

# PERBANDINGAN METODE EEMD DAN EMD UNTUK MEREDUKSI NOISE PADA SINYAL SEISMIK

Arya Dwi Candra<sup>1)</sup>, Puput Eka Suryani<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe, Jln. Kampus Ronggolawe Blok B No. 1 Mentul, Cepu, Blora, Jawa Tengah, 58315 Indonesia

Email: aryadcandra@gmail.com/aryadwicandra@sttrcepu.ac.id

## Abstrak

Pencuplikan atau *picking* gelombang P merupakan kegiatan dasar yang harus dilakukan oleh para peneliti/seismologist untuk menganalisis sinyal gempa bumi. *Picking* gelombang P apabila tidak dilakukan dengan teliti, akan mengakibatkan proses analisis sinyal gempa menjadi tidak akurat. Sinyal gempa yang baik adalah sinyal yang bebas dari *noise*, baik *noise* instrument maupun *noise* lapangan. Gelombang gempa bumi merupakan sinyal gelombang tiga komponen yang sangat kompleks, sehingga diperlukan metode *filtering* yang dapat memfilter tiga komponen secara simultan. Metode *Ensemble Empirical Mode Decomposition* (EEMD) adalah suatu metode dekomposisi sinyal yang dapat diterapkan untuk mereduksi *noise*. Kelebihan EEMD adalah mampu mereduksi *noise* pada frekuensi tinggi dan rendah tanpa mengubah dari karakter sinyal, sehingga karakteristik sinyal tidak hilang.

**Kata kunci:** EMD, EEMD, *Noise*, Sinyal gempa.

## Abstract

*Picking is a basic activity that must be done by the researchers/seismologist to analyze earthquake signals. Picking the P wave, if not done carefully, will lead the analysis process seismic signals become inaccurate. A good seismic signal is a signal that is free from noise, both noise instrument and field noise. Earthquake waves are very complex three-component wave signals, requiring filtering method to filter the three components simultaneously. The Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD) method is a signal decomposition method that can be applied to reduce noise. The advantages of EEMD is to reduce noise at high and low frequencies without changing the signal character, so the signal characteristics are not lost.*

**Keywords:** EMD, EEMD, *Noise*, *Earthquake Signal*.

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan aktivitas seismik yang tinggi. Hal ini terjadi karena wilayah Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia dan lempeng Pasifik. Peningkatan aktivitas seismik di wilayah Indonesia merupakan salah satu sumber terjadinya bencana skala nasional, salah satunya adalah bencana gempa dan tsunami di Aceh pada tahun 2004. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak bencana gempa bumi dan tsunami adalah adanya penelitian komprehensif terkait gempa di Indonesia untuk memprediksi lokasi gempa dan tsunami di masa yang akan datang. Penelitian terkait dengan gempa bumi bukanlah perkara yang mudah untuk dilakukan, selain memerlukan biaya instrument penelitian yang mahal (pemasangan stasiun pengamat gempa), kompleksitas gelombang gempa bumi yang terjadi merupakan salah satu faktor penyebab kurangnya penelitian di bidang gempa bumi dan tsunami. Salah satu penyebab sulitnya melakukan penelitian terkait gempa bumi dan tsunami adalah karena sinyal gempa merupakan sinyal nonlinier dan nonstasioner yang sering terkontaminasi dengan *noise*

pada sinyal gempa sehingga menyulitkan peneliti/seismologist untuk menganalisis sinyal gempa tersebut.

Telah banyak metode yang dikembangkan untuk mereduksi *noise* pada sinyal gempa bumi, seperti (Crawford and Webb, 2000; Du et al., 2000, 2000; Eisenberg-Klein et al., 2008; Reading et al., 2001; Vaughan and Ayars, 2009; Zürn et al., 2007) namun masih belum ada metode *filtering* yang mampu mereduksi *noise* pada sinyal gempa secara cepat dan akurat. Sinyal gempa yang baik adalah sinyal yang bebas dari *noise*, baik *noise* dari instrument/alat pencatat gempa (seismogram) maupun *noise* lapangan. Salah satu prosedur paling umum dan banyak digunakan untuk menghilangkan *noise* adalah dengan melakukan *band pass filter* (Burghardt and Savin, 1993; Douglas, 1997), akan tetapi metode ini kurang tepat digunakan pada sinyal gempa karena metode ini hanya dapat memfilter satu komponen saja, sedangkan sinyal gempa merupakan sinyal tiga komponen. Gelombang gempa bumi merupakan sinyal gelombang tiga komponen yang sangat kompleks, sehingga diperlukan metode *filtering* yang dapat memfilter tiga komponen secara simultan. Metode *Ensemble Empirical*

*Mode Decomposition* (EEMD) merupakan salah satu metode dekomposisi sinyal yang dapat digunakan untuk mereduksi *noise*. Kelebihan metode EEMD adalah mampu mengatasi masalah *mode mixing* yang sering terjadi pada metode EMD, sehingga diharapkan dapat meningkatkan akurasi dalam mereduksi noise pada sinyal seismik.

## 2. Metode

### 2.1 Data Penelitian

#### A. Data Lapangan

Data yang digunakan merupakan data sinyal gempa bumi yang terjadi di wilayah sesar mentawai pada tanggal 25 oktober 2010 di rekam oleh stasiun RGR. Data sinyal gempa bumi diunduh dari stasiun pengamat gempa BMKG melalui webdc.eu.

#### B. Data Sintetik

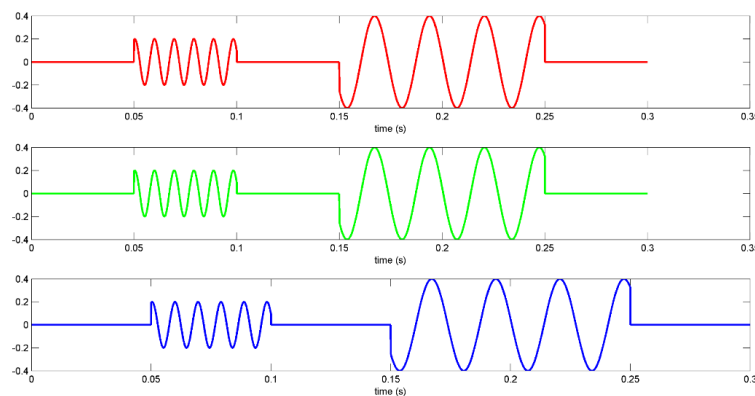
Sebelum diterapkan pada sinyal seismik, metode EMD dan EEMD diuji pada data sintetik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Data sintetik dihasilkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S = \begin{cases} 0.2 \times \sin(300\pi t) & ; \text{ when } 0.05 \leq t \leq 0.1 \\ 0.4 \times \sin(100\pi t) & ; \text{ when } 0.15 \leq t \leq 0.25 \\ 0 & ; \text{ other} \end{cases} \quad (2)$$

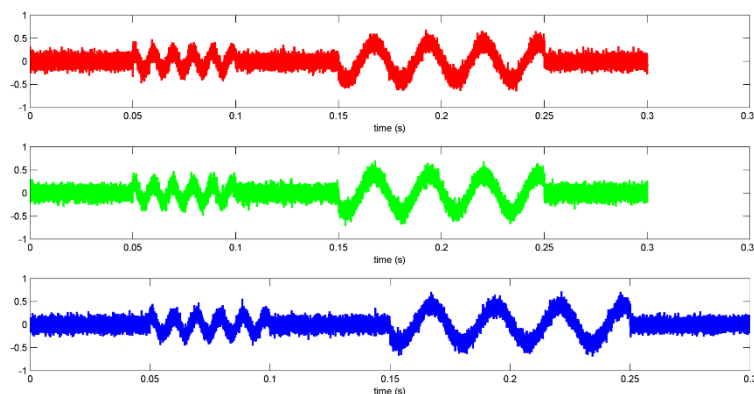
Penggunaan data sintetik memungkinkan untuk memvalidasi keakuratan metode yang digunakan. Jika hasil yang diperoleh baik, maka dapat dilanjutkan dengan menganalisis sinyal seismik yang sebenarnya. Metode yang diusulkan diuji untuk mengetahui stabilitas penanganan noise dengan menambahkan tingkat noise 10%, 15% dan 25% dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S_{rand}(t_i) = S(t_i) + k(randn(i))S(t_i) \quad (3)$$

Dimana  $S_{rand}(t_i)$  sinyal seismic yang terkontaminasi noise,  $S(t_i)$  adalah sinyal seismik, dan  $k$  adalah tingkat noise, dan  $randn(i)$  adalah nilai random normal dengan rentang (0,1). Nilai interval random normal nilai batas, 0 and 1. Hasil dari sinyal seismic yang terkontaminasi oleh noise disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Sinyal Seismik tiga komponen. Dari atas ke bawah masing-masing adalah, komponen N, komponen E, dan komponen Z.



Gambar 2. Sinyal seismik sintetik dengan tambahan noise sebesar 25%.

## 2.2 Metode *Empirical Mode Decomposition* (EMD)

EMD adalah metode adaptif untuk menganalisis sinyal nyata multi skala non linear dan non-stasioner (Huang et al., 1998). Tujuan pertama dari algoritma ini adalah untuk menguraikan sinyal univariat. EMD mengurai data ke dalam jumlah mode osilasi orthogonal terbatas sederhana yang disebut *Intrinsic Modus Function* (IMF) yang memenuhi dua kondisi: (1) jumlah ekstrem dan jumlah *zero crossing* harus sama atau berbeda salah satunya dan (2) nilai rata-rata dari maxima lokal (envelope atas) dan minimum lokal (envelop yang lebih rendah) adalah nol di setiap tempat. Algoritma EMD menguraikan sinyal asli menjadi IMF dan residu. Untuk sinyal nyata  $x(t)$ , EMD standar memperkirakan satu set N IMF's  $\{c_i(t)\}_{i=1}^N$  dan sinyal residu monoton  $r(t)$ , sehingga

$$x(t) = \sum_{i=1}^N c_i(t) + r(t) \quad (1)$$

The EMD sangat adaptif dan dapat sangat memuaskan dalam menggambarkan karakteristik waktu-frekuensi sinyal. Algoritma EMD menggunakan proses iterasi untuk memperoleh IMF's. Proses berulang yang disebut proses penyaringan digunakan. Misalnya, proses pengayakan untuk memperoleh IMF pertama dari sinyal  $x_0(t)$  termasuk langkah-langkah berikut (Huang et al., 1998):

- 1) Memperkirakan semua minima lokal dan maxima lokal  $x_0(t)$ .
- 2) Interpolasi semua minima lokal untuk mendapatkan envelope sinyal yang lebih rendah dan kemudian interpolasi semua maxima lokal untuk memperkirakan envelope sinyal atas.
- 3) Menghitung fungsi rata-rata antara envelope atas dan bawah  $m(t)$ .
- 4) Mengekstrak jumlah rata-rata dari sinyal untuk mendapatkan "mode osilasi"  $s(t) = x(t) - m(t)$ .
- 5) Jika  $s(t)$  mematuhi kriteria maka berhenti, sehingga kita mendefinisikan  $d(t) = s(t)$  sebagai IMF, jika tidak atur  $x'(t) = s(t)$  dan mengulangi proses dari langkah 1.

Setelah IMF pertama diperkirakan, langkah yang sama diterapkan secara iteratif pada residual untuk mendapatkan sisa IMF. Proses penyaringan akan berhenti setelah standar kriteria berhenti terpenuhi (Huang et al., 2003; Rilling and Fl, 2003).

## 2.3 Metode *Ensemble Empirical Mode Decomposition* (EEMD)

Mode mixing merupakan kelemahan EMD yang paling signifikan, yang menyiratkan satu IMF tunggal yang terdiri dari sinyal skala yang berbeda atau sinyal skala serupa yang muncul di berbagai komponen IMF,

dan biasanya menyebabkan intermittency untuk menganalisis sinyal. Data seismik hampir selalu mengandung beberapa noise atau random gap. Jika penguraian tersebut tidak sensitif terhadap suara tambahan amplitudo kecil tapi tipis dan hanya memiliki sedikit perubahan kuantitatif dan kualitatif, dekomposisi pada umumnya dianggap stabil dan memenuhi keunikan fisik; Jika tidak, dekomposisi tidak stabil dan tidak memenuhi keunikan fisik (Wu dan Huang, 2009; Wang et al., 2007). Secara umum, EMD tidak memenuhi persyaratan ini karena dekomposisi didasarkan hanya pada distribusi ekstrem. Untuk menganalisis sinyal seismik yang lebih akurat, adalah wajib untuk menghilangkan mode mixing.

Untuk mengatasi kekurangan masalah mode mixing yang ada di EMD, sebuah tes intermiten diajukan secara subjektif (Huang et al., 1996), namun pengaruhnya tidak diantisipasi. Kemudian Wu dan Huang (Wu and Huang, 2009) mengusulkan sebuah Ensemble EMD (EEMD), sebuah metode analisis baru dengan bantuan noise, untuk menghilangkan fenomena mode mixing dan mendapatkan distribusi frekuensi sebenarnya dari sinyal asli. Prinsip sederhana EEMD yaitu: menambahkan white noise ke data, kemudian mendistribusikan secara merata ke seluruh ruang frekuensi, sinyal bit dari skala yang berbeda dapat dirancang secara otomatis ke skala referensi yang tepat yang ditentukan oleh white noise. Algoritma ini sangat mudah seperti yang dijelaskan di bawah ini:

1. Tambahkan white noise ke sinyal asli.
2. Dekomposisi sinyal dengan menambahkan white noise ke IMF menggunakan EMD.
3. Ulangi langkah (1) dan (2) lagi dan lagi tapi dengan seri white noise yang berbeda setiap saat.
4. Hitung komponen IMF yang sesuai dari dekomposisi.
5. Gunakan alat ensemble yang sesuai dengan IMF dari dekomposisi sebagai hasil akhir.
6. Gunakan alat ensemble yang sesuai dengan komponen residu dari dekomposisi sebagai hasil akhir.

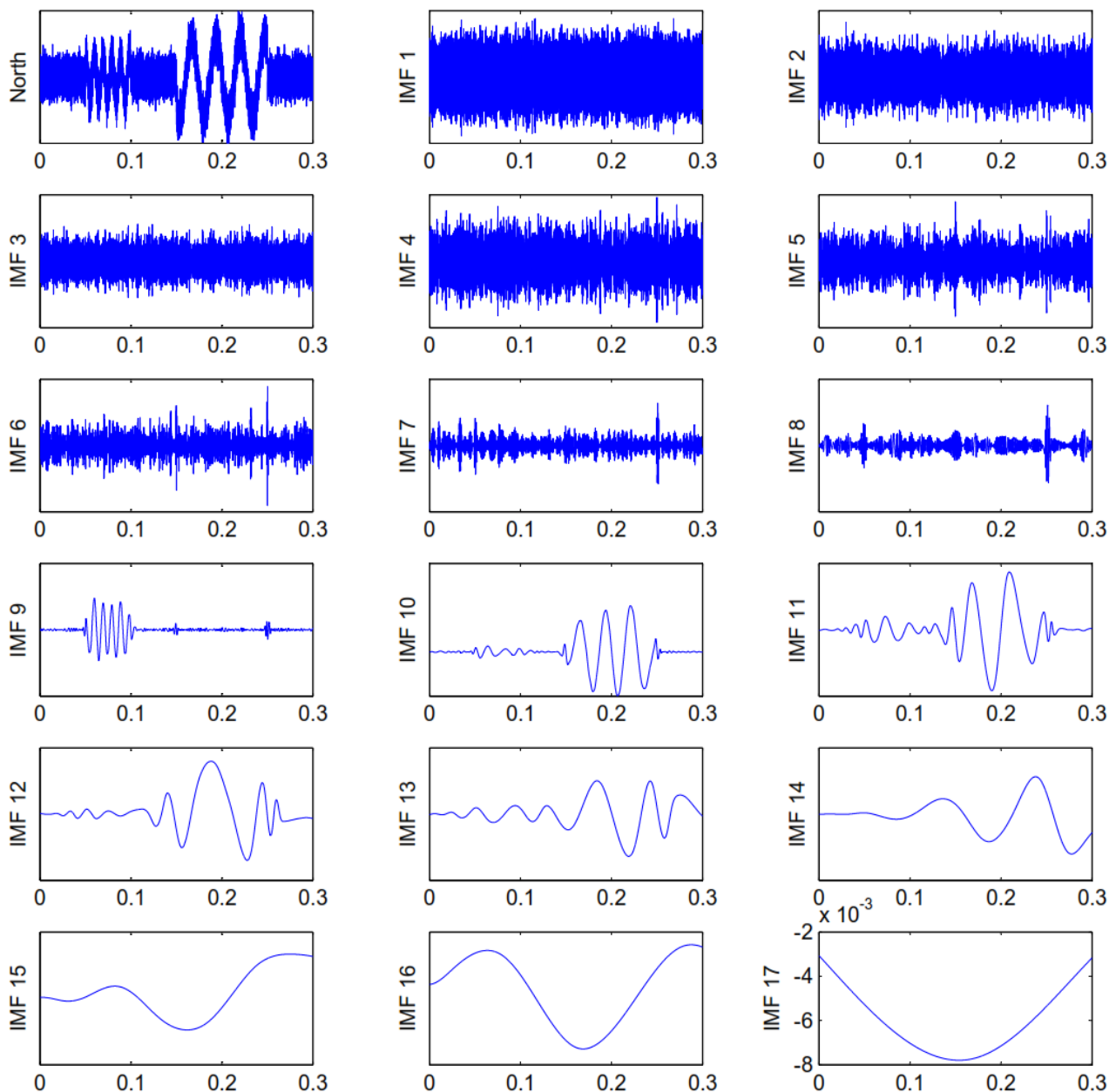
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Data Sintetik

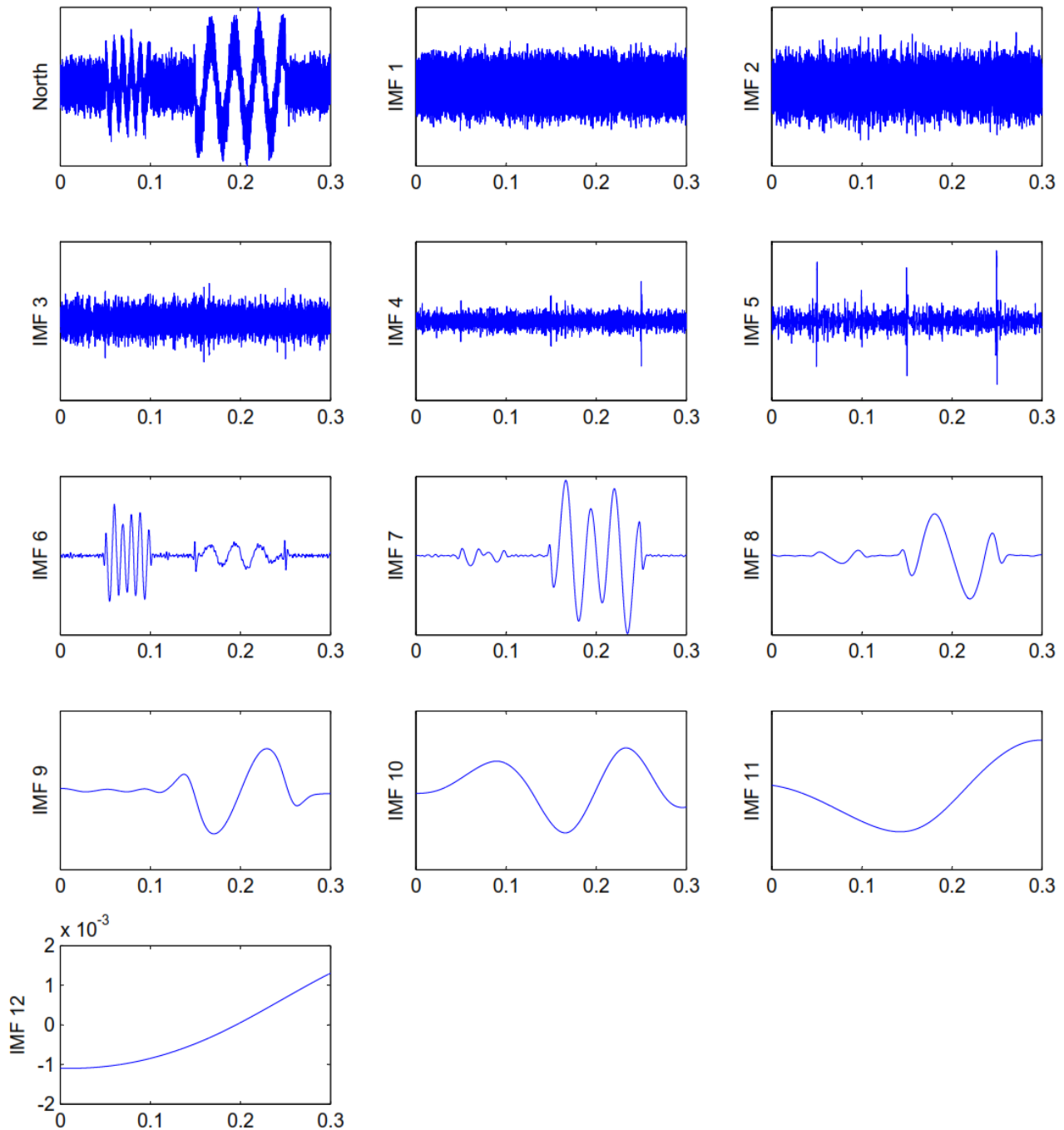
Data sintetik dari sinyal seismik telah dihasilkan dengan menggunakan sinyal sinusoidal dengan menambahkan noise masing-masing 10%, 15%, dan 25%. Tujuan penambahan random noise adalah untuk menghasilkan data yang sangat mirip dengan data lapangan. Metode EEMD dan EMD menguraikan sinyal seismik menjadi sejumlah komponen yang secara intrinsik beresilasi atau disebut *Intrinsic Mode Functions* (IMF). Setiap komponen pada IMF memiliki frekuensi yang berbeda. Dekomposisi ini memiliki

asumsi bahwa setiap data terdiri dari berbagai model osilasi intrinsik. Setiap mode intrinsik (linier atau non linier) adalah osilasi yang akan memiliki jumlah ekstrem yang sama simetris terhadap nilai rata-rata lokal (Wu and Huang, 2009). Contoh sinyal seismik yang terurai menggunakan metode EMD untuk mendapatkan IMF ditunjukkan pada Gambar 3. Sedangkan untuk metode EEMD ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 3 dan 4, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan frekuensi pada masing-masing IMF. Terdapat masalah mode mixing yang nyata pada metode EMD di IMF 9, 10 dan 11 (Gambar 3). Sedangkan pada IMF yang diperoleh dengan menguraikan sinyal dengan menggunakan EEMD menunjukkan bahwa fenomena mixing mode dapat dikurangi.



Gambar 3. Hasil penguraian sinyal seismic yang ditunjukkan pada Gambar 2 menjadi beberapa IMF menggunakan metode EEMD.



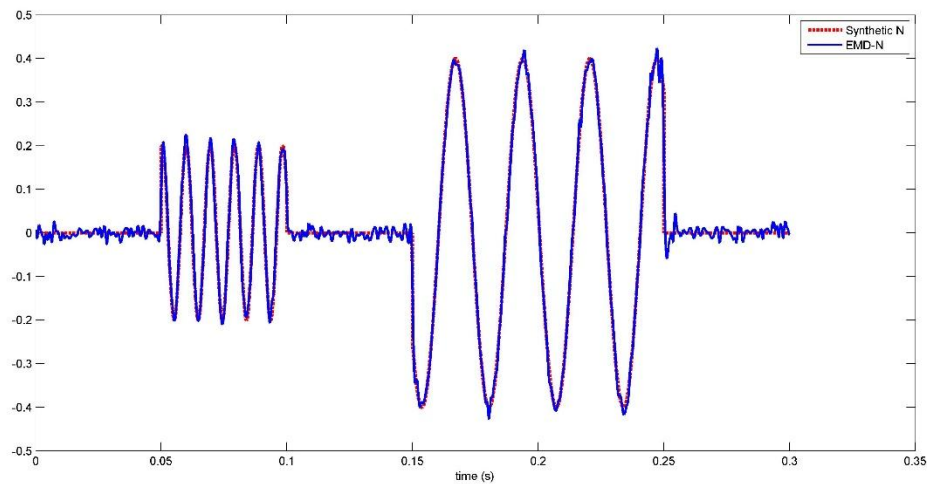
Gambar 4. Hasil penguraian sinyal seismic yang ditunjukkan pada Gambar 2 menjadi beberapa IMF menggunakan metode EEMD.

Untuk mendapatkan hasil yang baik dari sinyal seismic, kita harus menyeleksi dimana IMF yang baik dan menghilangkan noise dan residu. Setelah mengidentifikasi IMF yang baik, maka langkah selanjutnya adalah merestrukturisasi IMF terpilih

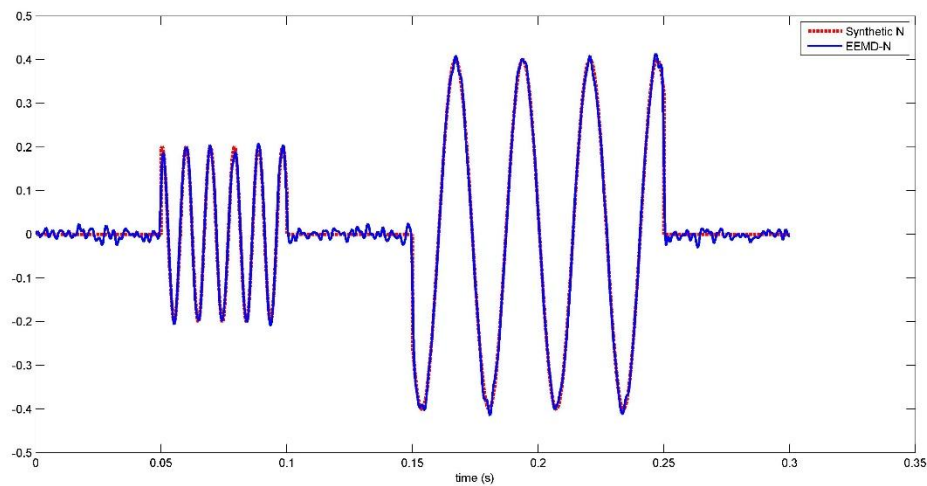
seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil analisis menggunakan metode EEMD dan EMD dengan penambahan noise 10%, 15%, dan 25% ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perhitungan nilai error pada data sintetik

Noise Level (%)	Error (%)	
	EMD	EEMD
10	1,38	0,56
15	1,73	0,59
25	1,87	0,77
Rata-Rata	1,66	0,64



(a)



(b)

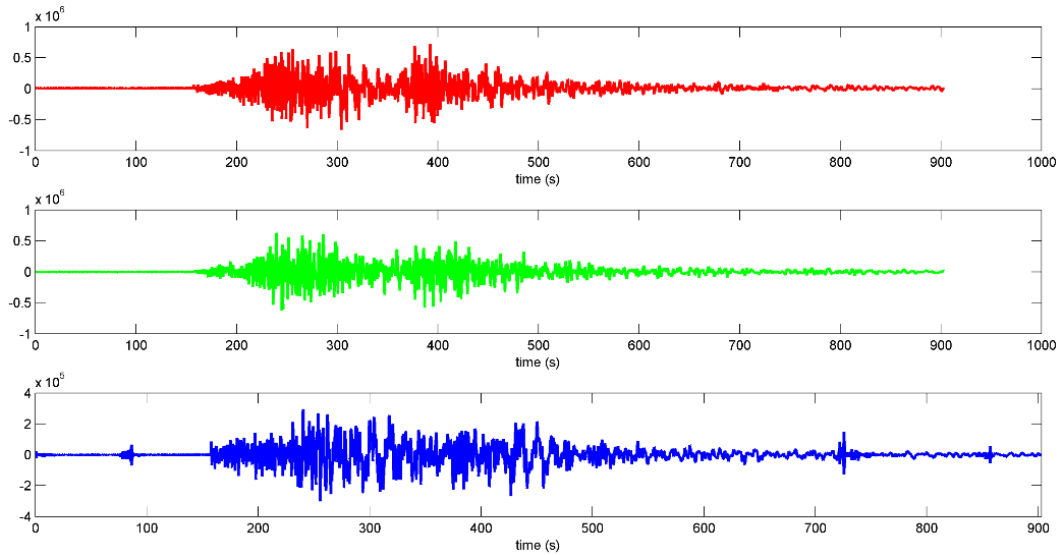
Gambar 5. Fitting kurva hasil analisis seismogram sintetis dengan noise 25% setelah pemilihan IMF (a) menggunakan metode EMD dan (b) menggunakan metode EEMD.

Berdasarkan Tabel 1, perhitungan nilai error dari metode EEMD adalah 1,66% sedangkan untuk metode EMD adalah 0,64%. Persentase nilai error pada metode EEMD dan EMD kurang dari nilai noise yang ditambahkan. Demikian pula hasil fitting kurva dari data sintetis menggunakan metode EEMD menunjukkan hasil lebih baik daripada metode EMD. Hal ini menunjukkan bahwa metode EEMD sangat efektif dan efisien untuk mengurangi kebisingan pada sinyal seismik daripada metode EMD.

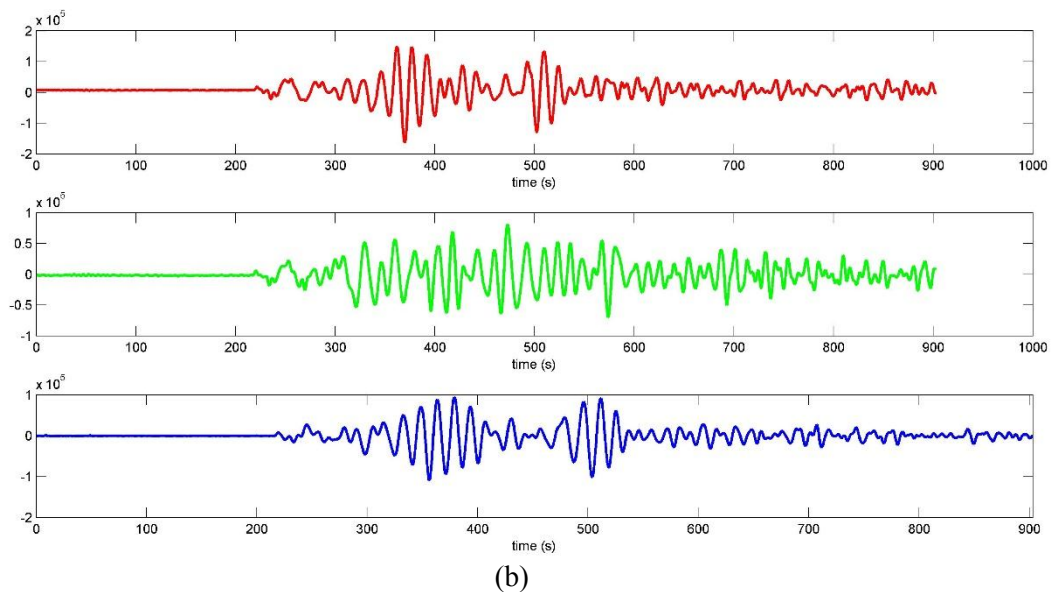
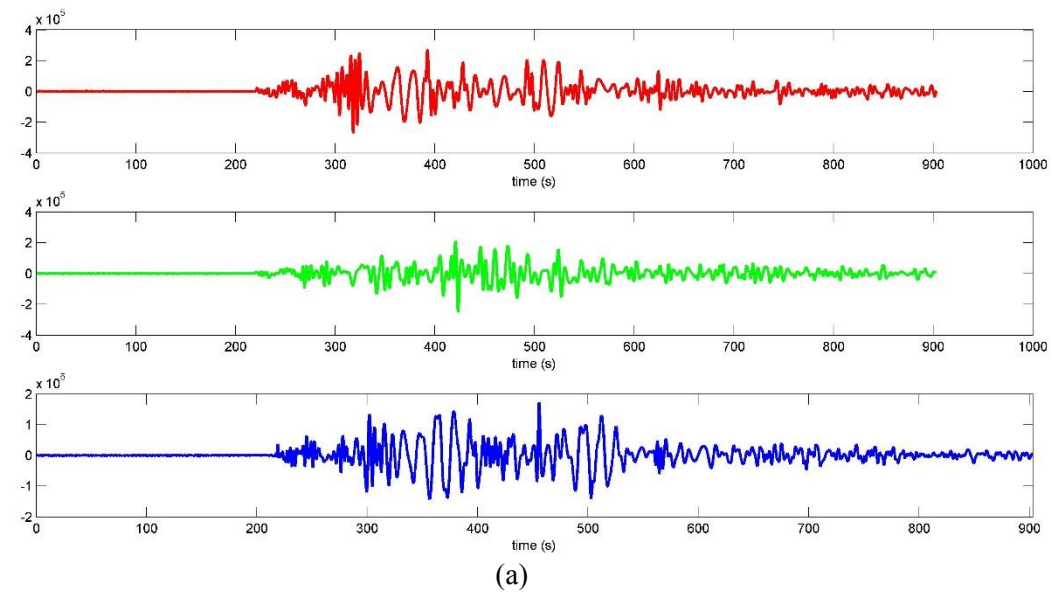
### 3.2 Data Lapangan

Untuk memvalidasi keakuratannya, metode EEMD dan EMD diterapkan pada sinyal seismik tiga komponen. Sinyal seismik yang diperoleh dari gempa

terjadi di Sumatera Barat pada tanggal 25 Oktober 2010, dengan skala 6,3 Mw yang direkam oleh stasiun RGRI (jaringan BMKG IA) ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa sinyal seismik terkontaminasi noise. Kemudian metode EEMD dan EMD diterapkan untuk mengurangi noise dari sinyal seismik, seperti disajikan pada Gambar 7. Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode EMD dan EEMD, dapat dilihat bahwa hasil reduksi noise menggunakan metode EEMD menunjukkan hasil yang lebih bagus daripada dengan metode EMD. Hal ini menunjukkan bahwa metode EEMD merupakan metode yang akurat dan efisien untuk mereduksi noise pada sinyal seismik. Berdasarkan Gambar 8, fase gelombang P dan S dapat diidentifikasi dengan sangat mudah karena noise pada sinyal seismik telah dihilangkan.



Gambar 6. Sinyal gempa Mentawai, 25 Oktober 2010 yang direkam oleh stasiun RGRI.



Gambar 7. Hasil analisis reduksi noise pada sinyal seismik (Gambar 6). (a) menggunakan metode EMD dan (b) menggunakan metode EEMD.

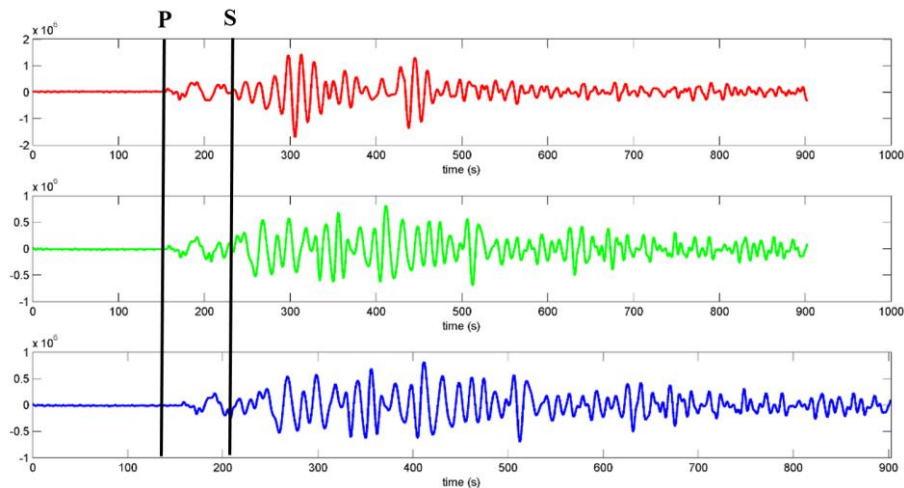


Figure 8. Hasil picking fase gelombang P dan S pada sinyal seismic setelah mereduksi noise dengan metode EEMD.

#### 4. SIMPULAN

Metode filtering baru berdasarkan konsep dekomposisi sinyal telah dikembangkan untuk mereduksi noise pada sinyal seismik. Metode yang diusulkan divalidasi dengan sangat baik menggunakan data sintesis dengan berbagai level noise acak. Validitas metode ini diuji dan terbukti pada analisa reduksi noise pada sinyal seismik tiga komponen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode EEMD lebih baik daripada metode EMD. Metode EEMD dapat mengurangi noise dari sinyal seismik tiga komponen dengan sangat baik. Metode EEMD bekerja sangat baik untuk mereduksi noise, baik pada data sintesis maupun data lapangan. Oleh karena itu, metode EEMD dapat direkomendasikan metode reduksi noise pada sinyal seismik untuk membantu menentukan fase tiba gelombang P dan S.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada KEMENRISTEK DIKTI melalui DRPM yang telah memberikan bantuan dana Penelitian Dosen Pemula dengan No. 04/SP/P3M/STTR/IV/2017. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

Burghardt, T., Savin, I., 1993. Analysis and Interpretation of Digital Seismograms Influence of the bandpass filtering and model order on the autoregressive seismic detection in the real-

time domain. *Comput. Geosci.* 19, 111–115. doi:10.1016/0098-3004(93)90107-G

Crawford, W.C., Webb, S.C., 2000. Identifying and Removing Tilt Noise from Low-Frequency (<0.1 Hz) Seafloor Vertical Seismic Data. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 90, 952–963. doi:10.1785/0119990121

Douglas, A., 1997. Bandpass filtering to reduce noise on seismograms: Is there a better way? *Bull. Seismol. Soc. Am.* 87, 770–777.

Du, Z., Foulger, G.R., Mao, W., 2000. Noise reduction for broad-band, three-component seismograms using data-adaptive polarization filters. *Geophys. J. Int.* 141, 820–828. doi:10.1046/j.1365-246x.2000.00156.x

Eisenberg-Klein, G., Pruessmann, J., Gierse, G., Trappe, H., 2008. Noise reduction in 2D and 3D seismic imaging by the CRS method. *Lead. Edge* 27, 258–265. doi:10.1190/1.2840375

Huang, N.E., Long, S.R., Shen, Z., 1996. The Mechanism for Frequency Downshift in Nonlinear Wave Evolution, in: Hutchinson, J.W., Wu, T.Y. (Eds.), *Advances in Applied Mechanics*. Elsevier, p. 59–117C. doi:10.1016/S0065-2156(08)70076-0

Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.C., Shih, H.H., Zheng, Q., Yen, N.-C., Tung, C.C., Liu, H.H., 1998. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proc. R. Soc. Lond. Math. Phys. Eng. Sci.* 454, 903–995. doi:10.1098/rspa.1998.0193

Huang, N.E., Wu, M.-L.C., Long, S.R., Shen, S.S.P., Qu, W., Gloersen, P., Fan, K.L., 2003. A confidence limit for the empirical mode decomposition and Hilbert spectral analysis.



- Proc. R. Soc. Lond. Math. Phys. Eng. Sci. 459, 2317–2345. doi:10.1098/rspa.2003.1123
- Reading, A.M., Mao, W., Gubbins, D., 2001. Polarization filtering for automatic picking of seismic data and improved converted phase detection. *Geophys. J. Int.* 147, 227–234. doi:10.1046/j.1365-246X.2001.00501.x
- Rilling, G., Fl, P., 2003. On empirical mode decomposition and its algorithms, in: *IEEEURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing NSIP-03*.
- Vaughan, P.J., Ayars, J.E., 2009. Noise Reduction Methods for Weighing Lysimeters. *J. Irrig. Drain. Eng.* 135, 235–240. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2009)135:2(235)
- Wu, Z., Huang, N.E., 2009. Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method. *Adv. Adapt. Data Anal.* 01, 1–41. doi:10.1142/S1793536909000047
- Zürn, W., Exß, J., Steffen, H., Kroner, C., Jahr, T., Westerhaus, M., 2007. On reduction of long-period horizontal seismic noise using local barometric pressure. *Geophys. J. Int.* 171, 780–796. doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03553.x