

KARAKTERISTIK MIKROTREMOR DI PERMUKAAN SUNGAI BAWAH TANAH BRIBIN, KAWASAN KARST GUNUNG SEWU, BERDASARKAN ANALISIS SPEKTRUM, ANALISIS KURVA *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR)*, DAN *TIME FREQUENCY ANALYSIS (TFA)*

MICROTREMOR CHARACTERISTICS ON THE SURFACE OF BRIBIN UNDERGROUND RIVER, GUNUNG SEWU KARST AREA, BASED ON SPECTRAL ANALYSIS, ANALYSIS OF HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR) CURVE, AND TIME FREQUENCY ANALYSIS (TFA)

Oleh: Kholis Nurhanafi¹⁾, Nugroho Budi Wibowo²⁾, dan Yosaphat Sumardi³⁾

1) Mahasiswa Jurdik Fisika FMIPA UNY

2) BMKG, Stasiun Geofisika, Yogyakarta

3) Dosen Jurdik Fisika FMIPA UNY

kholis.nh@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dan mengetahui karakteristik mikrotremor di sekitar permukaan dan daerah yang dilalui jalur Sungai Bawah Tanah Bribin. Dipilih lima belas titik prediksi jalur Sungai Bawah Tanah Bribin untuk dilakukan pengukuran mikrotremor menggunakan seperangkat *Digital Portable Seismograph*. Hasil pengukuran tersimpan dalam tiga komponen gelombang dan dianalisis dengan algoritma *Fast Fourier Transform (FFT)*, serta dilakukan *smoothing* Konno-Ohmachi. Selanjutnya data diolah dengan teknik *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)* dan *Time Frequency Analysis (TFA)*. Hasil penelitian ini adalah karakter mikrotremor di wilayah permukaan Sungai Bawah Tanah Bribin meliputi nilai frekuensi pada *peak* spektrum Fourier sinyal mikrotremor adalah 0,44-0,78 Hz untuk komponen horizontal EW, 0,29-0,78 Hz untuk komponen horizontal NS, dan 0,43-0,78 Hz untuk komponen vertikal. Nilai frekuensi pada *peak* kurva HVSR antara 1,0-15,5 Hz. Berdasarkan kurva TFA mikrotremor komponen vertikal, wilayah penelitian dikelompokkan menjadi dua zona, serta tidak ada nilai khusus yang mencerminkan berkembangnya jalur Sungai Bawah Tanah Bribin di wilayah penelitian berdasarkan karakteristik nilai frekuensi pada *peak* spektrum Fourier tiap komponen mikrotremor. Daerah yang dilalui jalur Sungai Bawah Tanah Bribin berada pada nilai 5,5-15,5 Hz berdasarkan analisis kurva HVSR, dan mayoritas berada pada zona II yang berdasarkan karakter kurva TFA mikrotremor komponen vertikal.

Kata-kata kunci: Karakteristik Mikrotremor, Sungai Bawah Tanah Bribin

Abstract

This research aimed to determine microtremor characteristics in the area pass by Bribin Underground River and around its surface. Microtremor measured on fifteen points on Bribin Underground Research line using Digital Portable Seismograph tools. The result of measurement recorded by three waves component and analyzed by Fast Fourier Transform (FFT) algorithm, and Konno-Ohmachi smoothing. Then, data were analyzed with Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) and Time Frequency Analysis (TFA). The results of this research were microtremor characteristics on the surface of Bribin Underground River was determined by frequency at Fourier spectral peak of microtremor signal, these values were 0,44-0,78 Hz for EW horizontal component, 0,29-0,78 Hz for NS horizontal component, and 0,43-0,78 Hz for vertical component. Frequency of HVSR curve peak was between 1,0-15,5 Hz. Based on microtremor TFA curve of vertical component, research area was classified into two zones, and there was no specific value which show (berkembangnya) Bribin Underground River line at research area based on frequency characteristics of Fourier spectral peak each microtremor component. The area (yang dilalui) Bribin Underground River was at 5,5-15,5 Hz based on HVSR curve analysis, and most was at zone II due to microtremor TFA curve characteristics of vertical component.

Keywords: Microtremor Characteristics, Bribin Underground River

PENDAHULUAN

Salah satu bentukan permukaan bumi yang merupakan akibat dari adanya tenaga endogen dan

eksogen adalah wilayah karst. Karst adalah suatu bentang alam yang khas dari muka bumi maupun bawah permukaan, yang terutama dibentuk oleh

pelarutan dan pengendapan batuan karbonat oleh aliran air tanah (Maryanto, 2006). Ford dan Williams (1992) mengartikan istilah karst sebagai medan dengan kondisi hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut (*soluble rock*) dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik. Sebagai akibatnya, kawasan karst dicirikan dengan minimnya sungai permukaan dan berkembangnya jalur-jalur sungai bawah permukaan (sungai bawah tanah).

Salah satu bentangan karst yang ada di Indonesia adalah Kawasan Karst Gunung Sewu. Sebagian besar Kawasan Karst Gunung Sewu ini termasuk dalam wilayah Kabupaten Gunungkidul, dan bagian-bagian kecil yang lain tersebar dalam wilayah Kabupaten Bantul, Kabupaten Wonogiri, dan Kabupaten Pacitan. (ESDM, 2014). Berdasarkan pendataan yang dilakukan oleh MacDonalds dan Partners (1984), terungkap bahwa pada kawasan Karst Gunung Sewu terdapat beberapa sungai bawah tanah dengan debit yang besar dan melimpah, diantaranya Sungai Bawah Tanah Bribin dengan debit 1500 liter/detik.

Berdasarkan permasalahan kurangnya pemenuhan kebutuhan air bersih bagi masyarakat Kabupaten Gunungkidul dan sekitarnya, perlu diwujudkan adanya pemanfaatan terhadap potensi sumber air sungai bawah tanah yang ada di wilayah tersebut. Namun pengelolaan sumber air yang berasal dari sungai bawah tanah tidak dapat dilakukan jika tidak didukung oleh data persebaran lokasi dan jalur aliran sistem sungai bawah tanah yang baik. Oleh karena itu kajian dan penelitian dalam hal identifikasi lokasi dan pemetaan jalur sungai bawah tanah menjadi sesuatu yang penting.

Penelitian ini merupakan penerapan salah satu metode yang biasa digunakan dalam ilmu geofisika, yaitu survei mikrotremor. Metode ini diterapkan dalam hal pengidentifikasian jalur sistem sungai bawah tanah pada kawasan karst. Mikrotremor didefinisikan oleh Tokimatsu (2004) sebagai getaran tanah dengan amplitudo mikrometer yang dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam maupun buatan, seperti angin, gelombang laut, dan getaran kendaraan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah.

Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) adalah metode yang didasarkan pada asumsi bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan. Hal itu juga menunjukkan bahwa karakteristik dinamis lapisan permukaan secara kasar bisa dipahami pada titik yang diobservasi, jika pengamatan bentuk gelombang *seismic tremor* dilakukan pada tiga komponen, yaitu dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal (Nakamura, 1989).

Survei mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi gelombangnya (A). Secara teoretis besarnya frekuensi getaran tanah atau batuan merupakan cerminan fisik tanah atau batuan tersebut. Tanah atau batuan yang lunak dan lepas akan memiliki frekuensi yang rendah (Marjiono et al, 2007).

Dalam pengolahan sinyal, *Time-Frequency Analysis* (TFA) meninjau sinyal dalam domain waktu dan frekuensi secara serentak. Daripada meninjau sinyal dalam tampilan satu dimensi dalam domain waktu atau dalam hasil

transformasinya, melalui TFA dapat dikaji sinyal secara dua dimensi yang berdomain bidang 2 dimensi dengan nilai real yang diperoleh melalui *Time-Frequency Transform* (Cohen, 1995).

Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik mikrotremor di sekitar permukaan Sungai Bawah Tanah Bribin berdasarkan frekuensi pada peak amplitudo spektrum fourier, nilai frekuensi pada peak kurva HVSR, dan karakteristik kurva TFA untuk sinyal komponen vertikal, serta melakukan interpretasi terkait jalur sistem Sungai Bawah Tanah Bribin berdasarkan karakteristik mikrotremor di sekitar permukaan sungai bawah tanah tersebut.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data mikrotremor pada penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 11-12 April 2015 dari pukul 07.00-17.00 WIB. Pengambilan data mikrotremor dilakukan di 15 titik di wilayah permukaan di atas Sungai Bawah Tanah Bribin, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul dengan koordinat geografis 8,0337° LS–8,0402° LS dan 110,6755° BT–110.6820° BT.

Instrumen Penelitian

Instrumen-instrumen yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Perangkat lunak: *Google Earth Global Mapper 13*, *MATLAB R2010a*, *Geopsy*, *Surfer 12* dan *Microsoft Excel 2013*,
2. Perangkat keras: hasil belajar peserta didik yang meliputi penguasaan materi, kemampuan psikomotor dan kerjasama peserta didik *Digitizer* tipe TDL-303S, Seismometer

tipe TDV-23S, GPS, *Digital Portable Seismograph*, kompas, laptop, dan kabel penghubung.

Teknik Pengambilan Data

Tahapan yang dilakukan sebelum proses pengambilan data mikrotremor secara langsung adalah pembuatan desain survei untuk menentukan 15 titik lokasi pengambilan data mikrotremor di sekitar permukaan Sungai Bawah Tanah Bribin. Data mikrotremor yang terekam memiliki *sampling* frekuensi sebesar 100 Hz. Data hasil pengukuran akan tersimpan secara otomatis dalam penyimpanan *Digital Portable Seismograph*. Hasil pengukuran ini tersimpan dalam tiga komponen gelombang, yaitu gelombang seismik horizontal *North-South* (NS), horizontal *East-West* (EW), dan gelombang seismik vertikal.

Teknik Analisis Data

Data hasil pengukuran merupakan data mentah mikrotremor yang berupa sinyal getaran tanah yang berdomain waktu. Terdapat tiga komponen sinyal mikrotremor yaitu komponen horizontal *North-South* (NS), komponen horizontal *East-West* (EW), dan yang terakhir komponen Vertikal (V). Tiap-tiap komponen tersebut dianalisis menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Hasil dari analisis menggunakan algoritma FFT berupa spektrum dari tiap-tiap komponen data mikrotremor tersebut, selanjutnya dilakukan *smoothing* Konno-Ohmachi data terhadap masing-masing komponen.

Semua data yang telah di *smoothing* diolah menggunakan teknik *Horizontal to Vertical*

Spectral Ratio (HVSR). Berdasarkan analisis HVSR akan didapatkan kurva HVSR yang memberikan informasi nilai frekuensi dominan (frekuensi pada *peak* kurva HVSR) dan faktor amplifikasi (*peak* amplitudo kurva HVSR) yang masing masing diberi simbol f_0 dan A . Kurva HVSR memiliki kriteria yang mangacu pada standar yang dibuat oleh *SESAME European Research Project*.

Setelah didapatkan spektrum fourier tiap-tiap komponen dan spektrum HVSR, kemudian dibuat kontur nilai frekuensi pada *peak* amplitudo tiap spektrum terhadap 15 titik koordinat pengambilan data. Kontur-kontur dibandingkan dengan jalur sistem Sungai Bawah Tanah Bribin yang sudah diketahui sebelumnya.

Analisis yang juga perlu dilakukan adalah *Time Frequency Analysis* (TFA) terhadap sinyal mikrotremor komponen vertikal dari tiap titik. Hasil TFA berupa citra yang menunjukkan distribusi frekuensi dari sinyal mikrotremor.

Algoritma

Berikut adalah algoritma yang diterapkan pada penelitian ini.

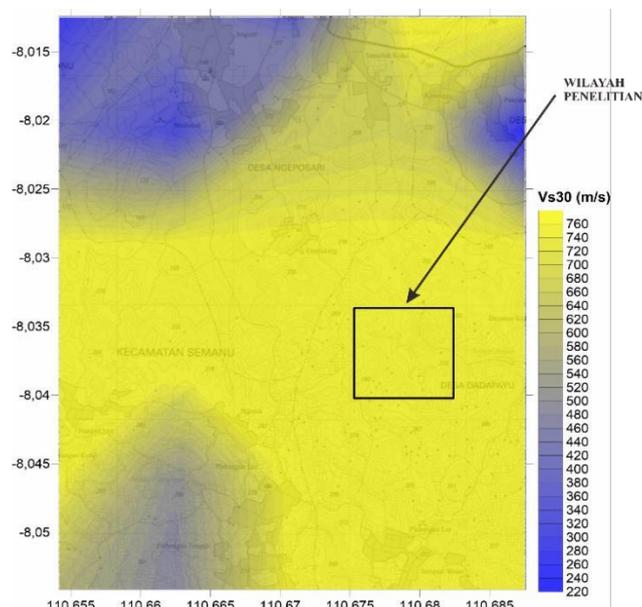
1. Data mikrotremor diambil atau direkam dari 15 titik lokasi yang sudah ditentukan.
2. Data yang didapat berformat ASCII, data ini diekstrak ke dalam program *Microsoft Excel* 2013, dan selanjutnya dihasilkan keluaran data dengan format kolom *Excel Workbook* (.xls).
3. Data dengan format kolom *Excel Workbook* (.xls) dikenakan dengan algoritma FFT yang dibuat pada program *MATLAB R2010a* dengan minimal pemilihan *window* sebanyak 10 buah, dan durasi *window* mininal sepanjang

10 detik, yang menghasilkan spektrum tiap komponen data mikrotremor.

4. Kurva atau spektrum HVSR dapat diperoleh dari tiga komponen spektrum data mikrotremor. Kurva ini memberikan nilai frekuensi dominan (f_0) dan nilai faktor amplifikasi (A).
5. Nilai frekuensi pada *peak* amplitudospektrum tiap komponen dan nilai frekuensi pada *peak* kurva HVSR dibuat kontur menggunakan perangkat *Surfer* 12 sesuai dengan koordinat 15 titik pengambilan data.
6. Citra distribusi frekuensi diperoleh dari TFA (*Time Frequency Analysis*) menggunakan perangkat *Geopsy*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Mikrotremor di Wilayah Penelitian



Gambar 1. Kecepatan gelombang geser pada kedalaman maksimal 30 m V_{s30} di sekitar daerah penelitian

Wilayah penelitian ini merupakan daerah permukaan Sungai Bribin, kawasan Karst Gunung Sewu. Pada penelitian ini dapat diketahui

karakteristikmikrotremor pada kawasan permukaan Sungai Bawah Tanah Bribin yang ditinjau dari beberapa aspek. Sebelum meninjau aspek-aspek tersebut perlu dikomparasi kondisi geologi daerah penelitian dengan data kecepatan gelombang geser pada kedalaman maksimal 30 m ($Vs30$). Data tersebut diperoleh dari halaman *website* resmi USGS.

Gambar 1 menunjukkan bahwa $Vs30$ di wilayah penelitian berada pada nilai 760 m/s. Sesuai klasifikasi UBC (*Uniform Building Code*) daerah dengan nilai $Vs30$ tersebut dideskripsikan sebagai daerah batuan.

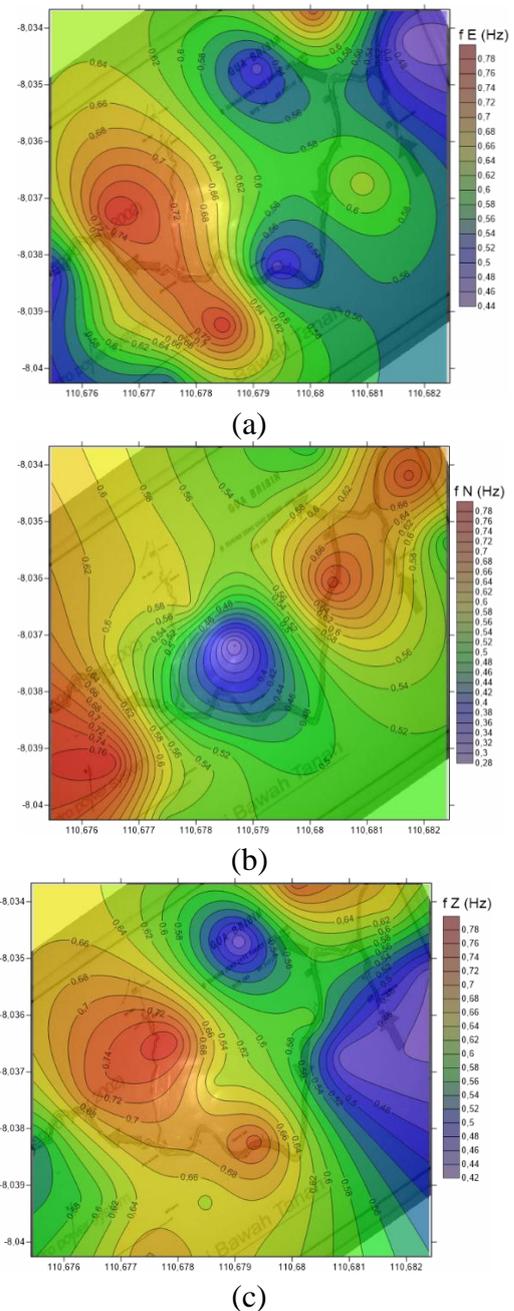
Data yang diperoleh dari pengukuran pada penelitian ini berupa tiga komponen sinyal mikrotremor berdomain waktu. Ketiga komponen tersebut adalah gelombang seismik horizontal *East-West* (EW), horizontal *North-South* (NS), dan vertikal.

Karakteristik mikrotremor pada kawasan permukaan Sungai Bawah Tanah Bribin didasarkan pada nilai frekuensi f) pada *peak* amplitudo spektrum Fourier tiga komponen mikrotremor, nilai frekuensi pada *peak* kurva HVSr f_0), dan *Time Frequency Analysis* (TFA) mikrotremor komponen vertikal.

Spektrum Fourier didapatkan dari sinyal mikrotremor yang dikenai Algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Spektrum Fourier memberikan informasi nilai-nilai amplitudo A) dalam domain frekuensi f).

Nilai-nilai frekuensi f) pada *peakspektrum* tiap komponen dibuat kontur sesuai koordinat titik-titik pengambilan data. Kontur tersebut ditunjukkan pada gambar 2. Untuk

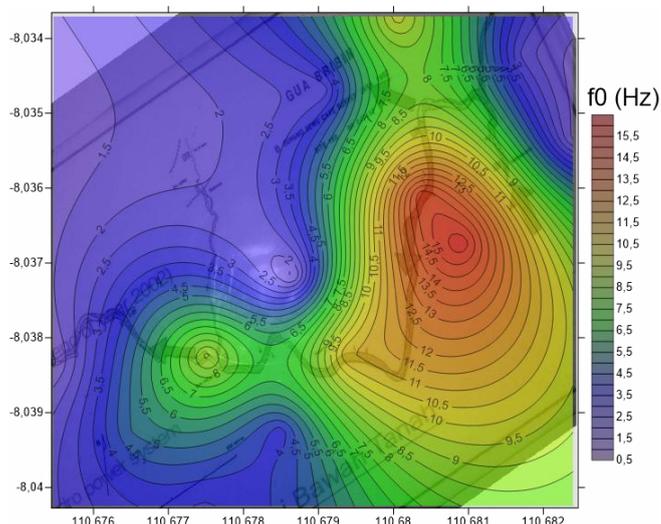
mikrotremor komponen horizontal *East-West* nilai frekuensi f) wilayah penelitian berada pada rentang nilai 0,44 Hz-0,78 Hz, sedangkan untuk mikrotremor komponen horizontal *North-South* nilai frekuensi f) daerah penelitian berada pada nilai 0,29 Hz-0,78 Hz, sementara yang terakhir untuk mikrotremor komponen vertikal pada daerah penelitian frekuensinya f) berada pada rentang nilai 0,43 Hz-0,78 Hz.



Gambar 2. (a) Kontur nilai f komponen horizontal EW ;
(b)Kontur nilai f komponen horizontal NS ;

(c) Kontur nilai f komponen vertikal

Dengan pengolahan lebih lanjut terhadap spektrum Fourier komponen mikrotremor pada masing-masing titik akan diperoleh kurva HVSR. Kurva HVSR memberikan informasi nilai perbandingan amplitudo Fourier komponen horizontal terhadap komponen vertikal dalam domain frekuensi. Karakteristik mikrotremor di sekitar wilayah permukaan Sungai Bribin dapat dilihat dari peta hasil pemodelan frekuensi pada *peak* kurva HVSR (f_0). Peta pemodelan tersebut ditunjukkan pada gambar 3.

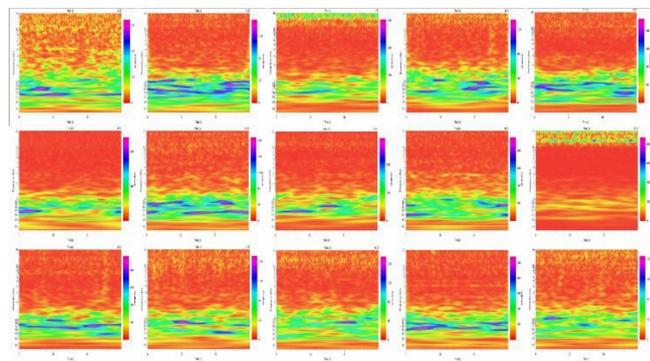


Gambar 3. Peta pemodelan frekuensi pada puncak kurva HVSR (f_0) di sekitar permukaan Sungai Bawah Tanah Bribin

Berdasarkan gambar 3 terlihat bahwa wilayah penelitian memiliki nilai frekuensi pada *peak* kurva HVSR (f_0) antara 1,0 Hz hingga 15,5 Hz. Nilai pada besaran ini dikenal dengan nilai frekuensi dominan tanah atau batuan di wilayah penelitian. Nilai tersebut dapat dikonversi kedalam besaran periode dominan (T_0), melalui perhitungan didapatkan nilai T_0 di wilayah penelitian berkisar pada 0,06 detik sampai 1 detik.

Karakteristik mikrotremor juga didekati dengan *Time Frequency Analysis* (TFA).

Karakteristik mikrotremor dikelompokkan sesuai dengan pola distribusi frekuensi dan amplitudo pada domain waktu untuk sinyal komponen vertikal. Pola tersebut disajikan dalam kurva TFA yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Data Kurva TFA mikrotremor komponen vertikal

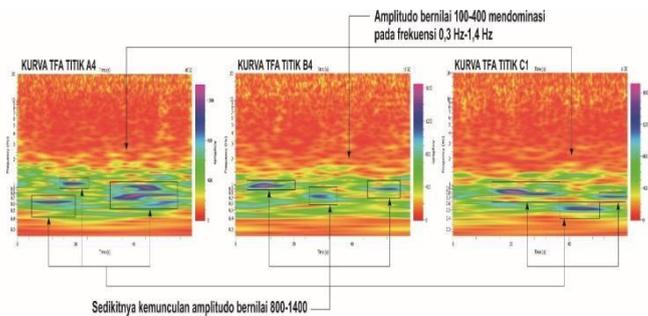
Dari pengelompokan yang dilakukan didapatkan dua kelompok, kemudian dipetakan berdasarkan koordinat titik-titik pengambilan data, sehingga didapatkan kelompok zona I (satu) dan kelompok zona II pada daerah penelitian seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Peta pengelompokan zona dan titik pengambilan data

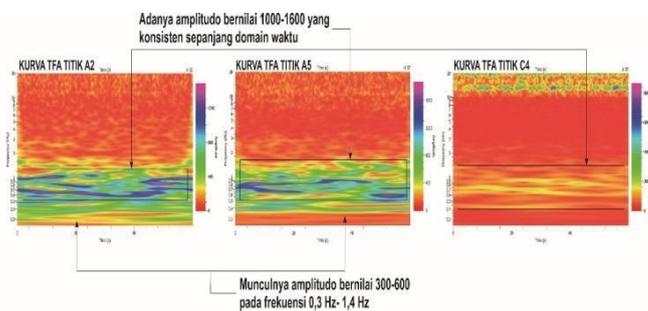
Titik-titik yang termasuk ke dalam kelompok zona I adalah titik A1, A4, B1, B4, C1, C3, dan C5. Kurva TFA mikrotremor komponen vertikal pada kelompok ini dicirikan dengan dominasi amplitudo bernilai 100 hingga 400 pada frekuensi 0,3 Hz sampai 1,4 Hz. Terdapat pula amplitudo yang lebih tinggi yang berada pada

rentang nilai 800 sampai 1400 pada frekuensi 0,3 Hz sampai 1,4 Hz, tetapi kemunculannya hanya sedikit. Gambar 6 menunjukkan kurva TFA komponen vertikal dari beberapa titik yang termasuk kedalam kelompok zona I.



Gambar 6. Kurva TFA mikrotremor komponen vertikal titik-titik yang termasuk kelompok zona I

Kelompok zona II terdiri atas titik A2, A3, A5, B2, B3, B5, C2, dan C4. Pada kelompok zona II kurva TFA mikrotremor komponen vertikal dicirikan dengan adanya amplitudo bernilai 300 hingga 600 pada frekuensi 0,3 Hz sampai 1,4 Hz. Ciri yang membedakan antara kelompok zona I dan zona II adalah kemunculan amplitudo bernilai nilai 1000 sampai 1600 yang cukup konsisten sepanjang domain waktu pada kurva TFA. Gambar 7 menunjukkan kurva TFA mikrotremor komponen vertikal dari beberapa titik yang termasuk kedalam kelompok zona II.



Gambar 7. Kurva TFA mikrotremor komponen vertikal titik-titik yang termasuk kelompok zona II

Interpretasi Jalur Sistem Sungai Bawah Tanah

Wilayah penelitian ini merupakan daerah yang dilewati jalur sistem Sungai Bawah Tanah Bribin. Melalui karakteristik mikrotremor di wilayah penelitian dapat dilakukan interpretasi terkait lokasi dan jalur Sistem Sungai Bawah Tanah Bribin.

Berdasarkan kontur nilai frekuensi (f) pada peak spektrum tiap komponen mikrotremor (gambar 2) terlihat bahwa tidak ada nilai-nilai khusus yang mencerminkan berkembangnya jalur Sistem Sungai Bawah Tanah Bribin di wilayah penelitian.

Adanya jalur sistem Sungai Bawah Tanah Bribin memberikan pengaruh terhadap respon nilai-nilai f_0 . Pada gambar 3 terlihat bahwa jalur sistem Sungai Bawah Tanah Bribin memiliki nilai f_0 yang berada pada rentang 5,5 Hz sampai 15,5 Hz. Bila nilai tersebut dikonversi ke besaran periode (T_g) akan berada pada rentang 0,06 detik hingga 0.18 detik.



Gambar 8. Peta jalur Sungai Bawah Tanah Bribin dan pengelompokan zona

Pengelompokan zona berdasarkan kurva TFA mikrotremor komponen vertikal dapat dipadukan dengan data awal prediksi jalur Sistem Sungai Bawah Tanah Bribin seperti ditunjukkan pada gambar 8. Pada gambar 8 tampak bahwa jalur Sungai Bawah Tanah Bribin cenderung

berada pada zona II yang dicirikan dengan adanya amplitudo bernilai 300 hingga 600 pada frekuensi 0,3 Hz sampai 1,4 Hz serta adanya kemunculan amplitudo bernilai nilai 1000 sampai 1600 yang cukup konsisten sepanjang domain waktu pada kurva TFA.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakter mikrotremor di wilayah permukaan Sungai Bawah Tanah Bribin adalah sebagai berikut.
 - a. Nilai frekuensi pada *peak* spektrum fourier sinyal mikrotremor berada pada nilai 0,44 Hz-0,78 Hz untuk komponen horizontal *East-West*, 0,29 Hz-0,78 Hz untuk komponen horizontal *North-South*, dan 0,43 Hz-0,78 Hz untuk komponen vertikal.
 - b. Nilai frekuensi pada *peak* kurva HVSR berada pada rentang nilai 1,0 Hz sampai 15,5 Hz.
 - c. Berdasarkan kurva TFA mikrotremor komponen vertikal, wilayah penelitian dikelompokkan menjadi dua zona. Zona I (satu) dicirikan dengan dominasi amplitudo bernilai 100 hingga 400 pada frekuensi 0,3 Hz sampai 1,4 Hz, serta terdapat amplitudo yang lebih tinggi yang berada pada rentang nilai 800 sampai 1400 pada daerah frekuensi yang sama yang kemunculannya hanya sedikit. Zona II (dua) dicirikan dicirikan dengan adanya amplitudo bernilai 300 hingga 600 pada frekuensi 0,3 Hz sampai 1,4 Hz, serta munculnya amplitudo bernilai nilai 1000 sampai 1600 yang cukup konsisten sepanjang domain waktu pada kurva TFA pada daerah frekuensi yang sama.
2. Berikut hasil interpretasi terkait jalur sungai bribin berdasarkan karakteristik mikrotremor di wilayah penelitian.
 - a. Tidak ada nilai-nilai khusus yang mencerminkan berkembangnya jalur Sungai Bawah Tanah Bribin di wilayah penelitian berdasarkan karakteristik nilai frekuensi pada *peak* spektrum fourier tiap-tiap komponen mikrotremor.
 - b. Berdasarkan karakteristik nilai frekuensi pada *peak* kurva HVSR di wilayah penelitian, daerah yang dilalui jalur Sungai Bawah Tanah Bribin berada pada nilai 5,5 Hz-15,5 Hz.
 - c. Jalur sungai bribin mayoritas berada pada zona II yang merupakan hasil pengelompokkan berdasarkan karakter kurva TFA mikrotremor komponen vertikal.

Saran

Untuk penelitian sejenis selanjutnya disarankan mencakup daerah yang lebih luas dan melakukan pengumpulan informasi lebih banyak terkait jalur-jalur cabang sungai bawah tanah. Dengan demikian, hasil yang diperoleh dapat diinterpretasikan dengan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Cohen, L. 1995. *Time-Frequency Analysis*. New York: Prentice-Hall.
- ESDM. 2014. *Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst Gunung Sewu*. Kepmen ESDM No 3045 K/40/MEM/2014

Ford, D. and Williams, P. 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: Chapman and Hall.

MacDonalds dan Partners. 1984. *Greater Yogyakarta - Groundwater Resources Study. 3C: Cave Survey*. Yogyakarta: Directorate General of Water Resources Development Project (P2AT).

Marjiono, et al. 2007. *Mikrozonasi Daerah Kendari dan Sekitarnya Berdasarkan Respon Tanah Setempat*. Bandung: Pusat Survey Geologi.

Maryanto, Ibnu, dkk. 2006. *Manajemen Bioregional : Kars, Masalah dan Pemecahannya, Dilengkapi Kasus Jabodetabek*. Bogor: Puslit Biologi LIPI.

Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*. Japan: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1.

Tokimatsu, K. 2004. *S-wave velocity profiling by joint inversion of microtremor H/V spectrum*. Bulletin of the Seismological Society of America No.94(1).