

# Pre Stack Depth Migration Vertical Transverse Isotropy (Psdm Vti) Pada Data Seismik Laut 2D

Thariq Guntoro, Bagus Jaya Santosa  
Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
E-mail: bjs@physics.its.ac.id

**Abstrak**— Pengolahan data seismik dalam domain waktu atau *pre stack time migration* (PSTM) memiliki kelemahan jika terjadi variasi kecepatan lateral yang tinggi pada data seismik, hal ini mengakibatkan model kecepatan yang dihasilkan dari PSTM tidak sesuai dengan model kecepatan yang sebenarnya. Dalam pengolahan PSTM digunakan model kecepatan rms atau  $V_{rms}$  yang mengasumsikan bahwa kecepatan gelombang seismik semakin dalam semakin cepat. Asumsi ini tidak berlaku jika terjadi variasi kecepatan lateral, dimana pada penelitian tugas akhir ini terdapat variasi kecepatan lateral yang ditandai dengan munculnya lapisan karbonat yang mempunyai kecepatan tinggi. Sehingga perlu dilakukan proses pengolahan data seismik lanjutan yaitu dengan metode *pre stack depth migration* (PSDM). Metode PSDM memperhitungkan variasi kecepatan lateral, dimana pada metode ini digunakan model kecepatan interval dengan domain kedalaman sebagai data masukan pada tahap migrasi. Model kecepatan interval menggunakan asumsi *ray tracing* tiap lapisan. Dalam penelitian model kecepatan interval diperoleh dengan menggunakan transformasi Dix dan *coherency inversion*. Setelah dilakukan PSDM konvensional ternyata masih terdapat *gather* yang belum lurus pada *far offset*, dimana terdapat efek *hockey stick*. Kemudian digunakan metode PSDM VTI untuk mereduksi efek *hockey stick* pada *far offset*. Pada PSDM VTI digunakan persamaan *Fourth Order Normal Move Out* (NMO) dengan parameter epsilon sebagai data masukan. Parameter epsilon diperoleh dari analisa *semblance epsilon* dari *full fold depth gather*. Interval epsilon dan model kecepatan interval digunakan sebagai data masukan pada proses migrasi, sehingga diperoleh VTI *depth gather*. Hasil *depth gather* dari metode PSDM VTI menunjukkan efek *hockey stick* yang tereduksi, dimana *gather* pada *far offset* relatif lurus. Hasil *stacking* menunjukkan bahwa, penampang PSDM VTI mampu mencitrakan reflektor yang lebih menerus dan mencitrakan fitur patahan secara optimal.

**Kata Kunci**—PSTM, PSDM Konvensional, PSDM VTI, *Fourth Order NMO*, Efek *Hockey Stick*.

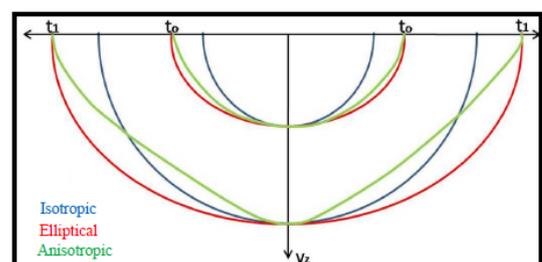
## I. PENDAHULUAN

Model bumi yang digunakan dalam pengolahan dan analisa data seismik pada umumnya adalah isotropi, tetapi pada kenyataannya batuan bersifat anisotropi. Dengan asumsi anisotropi pada saat pengolahan dan analisa data seismik, kita bisa memperoleh penampang seismik yang lebih kompleks dan mempermudah dalam karakterisasi reservoir. Sifat anisotropi berhubungan langsung dengan komposisi dan struktur suatu batuan, sehingga dari sifat tersebut dapat ditentukan sifat fisis dari suatu lapisan batuan.

Alkhalifah [1] telah membuktikan bahwa *P-wave* anisotropi

memberikan banyak informasi terkait kondisi geologi struktur dan dapat memperjelas penampang seismik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Alkhalifah, diperoleh nilai parameter anisotropi ( $\eta$ ) dari data *surface seismic* (*VSP* dan *Borehole Seismic*). Nilai parameter anisotropi tersebut kemudian diaplikasikan dalam koreksi *Normal Move Out* (NMO) yang kemudian disebut sebagai *Anisotropic Normal Move Out Correction* (ANMO). Dalam penelitian tugas akhir ini digunakan model anisotropi VTI (*vertical transverse isotropy*) untuk menentukan nilai parameter anisotropi yang digunakan.

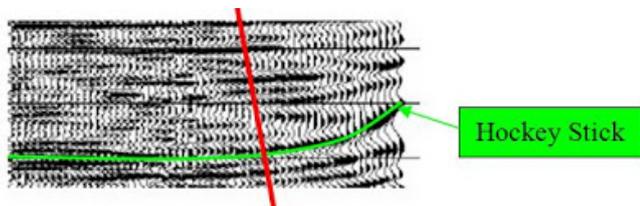
Gelombang seismik merambat dari sumber menuju stasiun penerima melalui medium. Kecepatan gelombang dipengaruhi oleh medium yang dilewatinya. Pada medium isotropi, kecepatan gelombang dianggap sama untuk semua arah, hal ini sangat berbeda pada kasus anisotropi. Kecepatan gelombang dalam medium anisotropi sangatlah kompleks, tapi bisa diselesaikan dengan menggunakan model simetri. Metode yang digunakan dalam menyelesaikan perambatan gelombang dalam medium anisotropi adalah model TI. Dalam metode TI dilakukan analisa rasio antara kecepatan vertikal dan horizontal dalam model elips[2]. Asumsi isotropi akan memberikan nilai eror yang signifikan dalam pengolahan data seismik. Gambar 2.18 memperlihatkan penjalaran gelombang dalam medium anisotropi.



Gambar 1 Perambatan gelombang pada medium isotropi, ellips, dan medium anisotropi

Sejumlah faktor yang terjadi saat akuisisi data seismik dengan offset yang sangat panjang (*very long offsets*) dan itu artinya akan timbul *nonhyperbolic moveout*. *Very long offsets* berarti rasio antara nilai offset dengan kedalaman ( $x/z$ ) yang lebih besar dari satu pada satu horizon. *Nonhyperbolic moveout* tidak dapat dilihat dengan mata telanjang pada raw data, tapi akan menjadi sangat jelas ketika *hyperbolic moveout* di near offset telah dihilangkan. Gambar 1 menunjukkan

nonhyperbolic pada data bentuk yang disebut “hockey sticks”[3].



Gambar 1 Efek hockey stick pada data seismik

Tingkat anisotropi suatu batuan dipengaruhi oleh komposisi dan arah kristal. Kompaksi, sedimentasi, tegangan, dan proses geologi mempengaruhi orientasi dan keselarasan rekahan. Ruger [4] menunjukkan bahwa sifat kinematik dan polarisasi dari gelombang P dan S untuk model HTI adalah sama dengan model VTI. Sehingga perambatan gelombang pada model HTI bisa diturunkan dari persamaan VTI Thomsen. Pada sumbu simetris horizontal, parameter VTI Thomsen digunakan untuk medium HTI [4]:

$$\varepsilon^{(v)} = -\frac{\varepsilon}{1+2\varepsilon} \tag{1}$$

$$\delta^{(v)} = -\frac{\delta-2\varepsilon\left(1+\frac{\varepsilon}{f}\right)}{(1+2\varepsilon)\left(1+\frac{2\varepsilon}{f}\right)} \tag{2}$$

$$f = 1 - \left(\frac{V_{s0}}{V_{p0}}\right)^2 \tag{3}$$

$$\gamma^{(v)} = -\frac{\gamma}{1+2\gamma} \tag{4}$$

Tsvankin (1997) memperkenalkan bahwa parameter anisotropi Thomsen bisa digunakan pada pengolahan data seismik. Kombinasi parameter Thomsen ( $\eta$ ) sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\varepsilon-\delta}{1+2\delta} \tag{5}$$

$\eta$  (eta) merupakan parameter *in-elliptical*. Jika  $\varepsilon = \delta$ , maka parameter  $\eta = 0$  dan medium merupakan *elliptical* anisotropi. persamaan *non-hyperbolic* NMO bisa digunakan dalam koreksi data seismik [1]. *Non-hyperbolic* (anisotropi NMO) dapat ditulis sebagai berikut :

$$t^2(x) = t^2 + \left(\frac{x^2}{v_n^2 m \delta}\right) - \Delta t^2 \tag{6}$$

dimana dua suku pertama merupakan persamaan *hyperbolic* NMO dan  $\Delta t^2$  adalah koreksi anisotropi.

$$\Delta t^2 = \frac{2\eta x^4}{v_n^2 m \delta^2 v_n^2 m \delta (1+2\eta)x^2} \tag{7}$$

Parameter  $\eta$  dapat duliskan :

$$\eta = \frac{\left(\frac{\Delta t^2}{2}\right)\left(t_0^2 + \frac{x^2}{v_n^2 m \delta}\right)}{\left(\frac{x^2}{v_n^2 m \delta}\right)\left(\frac{x^2}{v_n^2 m \delta \Delta t^2}\right)} \tag{8}$$

Interval  $\eta_i$  digunakan dalam analisa kecepatan anisotropi:

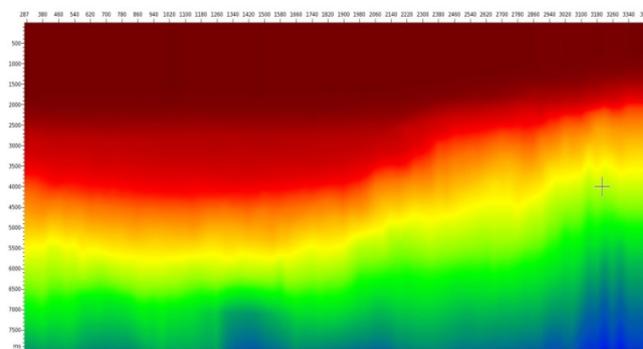
$$\Delta t^2 = \frac{2\eta_i x^4}{v_n^2 m \delta^2 (t_0^2 + \frac{x^2}{v_n^2 m \delta} (1+2\eta_i)x^2)} \tag{9}$$

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data seismik 2 Dimensi laut yang sudah melalui tahap *pre stack time migration*. Sehingga data yang digunakan adalah *time migrated section*, *CMP gather*, *Vrms*, dan data horizon. Jumlah CMP pada lintasan seismik adalah 3142 dimana CMP pertama adalah 286 dan CMP terakhir 3428 dengan CMP interval 12,5 m. Sehingga diperoleh panjang keseluruhan lintasan seismik adalah 39275 m.

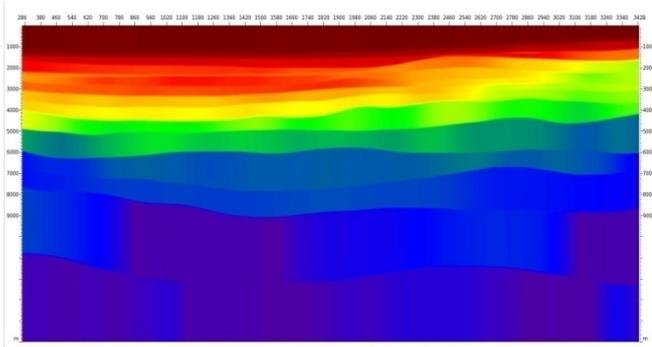
### A. Pre Stack Depth Migration (PSDM) Isotropi

PSDM isotropi merupakan tahap pengolahan data seismik lanjutan yang bertujuan untuk memperoleh citra penampang seismik yang lebih optimal dibandingkan dengan penampang PSTM. Pada tahap ini digunakan model kecepatan interval yang diperoleh dari kecepatan RMS yang ditransformasi dengan menggunakan persamaan Dix dan *coherency inversion*. Hasil transformasi kecepatan interval kemudian diperbaiki dengan menggunakan inversi tomografi untuk memperoleh model kecepatan yang mendekati kondisi geologi sesungguhnya. Model kecepatan yang sudah mengalami perbaikan digunakan sebagai data masukan untuk dilakukan migrasi dalam domain kedalaman dengan menggunakan algoritma Kirchhoff.

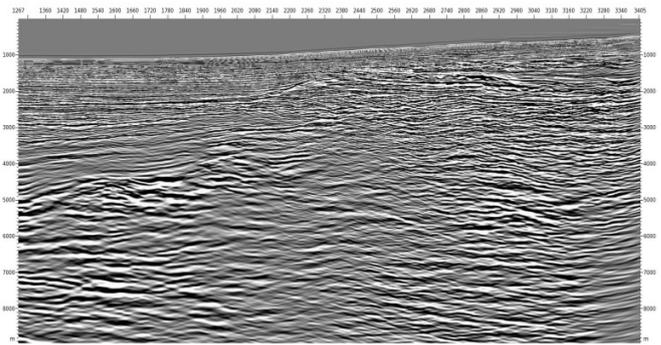


Gambar 3 Model kecepatan RMS (Vrms)

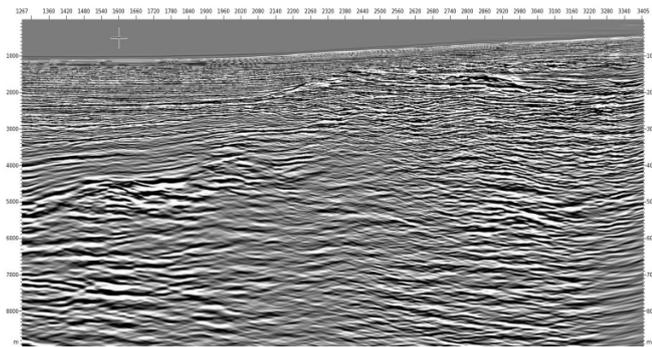
Pada tahap pembuatan model kecepatan interval awal digunakan data masukan berupa *CMP gather* dan *time migrated horizon*. Pembuatan model kecepatan interval digunakan dua metode yaitu, transformasi Dix dan *coherency inversion*. Pada lapisan pertama dan kedua digunakan transformasi Dix untuk mengubah kecepatan rms menjadi kecepatan interval. Kemudian digunakan *coherency inversion* untuk lapisan ketiga dan lapisan seterusnya.



Gambar 4 Model kecepatan interval akhir



Gambar 7 Final VTI depth migrated section



Gambar 5 Final depth migrated section

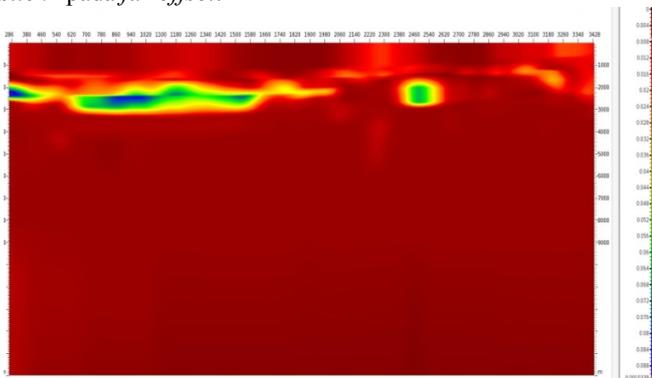
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perbandingan PSTM dengan PSDM isotropi

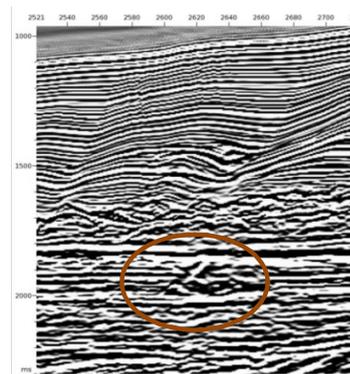
Analisa penampang seismik dilakukan untuk mengetahui perbedaan penampang PSDM dan PSTM dengan melakukan *scaling* pada penampang PSDM dalam domain kedalaman ke domain waktu, sehingga diperoleh penampang PSDM dalam domain waktu. Secara umum, penampang PSDM mempunyai citra yang lebih baik jika dibandingkan dengan PSTM. Analisa dilakukan di zona yang mempunyai perbedaan kemenerusan reflektor antara penampang PSTM dan penampang PSDM.

B. Pre Stack Depth Migration Vertical Transverse Isotropy (PSDM VTI)

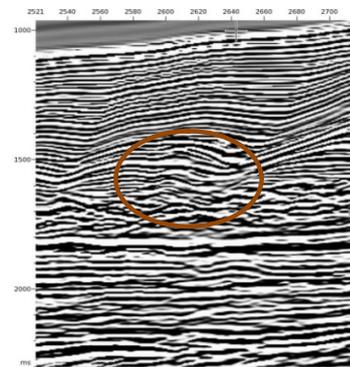
PSDM VTI merupakan tahap pengolahan data seismik lanjutan yang dilakukan apabila terdapat efek *“hockey stick”* pada *far offset* yang menandakan bahwa medium yang dilewati oleh lintasan seismik merupakan medium anisotropi. pada penelitian ini digunakan asumsi anisotropi ellips, dimana nilai parameter anisotropi epsilon ( $\epsilon$ ) dan delta ( $\delta$ ) dianggap sama sehingga muka gelombang yang terbentuk berbentuk ellips. Tahap ini dimulai dengan melakukan konversi model kecepatan interval isotropi akhir menjadi model kecepatan interval anisotropi. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan model epsilon interval untuk menghilangkan efek *“hockey stick”* pada *far offset*.



Gambar 6 Model interval epsilon akhir



(a)



(b)

Gambar 8 Penampang seismik pada CMP 2521 sampai CMP 2700 pada kisaran waktu 1000 ms sampai 2500 ms. a) Penampang PSTM. b) Penampang PSDM.

Berdasarkan analisa pada gambar 8 diketahui bahwa penampang seismik PSDM mampu mencitrakan reflektor

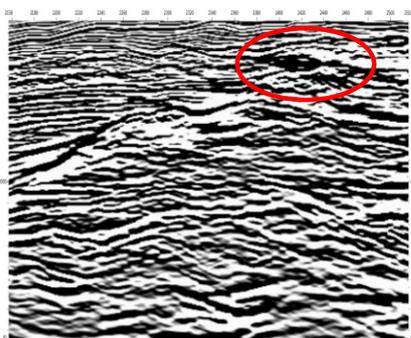
yang lebih jelas daripada PSTM. Hal ini terlihat pada zona yang dilingkari dengan warna *orange*, dimana pada penampang seismik PSTM terlihat reflektor yang tidak menerus. Pada penampang PSDM, reflektor yang dihasilkan lebih menerus dan reflektor dengan ketebalan yang relatif tipis mampu dicitrakan oleh penampang PSDM. Fokus energi menyebabkan reflektor pada penampang PSDM lebih jelas (*strong*) dan posisi reflektor sesuai dengan kondisi geologi sebenarnya. *Signal to noise ratio* (S/N) pada penampang PSDM lebih besar daripada penampang PSTM, hal ini terlihat pada penampang PSDM yang mampu mencitrakan reflektor dengan lebih jelas dan bersih dari *noise*. Hasil penampang seismik dari metode PSDM mempunyai banyak kelebihan daripada PSTM, yaitu kemampuan PSDM dalam mencitrakan kemenerusan reflektor dan positioning yang baik. Sehingga metode PSDM dapat memudahkan tahap interpretasi dan mengurangi resiko kegagalan dalam eksplorasi minyak bumi.

3.2 Perbandingan PSDM VTI dengan PSDM Konvensional

Model kecepatan interval anisotropi akhir dan interval epsilon akhir digunakan sebagai data masukan dalam proses migrasi Kirchhoff VTI 2 dimensi. *Mute* pada *depth gather* VTI dilebarkan melebihi *depth gather* konvensional, sehingga diperoleh penampang *stacking* yang optimal. Gambar 7 merupakan penampang PSDM VTI.

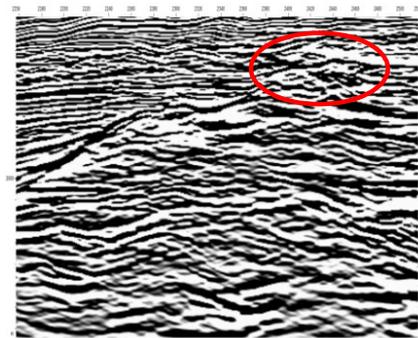
Penampang PSDM VTI kemudian dianalisa dan dibandingkan dengan penampang PSDM konvensional. Setelah dilakukan analisa diperoleh beberapa zona yang mempunyai perbedaan pencitraan reflektor. Secara umum, PSDM VTI mempunyai keunggulan dalam mencitrakan reflektor. Reflektor hasil PSDM mempunyai reflektor yang lebih menerus dibandingkan PSDM konvensional.

Pada gambar 9 di zona ellipsis warna merah terlihat perbedaan pola reflektor, dimana PSDM VTI mampu mencitrakan bidang batas lapisan top karbonat secara jelas. Pada PSDM konvensional terlihat reflektor pada bidang batas top karbonat sangat tebal, hal ini sangat mengganggu proses interpretasi. Reflektor yang terlihat tebal pada PSDM konvensional disebabkan oleh efek *hockey stick* pada *far offset*. *Mute* lebar pada *depth gather* VTI diterapkan pada *depth gather* konvensional.



(a)

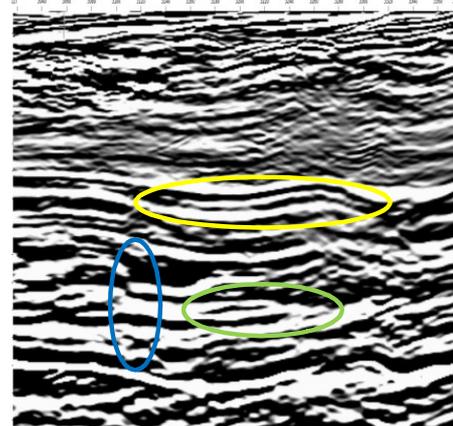
Pada saat *stacking*, efek *hockey stick* akan ikut *distack*, sehingga reflektor yang dihasilkan menjadi lebih tebal jika dibandingkan dengan reflektor sebenarnya.



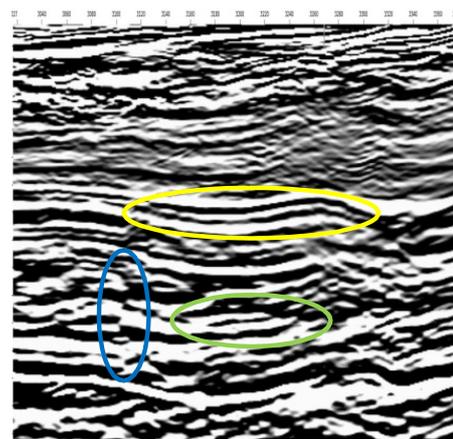
(b)

Gambar 9 Penampang seismik pada CMP 2230 sampai CMP 2516 di kedalaman 1500 meter hingga 2700 meter. a) PSDM konvensional. b) PSDM VTI.

*Depth gather* VTI dengan efek *hockey stick* yang tereduksi menghasilkan penampang *stack* yang lebih optimal, dimana reflektor terlihat lebih mendekati kondisi geologi sebenarnya.



(a)



(b)

Gambar 10 Penampang seismik pada CMP 3017 sampai CMP 3375 di kedalaman 1000 meter hingga 2500 meter. a) PSDM konvensional. b) PSDM VTI.

Pada gambar 10 terlihat fitur geologi yang mampu dicitrakan oleh PSDM VTI. Pada ellipsis warna kuning dan

hijau, reflektor pada penampang PSDM VTI lebih jelas dan menerus. Fitur geologi berupa patahan terlihat jelas pada penampang PSDM VTI, yaitu pada ellips warna biru. PSDM konvensional kurang optimal dalam mencitrakan fitur patahan pada ellips warna biru. PSDM konvensional hanya mengkoreksi *gather* pada *near-offset* dan pada *far offset* muncul *hockey stick*, sehingga pada saat *stacking* akan terjadi pelemahan energi di *far offset* yang mengakibatkan reflektor menjadi tidak menerus dan fitur patahan kurang jelas. Berbeda dengan PSDM VTI yang mampu mengkoreksi *gather* pada *far offset* dan mereduksi efek *hockey stick*, sehingga *gather* pada *far offset* relatif menjadi datar. Ketika dilakukan *stacking* pada *gather* VTI akan menghasilkan reflektor dengan energi tinggi dan menghasilkan fitur geologi yang lebih mendekati kondisi sebenarnya.

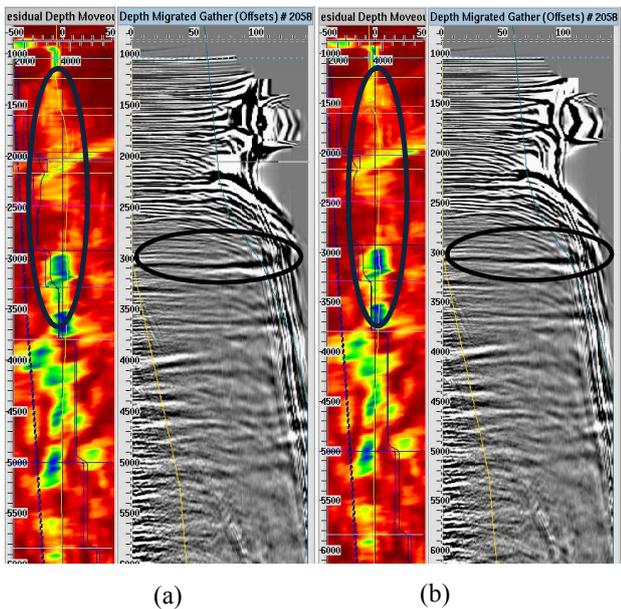
- b) PSDM merupakan solusi terbaik untuk mengolah data seismik apabila terdapat variasi kecepatan lateral dan bentuk geometri reflektor yang rumit.
- c) PSDM VTI dengan menggunakan koreksi *Fourth Order NMO* yang dikontrol oleh parameter epsilon ( $\epsilon$ ) mampu mereduksi efek *hockey stick* pada *far offset*.
- d) Penampang PSDM VTI memberikan pencitraan reflektor yang lebih menerus dan mampu mencitrakan fitur-fitur geologi seperti patahan secara optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah menyediakan fasilitas kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada PT Elnusa yang telah memberikan fasilitas dan dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alkhalifah, T., 1997. Velocity Analysis Using Nonhyperbolic Moveout in Transversely Isotropic Media. *Geophysics*, 62: 1839-1854.
- [2] Wilkins, M., 2000. Seismic Imaging in Transversely Isotropic Media, Honor Thesis. Curtin University of Technology. Perth W.A.
- [3] Priambodo, Panji, A., Sukir, M., Hasan, N., 2012. Pre Stack Depth Migration (PSDM Anisotropi VTI (Vertical Transverse Isotropy) untuk Pencitraan Struktur Bawah Permukaan. *Jurnal Universitas Brawijaya*.
- [4] Ruger, A., 1997. P-Wave Reflection Coefficients for Transversely Isotropic Models with Vertical and Horizontal Axis of Symmetry, *Geophysics*, 62: 713-72.



Gambar 11 Hasil *gather* dan *semblance* pada CRP 2058. a) *Depth gather*. b) *Depth gather* VTI.

Gambar 11 merupakan *depth gather* dan *semblance* pada CRP 2058, dimana gambar kiri merupakan *depth gather* dan *semblance* konvensional dan gambar kanan merupakan *depth gather* serta *semblance* VTI. Pada ellips hitam terlihat *depth gather* VTI pada *far offset* lebih datar jika dibandingkan dengan *depth gather* konvensional yang melengkung ke atas (efek *hockey stick*). Efek *hockey stick* yang tereduksi meningkatkan nilai *semblance* vertikal dan *residual depth move out* mendekati nol. Hal ini menandakan reflektor yang dihasilkan sudah tepat dan akan menghasilkan penampang *stacking* yang optimal.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a) Penampang seismik PSDM konvensional memberikan citra reflektor yang lebih baik dan mendekati model geologi sebenarnya apabila dibandingkan dengan penampang seismik PSTM