

## Analisis Multi-Atribut dan Jaringan Syaraf Tiruan dengan Optimasi Filter untuk Deteksi Patahan Pada Penampang Seismik Lapangan Penobscot Kanada

Yudi Darma<sup>1\*</sup>, Dwi Pujiastuti<sup>1</sup>

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas  
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 19 Agustus 2021  
Direvisi: 22 September 2021  
Diterima: 30 September 2021

#### Kata kunci:

Deteksi Patahan  
Jaringan Syaraf Tiruan  
Analisis Atribut

#### Keywords:

Fault Detection  
Artificial Neural Network  
Attributes Analysis

#### Penulis Korespondensi:

Yudi Darma  
Email: [dyudidarma@gmail.com](mailto:dyudidarma@gmail.com)

### ABSTRAK

Identifikasi patahan merupakan salah satu langkah awal dalam interpretasi seismik dan menjadi komponen penting dalam pengembangan strategi eksplorasi. Deteksi patahan dilakukan dengan metode analisis multi-atribut. Metode ini diterapkan pada data Lapangan Penobscot Kanada. Atribut seismik yang digunakan sebagai data masukan terdiri dari *similarity*, *spectral decomposition*, *curvature*, *dip* dan *semblance*. *Pickset* yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari *pickset* pada patahan besar dan patahan kecil dengan jumlah *pick* 400. *Pickset* yang sudah didapatkan akan di proses oleh Jaringan Syaraf Tiruan (JST) sebagai *input* menggunakan *pattern recognition* (pengenalan pola). Data latih yang digunakan pada pelatihan JST adalah penampang seismik pada *crossline* 1271. Penampang seismik yang digunakan sebagai data uji adalah *crossline* 1305. Hasil penelitian menunjukan efektifitas yang paling tinggi untuk deteksi patahan dihasilkan pada pelatihan JST dengan kombinasi atribut *similarity*, *spectral decomposition* dan *semblance*. Pelatihan JST pada patahan besar secara visual menghasilkan kualitas deteksi yang lebih baik dibandingkan dengan patahan kecil. Penerapan *fault enhancement filter* (FEF) menghasilkan penampang seismik yang lebih tajam sehingga mempermudah proses *picking* dan menghasilkan pelatihan JST yang lebih baik dengan nilai *error* lebih kecil. *Pickset* yang sudah dilatih pada *crossline* 1271 dapat diterapkan pada data uji dengan probabilitas patahan yang makin jelas dan tajam dengan nilai *misclassification error* 6,98%.

*Fault identification is one of the first steps in seismic interpretation and becomes essential in developing exploration strategies. Fault detection was carried out by combination of the multi-attribute analysis method and artificial neural network (ANN). This method had been performed on a seismic section of Penobscot, Canada. Seismic attributes used as input data consist of similarity, spectral decomposition, curvature, dip and semblance. The pick set used in this study consisted of pick sets on significant fault and the minor fault with 400 picks. The training data used in the ANN training was crossline 1271. Seismic inline used as test data were crossline 1305. The results show the highest effectiveness for fault detection resulted in ANN training with a combination of similarity, spectral decomposition, and semblance attributes. ANN training on significant faults visually produces better detection quality than minor faults. Fault enhancement filter (FEF) produced a sharper seismic cross-section used in the picking process and a better ANN training with a smaller error value. Pick sets trained on crossline 1271 were applied to test data, resulting in clearer and sharper fault probability with a misclassification value of 6.98%.*

## I. PENDAHULUAN

Energi fosil menjadi sumber utama bagi manusia untuk memenuhi kebutuhan energi, terutama pada minyak bumi dan gas (migas). Penggunaan energi migas mencapai 81% untuk memenuhi kebutuhan energi dunia (*International Energy Agency*, 2017). Meningkatkan kebutuhan energi pada minyak dan gas bumi memerlukan pengoptimalan penemuan sumber cadangan migas yang baru karena peningkatan kebutuhan energi ini berbanding terbalik dengan proses produksi yang terus mengalami penurunan. Cadangan-cadangan baru yang berpotensi dapat ditemukan melalui proses eksplorasi berupa kajian geokimia, geofisika dan geologi (Koesoemadinata, 1980).

Khasanah (2016) menyatakan bahwa penelitian geofisika untuk mengetahui kondisi di bawah permukaan bumi melibatkan pengukuran di atas permukaan bumi dari parameter-parameter fisika yang dimiliki oleh batuan di dalam bumi. Dari pengukuran ini dapat ditafsirkan bagaimana sifat-sifat dan kondisi di bawah permukaan bumi baik itu secara vertikal maupun horizontal. Dalam skala yang berbeda, metode geofisika dapat diterapkan secara global yaitu untuk menentukan struktur bumi, secara lokal yaitu untuk eksplorasi mineral dan pertambangan termasuk minyak bumi dan dalam skala kecil yaitu untuk aplikasi geoteknik (penentuan pondasi bangunan, perencanaan bendungan, pembangunan terowongan dan perencanaan bangunan penahan tanah longsor). Untuk mendapatkan hasil yang baik, digunakan salah satu kajian geofisika dengan metode seismik. Metode seismik ini mencakup survei pada daerah yang cukup luas dengan hasil yang cukup baik (Badley, 1985). Potensi minyak dan gas bumi didapatkan melalui gambaran bawah permukaan bumi berdasarkan interpretasi dari penampang seismik dengan melihat adanya perangkap hidrokarbon. Salah satunya melalui deteksi patahan.

Patahan yang berada di bawah permukaan bumi berfungsi sebagai perangkap dan dapat menjadi penghalang dalam migrasi hidrokarbon. Deteksi patahan penting dilakukan karena patahan berfungsi sebagai perangkap yang dapat menjebak minyak bumi. Dengan perkembangan teknik pengolahan data dan visualisasinya, maka berbagai metode telah dilakukan untuk mencitrakan geometri patahan di bawah permukaan (Meldahl dan Heggland, 2001).

Zhang dkk (2014) menyatakan bahwa identifikasi patahan menjadi langkah awal dalam mengidentifikasi struktur bawah permukaan bumi. Berbagai metode yang digunakan untuk menggambarkan geometri patahan di bawah permukaan bumi diantaranya adalah metode analisis atribut dan metode konvensional. Dua metode ini bisa menganalisis patahan dengan baik.

Secara konvensional untuk melihat interpretasi anomali pada penampang seismik dilakukan proses *picking* secara manual. Hal ini hanya bisa diterapkan pada patahan yang berukuran besar. Metode lain yaitu menggunakan informasi yang diperoleh dari atribut seismik melalui analisis atribut. Metode analisis ini berkontribusi dalam interpretasi data seismik 3D (Zheng dkk., 2013).

Atribut seismik merupakan segala informasi yang terhitung, terukur dan tersirat dalam sebuah data seismik (Thapar, 2004). Atribut ini telah banyak digunakan terutama untuk karakterisasi reservoir (Whitcombe, 2001). Beberapa atribut seismik sensitif terhadap patahan seperti *spectral decomposition*, *curvature*, *similarity* dan *dip*.

Menurut Zheng dkk. (2013) atribut *spectral decomposition* menguraikan sinyal seismik dalam bentuk frekuensi yang dapat menunjukkan fase dan komponen amplitudo pada panjang gelombang tertentu. Komponen ini bekerja dengan baik dalam memetakan ketebalan, mendeteksi kontinuitas geologi dan memberikan respon fase ke kontinuitas lateral. Atribut ini dapat memperlihatkan patahan yang tidak dikenali oleh atribut lain dan juga meningkatkan resolusi seismik. *Curvature* dan *similarity* dapat memperlihatkan dengan jelas kontinuitas pada patahan dengan cara meningkatkan resolusi pencitraan (Cooke dan Cant, 2010) serta *dip* dapat mendeteksi patahan dengan cara membandingkan dua tras seismik sehingga kenampakan penampang menjadi lebih jelas. Namun, penggunaan satu atribut saja tidak mampu mengidentifikasi satu objek secara sempurna. Penggunaan satu atribut seismik saja masih menghasilkan banyak *noise* dan untuk meningkatkan kualitas deteksi objek yang sama dibutuhkan kombinasi beberapa atribut (multi-atribut) (Tingdhal dan Rooij, 2005).

Jaringan syaraf tiruan (JST) merupakan suatu sistem komputasi matematika yang mampu meningkatkan kualitas interpretasi geologi pada data seismik melalui proses belajar dari contoh-contoh pelatihan yang diberikan. JST dirancang untuk memproses informasi yang terdistribusi secara paralel (Koesoemadinata, 1980). JST mampu menangani informasi yang terkontaminasi dengan *noise* lebih cepat melalui proses pelatihan dan juga dapat diterapkan pada data yang lainnya. Meldahl dan Heggland (2001) menyatakan bahwa penggunaan multi-atribut seismik dan jaringan syaraf tiruan mampu

menggambarkan probabilitas patahan berupa nilai *rms error* dan *missclassification percentage* yang terdapat pada penampang seismik.

Filter secara umum digunakan untuk menghilangkan *noise* dan meningkatkan kualitas data seismik. Penggunaan filter pada penampang seismik akan menghasilkan pencitraan yang lebih tajam. Peningkatan citra seismik dapat dilakukan dengan menggunakan dua jenis filter yaitu *fault enhancement filter* (FEF) dan *ridge enhancement filter* (REF).

Optimasi filter merupakan suatu proses untuk mengoptimalkan fungsi penghilangan *noise* pada penampang seismik untuk mencapai hasil interpretasi yang ideal. Pada penelitian ini optimasi filter menggunakan *fault enhancement filter* (FEF). Penerapan FEF menghasilkan citra yang lebih jelas. Filter ini juga berfungsi untuk memperjelas kontinuitas pada penampang seismik sehingga hasil JST yang dilakukan menjadi lebih baik.

Lestari (2017) melakukan penelitian penampang seismik pada Lapangan F3 Laut Utara Belanda dengan mengkombinasikan beberapa atribut seismik seperti *spectral decomposition*, *similarity*, *dip* dan *curvature*. Penggunaan multi-atribut tersebut serta penambahan jumlah *pick* dengan kombinasi JST meningkatkan kualitas deteksi patahan. Hal ini ditunjukkan dengan pola patahan yang semakin jelas dan tegas. Peningkatan kualitas deteksi juga ditunjukkan dengan nilai *missclassification percentage* yang lebih kecil. Nilai *missclassification percentage* yang dihasilkan pada penerapan JST kombinasi empat atribut untuk jumlah *pick* 150, 200, 250 dan 300 adalah 7,97%, 6,63%, 4,05% dan 3,08%.

Penelitian ini juga menggunakan multi-atribut untuk menguji efektifitas atribut seismik pada pelatihan JST melalui analisis *rms error* dan *missclassification percentage*. Penelitian ini melakukan penambahan satu atribut seismik yaitu *semblance*. Penggunaan atribut tersebut dapat membantu mengidentifikasi kemenerusan sesar yang terlihat tidak jelas pada data seismik asli, sehingga sesar bisa diidentifikasi pada penampang vertikal maupun penampang horizontal secara lebih jelas. Atribut ini menonjolkan perubahan lateral seismik akibat adanya perbedaan kondisi geologi. Atribut ini menggabungkan lebih dari dua tras seismik untuk menunjukkan diskontinuitas yang lebih jelas pada penampang seismik (Marfurt dkk., 1999).

Pemilihan multi-atribut (*similarity*, *dip*, *semblance*, *curvature* dan *spectral decomposition*) yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas penggunaan berbagai atribut untuk menghasilkan probabilitas penampang yang lebih baik. Pemilihan daerah penelitian dilakukan pada lapangan Penobscot Kanada yang didukung dengan ketersediaan hasil akuisisi data bersifat *open source* milik *dGB Earth Science*.

## II. METODE

### 2.1 Data

Gambar 1 adalah peta lokasi Lapangan Penobscot Kanada. Secara visual patahan besar terlihat jelas pada *crossline* 1271. Data uji yang digunakan adalah *crossline* 1305. Kedua *crossline* ini dipilih karena secara visual terlihat adanya kontinuitas yang rendah pada penampang seismiknya. Atribut seismik digunakan sebagai data masukan pada pelatihan JST. Penerapan multi-atribut (*similarity*, *spectral decomposition*, *dip*, *curvature* dan *semblance*) dikombinasikan dengan patahan besar dan kecil pada penampang seismik.

### 2.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan melalui pelatihan multi-atribut dengan jaringan syaraf tiruan untuk mendeteksi patahan. Patahan ditandai dengan respon yang berbeda dari sekitarnya. Multi-atribut dan JST diharapkan dapat menghasilkan probabilitas patahan dengan lebih akurat. Proses pengolahan data pada *OpenTect* dilakukan dengan menggunakan *window* dan *icon* perintah yang terintegrasi. JST telah diintegrasikan dengan algoritma *backpropagation* dengan tipe pelatihan terawasi. Pelatihan terawasi merupakan metode pelatihan dengan nilai keluaran yang diharapkan telah diketahui sebelumnya. Keluaran yang diharapkan berupa patahan dan bukan patahan. Keluaran berupa patahan dan bukan patahan diperoleh dari hasil *picking*. Tahapan dalam pengolahan data dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

1. Pemilihan data masukan dan mendefinisikan atribut. Data yang digunakan merupakan set hasil akuisisi seismik 3D lapangan offshore Penobscot Kanada cekungan Nova Scotia milik *dGB Earth*

Science. Atribut seismik digunakan sebagai data input pada pelatihan JST dikombinasikan dengan proses picking pada daerah patahan dan bukan patahan dalam proses pengenalan pola (pattern recognition) jaringan syaraf tiruan.

2. Penerapan filter pada penampang seismik. Penerapan filter dilakukan dengan cut-off antara median filter dan difusion filter menggunakan logika ekspresi matematika dengan beberapa variable input ( $c_0$ ) sebesar 0,7.

3. Pembuatan pickset pada penampang seismik. Daerah yang di-pick merupakan daerah yang sudah dikenali secara visual sebagai daerah latih. Pickset pada daerah patahan besar dilakukan dengan mengamati diskontinuitas pada penampang seismik dan picking daerah bukan patahan dilakukan pada garis batas amplitudo (horizon). Daerah ini dibagi menjadi daerah patahan yang ditandai dengan titik-titik merah dan daerah bukan patahan yang ditandai titik-titik hijau.

4. Pelatihan JST. Pelatihan JST bertujuan agar pelatihan yang dilakukan dapat mengenali data berupa pola (pattern recognition) yang diekstrak agar diketahui nilai rms error dan missclassification percentage.

5. Penerapan JST pada data uji. Pada tahap ini hasil pelatihan JST diterapkan pada crossline yang berbeda untuk melihat keefektifan pelatihan dalam mendeteksi patahan.



**Gambar 1** Lokasi Lapangan Penobscot Kanada

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Pelatihan JST pada Atribut Tunggal pada *Crossline 1271*

Gambar 2 memperlihatkan probabilitas patahan hasil pelatihan JST pada atribut tunggal. Pelatihan JST ini menggunakan *pickset* patahan besar dengan jumlah 400 *pick*. Kombinasi atribut seismik dengan JST akan menentukan kualitas deteksi suatu objek pada penampang seismik. Hal ini dikarenakan setiap atribut seismik memiliki respon yang berbeda terhadap anomali bawah permukaan seperti patahan.

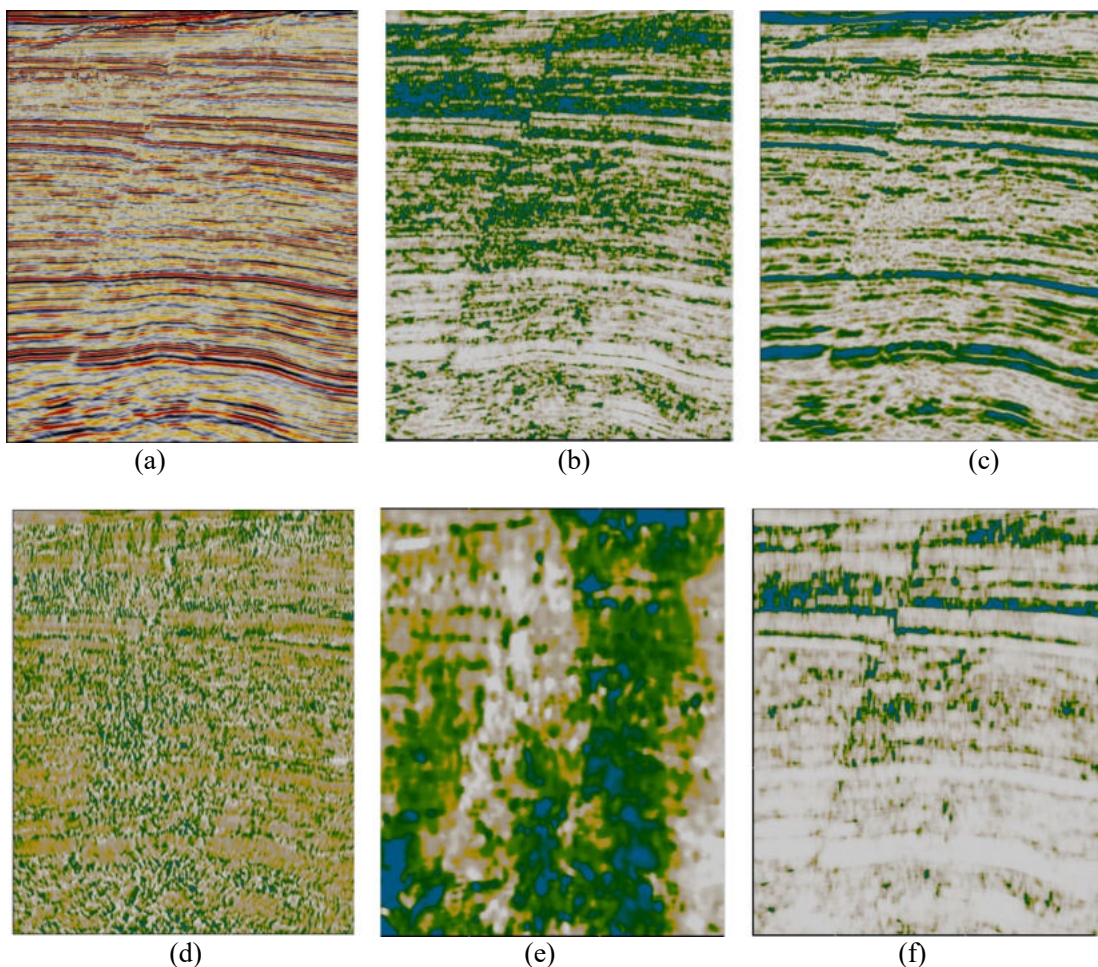
Gambar 2b dan 2c memperlihatkan hasil keluaran pelatihan JST pada atribut *similarity* dan *spectral decomposition*. Keluaran secara visual memperlihatkan bahwa probabilitas patahan yang terdeteksi lebih jelas. Probabilitas patahan ini diperjelas dengan warna biru. Daerah yang diberi tanda panah merupakan daerah yang teridentifikasi sebagai patahan. Hasil pelatihan JST memperlihatkan adanya probabilitas patahan yang terlihat jelas dan tegas. Nilai *missclassification percentage* yang diperoleh untuk pelatihan atribut *similarity* dan *spectral decomposition* secara berurutan adalah 15,49% dan 9,86%.

Gambar 2d dan 2e memperlihatkan hasil keluaran pelatihan JST pada atribut *curvature* dan *dip*. Kedua atribut ini menghasilkan probabilitas patahan yang tidak jelas dibandingkan atribut yang lain. Probabilitas patahan yang dihasilkan tersebar acak sehingga sulit untuk mendeteksi adanya patahan. Hasil yang diperoleh ini diperkirakan karena atribut *curvature* kurang sensitif terhadap *noise*. Atribut ini juga mengklasifikasikan (*cluster class*) pada pelatihan jaringan syaraf tiruan dengan nilai 1 (eror



maksimum) dan grafik JST tidak turun selama pelatihan dan pengujian berlangsung. Hal ini menyebabkan nilai *rms error* nya menjadi besar (eror maksimum). Nilai *missclassification percentage* yang diperoleh untuk pelatihan atribut *curvature* dan *dip* berurut adalah 56,99% dan 46,48%.

Gambar 2f merupakan keluaran pelatihan JST pada atribut *semblance*. Pada atribut *semblance* didapatkan nilai misklasifikasi sebesar 17,65%. Ini menandakan rendahnya jumlah kesalahan klasifikasi pada saat pendeteksian patahan besar yang menandakan bahwa pemberian filter efektif saat dievaluasi menggunakan atribut *semblance* sehingga nilai misklasifikasi menjadi kecil.

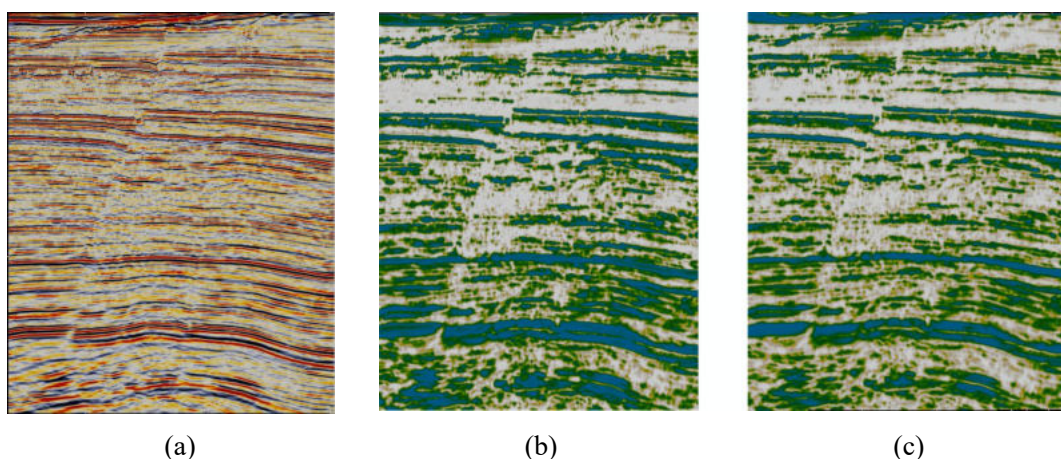


**Gambar 2** Hasil pelatihan JST satu atribut pada *Crossline 1271* (a) penampang awal (b) *similarity* (c) *spectral decomposition* (d) *curvature* (e) *dip* (f) *semblance*

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh di atas dapat disimpulkan bahwa dari atribut *similarity*, *spectral decomposition* dan *semblance* dapat mendeteksi patahan. Atribut *spectral decomposition* secara khusus, menampilkan kemenerusan yang lebih baik pada penampang seismik sehingga anomali pada kemenerusan tersebut (berupa patahan) lebih mudah untuk diidentifikasi. Sementara pelatihan JST dengan atribut *curvature* dan *dip* tidak sensitif terhadap patahan. Hal ini dilihat sulitnya melihat adanya probabilitas patahan dari penampang seismik hasil keluaran.

### 3.2 Pelatihan JST Pada Kombinasi Atribut pada *Crossline 1271*

Pelatihan JST dengan kombinasi beberapa atribut diharapkan mampu menghasilkan deteksi patahan yang lebih akurat. Atribut yang dikombinasikan berupa kombinasi lima atribut dan tiga atribut. Gambar 3 merupakan keluaran JST kombinasi atribut. Gambar 3b merupakan hasil pelatihan JST dengan kombinasi lima atribut. Atribut yang digunakan adalah *similarity*, *spectral decomposition*, *curvature*, *dip*, dan *semblance*.

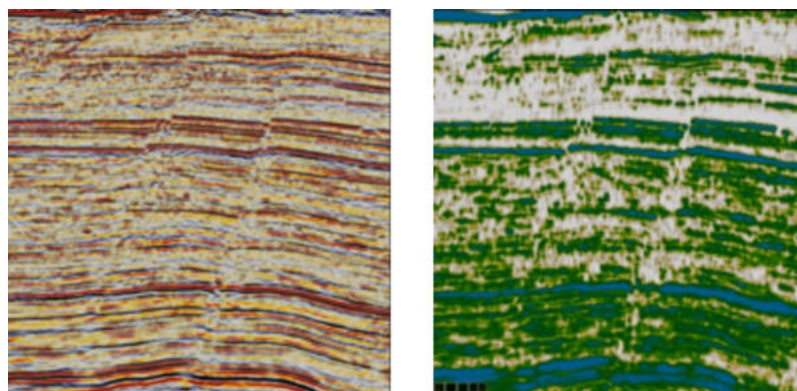


**Gambar 3** Hasil pelatihan JST kombinasi atribut pada *crossline* 1271 (a) Penampang Awal (b) Kombinasi 5 atribut (c) Kombinasi 3 atribut

Hasil pelatihan JST pada atribut *curvature* dan *dip* tidak memberikan keluaran yang bisa digunakan untuk mendeteksi patahan. Hal ini mendorong untuk dilakukannya pelatihan JST dengan kombinasi tiga atribut yaitu *similarity*, *spectral decomposition* dan *semblance*. Gambar 3c merupakan hasil pelatihan JST dengan kombinasi tiga atribut. Probabilitas patahan yang dihasilkan tiga atribut lebih baik jika dibandingkan kombinasi lima atribut dengan nilai *missclassification percentage* yang diperoleh sebesar 6,98%.

### 3.3 Pelatihan JST Kombinasi 3 Atribut Pada *Crossline* 1305

Hasil pelatihan JST kombinasi tiga atribut yang telah diperoleh sebelumnya diterapkan pada penampang seismik yang lain. Atribut yang digunakan yaitu *similarity*, *spectral decomposition* dan *semblance*. Ketiga atribut ini terbukti menghasilkan keluaran dengan probabilitas patahan yang baik. Penampang seismik yang digunakan sebagai data uji adalah *crossline* 1305. Penampang ini dipilih karena secara visual dapat dilihat adanya anomali kemenerusan berupa patahan. Gambar 4 merupakan keluaran untuk penerapan JST.



**Gambar 4** Hasil pelatihan JST kombinasi 3 atribut pada *crossline* 1305

Gambar 4 merupakan hasil penerapan JST kombinasi tiga atribut pada penampang seismik *crossline* 1305. Penerapan JST menghasilkan probabilitas patahan yang lebih jelas. Probabilitas patahan yang diterapkan menggunakan kombinasi 3 atribut mampu untuk mendeteksi patahan kecil walaupun patahan yang ditampilkan belum terlihat jelas dan tegas. Hal ini terjadi dikarenakan adanya kemungkinan terdapat patahan lebih kecil yang memiliki resolusi jauh di bawah resolusi seismik. Nilai *missclassification percentage* yang diperoleh dari pelatihan ini adalah 6,98%.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa pelatihan JST pada patahan besar memberikan hasil deteksi patahan lebih baik dibandingkan dengan pelatihan pada patahan kecil. Hal ini karena adanya kemungkinan patahan kecil memiliki resolusi dibawah resolusi seismik. Penerapan FEF pada penampang seismik menghasilkan anomali patahan yang jelas. Hal ini mempermudah proses *picking* sehingga menghasilkan probabilitas patahan yang lebih baik dengan nilai *missclassification error* yang lebih kecil. Identifikasi patahan dengan menggunakan atribut *similarity*, *spectral decomposition* dan *semblance* menghasilkan deteksi patahan yang baik dibandingkan dengan atribut *curvature* dan *dip*. Pelatihan JST dengan menggunakan kombinasi tiga atribut (*similarity*, *spectral decomposition* dan *semblance*) menghasilkan probabilitas patahan yang lebih baik dibandingkan dengankombinasi lima atribut (*similarity*, *spectral decomposition*, *curvature*, *dip* dan *semblance*) walaupun didalam implementasi pada penampang seismik yang ditampilkan antara 3 atribut dan 5 atribut memiliki perbedaan kecil jika hanya dilihat secara kualitatif.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badley, M.E., *Practical Seismic Interpretation* International Human Resource Development Co, 1985.
- Cooke, D., dan Cant, J., 2010, Model Based Seismic Inversion Comparing Deterministic and Probabilistic Inversion, <https://csegrecorder.com/articles/view-model-based-seismic-inversion-comparing-deterministic-and-probabilistic>, diakses Desember 2018.
- International Energy Agency, 2017. Global Energy Demand Grew By 2.1% In 2017, an Carbon Emissions Rose For The First Time Since 2014, <https://iea.org/newsroom/news/2018/march/global-energy-demand-grew-by-21-in-2017-and-carbon-emission-rose-for-the-first.html>, diakses april 2021.
- Khasanah, H., Estimasi Penyebaran Porositas Reservoir *Sandstone* pada Lapangan Eksplorasi Hidrokarbon Penobscot Kanada, Skripsi, Jurusan Fisika, Uuniversitas Jember, 2016.
- Koesoemadinata, R.P., *Geologi Minyak dan Gas Bumi Jilid 1*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1980.
- Lestari, E., Deteksi Patahan Pada Penampang Seismik Lapangan F3 Laut Utara Belanda Menggunakan Analisis Atribut dan Jaringan Syaraf Tiruan, Skripsi, Jurusan Fisika, Unand, Padang, 2017.
- Marfurt, K.J., V. Sudhaker, A.G, K.D Crawford, dan S.E Nissen , Coherency calculations in the presence of structural dip, *Geophysics*, Vol.64, hal.104-111, (1999)
- Meldahl, P., dan Heggland, R., Identifying Fault and Gas Chimney Using Multi-Attribute and Neural Network, *The Leading Edge*, Vol.20.P.1050, (2001)
- Thapar, M.R., Seismic Attribute Principal and Application, *Petro Skills*, 2004, hal.73-123.
- Tingdahl, K.M., dan Rooisj, M., Semi-Automatic Detection of Faults in 3D Seismic Data, *Geophysical Prospecting*, hal,533-542, (2005).
- Whitecombe, D.N dan Fletcher, J.G., The AIGI Crossplot as an Aid to AVO Analysis and Calibration Pada : *SEG Int'l Exposition and Annual Meeting*, San Antonio, Texas 9-14 September, Texas, 2001.
- Zhang, Bo., Liu, Y., Pelissier, M. dan Hemstra, N., Semi-Automatic Fault Interpretation Based On Seismic Attributes, *Interpretation*, Trans Tech Publication, Switzerland, (2013).
- Zheng, Z., Kavousi, P., dan Di,H., Multi-Attribute and Neural Network-Based Fault Detection in 3D Seismic Interpretation, *Trans Tech Publication*, Switzerland, (2013).