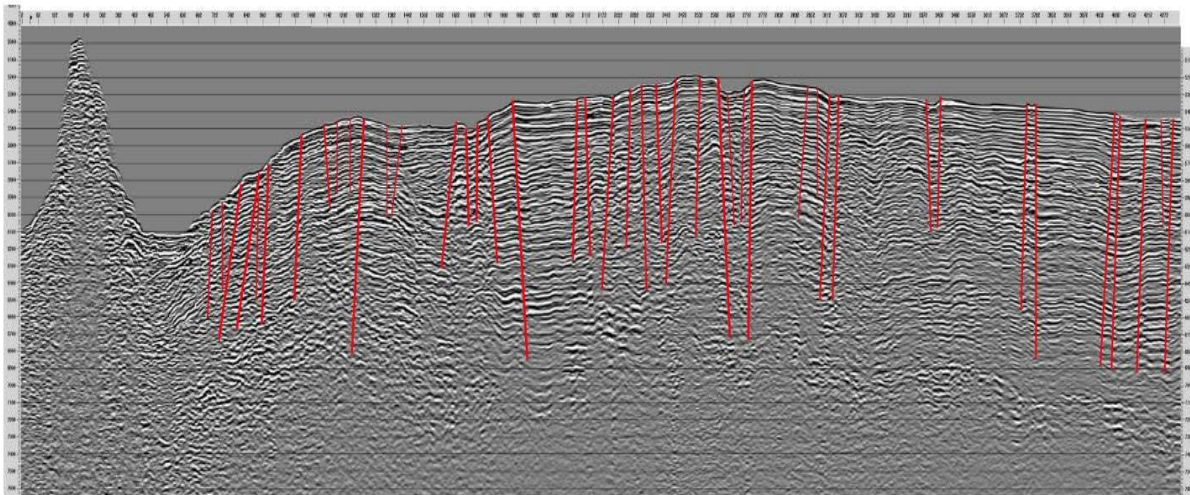
1. Pada penelitian ini, dari setiap proses yang dilakukan berhasil meningkatkan kualitas data dan pada proses akhir yaitu migrasi dengan metode *Kirchhoff pre-*

stack time migration, efek difraksi gelombang dan juga bowtie yang terbentuk oleh pengaruh lapisan miring dapat dihilangkan.

2. Penampang seismik hasil migrasi dengan nilai *migration aperture* 512,5 meter menghasilkan penampang hasil migrasi yang lebih baik dibandingkan

dengan nilai *migration aperture* 75 meter dan 200 meter.

3. Berdasarkan penampang seismik hasil migrasi dengan menggunakan *pre-stack time migration*, struktur geologi yang terdapat pada lokasi penelitian adalah berupa patahan yang terdapat di beberapa titik CDP.



Gambar 14. Penampang seismik hasil migrasi Kirchhoff dengan Interpretasi

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PPPGL Bandung untuk kesempatan dan izin akses data pada penelitian ini serta semua pihak yang turut berkontribusi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bednar, J. (2008). *Modeling, Migration and Velocity Analysis in Simple and Complex Structure*. <http://www.panoramatech.com/papers/migration.pdf>
- Bonomi, E., & Cabitza, G. (1994). Migration of seismic data. *Journal of Statistical Physics*, 76(1–2), 703–723. <https://doi.org/10.1007/BF02188682>
- Dewanto, O. (2004). *Seismik Eksplorasi*. Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
- Ku, C.-Y., & Hsu, S.-K. (2009). Crustal structure and deformation at the northern Manila Trench between Taiwan and Luzon islands. *Tectonophysics*, 466(3–4), 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.012>
- Naess, O. E., & Bruland, L. (1985). Stacking methods other than simple summation. *Developments in geophysical exploration methods - 6*.
- Siraju, A., Hutabarat, J., Sukiyah, E., & Haryanto, A. D. (2018). Analisis Kandungan Mineral dan Logam Oksida Pada Singkapan Batuan Vulkanik yang Termanifestasi Alterasi Hidrotermal di Wilayah Pertambangan PT. Batutua Tembagaraya Pulau Wetar Provinsi Maluku. *Bulletin of Scientific Contribution: Geology*, 16(3), 149–162.
- Subarsyah, S., & Rahardiawan, R. (2016). Geological Structures Appearances and Its Relation to Mechanism of Arc-Continent Collision Northern Alor-Wetar Islands. *BULLETIN OF THE MARINE GEOLOGY*, 31(2), 55–66. <https://doi.org/10.32693/bomg.31.2.2016.326>
- Sutrisno. (1997). *Fisika Dasar: Gelombang Optik*. ITB Press.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics. 2nd edition*. Cambridge University Press.

- Yilmaz, Ö. (2001). Seismic Data Analysis. In *Investigations in geophysics*. Society of Exploration Geophysicists.
<https://doi.org/10.1190/1.9781560801580>