

Perbandingan Inversi Reflektifitas Menggunakan Basis Pursuit Inversion dan Orthogonal Matching Pursuit pada Lapisan Tipis

Fatahillah A. D.* dan Winardhi S.

Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung,
Jalan Ganesa No 10, Bandung, 40132

*Email: dzikra.fatahillah09@gmail.com

Submit: 5 Maret 2017 ; Revised: 10 April 2017; Accepted: 20 April 2017

Abstract: Meningkatnya kebutuhan energi membuat diperlukannya eksplorasi migas untuk reservoir-reservoir tipis. Metode seismik memiliki peran penting dalam eksplorasi minyak dan gas bumi namun keterbatasan *bandwidth* frekuensi menjadi salah satu permasalahan penampang seismik dalam meresolusi lapisan tipis. Terdapat beberapa metode yang dapat meresolusi lapisan tipis salah satunya *basis pursuit inversion* (BPI) namun proses BPI memerlukan waktu yang relatif lama. Terdapat metode *orthogonal matching pursuit* (OMP) yang juga dapat meresolusi lapisan tipis dengan waktu yang lebih singkat dari BPI. Penelitian ini mencoba menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh dalam metode BPI dan OMP yaitu, *regularization parameter* (λ), *noise*, ekstraksi *wavelet*, dan panjang matriks *dictionary*. Uji coba pada data sintetik membuktikan bahwa ekstraksi *wavelet* berpengaruh pada metode BPI dan diperoleh batasan kesalahan fasa dari -14° sampai 14° pada model *odd* dan -16° sampai 16° pada model *even*, batasan kesalahan frekuensi dari -3 Hz sampai 3 Hz untuk model *odd* dan batasan keberadaan konvolusional *noise* sebesar 40% pada model *even*. Hasil uji coba data sintetik pada metode OMP menunjukkan bahwa OMP tidak memiliki ketahanan terhadap perubahan faktor ekstraksi *wavelet* dikarenakan tidak memiliki faktor *denoising* sehingga metode OMP kurang optimal untuk diterapkan pada data riil. Validasi metode BPI pada data riil dilakukan dengan membandingkan korelasi antara hasil BPI dengan data sumur. Hasil validasi menunjukkan metode BPI mampu meresolusi lapisan tipis dengan baik.

Kata kunci: *Basis Pursuit Inversion, Orthogonal Matching Pursuit, Lapisan Tipis, Inversi Seismik.*

1 PENDAHULUAN

Metode *basis pursuit inversion* yang digunakan oleh Zhang dan Castagna (2011) dapat merekonstruksi reflektivitas dari data seismik dan mampu meresolusi lapisan lebih baik dibandingkan *sparse spike inversion*. Dengan menggunakan teori dekomposisi dipol yang dilakukan oleh Chopra dkk (2006) metode *basis pursuit inversion* menyusun matriks kernel yang disebut matriks *dictionary*. Matriks *dictionary*

tersebut kemudian akan dipecahkan untuk mendapatkan solusi reflektivitas menggunakan *Basis Pursuit Decomposition* (BPD), dimana pemrograman tersebut akan bersifat *under-determined*. Sifat *underdetermined* berarti bahwa variabel yang diketahui akan jauh lebih sedikit dibandingkan dengan variabel yang tidak diketahui yang menyebabkan solusi dari persamaan bersifat *non-unique* sehingga perlu dilakukan pemilihan solusi akhir yang paling memenuhi kriteria untuk mengatasi sifat *non-unique*. Kriteria tersebut, yaitu: (1) cocok dengan data sumur; dan (2) memenuhi suatu *constraint* yang ditentukan untuk mengatasi sifat *non-unique*. Pendekatan terhadap data seismik akan dilakukan oleh matriks *dictionary* yang merupakan hasil susunan dari dekomposisi dipol yang dikonvolusikan dengan *wavelet*. Penggunaan *wavelet* dan juga kualitas data seismik dapat mempengaruhi hasil *basis pursuit*. Faktor-faktor tersebut bisa menimbulkan kesalahan pada hasil akhir *basis pursuit* sehingga sebelum menggunakan metode *basis pursuit* pada data riil perlu dilakukannya percobaan untuk mengetahui *threshold* atau batasan terhadap faktor-faktor tersebut.

2 METODE

2.1 Model Konvolusi

Setiap lapisan diasumsikan memiliki masing-masing sifat fisik *uniform* yang berbeda, dan setiap batas lapisan mempunyai *reflection coefficient* (RC). Data seismik *post-stack* memberikan gambaran dari lapisan bawah permukaan yang mendeskripsikan distribusi *spatial* dari batas-batas lapisan tersebut. Setiap *trace seismic post-stack* merupakan hasil konvolusi *wavelet* dengan koefisien refleksi (RC) dan ditambahkan dengan *noise*. Persamaan matematik dari konvolusi RC dan *wavelet* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$s(t) = w(t) * r(t) + n(t) \quad (1)$$

$$s(t) = \int w(t - \tau)r(\tau)d\tau + n(t) \quad (2)$$

$$d = Gm + n \quad (3)$$

Trace seismic dinyatakan dalam $s(t)$, wavelet dinyatakan dalam $w(t)$, reflektivitas dinyatakan dalam $(r(t))$, * adalah simbol operator konvolusi dan noise dinyatakan dalam $n(t)$. Operasi konvolusi tersebut kemudian dirubah menjadi perkalian vektor reflektivitas dengan suatu matriks kernel. Ilustrasi konvolusi dalam perkalian matriks dapat ditunjukkan seperti persamaan (3) dimana d adalah data seismogram, m adalah diagonal wavelet matriks, G adalah koefisien refleksi, dan n adalah matriks noise.

2.2 L_p Norm Constraint

Persamaan (3) memperlihatkan hubungan antara data observasi seismogram, diagonal wavelet matriks, koefisien refleksi, dan noise. Koefisien refleksi merupakan variabel yang diinginkan dari variabel diketahui data seismogram dan didapatkan setelah memecahkan persamaan (3) menjadi persamaan berikut:

$$m = G^{-1} * d \quad (4)$$

Inverse matriks G akan memiliki sifat *illness* dan mempunyai beberapa masalah yaitu, *non-uniqueness*, kurangnya resolusi, ketidakstabilan, dan kapabilitas *inferior denoising*. Sehingga solusi *least-square* harus memenuhi konstrain yang memenuhi persamaan berikut:

$$\min \|d - Gm\|_2 + \lambda j(m) \quad (5)$$

Dengan $j(m)$ adalah λ -weighted global constraint function, berisi informasi *a priori* dari model. λ adalah faktor *damping* yang mengontrol noise.

2.3 Basis Pursuit Inversion

Basis Pursuit Inversion (BPI) merupakan salah satu metode dekomposisi sinyal dalam *overcomplete dictionary* yang menggunakan *convex optimization*. Dictionary yang digunakan berisi banyak kemungkinan bentuk wavelet dari lapisan tipis sampai ketebalan *tuning*. Kemudian matriks tersebut didekomposisi dengan menggunakan minimum L_1 norm. Metode BPI memiliki sifat *unconstraint* sehingga perlu menggunakan suatu parameter, yaitu *regularization parameter* atau *lambda* yang divalidasi dengan data sumur.

2.4 Dekomposisi Dipol

Lapisan tipis bisa dianggap sebagai suatu pasangan reflektor yang dituliskan sebagai dua fungsi impuls $c\delta(t)$ dan $d\delta(t + \Delta t)$. Dekomposisi dipol akan mendekomposisi suatu pasangan reflektor menjadi pasangan reflektor genap r_e dan pasangan reflektor ganjil r_o ((?)). Dalam matematis dekomposisi dipol dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$c\delta(t) + d\delta(t + \Delta t) = ar_e + br_o \quad (6)$$

$$r_e = \delta(t) + \delta(t + \Delta t) \quad (7)$$

$$r_o = \delta(t) - \delta(t + \Delta t) \quad (8)$$

2.5 Matriks Dictionary

Matriks *dictionary* merupakan kumpulan dari reflektor dipol yang diberikan interval yang semakin bertambah dari ketebalan nol hingga suatu ketebalan *tuning*. Pasangan reflektivitas akan bergeser sesuai sampling sebanyak $m\Delta t$, dimana m bernilai mulai dari sample pertama sampai terakhir. Pasangan reflektivitas dalam *wedge* model dapat dituliskan sebagai berikut:

$$r_e(t, m, n, \Delta t) = \delta(t - m\Delta t) + \delta(t - m\Delta t - n\Delta t) \quad (9)$$

$$r_o(t, m, n, \Delta t) = \delta(t - m\Delta t) - \delta(t - m\Delta t - n\Delta t) \quad (10)$$

Sample rate Δt merupakan sampling yang digunakan, n merupakan suatu bilangan yang bertambah dari nol hingga suatu ketebalan *tuning*. Deret reflektivitas dianggap sebagai penjumlahan *wedge even* dan *wedge odd* dengan *time shift* atau pergeseran, atau secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$r(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (a_{n,m} \times r_e(t, m, n, \Delta t) + n_{n,m} \times r_o(t, m, n, \Delta t)) \quad (11)$$

Persamaan (12) adalah deret reflektivitas yang merupakan matriks *dictionary* jika dikonvolusikan dengan wavelet akan menghasilkan tras seismik.

$$s(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (a_{n,m} \times w r_e(t, m, n, \Delta t) + n_{n,m} \times w r_o(t, m, n, \Delta t)) \quad (12)$$

Persamaan (12) jika dinyatakan dalam bentuk matriks persamaan (3) maka d adalah $s(t)$, m merupakan matriks koefisien *even* dan *odd*, dan G adalah hasil perkalian reflektor *even* dan *odd* yang dikonvolusikan dengan wavelet.

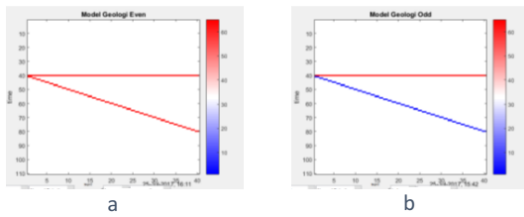
2.6 Orthogonal Matching Pursuit

OMP merupakan algoritma yang bersifat *greedy* dalam menemukan *sparse* dari suatu sinyal yang diberikan. Algoritma OMP ini mencoba menemukan atom atau basis vektor terbaik secara iterative, sehingga dalam setiap iterasi eror dalam representasi semakin berkurang. Pemilihan atom dari *dictionary* memiliki proyeksi terbesar dan mutlak pada vektor eror yang menunjukkan bahwa jika memilih atom yang menambahkan informasi maksimum dapat secara maksimal mengurangi kesalahan atau eror dalam rekonstruksi sinyal vektor y dan dictionary D , algoritma OMP digunakan untuk mendapatkan nilai dari vektor x dalam tiga langkah, yaitu:

- (i) Memilih atom yang memiliki proyeksi maksimal pada residunya.
- (ii) Perbarui $x_i = \|y - D x_i\|$.
- (iii) Perbarui residu $r_k = y - D_k x_k$.

2.7 Pemrograman Linier

Persamaan yang didapatkan dari persamaan (3) dan (12) dapat diselesaikan dengan proses inversi menggunakan L_1 -regularized least square (L1-LS). L1-LS mencari solusi terbaik dari semua solusi yang ada didalam matriks *dictionary*



Gambar 1. Model koefisien refleksi *even* ((a) dan *odd* ((b). Warna biru menunjukkan nilai negatif dan warna merah menunjukkan nilai positif untuk model koefisien refleksi.

untuk memperoleh m atau koefisien *even* dan *odd*. Penyelesaian L_1 -least square menggunakan algoritma *basis pursuit*, yaitu algoritma primal seperti persamaan (13) dan dual seperti persamaan (14).

$$\min c^T x \text{ subject to } Ax = b, x \geq 0 \quad (13)$$

$$\max b^T y \text{ subject to } A^T y + z = c, z \geq 0 \quad (14)$$

Solusi paling baik dari algoritma *basis pursuit* adalah solusi yang memenuhi tiga syarat berikut:

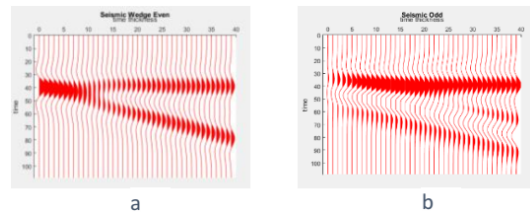
- (i) *Primal infeasibility*, $\|b - Ax\|_2$, minimum.
- (ii) *Dual infeasibility*, $\|c - z + A^T y\|_2$, minimum.
- (iii) *Duality gap*, $c^T x - b^T y$, minimum.

Ketiga syarat tersebut diselesaikan dengan cara simultan yang kemudian memperoleh koefisien *even* dan koefisien *odd*. Koefisien tersebut akan dikalikan dengan matriks *dictionary* yang belum dikonvolusikan dengan *wavelet* untuk mendapatkan reflektivitas hasil *basis pursuit inversion* (BPI).

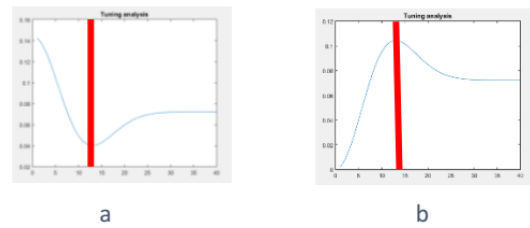
3 DATA DAN PENGOLAHAN DATA

Penelitian ini menggunakan data sintetik untuk menguji faktor-faktor yang mempengaruhi hasil BPI dan OMP. Ada dua model sintetik yang dibuat yaitu model *even* dan model *odd*. Model *even* merupakan model geologi yang memiliki bentuk *wedge* dan koefisien refleksi dengan tanda sejenis (positif atau negatif) antara batas lapisan atas dan batas lapisan bawah. Model *odd* memiliki tanda yang berbeda jenis antara batas lapisan atas dan batas lapisan bawah. Kedua model tersebut akan ditambahkan konvolusional *noise* dan *additive noise*. Konvolusional *noise* akan ditambahkan ketika reflektivitas belum dikonvolusi dengan *wavelet*, sedangkan *additive noise* ditambahkan ketika reflektivitas telah dikonvolusi dengan *wavelet*. Besar variabel yang diuji akan dirubah-rubah, sedangkan variabel lainnya tidak diubah. *Wavelet* yang digunakan adalah *wavelet ricker* dengan frekuensi 30 Hz. Gambar 1. menunjukkan model geologi *odd* dan *even*.

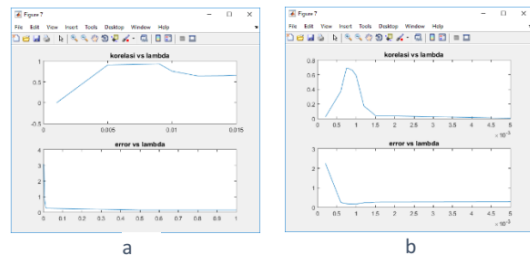
Pada Gambar 2. menunjukkan model *post-stack* seismik sintetik. Pada penampang seismik *even* respon gelombang terdapat efek saling menguatkan atau biasa disebut efek *konstruktif* yang menyebabkan kedua reflektor terlihat semakin dekat dari posisi sebenarnya.



Gambar 2. Penampang post stack seismik *even* (a) dan *odd* (b). Penampang menggunakan *wavelet ricker* 30 Hz dan panjang 110 ms.



Gambar 3. Analisa *tuning* pada model *even* (a) dan model *odd* (b).

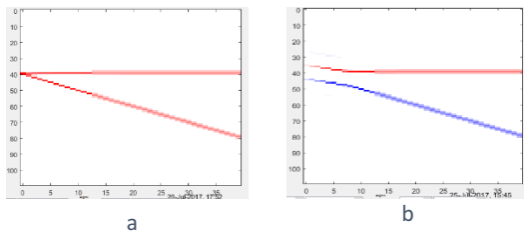


Gambar 4. Hasil plot korelasi dan error BPI tras ketigabelas pada setiap *lambda* untuk model *even* (a) dan model *odd* (b).

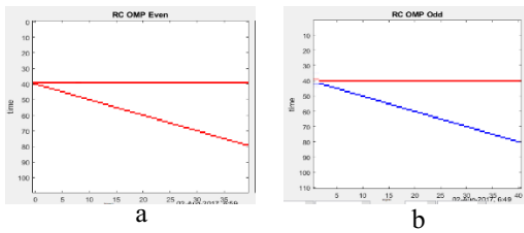
3.1 Perbandingan Hasil BPI dan OMP pada Model *Even* dan Model *Odd*

Gambar 3. menunjukkan *tuning* terjadi pada ketebalan 10 ms. Setelah dilakukan analisis *tuning*, dilakukan pengujian *lambda* dan *lambda* yang dipilih bernilai 0,009 untuk *even* dan 0,014 untuk *odd*. Gambar 4. adalah plot hasil korelasi dan error BPI pada tras ke-tigabelas pada setiap *lambda* yang diujikan. Pada pengujian *lambda* dapat dilihat bahwa *lambda* terbaik adalah *lambda* yang memiliki korelasi paling tinggi dan error paling rendah. *Lambda* dan *tuning* yang diperoleh kemudian digunakan pada inversi BPI dan OMP untuk diterapkan pada data seismik sintetik.

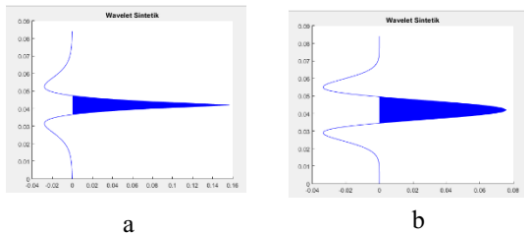
Gambar 5. dan Gambar 6. menunjukkan hasil inversi BPI dan OMP pada data seismik model *even* dan model *odd*. Pada model *even* terlihat inversi BPI dan OMP mampu meresolusi sampai dengan ketebalan 1 ms sedangkan pada model *odd* inversi BPI hanya dapat meresolusi sampai dengan ketebalan 6 ms namun inversi OMP dapat meresolusi hingga ketebalan 2ms. Perbedaan hasil inversi BPI dan OMP dalam meresolusi model *even* dan model *odd* disebabkan oleh sifat interferensi gelombang pada model *even* yang saling menguatkan atau konstruktif sehingga BPI dan OMP menjadi lebih mudah dalam mencari posisi reflek-



Gambar 5. Koefisien refleksi hasil BPI model *even* (a) dan model *odd* (b).



Gambar 6. Koefisien refleksi hasil OMP model *even* (a) dan model *odd* (b).

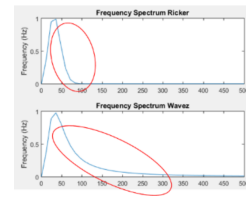


Gambar 7. *wavelet wavez* dan *ricker*.

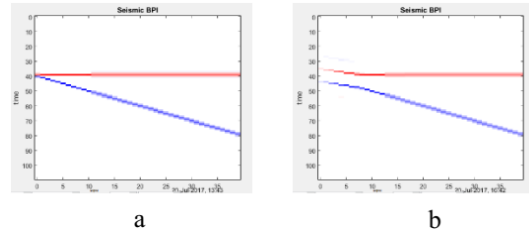
tor yang sesuai. Pada model *odd* terdapat sifat interferensi gelombang yang saling melemahkan atau destruktif sehingga inversi BPI dan OMP akan lebih sulit untuk mencari posisi reflektor yang sesuai. Hal tersebut menunjukkan bahwa inversi BPI dan OMP lebih mudah meresolusi pasangan reflektor *even* daripada *odd* dan kemudian akan dijadikan pertimbangan dalam proses pengolahan data real.

3.2 Hasil BPI dan Analisis Terhadap Penggunaan *Wavelet Wavez*

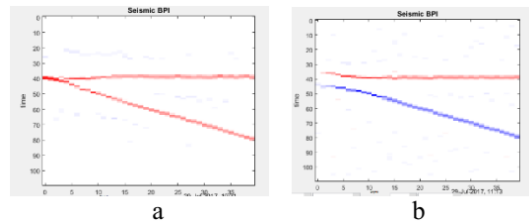
Data seismik sintetik diujikan menggunakan *wavelet wavez* dan *ricker*. Pengujian ini dilakukan karena hasil BPI pada model *odd* tidak dapat meresolusi secara maksimal. Bentuk dari *wavelet wavez* dan *ricker* ditunjukkan oleh Gambar 7. Gambar 9. merupakan hasil inversi BPI pada model *odd* dengan *wavelet wavez* dan *ricker*. Model *odd* hasil inversi BPI dengan menggunakan *wavelet wavez* dapat meresolusi lapisan tipis *tuning thickness* dengan sangat baik. Hal tersebut dikarenakan bentuk dari *wavez* yang sangat *spike* dengan *spectrum* yang memiliki *bandwidth* yang luas. Namun data seismik pada kondisi nyata tidak memiliki *wavelet* seperti *wavez* sehingga harus dilakukan *whitening* pada *spectrum* wavelet *ricker* untuk mendekati bentuk *spectrum*



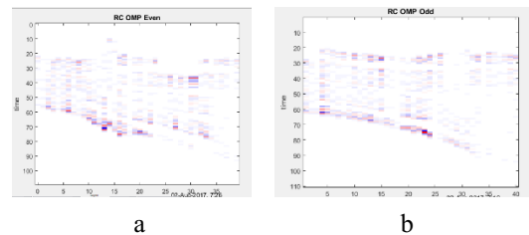
Gambar 8. Spectrum amplitud *wavelet ricker* (atas) dan *wavelet wavez* (bawah).



Gambar 9. Koefisien refleksi model *odd* hasil BPI dengan *wavelet wavez* (a) dan *ricker* (b).



Gambar 10. Koefisien refleksi hasil BPI dengan konvolusional *noise* 10% model *even* (a) dan model *odd* (b).

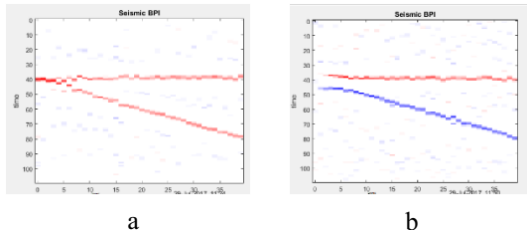


Gambar 11. Koefisien refleksi hasil OMP dengan konvolusional *noise* 10% model *even* (a) dan model *odd* (b).

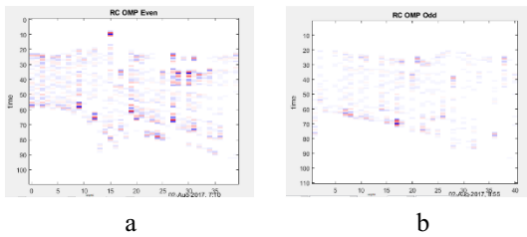
wavelet wavez. Namun, karena keterbatasan waktu, percobaan tersebut tidak dilakukan pada penelitian ini.

3.3 Hasil BPI dan OMP serta Analisis Terhadap Konvolusional Noise

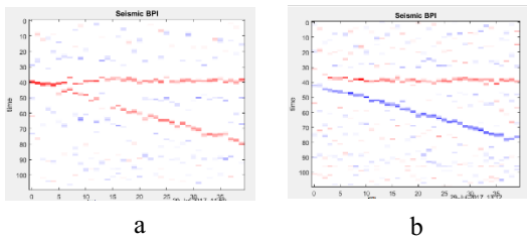
Gambar 10. Sampai Gambar 15. adalah hasil inversi BPI dan OMP dengan *noise* 10%, 25%, 50%. Terlihat semakin bertambahnya *noise* maka hasil inversi BPI model *even* dan model *odd* semakin tidak mendekati kondisi sebenarnya dikarenakan proses inversi BPI yang menganggap sinyal *noise* sebagai informasi reflektor. Namun pada model *even* dan model *odd* hasil inversi OMP memiliki tingkat sensitif



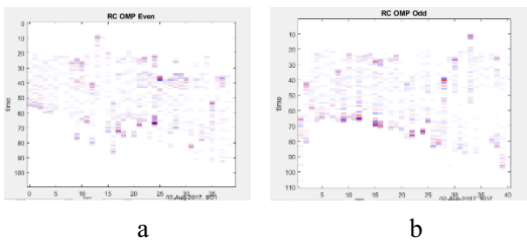
Gambar 12. Koefisien refleksi hasil BPI dengan konvolusional noise 25% model even (a) dan model odd (b).



Gambar 13. Koefisien refleksi hasil OMP dengan konvolusional noise 25% model even (a) dan model odd (b).

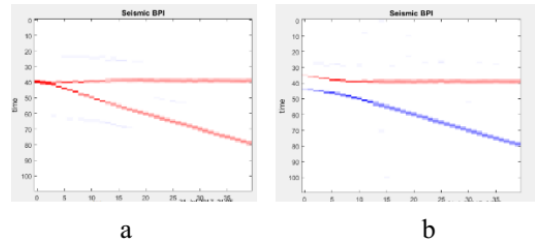


Gambar 14. Koefisien refleksi hasil BPI dengan konvolusional noise 50% model even (a) dan model odd (b).

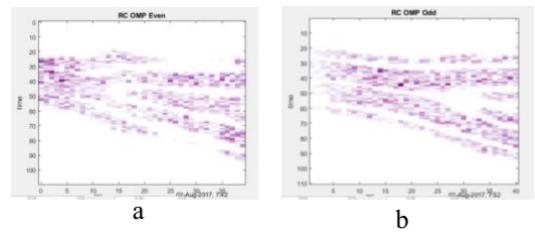


Gambar 15. Koefisien refleksi hasil OMP dengan konvolusional noise 50% model even (a) dan model odd (b).

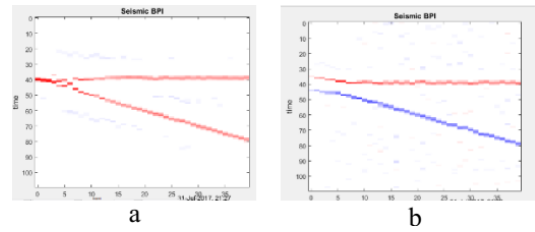
yang tinggi kepada penambahan noise. Hasil inversi BPI dan OMP pada konvolusional noise juga menunjukkan bahwa hasil model odd memiliki korelasi yang lebih baik dibandingkan model even. Hal tersebut menunjukkan bahwa inversi BPI dan OMP pada model odd lebih memiliki ketahanan terhadap noise dibandingkan model even.



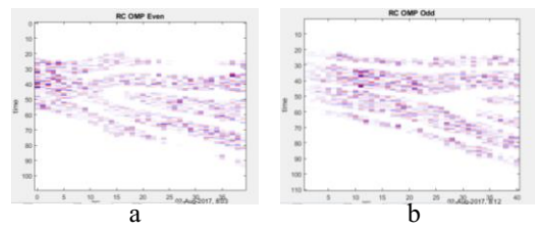
Gambar 16. Koefisien refleksi hasil BPI dengan additive noise 10% model even (a) dan model odd (b).



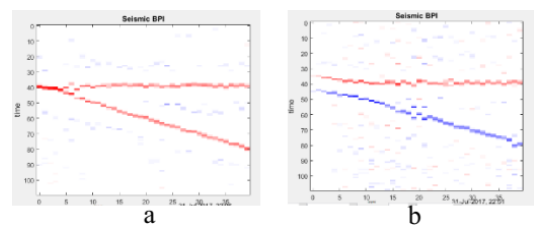
Gambar 17. Koefisien refleksi hasil OMP dengan additive noise 10% model even (a) dan model odd (b).



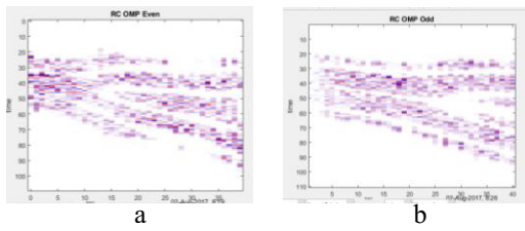
Gambar 18. Koefisien refleksi hasil BPI dengan additive noise 25% model even (a) dan model odd (b).



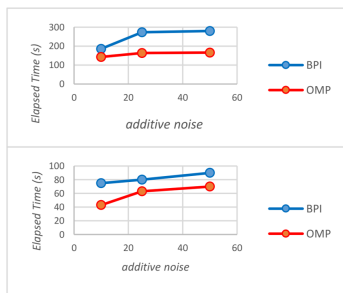
Gambar 19. Koefisien refleksi hasil OMP dengan additive noise 25% model even (a) dan model odd (b).



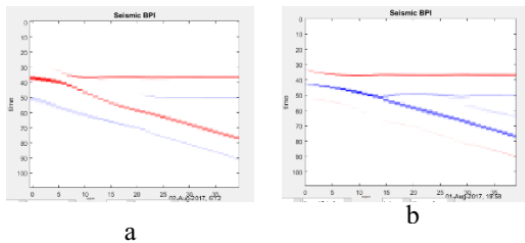
Gambar 20. Koefisien refleksi hasil BPI dengan additive noise 50% model even (a) dan model odd (b).



Gambar 21. Koefisien refleksi hasil OMP dengan *additive noise* 50% model *even* (a) dan model *odd* (b).



Gambar 22. Grafik hubungan antara elapsed time dan *additive noise* BPI dan OMP pada model *even* (atas) dan model *odd* (bawah).

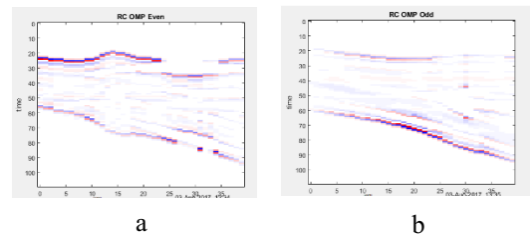


Gambar 23. Koefisien refleksi hasil BPI dengan *mis-phase* -30° model *even* (a) dan model *odd* (b).

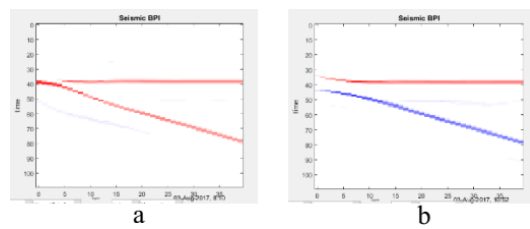
3.4 Hasil BPI dan OMP serta Analisis Terhadap *emphAdditive Noise*

Gambar 16. Sampai Gambar 21. adalah hasil inversi BPI dan OMP pada *additive noise*. Seperti konvolusional *noise*, *noise* pada sinyal akan dianggap sebagai reflektor yang menyebabkan jika semakin besar *noise* akan semakin buruk juga hasil inversinya. Pada *additive noise* juga dapat terlihat model *odd* lebih tahan terhadap *noise* dibandingkan dengan model *even*.

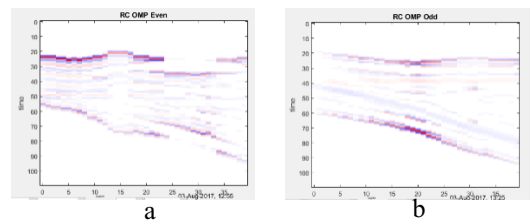
Gambar 22. menunjukkan hubungan antar *elapsed time* dan *additive noise* terhadap hasil inversi BPI dan OMP dengan data sintetik pada model *odd* dan model *even*. Gambar 22. Sebagai salah satu contoh yang menunjukkan waktu yang dibutuhkan dalam proses inversi OMP lebih cepat dari pada BPI. Hal ini berlaku juga pada pengujian konvolusional *noise*.



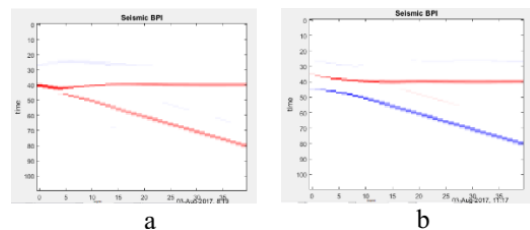
Gambar 24. Koefisien refleksi hasil OMP dengan *mis-phase* -5° model *even* (a) dan model *odd* (b).



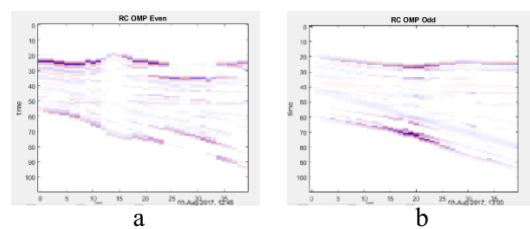
Gambar 25. Koefisien refleksi hasil BPI dengan *mis-phase* -10° model *even* (a) dan model *odd* (b).



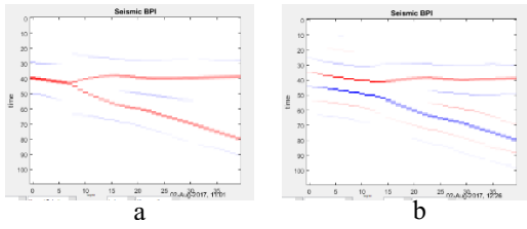
Gambar 26. Koefisien refleksi hasil OMP dengan *mis-phase* -1° model *even* (a) dan model *odd* (b).



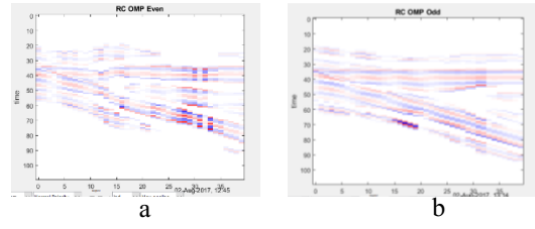
Gambar 27. Koefisien refleksi hasil BPI dengan *mis-phase* 10° model *even* (a) dan model *odd* (b).



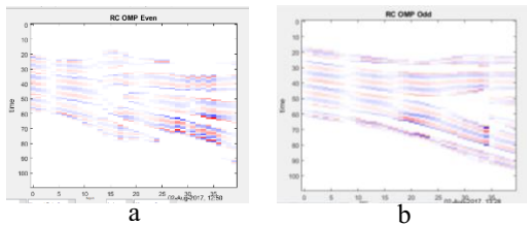
Gambar 28. Koefisien refleksi hasil OMP dengan *mis-phase* 1° model *even* (a) dan model *odd* (b).



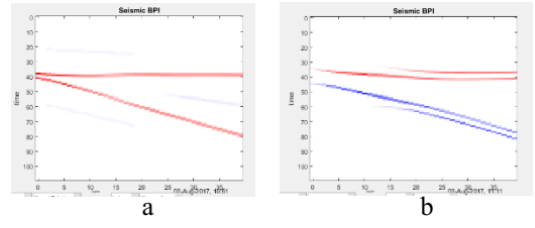
Gambar 29. Hasil BPI dengan *mis*-frekuensi -4 Hz model *even* (a) dan model *odd* (b).



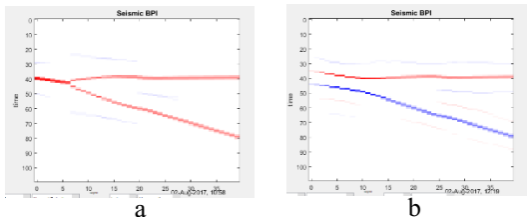
Gambar 32. Hasil OMP dengan *mis*-frekuensi -2 Hz model *even* (a) dan model *odd* (b).



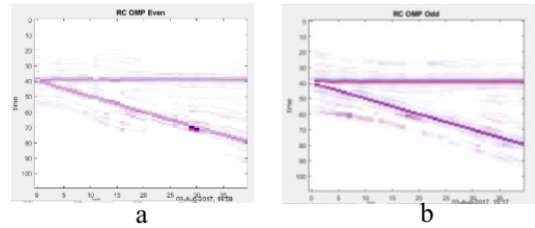
Gambar 30. Hasil OMP dengan *mis*-frekuensi -4 Hz model *even* (a) dan model *odd* (b).



Gambar 33. Hasil BPI dengan *mis*-frekuensi 2 Hz model *even* (a) dan model *odd* (b).



Gambar 31. Hasil BPI dengan *mis*-frekuensi -2 Hz model *even* (a) dan model *odd* (b).



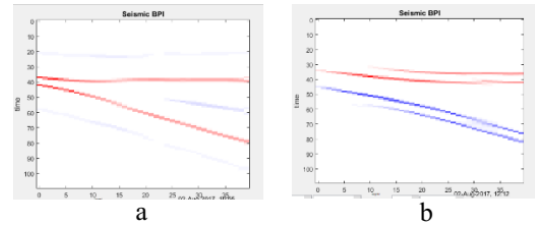
Gambar 34. Hasil OMP dengan *mis*-frekuensi 2 Hz model *even* (a) dan model *odd* (b).

3.5 Hasil BPI dan OMP serta Analisis Terhadap *misphase wavelet*

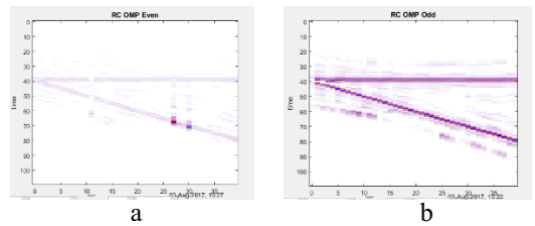
Gambar 23. sampai Gambar 28. menggambarkan hasil BPI dan OMP dengan perbedaan fasa ekstraksi *wavelet* dan *wavelet* pada penampang seismik. Diujikan *mis-phase* dari -30o sampai 30o pada BPI dan -5o sampai 5o pada OMP. Terlihat bahwa semakin besar *misphase* yang diberikan maka hasil BPI dan OMP akan semakin tidak mendekati kondisi riil. Selain itu, dapat terlihat seolah-olah terdapat reflektor-reflektor yang bukan reflektor sebenarnya akibat dari proses BPI dan OMP yang menganggap puncak dan gelombang tersebut sebagai informasi reflektor.

3.6 Hasil BPI dan OMP serta Analisis Terhadap Mis frekuensi

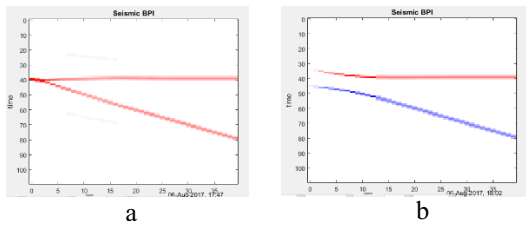
Gambar 29. Sampai Gambar 36. adalah hasil percobaan BPI dan OMP yang diberikan perbedaan frekuensi ekstraksi *wavelet* dengan *wavelet* pada penampang seismik atau *mis*-frekuensi. *mis*-frekuensi berkisar dari - 4 Hz sampai 4 Hz. Gambar-gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi maka hasil BPI dan OMP semakin tidak mendekati kondisi sebenarnya. Hal tersebut dise-



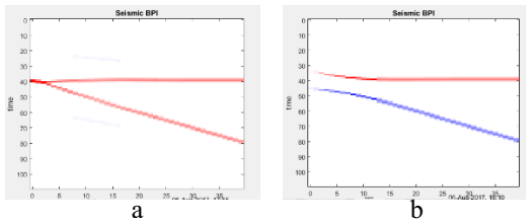
Gambar 35. Hasil BPI dengan *mis*-frekuensi 4 Hz model *even* (a) dan model *odd* (b).



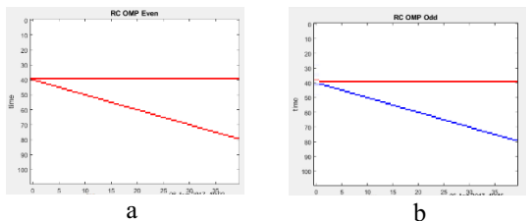
Gambar 36. Hasil OMP dengan *mis*-frekuensi 4 Hz model *even* (a) dan model *odd* (b).



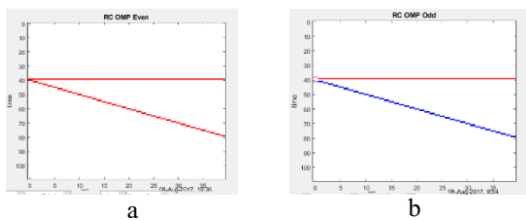
Gambar 37. Hasil BPI optimasi panjang matriks *dictionary* $\frac{1}{2}$ *tunning* pada model *even* (a) dan model *odd* (b).



Gambar 38. Hasil BPI optimasi panjang matriks *dictionary* $\frac{3}{4}$ *tunning* pada model *even* (a) dan model *odd* (b).



Gambar 39. Hasil OMP optimasi panjang matriks *dictionary* $\frac{1}{2}$ *tunning* pada model *even* (a) dan model *odd* (b).

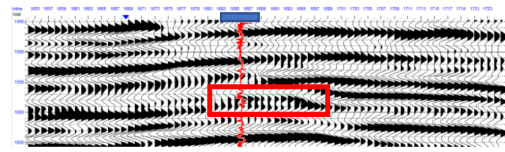


Gambar 40. Hasil OMP optimasi panjang matriks *dictionary* $\frac{3}{4}$ *tunning* pada model *even* (a) dan model *odd* (b).

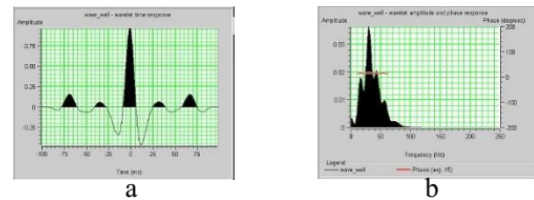
babkan karena frekuensi menentukan suatu panjang gelombang dan bentuk gelombangnya sendiri.

3.7 Hasil BPI dan OMP serta Analisis Terhadap Panjang Matriks Dictionary

Hasil BPI dengan panjang matriks *dictionary* $\frac{1}{2}$ *tunning* dan $\frac{3}{4}$ *tunning* ditunjukkan dengan Gambar 37. dan Gambar 38. Sedangkan hasil OMP dengan panjang matriks *dictionary* $\frac{1}{2}$ *tunning* dan $\frac{3}{4}$ *tunning* ditunjukkan dengan Gambar 39. dan Gambar 40.



Gambar 41. Penampang *post-stack* seismik *cross-line* 3724 dan *twt* 1450-1650 ms.



Gambar 42. *Wavelet* hasil ekstraksi sumur dengan panjang 100 ms (a) pada domain waktu dan pada domain frekuensi (b).

4 APLIKASI METODE BPI PADA DATA RIIL

4.1 Pemilihan Zona Target

Inversi BPI akan dilakukan pada penampang *post-stack* di *cross-line* 3724, *in-line* 1680-1710, dan *time* 1450- 1650 ms. Zona target penelitian yang dipilih memiliki *wedge* model *even* atau memiliki reflektor dengan tanda yang sama. Akan tetapi terlihat bahwa penampang seismik lapisan ini semakin tipis semakin menghilang seperti ditunjukkan oleh Gambar 41.

4.2 Ekstraksi *wavelet*

Wavelet yang digunakan pada penelitian ini merupakan *wavelet* hasil dari ekstraksi sumur. Sebelum melakukan ekstraksi *wavelet*, dilakukan proses *well to seismic tie* untuk mendapatkan korelasi yang baik antara sumur dengan penampang seismik. Proses *well to seismic tie* awalnya menggunakan *wavelet* hasil statistik kemudian baru dilakukan proses ekstraksi menggunakan sumur. *Wavelet* ekstraksi sumur yang diperoleh ditunjukkan oleh Gambar 42.

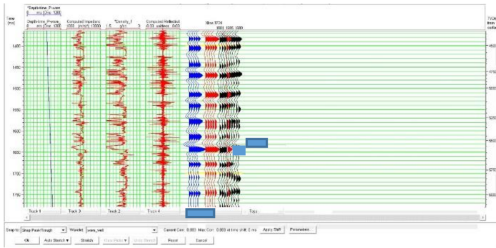
4.3 *Well to Seismic tie*

Aplikasi dari proses *well to seismic tie* perlu diterapkan untuk mendapatkan hasil ekstraksi *wavelet* yang baik serta penentuan nilai parameter *lambda* yang baik. Dalam penelitian ini dihasilkan *well to seismic tie* menggunakan ekstraksi *wavelet* sumur dengan nilai korelasi 0,883. Gambar 43. adalah gambaran *well to seismic tie*.

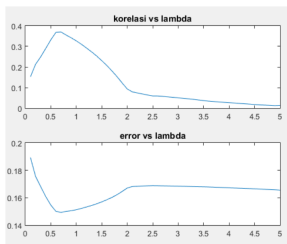
4.4 Pencarian *Lambda* Optimal

Uji *lambda* yang dilakukan pada data real bervariasi yaitu dari 0,1 sampai 5 dengan kenaikan 0,1. Gambar 44. menunjukkan hasil korelasi dari pengujian setiap *lambda*. *lambda* yang digunakan adalah *lambda* yang menghasilkan korelasi yang paling maksimum, yaitu 0,7.

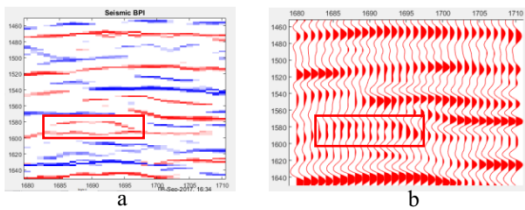
Lambda 0,7 dapat dikatakan optimal karena menghasilkan nilai korelasi antara hasil BPI dengan data sumur sebesar



Gambar 43. Well to seismic tie dengan wavelet sumur.



Gambar 44. Hasil plot korelasi dengan λ (atas) dan hasil plot error dengan λ (bawah).



Gambar 45. Koefisien refleksi hasil BPI (a) dan penampang *post-stack* seismik (b) *in-line* 1680-1710 ms *cross-line* 3724 *time* 1450- 1650 ms.

0,3699 dan nilai error 0,2366. λ 0,7 kemudian digunakan untuk inversi BPI untuk setiap *trac* dari *cross-line* 3724 dan *in-line* 1680-1710.

4.5 Hasil *post-stack* BPI

Zona target lapisan tipis ditunjukkan pada daerah kotak merah di Gambar 45. Hasil inversi BPI pada penelitian ini dapat meresolusi koefisien refleksi pada lapisan tipis dengan keterbatasan kemenerusan yang tidak terlalu baik. Terdapat faktor-faktor yang melebihi batas atau *threshold* yang mempengaruhi resolusi inversi BPI seperti *mis*-frekuensi, *mis*-*phase*, *noise* dan perubahan *wavelet* terhadap kedalaman.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penerapan metode inversi BPI dan OMP pada data sintetik menunjukkan beberapa hal berikut:

(i) BPI dan OMP dapat meresolusi lapisan tipis dengan baik pada data sintetik yang memiliki *signal to noise ratio* 100%.

(ii) OMP mampu meresolusi reflektifitas *odd* lebih baik dari pada BPI pada data sintetik yang memiliki *signal to noise ratio* 100%.

(iii) λ merupakan faktor penting dalam BPI. Semakin besar λ maka akan menghasilkan reflektor yang lebih sparse, sedangkan semakin kecil akan menghasilkan reflektor yang lebih dense. λ juga dapat digunakan untuk mengoptimalkan hasil inversi pada penampang *post-stack* yang memiliki noise.

(iv) Pada BPI, keberadaan *additive noise* dan kovolusional *noise* akan dianggap sebagai informasi reflektor baik pada model *even* dan model *odd*. Pada pasangan reflektor *even* mempunyai sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan reflektor *odd*.

(v) Pada OMP, hasil resolusi baik pada model *even* dan model *odd* menunjukkan tidak memiliki ketahanan terhadap uji fasa, uji frekuensi, *additive noise* dan kovolusional *noise*. Hal ini disebabkan karena tidak adanya parameter yang dapat meredam keberadaan *noise* pada OMP.

(vi) Perbedaan fasa antara *wavelet* ekstraksi dan *wavelet* pada penampang seismik pada BPI akan menghasilkan kesalahan dekomposisi reflektor yang cukup signifikan. Kesalahan fasa *wavelet* yang masih dapat ditoleransi adalah +140 dan -140 untuk model *odd* dan -160 sampai 160 untuk model *even*. Hal tersebut menjadikan BPI sensitif terhadap ketepatan fasa *wavelet* ekstraksi.

(vii) Perbedaan frekuensi antara *wavelet* ekstraksi dan *wavelet* pada penampang seismik pada BPI akan menghasilkan kesalahan dekomposisi reflektor yang cukup signifikan. Kesalahan fasa *wavelet* yang masih dapat ditoleransi adalah -3 Hz dan 3 Hz. Hal tersebut membuktikan BPI sensitif terhadap ketepatan frekuensi *wavelet*.

(viii) Panjang matriks *dictionary* pada metode BPI dan OMP akan berpengaruh pada waktu proses perhitungan. Pengurangan panjang matriks *dictionary* tidak berpengaruh terlalu signifikan sehingga dapat dilakukan optimasi panjang matriks *dictionary* untuk mempersingkat waktu proses perhitungan baik BPI maupun OMP.

(ix) Penggunaan *wavelet wavez* dapat menghasilkan resolusi reflektivitas *odd* pada BPI lebih baik dari pada menggunakan *wavelet ricker*. Namun data seismik pada kondisi nyata tidak memiliki *wavelet* seperti *wavez* sehingga harus dilakukan *enhancement* pada *spectrum wavelet ricker* untuk mendekati bentuk *spectrum wavelet wavez*.

(x) Resolusi lapisan tipis yang ditunjukkan oleh BPI pada data riil menunjukkan bahwa BPI mampu cukup baik meresolusi lapisan tipis. Akan tetapi kemenerusan dari hasil BPI belum terlalu bagus akibat dari perhitungan *trac* dilakukan bertahap setiap *trace per trace* atau tidak melibatkan keseluruhan *trace* secara langsung.

Saran

Saran dari hasil penerapan yang telah dilakukan dan diajukan untuk penelitian selanjutnya adalah:

(i) Optimalisasi penggunaan *enhancement* pada *spectrum amplitude wavelet* untuk mendekati *spectrum amplitude wavelet wavez* pada metode *basis pursuit* inversion khususnya model reflektor *odd* disarankan pada penelitian selanjutnya.

REFERENCES

- Zhang, R. dan Castagna, J. 2011. *Seismic Sparse-layer Reflectivity Inversion using Basis Pursuit Decomposition*. Geophysics, 76, 147-158.
- Chopra, S., Castagna, J. dan Portniaguine, O. 2006. *Thin-bed reflectivity inversion* SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2057-2061.
- Zhang, R. 2010. *Seismic Reflection Inversion by Basis Pursuit* Geophysics, 76.