

# Application of Velocity Variation with Angle (VVA) Method on an Anisotropic Model with Thomsen Delta Anisotropy Parameters

Pengujian Metode Velocity Variation with Angle (VVA) pada Model Anisotropi dengan Parameter Anisotropi Thomsen Delta

Waskito Pranowo<sup>1\*</sup>, Sonny Winardhi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Teknik Geofisika, Universitas Pertamina, Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup> Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

\*Email: wpranowo@universitaspertamina.ac.id

Submit: 4 Juli 2018; Revised: 4 September 2018; Accepted: 10 September 2018

**Abstract:** Anisotropic properties will influence seismic propagation, for example it will affect wave velocity. One of well-known anisotropy equation for Transversely Isotropic media is weak anisotropy with Thomsen's notation. Thomsen's equation uses  $V_{P0}$ , notation  $\delta$  and  $\epsilon$  in P-wave velocity equation. Supriyono [2011] tried to estimate all of these variables by using velocity variation with angle (VVA) attribute. This research uses synthetic data, which is CMP Gather to know limitations of VVA attribute, to identify the error values, and to determine the best indicator of anisotropic effect. This research also uses another analysis method, which is grid search inversion to estimate  $V_{P0}$  and  $\delta$ . From this research, Both VVA and grid search inversion still produce significant error. The effects which will appear because of anisotropic property's presence are hockey-stick and over NMO-stretching.

**Keywords:** Anisotropy, VVA, grid search, hockey-stick, over NMO -stretching

**Abstrak:** Sifat anisotropi suatu media mempengaruhi propagasi gelombang seismik, dalam hal ini adalah kecepatan gelombang. Salah satu jenis persamaan anisotropi yang dikenal untuk kasus Transversely Isotropic adalah anisotropi lemah dengan parameter anisotropi Thomsen. Persamaan Thomsen menggunakan  $V_{P0}$  dan notasi  $\delta$  serta  $\epsilon$  dalam persamaan kecepatan gelombang P. Supriyono [2011] berusaha mengestimasi variabel tersebut menggunakan atribut velocity variation with angle (VVA). Pada penelitian ini digunakan data sintetik berupa CMP Gather untuk melihat batasan-batasan apa dari atribut VVA dan sebesar apa kesalahan yang terjadi serta untuk melihat efek yang dapat dijadikan indikator adanya anisotropi. Selain itu digunakan analisis lain berupa inversi grid search untuk mengestimasi variabel tersebut. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa kedua metode tersebut masih memberikan nilai kesalahan yang cukup signifikan. Efek-efek yang terjadi akibat adanya anisotropi adalah munculnya hockey-stick dan over NMO-stretching.

**Kata kunci:** Anisotropi, VVA, grid search, hockey-stick, over NMO -stretching

## 1 PENDAHULUAN

Banyak reservoir hidrokarbon yang memiliki sifat anisotropis sebagai contoh, basement fracture, perselingan lapisan tipis, dan lain lain. Sifat anisotropis ini mempengaruhi propagasi gelombang seismik, dalam hal ini adalah kecepatan gelombang. Thomsen (1986)? melakukan penyederhanaan salah satu jenis anisotropi yaitu Transversely Isotropic (TI). Thomsen mengajukan notasi-notasi yang digunakan dalam penyederhanaan kecepatan gelombang. Supriyono [2011] mengajukan suatu metode untuk mengestimasi parameter anisotropis Thomsen ini dari data seismik. Metode ini disebut atribut Velocity Variation with Angle (VVA). Dalam atribut VVA ini, Supriyono [2011] juga mengajukan persamaan root mean square velocity ( $V_{RMS}$ ) depend offset untuk mengestimasi parameter anisotropis pada kasus reservoir batuan klastik. Dalam penelitian ini, dilakukan pengaplikasian atribut VVA tersebut untuk kasus anisotropi lainnya yaitu ketika, dan melihat sebesar apa kesalahan yang terjadi ketika menggunakan atribut VVA ini dalam estimasi parameter anisotropis Thomsen.

## 2 TEORI

### 2.1 Notasi Thomsen pada Weak Elastic Anisotropy

Thomsen [2002] mengajukan notasi yang sesuai untuk medium Transversely Isotropic yang hanya berlaku untuk kasus anisotropi lemah. Untuk gelombang P, kecepatan fasanya didekati oleh,

$$V_P(\theta) \approx V_P(1 + \delta \sin^2 \theta + (\epsilon - \delta) \sin^4 \theta) \quad (1)$$

dengan  $\theta$  adalah sudut antara ray dengan sumbu  $x_3$  (sumbu z),  $V_{P0}$  adalah kecepatan vertikal,  $\epsilon$  dan  $\delta$  berturut-turut adalah parameter anisotropis Thomsen,

$$\delta = 4 \left( \frac{V_P(45^\circ) - V_{P0}}{V_{P0}} \right) - \epsilon, \quad \epsilon = \frac{V_P(90^\circ) - V_{P0}}{V_{P0}}, \quad (2)$$

Supriyono (2011) menyederhanakan persamaan 1 untuk sudut kecil dengan asumsi  $(\epsilon - \delta) \sin^4 \theta \ll \delta \sin^2 \theta$  sehingga,

$$V_P \approx V_{P0}(1 + \delta \sin^2 \theta), \quad (3)$$

## 2.2 Huruf dan Spasi

Transformasi dari *offset* menjadi sudut dihitung dengan persamaan Walden [1991],

$$\sin \theta = \frac{(x)(V_{int})}{(tw)(V_{RMS})^2}, \quad (4)$$

dengan  $x$  adalah *offset*,  $tw$  adalah *two-way travel time*,  $V_{int}$  dan  $V_{RMS}$  adalah berturut-turut kecepatan interval dan kecepatan *root-mean-square* di setiap  $tw$ . Persamaan Walden berlaku untuk kasus isotropis. Sedangkan untuk kasus anisotropis, transformasi *offset* ke sudut dilakukan dengan menggunakan hubungan,

$$x = \sin \theta_N \left( \sum_{i=1}^N \frac{V_{P0i} \cdot t_{int0i}}{\sqrt{V_N^2 - V_i^2 \sin^2 \theta_N}} \cdot V_i \right), \quad (5)$$

dengan,  $V_N$  kecepatan P interval ke- $N$  (daerah target),  $V_i$  kecepatan P interval ke- $i$  (di setiap  $tw$ ),  $x$  *offset*,  $t_{int0i}$  interval waktu (*two way*) lapisan ke- $i$ ,  $\theta_N$  *angle of incidence* lapisan ke- $N$  (target). Penurunan hubungan *offset* dengan sudut diatas berasal dari *raytracing* (Hukum Snell). Serupa dengan hubungan *offset* dengan sudut, *two-way travel time* daerah target ( $TWT_N$ ) pada kasus isotropis maupun anisotropis dapat dihitung melalui persamaan,

$$TWT_N = V_N \left( \sum_{i=1}^N \frac{V_{P0i} \cdot t_{int0i}}{V_i \sqrt{V_N^2 - V_i^2 \sin^2 \theta_N}} \right), \quad (6)$$

## 2.3 $V_{RMS}$ Variation with Offset

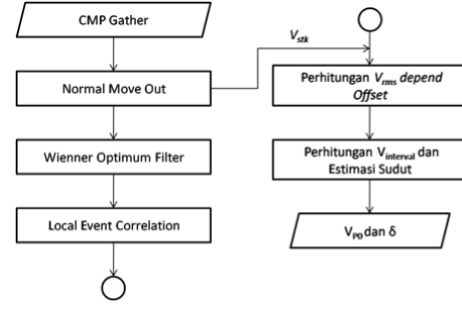
Supriyono (2011), memformulasikan  $V_{RMS}$  variation with *offset* (VVO) dengan menggunakan persamaan,

$$\frac{1}{V_{RMS} - j} = \frac{(\Delta t_j + T_j^2) - T_0^2}{X_0^2}, T_j = \sqrt{T_0^2 + \frac{X_j^2}{V_{stk}^2}} \quad (7)$$

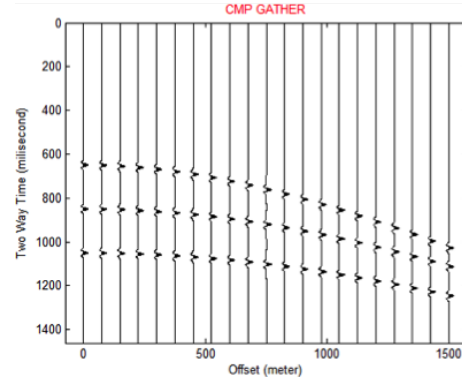
dengan  $T_j$  adalah waktu tempuh pada *offset*  $X_j$ ,  $V_{stk}$  adalah untuk kecepatan untuk koreksi NMO,  $\Delta t_j$  adalah *time residual moveout* yang merupakan pergeseran waktu yang dihitung dengan menggunakan *Local Event Correlation*. Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa  $V_{RMS}$  dihitung secara bebas setiap *offset*. Setelah perhitungan VVO, dilakukan analisis *Velocity Variation with Angle* dengan menggunakan alur kerja sebagai berikut

## 2.4 Grid Search

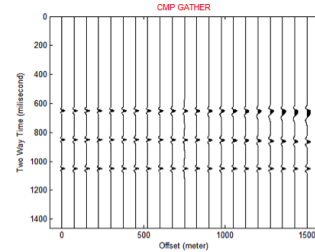
*Grid search* adalah salah satu metode inversi global. Pada *grid search* ruang model didefinisikan terlebih dahulu dengan menentukan interval harga setiap parameter model yang mungkin yang didiskretisasi [Grandis, 2009]. Setiap *grid* merepresentasikan satu sampel parameter yang harus dimodelkan ke depan. Parameter yang sesuai adalah yang



Gambar 1. Alur kerja metode *Velocity Variation with Angle*



Gambar 2. *CMP Gather*. Lapisan antara reflektor-1 dan reflektor-2 merupakan lapisan anisotropi



Gambar 3. Hasil Koreksi NMO pada *CMP Gather*

memiliki perbedaan terkecil antara pemodelan ke depan dengan data.

## 3 PEMODELAN DAN HASIL

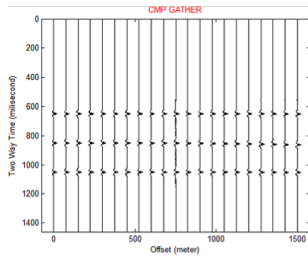
### 3.1 pemodelan data sintetis

Model lapisan yang dibentuk pada penelitian ini adalah sebagai berikut,

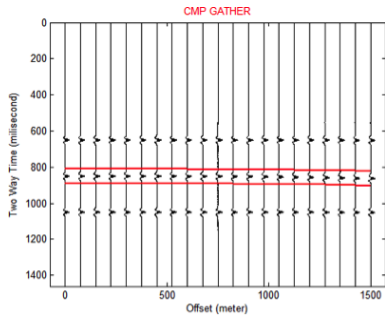
1. Lapisan-1,  $twt = 0 \text{ ms} - 650 \text{ ms}$ ,  $\delta = 0$ ,  $\epsilon = 0$
2. Lapisan-2,  $twt = 650 \text{ ms} - 850 \text{ ms}$ ,  $\delta = 0.1329$ ,  $\epsilon = 0$
3. Lapisan-3,  $twt = 850 \text{ ms} - 1050 \text{ ms}$ ,  $\delta = 0$ ,  $\epsilon = 0$
4. Lapisan-4,  $twt = 1050 \text{ ms}$ ,  $\delta = 0$ ,  $\epsilon = 0$

Dari data diatas dengan *offset* 0–1500 m didapatkan model *CMP Gather* sebagai berikut,

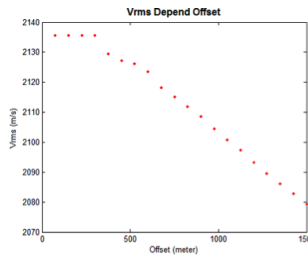
Dari data *CMP Gather* dilakukan koreksi NMO untuk melihat adanya efek anisotropi seperti yang terlihat di gambar 3.



Gambar 4. Hasil Wiener Deconvolution pada CMP Gather



Gambar 5. Local Event Correlation pada CMP Gather



Gambar 6.  $V_{RMS}$  variation with offset

Dari gambar 3 terlihat terjadi efek NMO-stretching. Fenomena ini dapat menyebabkan kesalahan pada saat dilakukan Local Event Correlation (LEC). Untuk menghilangkan efek stretch ini dilakukan Wiener Filter.

Kemudian dilakukan LEC untuk mendapatkan time residual. Lebar window yang digunakan dalam LEC adalah sebesar 80 ms, dengan target reflector kedua pada kedalaman 850 ms.

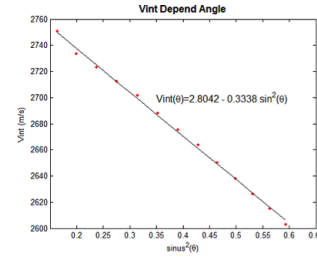
Setelah mendapatkan time residual, maka dilakukan perhitungan VVO menggunakan persamaan 7. Hasil dari perhitungan VVO dapat dilihat pada Gambar 6.

Dari hasil VVO, dilakukan transformasi  $V_{RMS}$  menjadi  $V_{int}$  dengan menggunakan formula Dix dan transformasi offset menjadi sudut dengan menggunakan formula Walden. Lalu, untuk melakukan estimasi  $V_{P0}$  dilakukan plot antara  $V_{int}$  dan  $\sin^2\theta$  sebagai berikut,

Dari plotting didapatkan persamaan garis  $V_{int} \theta = 2.804 - 0.333 \sin^2\theta$  dengan menggunakan regresi linear. Dari persamaan tersebut dapat dilakukan estimasi  $\delta$  dan  $V_{P0}$

$$V_{P0} = V_{int}(0) = 2.804 \text{ m/ms} \delta = -\frac{0.333}{V_{P0}} = -0.119. \quad (8)$$

Sehingga, didapatkan nilai sebesar  $V_{P0}$  2804.2 m/s dan



Gambar 7.  $V_{int}$  variation with angle

Tabel 1. Perbandingan model input dan estimasi, serta hasil error dengan menggunakan metode VVO

	Model Input	Estimasi	Error
$V_{P0}$	2456.4 m/s	2804.2 m/s	14.16 %
$\delta$	0.1329	-0.119	189.5%

Tabel 2. Perbandingan model input dan estimasi, serta hasil error dengan menggunakan metode VVO

	Model Input	Estimasi	Error
$V_{P0}$	2456.4 m/s	2804.2 m/s	14.16 %
$\delta$	0.1329	-0.119	189.5%

$\delta$  sebesar -0.119. Dari hasil tersebut didapatkan error sebagai berikut,

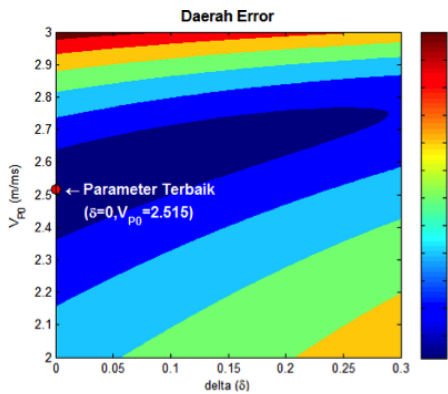
Ketidaktepatan estimasi pada metode VVO disebabkan metode ini sangat bergantung pada stacking velocity ( $V_{stk}$ ) yang digunakan pada koreksi NMO. Ketidaktepatan  $V_{stk}$  dapat menyebabkan ketidaktepatan estimasi  $V_{P0}$  sehingga menyebabkan pula kesalahan estimasi  $\delta$ , karena pada dasarnya  $V_{P0}$  dan  $\delta$  merupakan pasangan yang tidak terpisahkan (Thomsen, 2002).

### 3.2 VVA dengan grid search

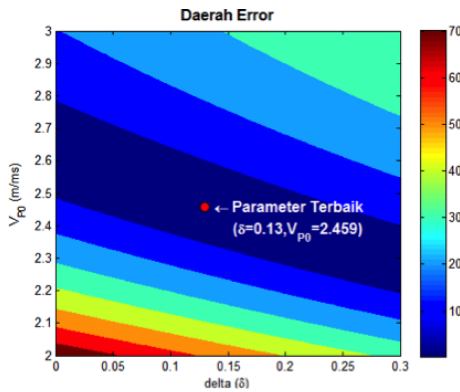
Untuk melakukan estimasi  $V_{P0}$  dan  $\delta$  dengan metode grid search, data yang digunakan adalah dari CMP gather yang belum terkoreksi NMO. Reflektor yang diduga anisotropi, dilakukan picking pada two-way travel time (TWT). Data offset dan TWT reflektor menjadi input pada perhitungan. Domain parameter model yang akan dihitung adalah  $V_{P0}$  dengan grid sebesar 0.001 dan  $\delta$  sebesar 0.01. Sebelum menghitung respon model, dilakukan estimasi sudut menggunakan persamaan 3. Kemudian nilai semua offset,  $V_{P0}$ , dan  $\delta$  dimasukkan ke dalam persamaan waktu tempuh (pers. 6) untuk mendapatkan setiap respon model. Kemudian dihitung nilai  $E_{RMS}$  antara respon model dengan data TWT. Kombinasi  $V_{P0}$  dan  $\delta$  yang menghasilkan  $E_{RMS}$  terkecil merupakan parameter terbaik. Dari inversi grid search didapatkan nilai parameter terbaik yaitu  $V_{P0}=2.515$  m/ms dan  $\delta = 0.13$ .

Kesalahan yang terjadi pada metode inversi grid search ini berasal dari kesalahan estimasi sudut. Estimasi sudut yang digunakan menggunakan persamaan Walden (pers. 3) yang hanya baik untuk media isotropi.

Jika dilakukan inverse grid search dengan sudut yang benar didapatkan error yang sangat kecil yaitu 0.1% untuk  $V_{P0}$  dan 2% untuk  $\delta$ . Namun, estimasi sudut di media anisotropi sulit dilakukan. Estimasi sudut dengan menggu-



Gambar 8. Daerah  $E_{RMS}$  parameter  $V_{P0}$  dan  $\delta$  menggunakan variasi yang tepat



Gambar 9. Daerah  $E_{RMS}$  parameter  $V_{P0}$  dan  $\delta$  menggunakan sudut yang tepat

nakan persamaan 4 sulit dilakukan karena membutuhkan data yang lengkap untuk estimasinya yaitu data  $V_{P0}$  beserta parameter anisotropinya.

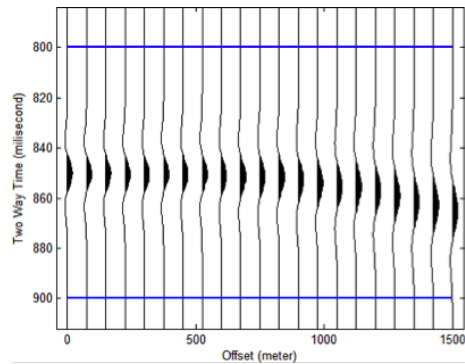
### 3.3 Estimasi vertical velocity dari kurva $X^2 - T^2$

Karena merupakan faktor yang penting untuk melakukan estimasi  $\delta$ , maka dilakukan estimasi  $V_{P0}$  dari *offset* data *CMP Gather*. Data *offset* dan TWT reflektor yang lapisan tepat di atasnya merupakan lapisan anisotropi di-plot pada kurva  $X^2 - T^2$ . Dengan mengasumsikan bahwa pada *offset* terdekat efek anisotropi belum terlalu berpengaruh, maka dilakukan pengestimasian nilai  $V_{P0}$  dari 2 data atau 3 data *trace* terdapan. Dari gradien masing-masing kurva didapatkanlah nilai kecepatan dan eror dengan sebenarnya sebagai berikut,

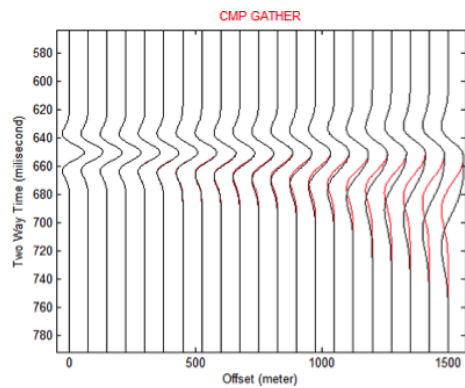
Dari hasil percobaan diatas dapat dilihat bahwa masih dihasilkan error. Walaupun untuk  $\delta$  sebesar 0.1329 dan -0.1329 eror yang dihasilkan hanya berkisar 4-5%, tetapi semakin besar nilai mutlak  $\delta$  maka semakin besar eror yang dihasilkan.

### 3.4 Indikator Anisotropi

Adanya anisotropi menimbulkan efek pada data *CMP Gather* (data *prestack*). Efek-efek ini dapat digunakan sebagai indikator bahwa adanya lapisan anisotropi diatas reflektor tersebut yaitu *hockey stick* dan *over NMO-stretching*.



Gambar 10. Efek *hockey-stick*



Gambar 11. *OverNMO-stretching* pada media anisotropi (hitam) dan anisotropi (merah).

Efek *hockey stick* tidak terlalu terlihat ketika model anisotropi hanya menggunakan parameter anisotropis. Hal ini disebabkan karena pada *far-angle*, parameter anisotropis  $\epsilon$  lebih berpengaruh daripada  $\delta$ .

Untuk indikator lainnya, yaitu efek *over NMO-stretching* dapat terlihat ketika memiliki nilai  $\delta$  positif atau  $\delta > \epsilon$ . Jika dibandingkan antara media anisotropi dan isotropi, *stretching* yang terjadi setelah koreksi NMO pada kasus anisotropi lebih besar daripada kasus isotropi.

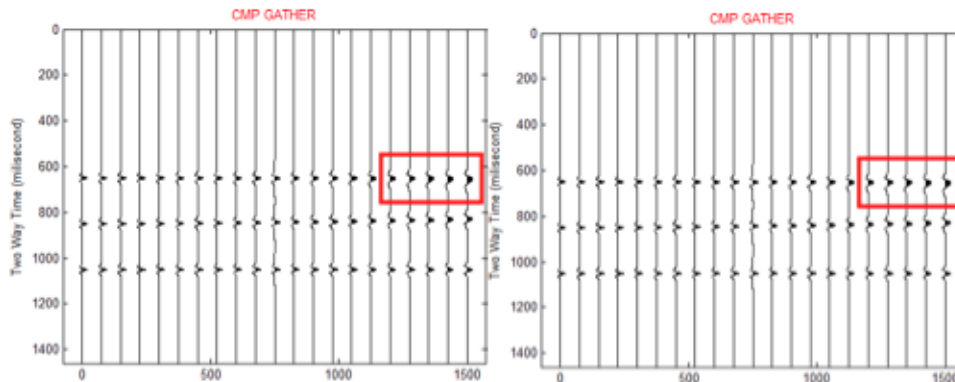
Jika kecepatan yang digunakan dalam koreksi NMO ( $V_{NMO}$ ) mendekati nilai  $V_{P0}$ , maka efek *stretching* ini akan berkurang. Hal ini dapat dijadikan indikator yang baik dalam estimasi  $V_{P0}$ .

## 4 KESIMPULAN

Baik metode VVO dan *grid search* masih menghasilkan eror yang cukup signifikan dalam pemisahan  $V_{P0}$  dengan  $\delta$  pada kasus  $\epsilon = 0$ . Eror yang dihasilkan pada metode VVO disebabkan ketergantungan metode ini pada estimasi  $V_{P0}$ . Sedangkan eror yang dihasilkan pada metode inversi *grid search* disebabkan karena kesalahan estimasi sudut. Percobaan estimasi  $V_{P0}$  dengan kurva  $X^2 - T^2$  juga masih menghasilkan eror yang cukup signifikan. Pada kasus anisotropi  $\epsilon=0$  muncul efek-efek yang dapat menjadi indikator adanya lapisan anisotropi yaitu *hockey-stick* dan *over NMO-stretching*. Efek *overNMO-stretching* ini dapat dijadikan indikator yang cukup baik dalam estimasi  $V_{P0}$

**Tabel 3.** Perbandingan Nilai Asli, estimasi, dan error dari *CMP Gather*

	Parameter anisotropis ( $\delta$ )					
	$\delta=0.1329$		$\delta=0.2658$		$\delta=0.119$	
	2 trace	3 trace	2 trace	3 trace	2 trace	3 trace
Asli (m/s)	2036	2036	2036	2036	2036	2036
Estimasi (m/s)	2137	2137	2253	2253	1950	1954
Error(%)	4.95	4.95	10.66	10.66	4.23	4.04



**Gambar 12.** NMO-stretching dengan menggunakan  $V_{P0}$  untuk koreksi NMO. (kiri) Anisotropis, (kanan) Isotropis.

karena efek ini semakin berkurang dengan semakin tepatnya estimasi  $V_{P0}$ .

**DAFTAR PUSTAKA**

Grandis, H. 2009. Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. Penerbit Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, Jakarta

Supriyono. 2011. Velocity Variation with Angle or Offset (VVO), A New Tool for Direct Hydrocarbon Indicator: Case Studies in Low and High Impedance Clastic Reservoir . Disertasi Doktorat ITB.

Thomsen, L. 2002. Understanding Seismic Anisotropy in Exploration and Exploitation. Society of Exploration Geophysicists: Tulsa.

Walden, A.T. Making AVO sections more robust. Geophysical Prospecting, Vol. 39, p. 915-942. (1991)