

## IMPLEMENTASI PENGURANGAN *NOISE* SEISMIK MENGGUNAKAN FILTER WIENER PADA ALGORITMA DETEKSI OTOMATIS SINYAL GEMPABUMI

Sesar Prabu Dwi Sriyanto\*, Renhard M. Sipayung

Program Studi Geofisika, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika  
Jl. Perhubungan 1 no, 5, Pondok Betung, Pondok Aren, Tangerang Selatan 15221.

\*Email: sesar.sriyanto@bmkgo.go.id

### Abstrak

Algoritma deteksi otomatis sinyal gempabumi terdiri atas dua proses utama, yaitu pemfilteran dan pendeteksian sinyal gempabumi. Secara umum, sistem monitoring gempabumi di Indonesia menggunakan algoritma deteksi otomatis dengan filter frekuensi dalam proses pemfilteran dan metode STA/LTA pada proses pendeteksian. Pada kasus sinyal gempabumi memiliki frekuensi yang mirip dengan *noise* seismik, penggunaan filter frekuensi tidak bisa meningkatkan impuls sinyal seismik secara signifikan, yang menyebabkan STA/LTA tidak bisa bekerja dengan baik. Untuk mengatasinya, filter frekuensi dapat diganti dengan filter wiener yang merupakan salah satu jenis filter adaptif yang mampu memfilter sesuai dengan kondisi *noise*. Pada penelitian ini dilakukan pengujian penggunaan filter wiener dalam algoritma deteksi otomatis sinyal gempabumi menggunakan data sinyal gempabumi wilayah Palu yang terekam pada stasiun seismik temporer PKA29 selama bulan Februari 2015. Hasilnya menunjukkan penggunaan filter wiener dapat meningkatkan prosentasi pendeteksian sinyal gempabumi dari 73% menjadi 84%.

**Kata kunci:** deteksi otomatis sinyal gempabumi, filter wiener, STA/LTA

### 1. PENDAHULUAN

Deteksi otomatis sinyal gempabumi merupakan salah satu algoritma yang penting dalam sistem monitoring gempabumi. Algoritma ini berfungsi untuk mendeteksi sinyal gempabumi di stasiun seismik secara *real-time*. Pendeteksian sinyal gempabumi yang terekam di banyak stasiun seismik cukup sulit dilakukan oleh observer secara manual dalam waktu yang cepat (Stefano dkk, 2006 ; Kuperkoch dkk, 2011), sehingga diperlukan algoritma deteksi otomatis untuk mempercepat kinerja observer dalam menentukan fase gelombang gempabumi yang selanjutnya digunakan untuk penentuan parameter gempabumi.

Metode deteksi otomatis sinyal gempabumi yang umum digunakan adalah metode STA/LTA (*Short Time Average/Long Time Average*). Prinsip metode ini adalah jika nilai perbandingan antara amplitudo absolut rata-rata jendela waktu pendek (*Short Time Window*) dengan amplitudo absolut rata-rata jendela waktu panjang (*Long Time Window*) telah melebihi nilai batas (*threshold*) yang ditentukan maka sinyal gempabumi dinyatakan telah terdeteksi (Trnkoczy, 1999). Kondisi SNR (*Signal to Noise Ratio*) sangat berpengaruh terhadap hasil pendeteksian STA/LTA sehingga dibutuhkan proses pemfilteran sinyal sebelum penerapan STA/LTA agar amplitudo *noise* seismik tereduksi.

Pada sistem monitoring gempabumi di Indonesia, secara umum proses pemfilteran dalam algoritma deteksi otomatis menggunakan filter Butterworth. Filter ini merupakan salah satu jenis filter frekuensi yang membatasi sinyal hasil filter dalam rentang frekuensi yang ditentukan. Pada kasus sinyal gempabumi yang memiliki frekuensi mirip dengan *noise* seismik, penggunaan filter frekuensi tidak bisa mereduksi amplitudo *noise* seismik secara signifikan sehingga STA/LTA tidak bisa bekerja dengan baik. Menurut Douglas (1997) pemfilteran sinyal menggunakan filter frekuensi dapat mendistorsi sinyal seismik yang akan menyebabkan polaritas dan waktu tiba fase gelombang lebih sulit diidentifikasi.

Filter Wiener merupakan salah satu filter digital adaptif yang mampu memfilter sinyal sesuai kondisi *noise* lingkungan (Sumardi, 2004), sehingga dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan pada filter frekuensi. Prinsip kerja filter ini ialah melakukan estimasi sinyal dengan meminimalkan kesalahan rata-rata kuadrat (*Minimum Mean Square Error* atau MMSE) (Heryana dan Mayasari, 2016). Menurut Wiener (1964) dalam Liu, dkk(2014), filter wiener merupakan komponen sistem linier yang tersusun dari filter Fourier dalam domain frekuensi, yang koefisien-koefisien Fourier

aslinya diskala ulang sesuai dengan perbandingan antara spektrum sinyal yang diinginkan (*desired signal*) dan sinyal yang terekam (*observed signal*).

Pada penelitian ini dilakukan pengujian penggunaan filter Wiener yang diintegrasikan dalam algoritma deteksi otomatis sinyal gempabumi. Algoritma ini dijalankan pada data sinyal gempabumi secara *offline*, kemudian dilakukan pengecekan apakah algoritma baru tersebut dapat mendeteksi sinyal gempabumi lebih baik atau tidak. Harapannya, penggunaan filter ini dapat meningkatkan hasil pendeteksian sinyal gempabumi karena *noise* seismik dapat diredam sesuai dengan kondisi lingkungan yang berubah secara temporal.

## 2. DATA DAN METODE

### 2.1 Data

Data yang digunakan merupakan data sinyal gempabumi yang terjadi di sekitar wilayah Sesar Palukoro selama bulan Februari 2015. Berdasarkan katalog gempabumi dari Stasiun Geofisika Palu, didapat sejumlah 160 gempabumi selama kurun waktu tersebut. Data sinyal masing-masing gempabumi diunduh dari stasiun seismik temporer PKA29 yang termasuk dalam *array* seismik program kerjasama BMKG dan ANU (*Australian National University*). Stasiun seismik yang dipasang pada koordinat  $0,9599^\circ$  LS dan  $119,836^\circ$  BT ini menggunakan seismometer jenis *broadband velocimeter* dengan frekuensi sampling 250 Hz.

### 2.2 Filter Wiener

Sinyal yang terekam dalam sensor  $y(t)$  dianggap sebagai hasil penjumlahan linier dari sinyal yang diinginkan  $x(t)$  dan *noise* seismik  $s(t)$  :

$$y(t) = x(t) + s(t) \quad (1)$$

Pemfilteran digunakan untuk mendapatkan estimasi sinyal  $\hat{x}(t)$  dari  $y(t)$  dengan mengurangi  $s(t)$ . Proses pemfilteran otomatis menggunakan filter Wiener dijabarkan sebagai berikut :

- Melakukan penekanan awal (*pre-emphasis*) pada sinyal untuk meningkatkan amplitudo pada komponen frekuensi tinggi.
- Mentransformasi sinyal  $y(t)$  menjadi domain frekuensi per segmen waktu menggunakan metode STFT (*Short Time Fourier Transform*).
- Menghitung parameter statistik (rata-rata dan variansi) pada spektrum sinyal yang dianggap sebagai *noise* (*template noise*).
- Menghitung parameter statistik (rata-rata dan variansi) pada spektrum sinyal pada masing-masing segmen waktu.
- Mengestimasi spektrum sinyal yang diinginkan dengan membandingkan antara parameter statistik pada *template noise* dan parameter statistik masing-masing segmen.
- Menghitung estimasi SNR apriori dan aposteriori menggunakan metode *decision-directed* yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\hat{\xi}_k(n) = \alpha G^2 \left( \hat{\xi}_k(n-1), \gamma_k(n-1) \right) \gamma_k(n-1) + (1 - \alpha) \max |\gamma_k(n) - 1, 0| \quad (2)$$

$$\hat{\xi}_k(0) = \alpha + (1 - \alpha) \max |\gamma_k(0) - 1, 0| \quad (3)$$

dengan  $0 \leq \alpha \leq 1$ , sedangkan

$$\gamma_k(n) = \frac{|Y_k(n)|^2}{\lambda_s(k,n)} \quad (4)$$

$$\lambda_s(k,n) = \frac{\lambda_s(k,n-1) \cdot L + |Y_k(n)|^2}{L+1} \quad (5)$$

Keterangan :

$Y_k(n)$  = komponen spektral ke- $k$  yang diperoleh dari  $y(t)$  dalam domain waktu pada segmen ke- $n$

$G$  = fungsi gain atau filter Wiener

$\hat{\xi}_k(n)$  = estimasi SNR apriori (kondisi SNR awal sebelum difilter)

$\gamma_k(n)$  = SNR aposteriori (kondisi SNR setelah difilter)

$\lambda_s(k, n)$  = variansi data  $y(t)$  yang dianggap sebagai *noise*

$L$  = nilai faktor penghalus yang digunakan untuk memperbarui karakter variansi *noise*

g. Melakukan pemfilteran  $Y_k(n)$  dengan fungsi filter  $G$  yang merupakan pembagian antara SNR apriori dengan SNR aposteriori.

h. Merekonstruksi sinyal yang telah difilter menggunakan *inverse* STFT.

### 2.3 STA/LTA

Selanjutnya pada proses pendeteksian, metode STA/LTA akan melakukan pemindaian sinyal  $x(t)$  dalam jendela waktu pendek ( $st$ ) dan jendela waktu panjang ( $lt$ ). Nilai absolut amplitudo rata-rata kedua jendela waktu dibandingkan sesuai rumusan berikut:

$$STA_i = \frac{1}{st} \sum_{j=i}^{i+st} |x_j(t)| \quad (6)$$

$$LTA_i = \frac{1}{lt} \sum_{j=i-lt}^i |x_j(t)| \quad (7)$$

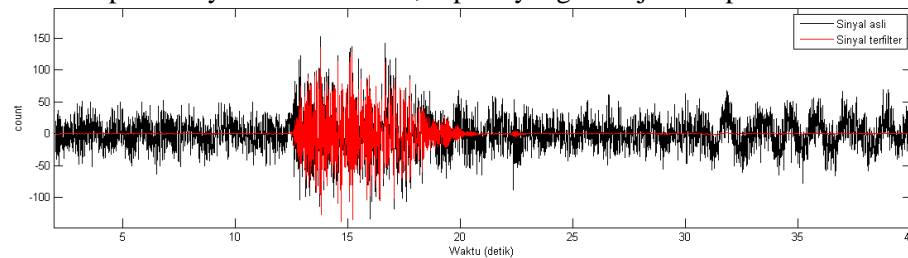
$$r_i = \frac{STA_i}{LTA_i} \quad (8)$$

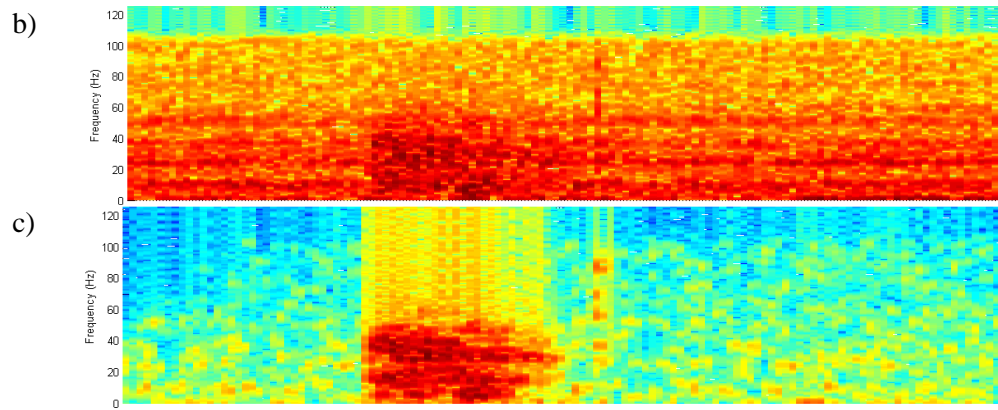
Sebelum metode STA/LTA dapat digunakan, terlebih dahulu harus ditentukan nilai parameter-parameter STA/LTA yang terdiri dari jendela waktu pendek, jendela waktu panjang, dan nilai batas. Jendela waktu pendek dan panjang yang digunakan masing-masing adalah 2 dan 20 detik. Sementara itu, untuk penentuan parameter nilai batas dilakukan tinjauan terlebih dahulu sebaran nilai maksimum STA/LTA pada 25 data sampel. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir kesalahan deteksi sinyal gempabumi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Filter Wiener yang diterapkan pada sinyal gempabumi dapat mereduksi amplitudo sinyal yang dianggap sebagai *noise*. Dasar yang digunakan filter Wiener untuk menentukan suatu segmen sinyal termasuk *noise* atau sinyal gempabumi adalah adanya perbedaan signifikan pada kandungan frekuensi *noise* dan sinyal gempabumi, sehingga pemfilteran dilakukan dengan melihat perbedaan kandungan frekuensi segmen sinyal dengan *template noise*. Apabila suatu segmen sinyal yang akan difilter memiliki kemiripan kandungan frekuensi dengan *template noise* maka segmen ini akan dianggap sebagai *noise* dan amplitudonya akan direduksi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

a)

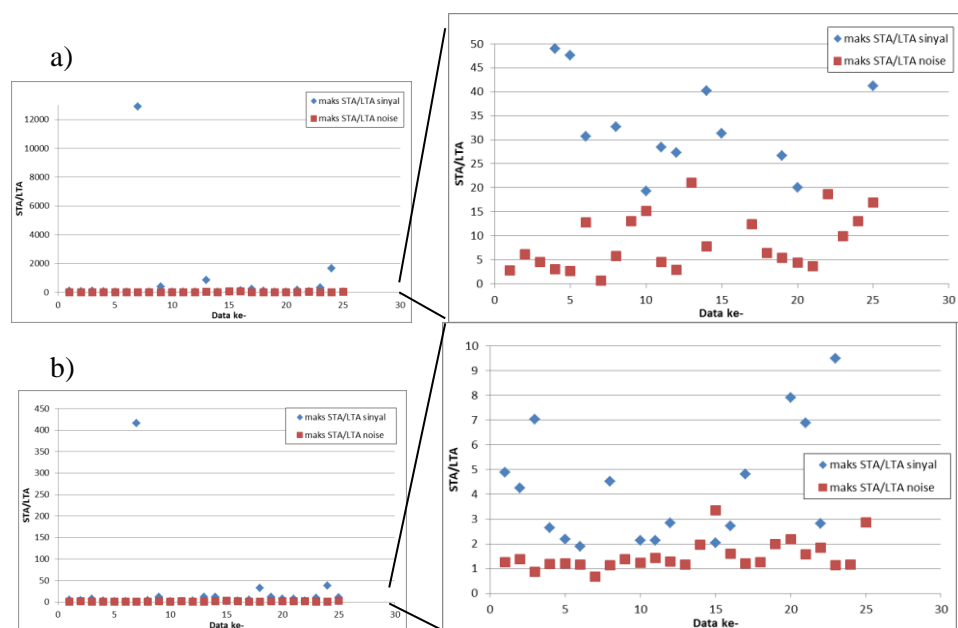




**Gambar 1. (a) Tampilan *overlay* contoh sinyal gempabumi asli dan sinyal yang telah difilter. (b) Spektrogram sinyal gempabumi asli. (c) Spektrogram sinyal yang telah difilter.**

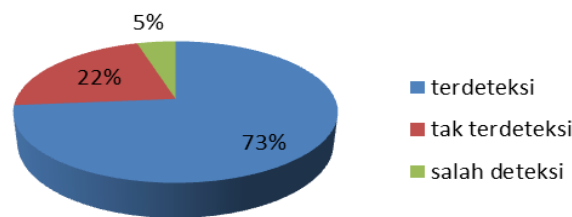
Algoritma deteksi sinyal yang menggunakan filter Wiener memiliki nilai batas yang berbeda dengan algoritma tanpa filter Wiener. Pada Gambar 2a dapat dilihat bahwa nilai sebaran maksimum STA/LTA hasil filter pada segmen sinyal seismik seluruhnya bernilai diatas 19,31, bahkan sejumlah 13 data memiliki nilai maksimum STA/LTA diatas 50. Sementara itu, nilai maksimum STA/LTA pada segmen *noise* memiliki rata-rata 13,43 dengan rentang nilai 0,69 hingga 76,43. Selanjutnya pada Gambar 2b ditunjukkan sebaran nilai maksimum STA/LTA tanpa filter Wiener. Nilai maksimum STA/LTA pada segmen sinyal seismik memiliki rentang mulai 1,899 hingga 415,8, sedangkan pada segmen *noise* memiliki rentang mulai 0,687 hingga 3,343. Berdasarkan sebaran nilai maksimum STA/LTA tersebut maka ditentukan bahwa nilai batas STA/LTA untuk algoritma dengan filter Wiener adalah 20, sedangkan nilai ambang untuk algoritma tanpa filter Wiener bernilai 2. Nilai ini ditentukan dengan pertimbangan meminimalisir adanya kesalahan deteksi namun masih mengusahakan semua sinyal seismik terdeteksi.

Berdasarkan hasil analisis sebaran nilai maksimum STA/LTA sinyal dan *noise* pada 25 data sampel, diketahui bahwa penggunaan filter Wiener dapat meningkatkan nilai STA/LTA secara signifikan pada segmen sinyal seismik. Meskipun secara signifikan filter Wiener dapat mengurangi *noise*, namun *noise* jenis *spike* yang tidak stasioner dan memiliki durasi singkat belum bisa diredam dengan baik sehingga *noise* jenis ini akan menyebabkan lonjakan nilai STA/LTA. Hal inilah yang menyebabkan sebaran nilai maksimum STA/LTA pada segmen *noise* juga mengalami peningkatan.



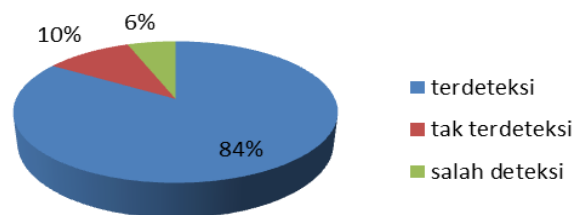
**Gambar 2. (a) Sebaran nilai maksimum STA/LTA setelah difilter dan (b) sebelum difilter**

Dari 160 kejadian yang tercatat dalam katalog gempabumi Stasiun Geofisika Palu, hanya 87 kejadian yang dapat terekam di sensor PKA29. Hal ini terjadi karena 73 kejadian lainnya memiliki jarak episenter yang jauh dan magnitudo yang kecil. Dari 87 sinyal gempabumi yang teridentifikasi secara manual oleh observer, hanya 64 sinyal yang dapat dideteksi secara otomatis oleh algoritma tanpa filter. Sementara itu 22% dari 87 kejadian yang terekam tidak dapat dideteksi oleh algoritma tanpa filter, sedangkan 5% atau 4 kejadian lainnya terjadi kesalahan deteksi. Pada Gambar 3 ditunjukkan diagram prosentase hasil deteksi otomatis tanpa menggunakan filter. Sinyal gempabumi yang tidak dapat dideteksi oleh algoritma tanpa filter disebabkan oleh tingginya level *noise* sebelum sinyal sehingga STA/LTA sinyal tersebut tidak mencapai nilai batas STA/LTA. Kesalahan deteksi sinyal yang terjadi diakibatkan adanya *noise-noise spike* dengan amplitudo lebih besar daripada amplitudo sinyal gempabumi sehingga melampaui nilai batas STA/LTA yang ditentukan.



**Gambar 3. Prosentase hasil algoritma deteksi otomatis sinyal gempabumi yang tidak menggunakan filter Wiener.**

Di lain pihak, filter Wiener yang diintegrasikan dalam algoritma otomatis deteksi sinyal gempabumi mampu meningkatkan jumlah sinyal gempabumi yang terdeteksi. Apabila sebelum menggunakan filter Wiener hanya dapat mendeteksi 64 sinyal atau 73%, setelah menggunakan filter Wiener prosentase sinyal yang terdeteksi meningkat hingga 84%. Selain itu, juga dapat mengurangi sinyal yang tak terdeteksi dari 22% menjadi 10%. Tetapi filter Wiener tidak mampu mengurangi terjadinya kesalahan deteksi yang meningkat 1% karena filter Wiener hanya mampu memfilter jenis *noise* yang stasioner sehingga apabila ada *noise* dengan karakteristik frekuensi yang berbeda dengan *noise* stasioner akan dianggap sebagai sinyal gempabumi juga. Pada Gambar 4 ditunjukkan diagram prosentase hasil deteksi otomatis menggunakan filter Wiener.



**Gambar 4. Prosentase hasil algoritma deteksi otomatis sinyal gempabumi yang menggunakan filter Wiener.**

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma pengurangan *noise* menggunakan filter Wiener berhasil meningkatkan prosentase hasil deteksi otomatis sinyal gempabumi dari 73% menjadi 84% dan mengurangi sinyal yang tak terdeteksi dari 22% menjadi 10%, namun masih melakukan kesalahan dalam mendeteksi sinyal sebesar 6% karena filter Wiener kurang baik dalam mereduksi *noise* yang tidak stasioner. Adanya kesalahan deteksi masih dapat ditoleransi karena prinsip deteksi otomatis sinyal gempabumi adalah meminimalisir sinyal gempabumi yang tidak terdeteksi, dengan harapan semua kejadian gempabumi dapat dimonitoring.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bidang Seismologi Teknik BMKG atas ijin yang diberikan untuk data seismik yang digunakan. Selanjutnya, penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh Civitas Akademika STMKG atas dukungannya baik secara moril maupun materil.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Douglas, A. (1997) Bandpass Filtering to Reduce Noise on Seismograms : Is There a Better Way ?, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 87, No. 4, 770–777.
- Heryana, N. dan Mayasari, R. (2016) Implementasi Noise Removal Menggunakan Wiener Filter untuk Perbaikan Citra Digital, *Syntax Jurnal Informatika*, Karawang, 159-164.
- Küperkoch, L., Meier, T., and Diehl, T. (2011) *Chapter 16 : Automated Event and Phase Identification. IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP)*. GeoForschungsZentrum, Potsdam, p.1-5, 23-27
- Liu, J., Ying, D., Zhou, P. (2014) Wiener Filtering of Surfase EMG with A Priori SNR Estimation Toward Myoelectric Control for Neurological Injury Patients, *Med. Eng. Phys*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.medengphy.2014.09.008>.
- Stefano, R. Di, Aldersons, F., Kissling, E., Baccheschi, P., Chiarabba, C., dan Giardini, D. (2006) Automatic Seismic Phase Picking and Consistent Observation Error Assessment : Application to the Italian Seismicity, *Geophysical Journal International*, Vol. 165, 121–134.
- Sumardi, S. (2004) Simulasi Penekanan Derau dengan Metode Finite Impulse Response (FIR) secara Adaptif Menggunakan Algoritma Least Mean Square (LMS), *Rekayasa Aplikasi dan Perancangan Industri*, Surakarta, 381-388.
- Trnkoczy, A. (1999) *IS 8.1: Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm*, In: Bormann, P. (Ed.), 2002, *IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice*, GeoForschungsZentrum Postdam, Vol. 2, 20 pp.