

## ARTIKEL RISET

# Pembuatan Perangkat Lunak HVSR-CWT-01 Untuk Penentuan Nilai HVSR Menggunakan Transformasi Wavelet Kontinyu

Budi Eka Nurcahya

## Ringkasan

Pengukuran seismik mikro tiga komponen arah yang digunakan mengetahui nilai HVSR di daerah rentan gempa bumi, biasanya dilakukan dengan durasi perekaman yang tidak lama. Untuk menghitung nilai HVSR dari hasil pengukuran seismik tiga komponen arah yang mempunyai durasi pendek maka dilakukan proses untuk menghitung nilai HVSR dilakukan transformasi wavelet kontinyu (CWT). Transformasi wavelet kontinyu adalah suatu metoda transformasi untuk menganalisis kandungan frekuensi sinyal secara otomatis dipergunakan untuk menganalisis sinyal yang mempunyai kandungan frekuensi rendah dan sekaligus untuk menganalisis sinyal yang mempunyai kandungan frekuensi tinggi. Transformasi wavelet pada dasarnya adalah mendekomposisi sinyal yang proses pelaksanaannya dilakukan dengan cara mengkonvolusi sinyal dengan wavelet. Di dalam pelaksanaannya wavelet yang dipergunakan dikenai suatu proses dilatasi dengan faktor dilatasi  $s$  dan proses translasi dengan faktor translasi  $u$ . Untuk menghitung nilai HVSR dengan hasil yang akurat maka dibuat perangkat lunak HVSR-CWT-01. Wavelet yang dipergunakan adalah Wavelet Morlet.

**Kata Kunci** : HVSR, CWT, Morlet.

## Abstract

Three-component directional micro seismic measurements used to determine the value of HVSR in earthquake prone areas, usually done with a short recording duration. To calculate the value of HVSR from the results of seismic measurements of three directional components which have a short duration, the process to calculate the value of HVSR is done by continuous wavelet transformation (CWT). Continuous wavelet transform is a transformation method to analyze the signal frequency content automatically used to analyze signals that have a low frequency content and at the same time to analyze signals that have a high frequency content. Wavelet transform is basically a signal decomposition which is carried out by convoluting the signal with wavelet. In the implementation of the wavelet used is subject to a dilatation process with the dilation factor  $s$  and the translation process with the translation factor  $u$ . To calculate the HVSR value with an accurate result, HVSR-CWT-01 software was created. Wavelet used is Morvel Wavelet.

**Keywords:** HVSR; CWT; Morlet

## PENDAHULUAN

Proses transformasi Fourier dengan menggunakan jendela dikenal dengan nama *Windowing Short Time Fourier Transforms* (WSTFT). WSTFT mempunyai sifat yang kaku, dalam arti lebar jendela tidak berubah pada saat dipergunakan untuk menganalisis sembarang pita frekuensi. Jendela yang sempit hanya memberikan hasil yang teliti untuk menganalisis sinyal

yang mempunyai kandungan frekuensi tinggi dan jendela yang lebar hanya memberikan hasil yang teliti untuk menganalisis frekuensi rendah. Dengan demikian WSTFT tidak dapat dipergunakan untuk menganalisis sinyal yang mempunyai kandungan frekuensi rendah dan tinggi sekaligus pada saat waktu tertentu. Untuk mengatasi sifat yang kaku yang dimiliki WSTFT maka dipergunakan transformasi wavelet<sup>[1]</sup>

Transformasi wavelet adalah suatu metoda transformasi untuk menganalisis kandungan frekuensi sinyal secara otomatis, skala besar (jendela lebar)

Correspondence: [budi.eka.n@ugm.ac.id](mailto:budi.eka.n@ugm.ac.id)

Lab. Geofisika Departemen Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia

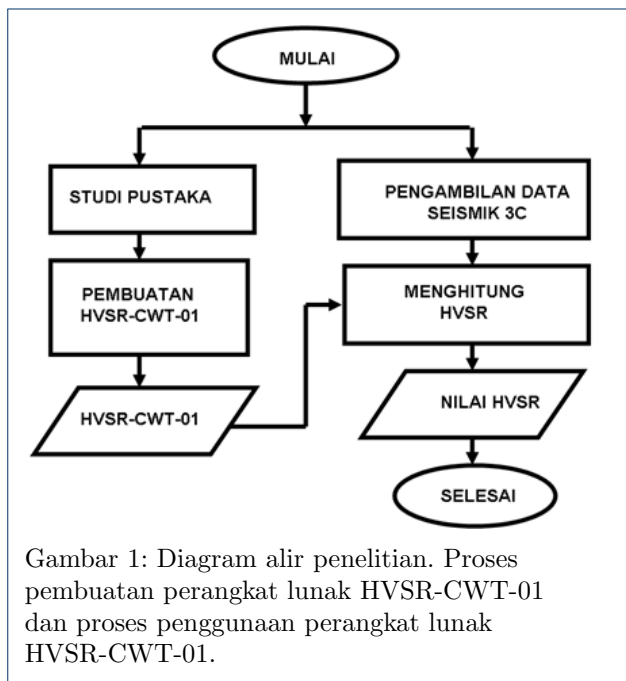
Full list of author information is available at the end of the article

\*Equal contributor

dipergunakan untuk menganalisis sinyal yang mempunyai kandungan frekuensi rendah dan skala kecil (jendela sempit) dipergunakan untuk menganalisis sinyal yang mempunyai kandungan frekuensi tinggi. Transformasi wavelet pada dasarnya adalah mendekomposisi sinyal yang proses pelaksanaannya dilakukan dengan cara mengkonvolusi sinyal dengan wavelet. Didalam pelaksanaannya wavelet yang dipergunakan dikenai suatu proses dilatasi dengan faktor dilatasi  $s$  dan proses translasi dengan faktor translasi  $u$  [2]

Penentuan nilai HVSR dari hasil pengukuran seismik tiga komponen arah yang mempunyai durasi pendek menggunakan transformasi Fourier, memberikan hasil yang kurang akurat. Untuk mendapatkan hasil perhitungan nilai HVSR yang akurat, dilakukan proses transformasi wavelet kontinyu. Metoda penghitungan hasil nilai HVSR yang akurat menggunakan transformasi wavelet kontinyu akan dicobakan pada data hasil pengukuran seismik tiga komponen arah di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Hal ini dilakukan karena pada tahun 2006 pernah terjadi gempa besar yang terjadi di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Gempa yang terjadi tersebut menyebabkan kerusakan yang cukup besar diberbagai tempat. Nilai HVSR diharapkan dapat menggambarkan daerah yang mempunyai sifat kerentanan gempa.

## METODE



Tabel 1: Daftar koordinat lokasi pengukuran data seismik 3C.

No	Titik	X	Y
1	Candi Prambanan	443948	9142879
2	STIE	430267	9134718
3	Gunung Iregng	443756	9128649

Transformasi wavelet fungsi  $x(t) \in L^2(R)$  pada saat  $t = u$  dan skala  $s$  adalah,

$$W_x(u, s) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\psi_{u,s}^*(t)dt \quad (1)$$

dan inversinya adalah

$$x(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_0^{-\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_x(u, s)\psi_{u,s}(t)du \frac{ds}{s^2} \quad (2)$$

dengan  $C_\psi = \int_0^{+\infty} \frac{|\tilde{\psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega < +\infty$ . Yang biasanya disebut sebagai *admissibility conditions*.

Syarat suatu fungsi wavelet  $\psi(t) \in L^2(R)$  yang dipergunakan pada transformasi wavelet adalah suatu wavelet yang harga reratanya sama dengan nol ("WAVE"), yang dapat dinyatakan dalam persamaan [3],

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t)dt = 0 \quad (3)$$

dan energi maksimumnya terletak pada saat  $t = 0$  serta harga normalisasinya  $\|\psi(t)\| = 1$  ("LET"). Ketiga syarat tersebut yang menjadikan fungsi  $\psi(t) \in L^2(R)$  disebut "WAVE-LET" atau "wavelet". Famili fungsi wavelet yang dipergunakan untuk melakukan analisis waktu-frekuensi  $\psi_{u,s}(t)$  dihasilkan dengan cara mendilatasi wavelet dengan skala dilatasi  $s$  dan dengan cara mentranslasi dengan faktor translasi  $u$ . Famili fungsi wavelet dapat dinyatakan dalam persamaan,

$$\psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}}\psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \quad (4)$$

Nilai normalisasi famili fungsi wavelet adalah  $\|\psi_{u,s}(t)\| = 1$ .

Hasil rekaman seismik yang terekam selama pengukuran berupa sinyal rekaman dalam tiga komponen arah (seismik 3C). Rekaman seismik 3C tersebut berupa data dalam domain waktu. Apabila  $\{e_1, e_2, e_3\}$  adalah vektor satuan untuk arah sensor seismometer tiga komponen arah  $\{\text{vertikal}(Z), \text{utara} - \text{selatan}(N), \text{timur} - \text{barat}(E)\}$ ,

maka resultan seimogram yang terekam dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\Pi(t) = Z(t)e_1 + N(t)e_2 + E(t)e_3 \quad (5)$$

Untuk menganalisis HVSR dari data seismik 3C dengan durasi pendek, dilakukan proses transformasi wavelet kontinyu. Transformasi wavelet kontinyu masing-masing komponen arah (*vertikal*( $Z$ ), *utara – selatan*( $N$ ), *timur – barat*( $E$ )) adalah:

$$\tilde{W}_{\Pi(t)}(u, \omega) = \tilde{Z}(u, \omega)\tilde{e}_1 + \tilde{N}(u, \omega)\tilde{e}_2 + \tilde{E}(u, \omega)\tilde{e}_3 \quad (6)$$

dimana;

$$\tilde{Z}(u, \omega) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} W_{Z(T)}(u, s)\tilde{\psi}(s\omega)e^{-i\omega u} \frac{ds}{s^{3/2}} \quad (7)$$

$$\tilde{N}(u, \omega) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} W_{N(T)}(u, s)\tilde{\psi}(s\omega)e^{-i\omega u} \frac{ds}{s^{3/2}} \quad (8)$$

$$\tilde{E}(u, \omega) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} W_{E(T)}(u, s)\tilde{\psi}(s\omega)e^{-i\omega u} \frac{ds}{s^{3/2}} \quad (9)$$

Adapun besarnya energi spektrum masing-masing komponen arah dalam kawasan waktu frekuensi adalah:

$$P_Z(u, \omega) = \left[ \tilde{Z}(u, \omega) \cdot \tilde{Z}^*(u, \omega) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$P_N(u, \omega) = \left[ \tilde{N}(u, \omega) \cdot \tilde{N}^*(u, \omega) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$$P_E(u, \omega) = \left[ \tilde{E}(u, \omega) \cdot \tilde{E}^*(u, \omega) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

Nilai HVSR hasil dari pengolahan menggunakan transformasi Wavelet dapat dinyatakan ;

$$\frac{H(u, \omega)}{V(u, \omega)} = \frac{\sqrt{[P_N(u, \omega)]^2 + [P_E(u, \omega)]^2}}{P_Z(u, \omega)} \quad (13)$$

Sedangkan nilai nilai HVSR hasil dari pengolahan menggunakan transformasi Wavelet dalam domain fekuensi;

$$\frac{H(\omega)}{V(\omega)} = \frac{\sqrt{[P_N(\omega)]^2 + [P_E(\omega)]^2}}{P_Z(\omega)} \quad (14)$$

dimana

$$P_Z(\omega) = \left[ \tilde{Z}(\omega) \cdot \tilde{Z}^*(\omega) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$P_N(\omega) = \left[ \tilde{N}(\omega) \cdot \tilde{N}^*(\omega) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

$$P_E(\omega) = \left[ \tilde{E}(\omega) \cdot \tilde{E}^*(\omega) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

dengan

$$\tilde{Z}(\omega) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_{Z(t)}(u, s) \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \exp(-i\omega t) \frac{ds}{s^2} \frac{du}{\sqrt{s}} dt \quad (18)$$

$$\tilde{N}(\omega) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_{N(t)}(u, s) \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \exp(-i\omega t) \frac{ds}{s^2} \frac{du}{\sqrt{s}} dt \quad (19)$$

$$\tilde{E}(\omega) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_{E(t)}(u, s) \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \exp(-i\omega t) \frac{ds}{s^2} \frac{du}{\sqrt{s}} dt \quad (20)$$

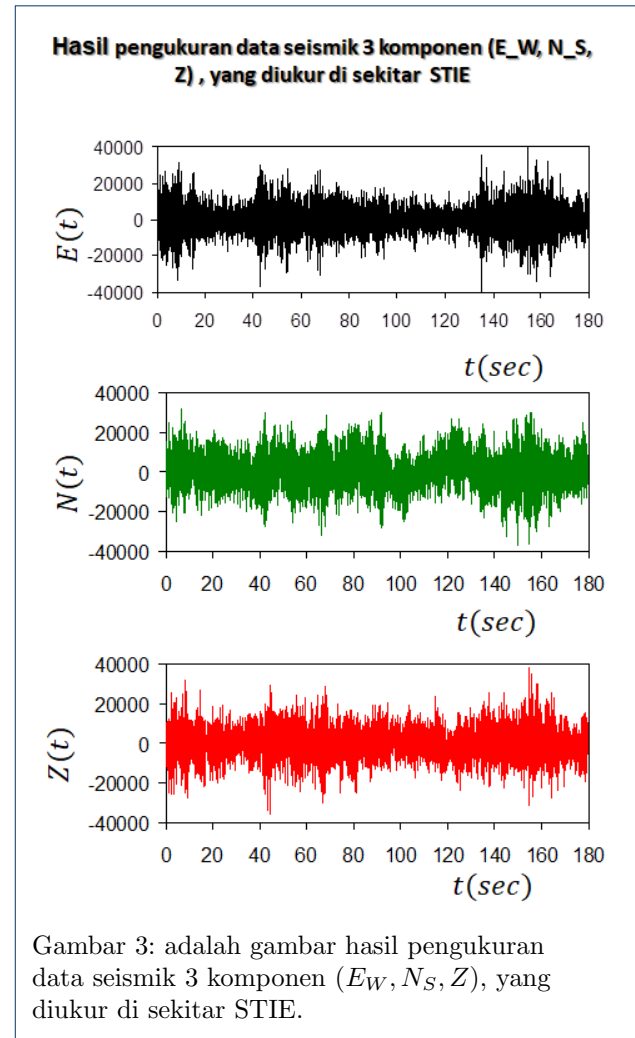
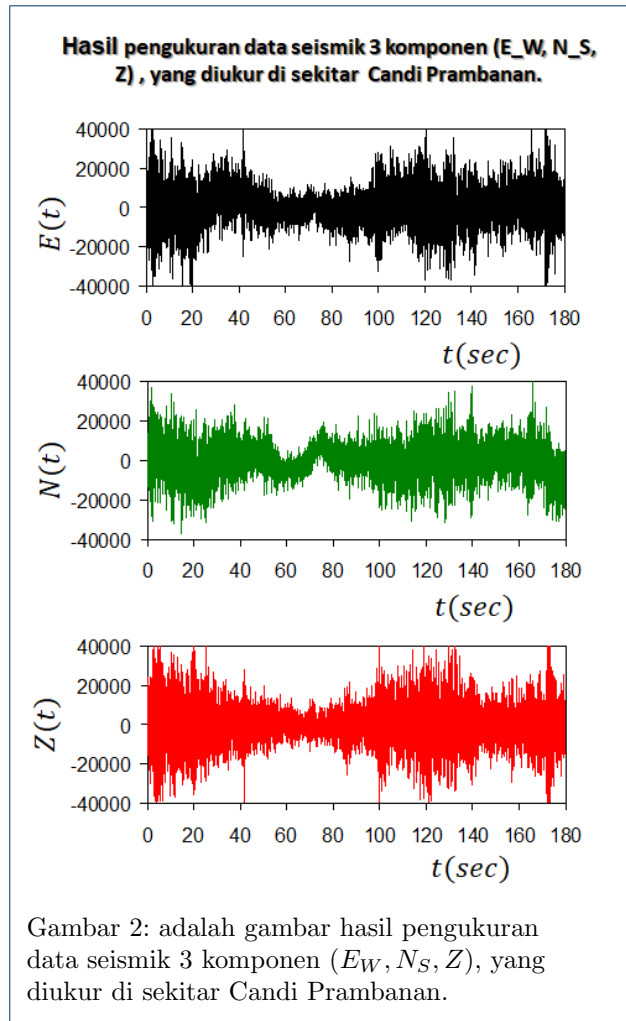
Metode penelitian mengikuti diagram alir sebagaimana Gambar 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal adalah studi literatur, dilanjutkan dengan pembuatan perangkat lunak HVSR-CWT-01. Setelah perangkat lunak selesai kemudian dipergunakan untuk memproses data seismik 3C hasil pengukuran seismik tiga komponen arah di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Nilai HVSR hasil dari pengolahan menggunakan perangkat lunak HVSR-CWT-01, kemudian dianalisis untuk mengetahui daerah kerentanan gempa di sekitar pusat gempa di daerah DIY.

Pembuatan program HVSR-CWT-01 dilakukan dalam OS WINDOWS dalam bahasa FORTRAN 77 dengan compiler FORCE-FORTRAN 2.1. Proses transformasi wavelet kontinyu dilakukan dengan menggunakan SUBROUTINE WAVE ( $n, x, dt, moth, par, s0, dj, jtot, np, wavex, scl, perr, coi$ ).

Data yang didapat dari proses akuisisi dalam studi pembuatan perangkat lunak HVSR-CWT-01. adalah data seismik 3 komponen ( $E_W, N_S, Z$ ) yang diukur di sekitar Candi Prambanan, STIE, Candi Plaosan, Gunung Ireng. Pengukuran dilakukan dengan



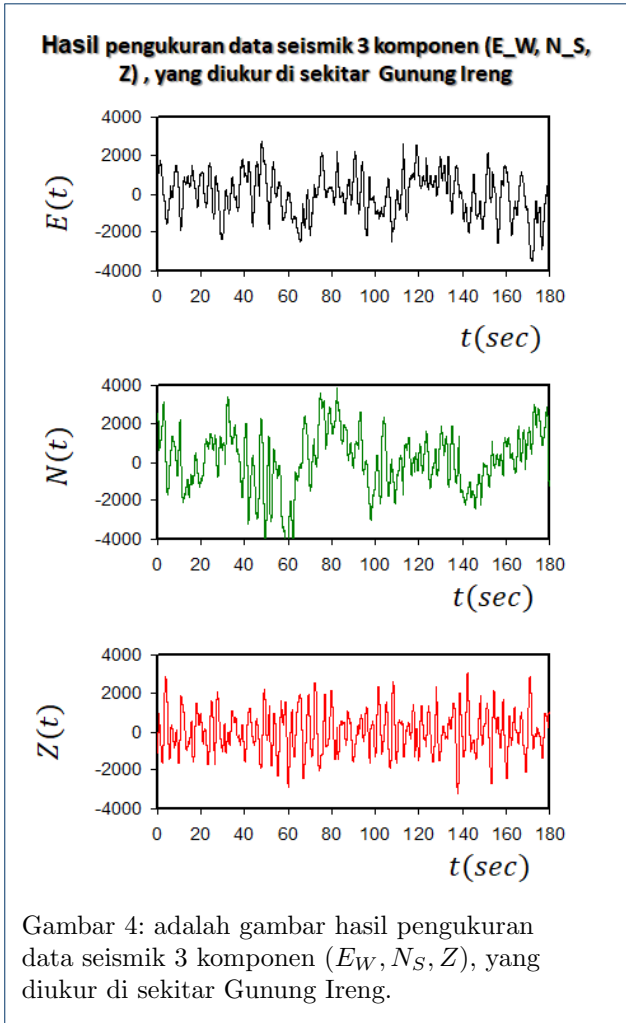
durasi perekaman masing-masing selama 90 menit. Alat yang digunakan adalah Seismometer Guralp CMG-40TD, dan menggunakan software Scream 4.5. Sampling pengukuran yang dipergunakan selama proses pengambilan data menggunakan sampling *frequency* 100 Hz. Tabel 1 adalah tabel yang menyatakan koordinat lokasi pengukuran data seismik 3C.

Gambar 2 sampai dengan Gambar 4 adalah tampilan hasil pengukuran data seismik 3 komponen ( $E_W, N_S, Z$ ), yang diukur di sekitar Candi Prambanan, STIE, Candi Plaosan, Gunung Ireng. Hasil pengukuran menunjukkan adanya getaran pergerakan tanah sebagai fungsi waktu yang terdeteksi dalam tiga komponen arah. Data terbagi menjadi 3 komponen arah yaitu komponen komponen horisontal  $E - W$  (timur-barat), komponen horisontal  $N - S$ , dan (utara-selatan vertikal ( $V$ )).

Proses transformasi wavelet data seismik 3 komponen ( $E_W, N_S, Z$ ) hasil pengukuran di tiga

lokasi tersebut, dilakukan menggunakan persamaan (7),(8) dan (9). Nilai HVSR dihitung menggunakan persamaan (14). Gambar 5 sampai dengan Gambar 7 adalah tampilan hasil nilai HVSR menggunakan transformasi wavelet dari hasil pengukuran data seismik 3 komponen ( $E_W, N_S, Z$ ), yang diukur di sekitar Candi Prambanan, STIE, Candi Plaosan, Gunung Ireng.

Hasil uji proses pengolahan nilai HVSR data seismik 3 komponen ( $E_W, N_S, Z$ ) hasil pengukuran di sekitar Candi Prambanan, STIE, dan Gunung Ireng menggunakan perangkat lunak HVSR-CWT-01, menunjukkan bahwa amplitudo spektrum HVSR terlihat tajam (signal to noise ratio tinggi). Nilai HVSR maximum pada rentang frekuensi antara 0.4 Hz s/d 2.0 Hz pengukuran di sekitar Candi Prambanan dan pengukuran di sekitar STIE, sedangkan pengukuran di sekitar Gunung Ireng mempunyai nilai HVSR rendah.

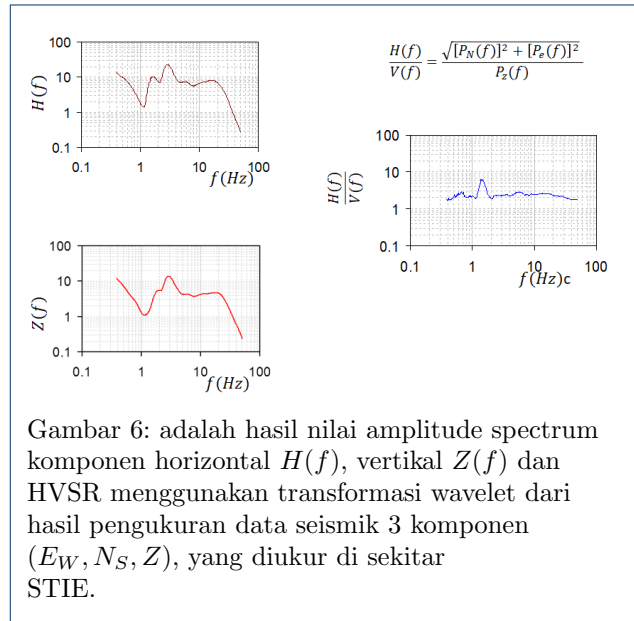
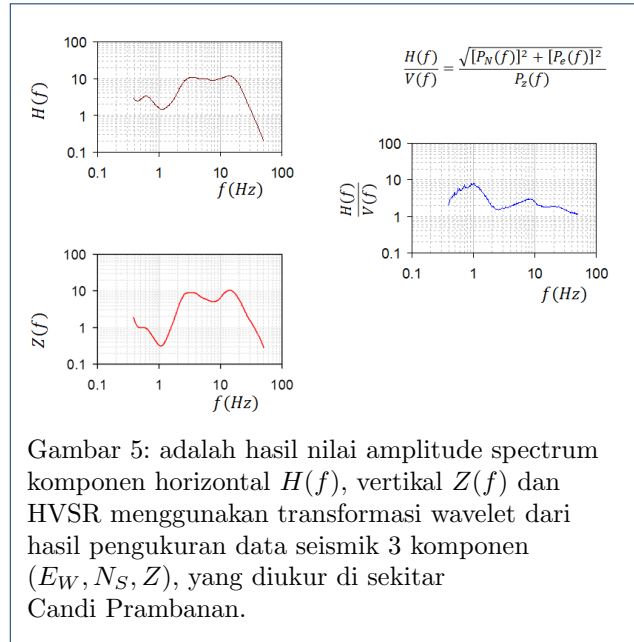


Nilai HVSR maximum pada rentang frekuensi antara 0.2 Hz s/d 4.0 Hz yang tinggi menunjukan kesesuaian dengan tingkat kerusakan pada saat terjadinya gempa bumi Yogyakarta pada tahun 2006. Lokasi dengan nilai HVSR maximum pada rentang frekuensi antara 0.2 Hz s/d 4.0 Hz yang paling tinggi adalah di sekitar Candi Prambanan kemudian di sekitar STIE dan yang paling rendah adalah di sekitar Gunung Ireng.

Rendahnya nilai HVSR maximum pada rentang frekuensi antara 0.2 Hz s/d 4.0 Hz ( $HVSR = 3.0$ ) di sekitar di sekitar Gunung Ireng, diduga karena lokasi di sekitar Gunung Ireng, berupa batuan yang keras. Untuk nilai HVSR maximum pada rentang frekuensi antara 0.2 Hz s/d 4.0 Hz sebesar 8.0 ( $HVSR = 8.0$ ) di sekitar Candi Prambanan dan STIE ( $HVSR = 6.0$ ), diduga karena lokasi di sekitar Candi Prambanan dan STIE berupa daerah dengan lapisan sedimen.

**KESIMPULAN**

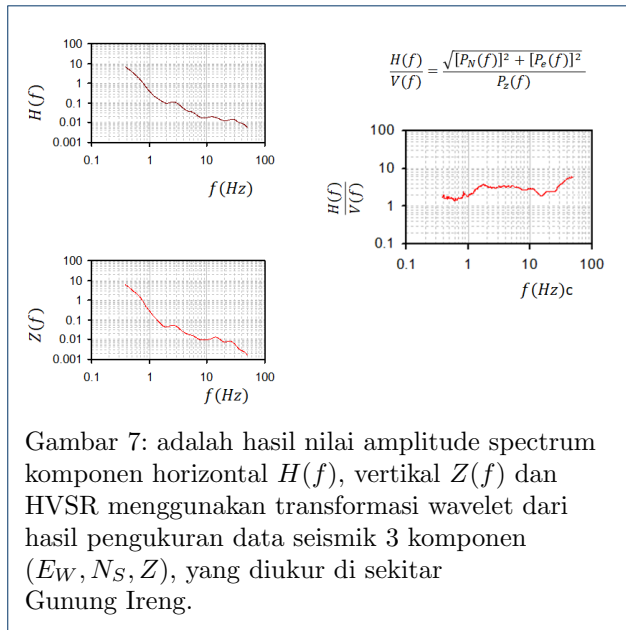
Kesimpulan hasil penelitian:



- 1 Perangkat lunak HVSR-CWT-01, dapat dipergunakan untuk menghitung nilai HVSR.
- 2 Hasil uji coba perangkat lunak STFT-GBT-01 pada data seismik 3 komponen ( $E_W, N_S, Z$ ) hasil pengukuran di sekitar Candi Prambanan, STIE, dan di sekitar Gunung Ireng, menunjukan bahwa amplitudo spektrum HVSR terlihat tajam (signal to noise ratio tinggi).

**PENULIS**

- 1 Budi Eka Nurcahya  
Dari :



Gambar 7: adalah hasil nilai amplitud spectrum komponen horizontal  $H(f)$ , vertikal  $Z(f)$  dan HVSR menggunakan transformasi wavelet dari hasil pengukuran data seismik 3 komponen ( $E_W, N_S, Z$ ), yang diukur di sekitar Gunung Ireg.

(1) Lab. Geofisika Departemen Fisika FMIPA UGM

#### Pustaka

1. Nurcahya BE, Kirbani SB, Brodscholl A. BB-Seismograms from Mt. Merapi show unique pattern in time frequency domain derived by the Continuous Wavelet Transformation (CWT). In: 63rd Gen. Assem. Dtsch. Geophys. Gesellschaft spring Meet. Arbeitsgemeinschaft Extraterrestische Forsch. Jena; 2003. .
2. Gasquet C, Witomski P. Fourier Analysis and Applications (Texts in Applied Mathematics). Springer Verlag; 1998.
3. Chui CK. An Introduction to Wavelets. Academic Press; 1992.