

# Dekonvolusi pada Seismogram Dengan Wavelet Bervariasi Waktu Menggunakan Metode Gated Wiener

Muhammad Lutfi Hernandi<sup>1,a)</sup>, Bagus Endar B. Nurhandoko<sup>1</sup>, dan Rizal Kurniadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No.10, Bandung Indonesia

<sup>a)</sup> lutfihrnd@yahoo.com (corresponding author)

## Abstrak

Dekonvolusi seismik merupakan sebuah proses filtering yang bertujuan untuk merekonstruksi fungsi reflektivitas dengan membalikkan proses konvolusi. Dekonvolusi dapat memampatkan wavelet pada seismogram, mengatenuasi gaung, dan multipel jangka pendek sehingga dapat meningkatkan resolusi temporal dan meningkatkan hasil interpretasi terhadap penampang seismik pantul. Cara yang paling umum dalam melakukan dekonvolusi adalah mendesain filter Wiener dengan menggunakan pendekatan least square. Sinyal seismik bersifat tidak stasioner yaitu bentuk dan lebar pitanya berubah terhadap waktu tempuh. Ketidakstasioneran adalah akibat dari efek divergensi muka gelombang dan atenuasi frekuensi. Amplitudo dan frekuensi wavelet akan semakin berkurang seiring dengan semakin dalam penjaralan gelombang seismik karena efek divergensi dan atenuasi frekuensi tinggi. Beberapa parameter seperti rata-rata, variance, fungsi korelasi, dan parameter lainnya dari sinyal seismik berubah terhadap waktu. Dekonvolusi Wiener umumnya merupakan dekonvolusi tidak bervariasi waktu karena wavelet sumber dianggap stasioner. Wavelet sumber secara alamiah tidaklah stasioner sehingga perlu dilakukan dekonvolusi bervariasi waktu untuk mengatasi ketidakstasioneran sinyal pada proses dekonvolusi. Salah satu metode dekonvolusi bervariasi waktu yang cukup efektif adalah dekonvolusi Gated Wiener. Operator dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener diperoleh dengan membagi sinyal seismik menjadi berbagai bagian dengan panjang  $T$  dan memproses tiap bagian seperti proses tidak bervariasi waktu. Performa tiga buah metode dekonvolusi dibandingkan pada penelitian ini yaitu metode dekonvolusi Wiener tidak bervariasi waktu, dekonvolusi tidak bervariasi waktu dengan inversi linier, dan dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener pada  $T = 0,05$  s dengan error energy masing-masing sebesar 0,4461, 0,3948, dan 0,1882. Dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener menghasilkan hasil dekonvolusi yang lebih baik dibandingkan dengan dekonvolusi tidak bervariasi waktu. Metode dekonvolusi bervariasi waktu paling optimal ketika panjang setiap pembagian  $T$  adalah 0,05 s dari panjang data 0,25 s dengan error energy 0,1882.

**Kata Kunci :** Dekonvolusi, Gated Wiener, Ketidakstasioneran, Variasi waktu

## PENDAHULUAN

Dekonvolusi seismik merupakan sebuah proses filtering yang bertujuan untuk merekonstruksi fungsi reflektivitas dengan membalikkan proses konvolusi (Yilmaz, 1987). Dekonvolusi dapat memampatkan wavelet pada seismogram, mengatenuasi gaung, dan multipel jangka pendek sehingga dapat meningkatkan resolusi temporal dan meningkatkan hasil interpretasi terhadap penampang seismik pantul. Cara yang paling umum dalam melakukan dekonvolusi adalah mendesain filter Wiener dengan menggunakan pendekatan least square (Mousa, 2011).

Wavelet memiliki sifat alamiah tidak stasioner akibat medium yang dispersif sehingga frekuensi wavelet menjadi semakin rendah seiring semakin dalam jarak tempuh gelombang (Nurhandoko, 2012). Efek

divergensi muka gelombang dan atenuasi frekuensi menyebabkan amplitudo dan frekuensi *wavelet* akan semakin berkurang semakin dalam penjaralan gelombang seismik.

Dekonvolusi bervariasi waktu diterapkan untuk mengatasi ketidakstasioneran pada proses dekonvolusi (Clarke, 1968). Beberapa metode dekonvolusi bervariasi waktu adalah dekonvolusi adaptif, dekonvolusi dengan filter Kalman, dan dekonvolusi Gated Wiener. Dekonvolusi adaptif dapat menghilangkan multipel yang berubah terhadap waktu dengan algoritma adaptif (Griffiths, 1977). Metode dekonvolusi dengan menerapkan filter Kalman dapat mengestimasi reflektivitas dari model bervariasi waktu dengan hasil resolusi yang tinggi (Kurniadi & Nurhandoko, 2012). Dekonvolusi Gated Wiener diterapkan dengan mendesain filter Gated Wiener yang bervariasi waktu. Filter Gated Wiener diperoleh dengan membagi sinyal seismik input menjadi berbagai segmen dan memproses tiap segmen seperti proses tidak bervariasi waktu (Wang, 1969). Pada penelitian ini akan dilakukan dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener yang akan dibandingkan dengan dekonvolusi tidak bervariasi waktu Wiener

### Model Konvolusi

Reflektivitas terdiri dari susunan *spike* yang besarnya bergantung pada koefisien refleksi pada batas lapisan yang dipengaruhi oleh kontras impedansi akustik antara kedua lapisan. Tras seismik diasumsikan sebagai hasil konvolusi dari komponen reflektivitas  $r(t)$  dengan *wavelet*  $w(t)$  sumber. Persamaan konvolusi dapat dinyatakan dalam persamaan (1) berikut :

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

Dengan menambahkan komponen *random noise*  $Y(t)$  seperti pada persamaan (2) berikut:

$$sn(t) = w(t) * r(t) + Y(t) \quad (2)$$

Model konvolusi seismik digunakan untuk menghitung seismogram sintetik  $s(t)$  apabila diketahui *wavelet*  $w(t)$  dan reflektivitas  $r(t)$ . Dekonvolusi merupakan *inverse* dari model konvolusi yang digunakan untuk menghitung reflektivitas  $r(t)$  ketika diketahui tras seismik  $s(t)$  dan *wavelet* sumber  $w(t)$ . Hal ini merupakan tujuan dekonvolusi yang paling sering digunakan. Selain itu tujuan dari dekonvolusi adalah menghitung *wavelet*  $w(t)$  jika diketahui tras seismik  $s(t)$  dan reflektivitas  $r(t)$ . Hal ini digunakan apabila tras seismik direkam dekat dengan lubang bor.

Model konvolusi seismik umumnya memiliki beberapa asumsi sebagai berikut :

1. Bumi terbentuk dari lapisan-lapisan horizontal dengan kecepatan konstan.
2. Sumber yang digunakan hanyalah gelombang P yang dipantulkan pada batas lapisan pada sudut normal.
3. *Wavelet* sumber bersifat stasioner dengan bentuk *wavelet* dianggap tidak berubah terhadap kedalaman tempuh pada bawah permukaan bumi.
4. Komponen *noise*  $Y(t)$  dianggap nol.
5. Reflektivitas  $r(t)$  merupakan *white random series* dari impuls
6. *Wavelet* seismik adalah *wavelet* fasa minimum, dengan energi *wavelet* terkonsentrasi pada waktu awalnya.

### Dekonvolusi Menggunakan Optimum Wiener Filter

*Optimum Wiener Filter* bertujuan untuk menghasilkan filter  $h(n)$  sehingga *error*  $E$  antara fungsi *output* yang diinginkan  $d(t)$  dengan output yang dihasilkan  $y(n)$  dapat diminimalisir. Output  $y(n)$  dapat dinyatakan dalam persamaan (3) berikut:

$$y(n) = h(n) * x(n) \quad (3)$$

$x(n)$  merupakan input tras seismik.

$$E = \sum_n [d(n) - \{h(n) * x(n)\}]^2 \quad (4)$$

Tujuannya adalah untuk menghitung koefisien filter ( $h(0)$ ,  $h(1)$ , .....,  $h(N-1)$ ) sehingga *error*  $E$  bernilai minimum dengan metode *least square* :

$$\frac{\partial E}{\partial h(j)} = 0 \tag{5}$$

dengan  $j= 0,1,2,\dots, (N-1)$ .

$$\sum_{n=0}^{N-1} r(j-n)h(n) = g(j) \tag{6}$$

Untuk  $j= 0,1,2,\dots, (N-1)$ . Pada bentuk matriks, persamaan (6) dapat dituliskan sebagai:

$$\begin{bmatrix} r(0) & r(1) & r(2) & \dots & r(N-1) \\ r(1) & r(0) & r(1) & \dots & r(N-2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r(N-1) & r(N-2) & r(N-3) & \dots & r(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h(0) \\ h(1) \\ \vdots \\ h(N-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g(0) \\ g(1) \\ \vdots \\ g(N-1) \end{bmatrix} \tag{7}$$

$g(j)$  merupakan istilah ke- $j$  dari korelasi silang antara  $d(n)$  dan  $x(n)$  :

$$g(j) = d(j) \otimes x(j) ; j = 0,1,2, \dots, N - 1 \tag{8}$$

$r_{j-1}$  adalah istilah ke- $j$  untuk autokorelasi  $x(n)$  :

$$r(j) = x(j) \otimes x(j) ; j = 0,1,2, \dots, N - 1 \tag{9}$$

Matriks autokorelasi ( $r(j)$ ) dari persamaan (7) adalah matriks Toeplitz dan nilai *inverse* dari matriks tersebut dapat diselesaikan dengan prosedur rekursi Levinson.

Filter Wiener dapat diaplikasikan pada banyak kasus, output yang diinginkan  $d(t)$  dapat dianggap tidak hanya *zero-lag spike* (Yilmaz,1987). Umumnya, terdapat lima pilihan untuk output yang diinginkan  $d(t)$ , yaitu:

- Tipe 1: *Zero-lag spike*
- Tipe 2: *Spike* pada *lag* tertentu
- Tipe 3: Bentuk *time-advanced* dari input
- Tipe 4: *Wavelet* fasa nol
- Tipe 5: Bentuk lain yang diinginkan

**Ketidakstasioneran *Wavelet***

Gelombang seismik akan mengalami efek divergensi muka gelombang dan atenuasi frekuensi saat penjalaran. Hal ini menyebabkan *wavelet* sumber tidak stasioner dengan bentuk dan lebar pita *wavelet* berubah terhadap waktu tempuh. Atenuasi frekuensi tinggi *wavelet* semakin meningkat seiring semakin dalamnya gelombang seismik menjalar ke bawah permukaan.

**METODE**

Dalam penelitian ini, dibandingkan tiga metode dekonvolusi yaitu metode dekonvolusi Wiener tidak bervariasi waktu, metode dekonvolusi tidak bervariasi waktu dengan inversi linier, dan metode dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener. Data yang digunakan adalah data seismik nonstasioner sintetik yang dihasilkan dari konvolusi fungsi reflektivitas sintetik dengan *wavelet* nonstasioner.

**Dekonvolusi Wiener Tidak Bervariasi Waktu**

Tujuan dari dekonvolusi adalah menghasilkan fungsi reflektivitas dari tras seismik. Dengan menerapkan konvolusi antara filter Wiener dengan input tras seismik, akan dihasilkan fungsi reflektivitas yang *spiky* atau runcing. Metode dekonvolusi ini menggunakan persamaan (7).

### Dekonvolusi Tidak Bervariasi Waktu dengan Inversi Linier

Inversi linier merupakan teknik matematika untuk mendapatkan parameter fisis bawah permukaan dengan membandingkan hasil pemodelan ke depan dengan data lapangan. Parameter-parameter pada proses pemodelan ke depan akan terus diperbaharui sehingga dihasilkan selisih antara data lapangan dan hasil pemodelan ke depan yang minimum. Sebagaimana gambar 1, proses inversi linier dapat dirumuskan sebagai berikut dalam kaitannya dengan dekonvolusi:

$$W * R_{lapangan} = S_{lapangan} \tag{10}$$

$$W * R_{model} = S_{model} \tag{11}$$

Apabila (10) diselisihkan dengan (11), maka:

$$W * (R_{lapangan} - R_{model}) = (S_{lapangan} - S_{model}) \tag{12}$$

$$W^T W * (\Delta R) = W^T (\Delta S) \tag{13}$$

$$\Delta R = (W^T W)^{-1} W^T (\Delta S) \tag{14}$$

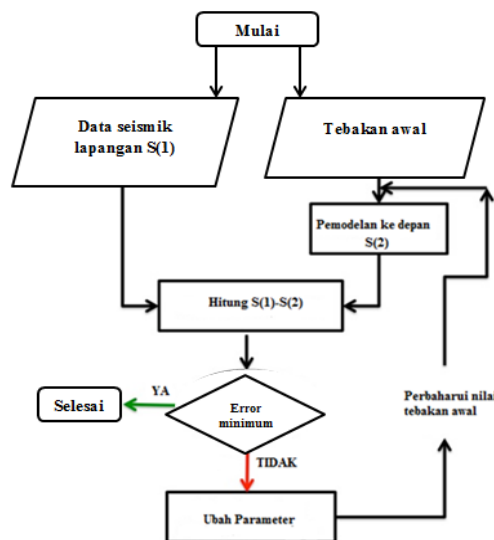
Faktor *pre-whitening* ( $\epsilon$ ) ditambahkan untuk stabilisasi

$$\Delta R = (W^T W + \epsilon^2 I)^{-1} W^T (\Delta S) \tag{15}$$

Maka Rmodel baru adalah :

$$R_{model\ baru} = R_{model\ lama} + \Delta R \tag{16}$$

$W$ ,  $R$ , dan  $S$  secara berturut-turut adalah *wavelet*, reflektivitas, dan tras seismik. Proses akan terus berulang hingga dihasilkan  $\Delta S$  yang cukup kecil sesuai diagram alir pada gambar 1.

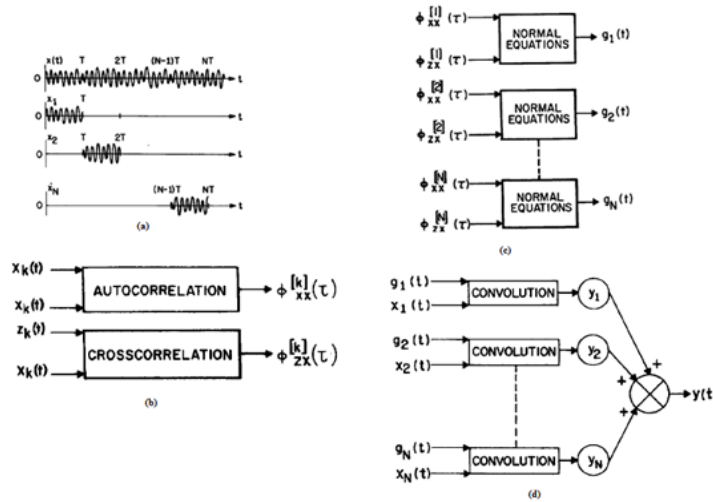


Gambar 1. Diagram alir proses inversi linier

### Dekonvolusi Bervariasi Waktu Gated Wiener

Operator dekonvolusi bervariasi waktu diperoleh dengan membagi tras seismik menjadi berbagai bagian/pecahan dan memproses tiap bagian seperti proses tidak bervariasi waktu (Wang, 1969). Dekonvolusi Gated Wiener dilakukan dengan mula-mula membagi input menjadi beberapa bagian/segmen kemudian

dihasilkan filter dari masing-masing segmen dari hasil autokorelasi input yang telah tersegmentasi dan korelasi silang antara output yang diinginkan dan input yang telah tersegmentasi. Filter Wiener yang dihasilkan kemudian dikonvolusi dengan input untuk masing-masing segmen. Hasil dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener  $y(t)$  merupakan sumasi dari hasil dekonvolusi tiap segmen seperti gambar 2.



Gambar 2. Proses Dekonvolusi Gated Wiener

Pada gambar 2 (a), tras input dibagi menjadi beberapa segmen, (b) merupakan penghitungan autokorelasi dan korelasi silang masing-masing segmen, (c) merupakan filter-filter yang dihasilkan dari masing-masing segmen, (d) merupakan konvolusi filter dengan input untuk masing-masing segmen dan sumasi.

**Error Energy**

Untuk membandingkan performa masing-masing metode dekonvolusi, digunakan perhitungan *error energy* antara reflektivitas yang ingin dihasilkan dengan hasil dekonvolusi sebagai berikut:

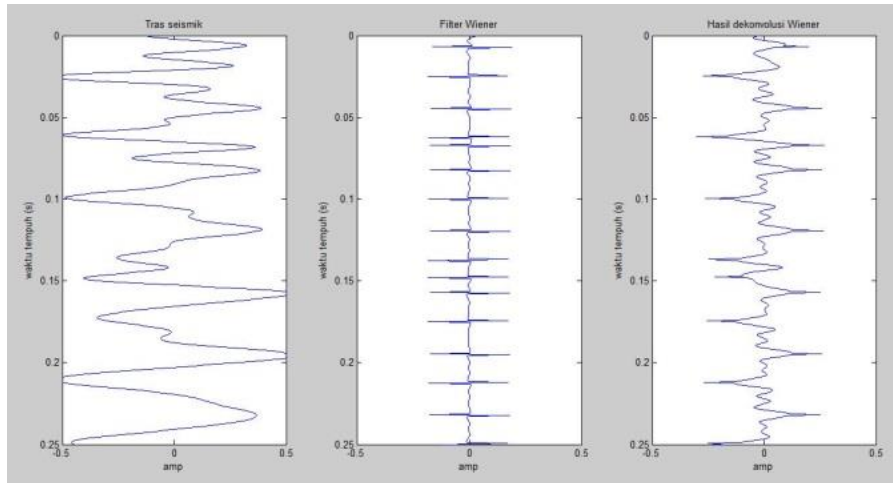
$$E = \sum_{i=1}^N \left| \frac{RC(i) - dek(i)}{RC(i)} \right| \tag{17}$$

*E* merupakan nilai *error energy*, *RC* merupakan output yang diinginkan yaitu berupa fungsi reflektivitas, *dek* merupakan hasil dekonvolusi, dan *N* merupakan jumlah data.

**PEMBAHASAN**

**Dekonvolusi Wiener Tidak Bervariasi Waktu**

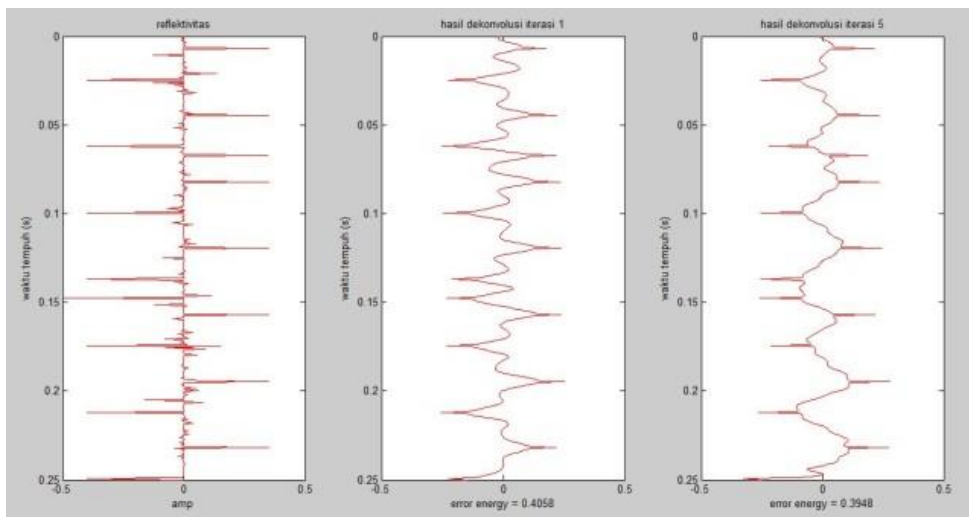
Dekonvolusi Wiener tidak bervariasi waktu dilakukan dengan terlebih dahulu menerapkan autokorelasi pada data seismik input, kemudian menerapkan korelasi silang antara data yang diinginkan (dalam hal ini fungsi *spike* pada waktu yang diinginkan) dengan data seismik input. Filter Wiener didapatkan dari persamaan normal setelah itu filter dikonvolusi dengan data seismik input. Nilai *error energy* yang didapat antara hasil dekonvolusi Wiener tidak bervariasi waktu dengan nilai reflektivitas awal adalah 0,4461. Gambar 3 menunjukkan tras seismik input, filter Wiener yang dihasilkan, dan hasil dekonvolusi. Hasil dekonvolusi memperlihatkan hasil yang lebih runcing (*spiky*) dan terlihat lebih mampu mendekati bentuk reflektivitas yang diinginkan.



Gambar 3. Tras seismik input (kiri), dikonvolusikan dengan filter Wiener (tengah), menghasilkan hasil dekonvolusi Wiener (kanan)

### Dekonvolusi Tidak Bervariasi Waktu dengan Inversi Linier

Metode dekonvolusi ini dilakukan secara iteratif dengan prinsip inversi linier. Pemodelan ke depan dilakukan dengan mengkonvolusi *wavelet* Ricker dengan reflektivitas model tebakan awal. Reflektivitas model awal yang digunakan adalah hasil dekonvolusi Wiener tidak bervariasi waktu yang telah didapatkan sebelumnya pada metode dekonvolusi Wiener tidak bervariasi waktu. Tras seismik hasil pemodelan kedepan kemudian diselisihkan dengan tras seismik input menghasilkan  $\Delta S$  pertama. Didapatkan  $\Delta R$  pertama yang akan menjadi informasi untuk mendapatkan reflektivitas model iterasi kedua. Hasil reflektivitas model iterasi kedua ini dimasukkan kembali ke persamaan pemodelan ke depan dan seterusnya proses akan secara iteratif menghasilkan  $\Delta S$  yang bernilai kecil. Reflektivitas model iterasi terakhir adalah yang digunakan sebagai hasil dekonvolusi ini.



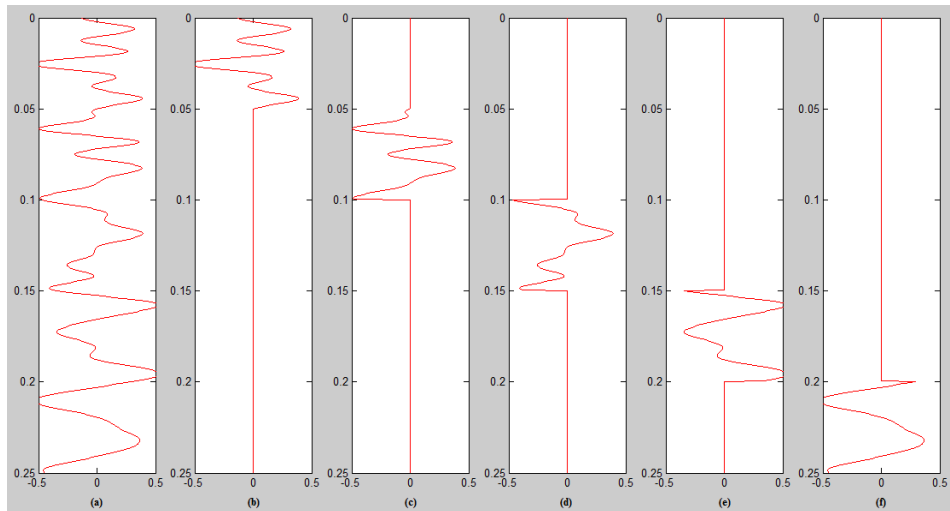
Gambar 4. Perbandingan reflektivitas (kiri), hasil dekonvolusi pada iterasi 1 kali (tengah), dan hasil dekonvolusi pada iterasi 5 kali (kanan)

Gambar 4 menunjukkan perbandingan reflektivitas, hasil dekonvolusi pada 1 kali iterasi, dan hasil dekonvolusi pada 5 kali iterasi. *Error energy* yang dihasilkan pada dekonvolusi dengan 1 kali iterasi dan 5 kali iterasi masing-masing adalah 0.4058 dan 0.3948. Hasil dekonvolusi dengan iterasi 5 kali memperlihatkan hasil yang lebih mampat dibandingkan hasil iterasi 1 kali sehingga lebih menyerupai reflektivitas input.

### Dekonvolusi Bervariasi Waktu Gated Wiener

Proses dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener dimulai dengan terlebih dahulu melakukan pemotongan terhadap data seismik input menjadi beberapa segmen dengan panjang masing-masing potongan  $T$ , melakukan autokorelasi data seismik input untuk berbagai segmen, melakukan korelasi silang antara output yang diinginkan (dalam hal ini reflektivitas) dengan data seismik input untuk berbagai segmen, menghitung filter Wiener untuk berbagai segmen melalui persamaan Normal, menerapkan konvolusi antara filter dan data input untuk berbagai segmen, serta menerapkan sumasi untuk semua segmen hasil dekonvolusi yang didapat. Pada penelitian ini, dilakukan dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener dengan panjang masing-masing potongan  $T$  adalah 0,0025 s, 0,005 s, 0,01 s, 0,0125 s, 0,025 s, 0,05 s, 0,0625 s, 0,125 s. Pada subbab ini, akan ditampilkan hasil dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener dengan panjang  $T = 0,05$  s dari panjang data input adalah 0,25 s.

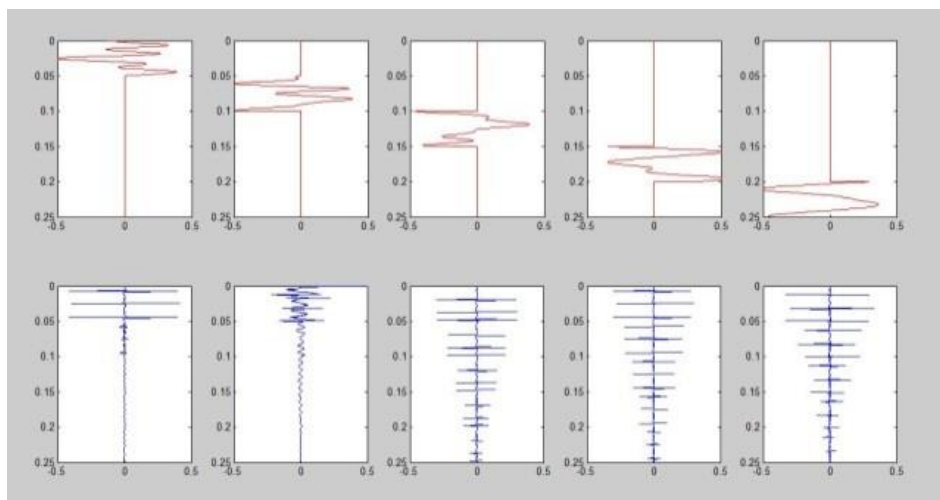
Data input tras seismik dipotong menjadi  $N = 5$  bagian karena digunakan panjang tiap potongan  $T = 0,05$  s.



Gambar 5. Input tras seismik nonstasioner (a) yang dipotong dengan  $T = 0,05$  s dan  $N = 5$ , segmen pertama (b), kedua(c), ketiga(d), keempat(e), dan kelima (f)

Gambar 5 menunjukkan input tras seismik nonstasioner yang telah dipotong menjadi 5 buah segmen.

Filter Gated Wiener yang dihasilkan dari berbagai segmen merupakan hasil autokorelasi data input dan korelasi silang antara output yang diinginkan dengan data input yang diterapkan pada persamaan normal.

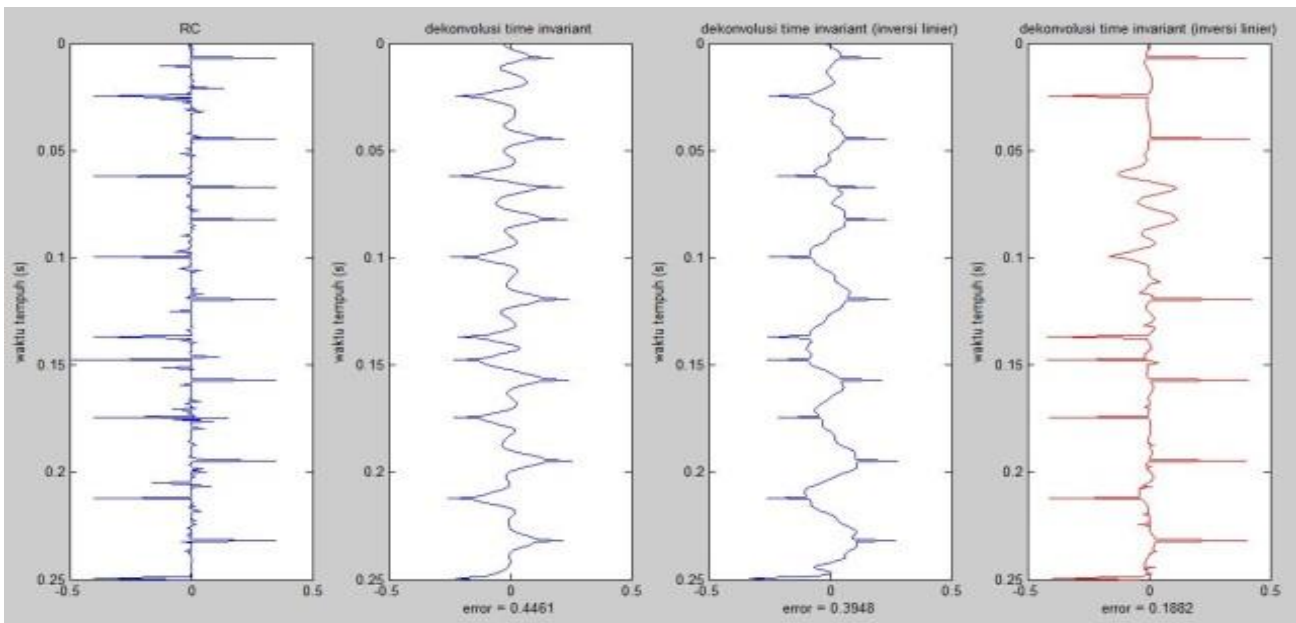


Gambar 6. Data input (atas) dan filter Gated Wiener (bawah) untuk masing-masing segmen

Gambar 6 menunjukkan data input (atas) dan filter Gated Wiener (bawah) untuk masing-masing segmen. Hasil konvolusi filter Gated Wiener dengan data input masing-masing segmen disumasi untuk mendapatkan hasil dekonvolusi Gated Wiener. *Error energy* yang dihasilkan dari dekonvolusi ini adalah 0,1882. Sebagai perbandingan berbagai metode dekonvolusi yang telah dilakukan, tabel 1 menunjukkan nilai *error energy* dari ketiga metode.

Tabel 1. Perbandingan error energy tiap metode dekonvolusi

error energy		
Dekonvolusi Wiener time invariant	Dekonvolusi time invariant dengan inversi linier pada iterasi = 5	Dekonvolusi Gated Wiener (T = 0,05 s)
0,4461	0,3948	0,1882



Gambar 7. Model reflektivitas (a), hasil dekonvolusi Wiener tidak bervariasi waktu (b), hasil dekonvolusi tidak bervariasi waktu dengan inversi linier (c), hasil dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener dengan panjang  $T=0,05$  s (d)

waktu, dekonvolusi tidak bervariasi waktu dengan inversi linier, dan hasil dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener dengan panjang  $T=0,05$  s. Metode dekonvolusi yang menghasilkan *error energy* terkecil secara berturut-turut adalah dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener, dekonvolusi tidak bervariasi waktu dengan inversi linier, dan dekonvolusi Wiener tidak bervariasi waktu. Hasil yang didapat pun memperlihatkan bahwa metode dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener menghasilkan hasil yang paling *spiky* dan mendekati reflektivitas sehingga metode ini merupakan metode dekonvolusi terbaik di antara ketiga metode dekonvolusi khususnya untuk menangani masalah ketidakstasioneran *wavelet*.

**Variasi T dalam Dekonvolusi Gated Wiener**

Panjang tiap segmen  $T$  pada dekonvolusi Gated Wiener divariasikan dalam penelitian ini. Masing-masing panjang  $T$  menghasilkan nilai *error energy* yang berbeda-beda pada dekonvolusi Gated Wiener sesuai pada tabel 2.

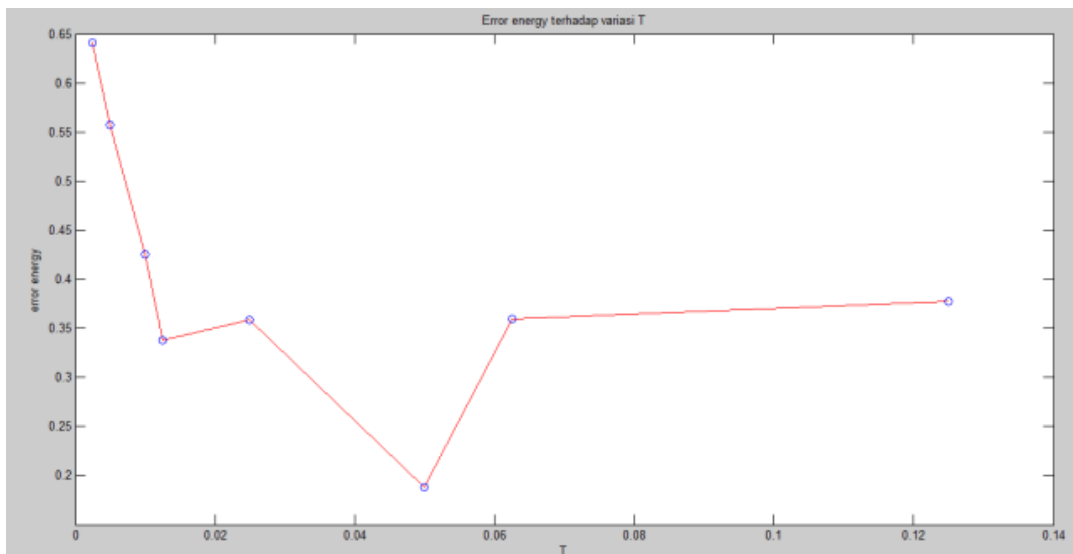
Tabel 2. Perbandingan error energy terhadap variasi T

T(s)	N	error energy
0,0025	100	0,6415
0,005	50	0,5570



0,01	25	0,4250
0,0125	20	0,3376
0,025	10	0,3587
0,05	5	0,1882
0,0625	4	0,3597
0,125	2	0,3772

Nilai  $T$  yang paling optimal pada data input yang digunakan agar dihasilkan hasil dekonvolusi yang paling baik adalah ketika nilai  $T=0,05$  s yang menghasilkan *error energy* 0,1882 sedangkan nilai *error energy* terbesar didapatkan saat nilai  $T = 0,0025$  s yaitu 0,6415. Gambar 8 menunjukkan perbandingan nilai hasil *error energy* yang dihasilkan ketika panjang  $T$  divariasikan.



Gambar 8. Error energy dekonvolusi Gated Wiener dengan variasi nilai  $T$

## KESIMPULAN

Metode dekonvolusi yang paling baik pada data seismik nonstasioner adalah metode dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener. Berdasarkan nilai *error energy* yang didapatkan pada penelitian penelitian ini, yaitu pada dekonvolusi tidak bervariasi waktu Wiener, dekonvolusi tidak bervariasi waktu dengan inversi linier, dan dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener saat  $T = 0,05$  s berturut-turut adalah 0,4461, 0,3948, dan 0,1882.

Parameter panjang tiap segmen  $T$  yang menghasilkan hasil dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener terbaik adalah  $T=0,05$  s sedangkan parameter panjang tiap segmen  $T$  yang menghasilkan hasil dekonvolusi bervariasi waktu Gated Wiener terburuk adalah  $T = 0,0025$  s dengan nilai *error energy* berturut-turut adalah 0,1882 dan 0,6415.

## REFERENSI

1. Ozdogan Yilmaz, *Seismic data processing*. Society of Exploration Geophysicists (1987)
2. W. A. Mousa dan Al-Shuhail, *Processing of Seismic Reflection Data Using MATLAB™*. Synthesis Lectures on Signal Processing **1-97** (2011)
3. B.E.B. Nurhandoko dan S.A. Mubarok, *Increasing resolution of seismic wave for revealing thin layer reservoir: a thin layer imaging without deconvolution and well independent*, 2012 HAGI Annual Meeting, Palembang-Indonesia (2012)
4. G.K. Clarke, *Time-varying deconvolution filters*. Geophysics **936-944** (1968)

5. R. Kurniadi dan B.E.B. Nurhandoko, *The discrete Kalman filtering approach for seismic signals deconvolution*. In INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS AND ITS APPLICATIONS:(ICPAP 2011) (Vol. 1454, No. 1, pp. 91-94) (2012)
6. R.J. Wang, *The determination of optimum gate lengths for time-varying Wiener filtering*. Geophysics **683-695** (1969)