

GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN DATARAN KLATEN BERDASARKAN INTERPRETASI DATA MIKROTREMOR

SUBSURFACE GEOLOGY OF KLATEN PLAIN INFERRED FROM MICROTREMOR DATA

Oleh :

Marjiyono¹, Ratdomopurbo¹, Suharna²,
Moch. Heri Hermiyanto Zajuli¹ dan Robby Setianegara¹

¹Pusat Survei Geologi Jl. Diponegoro No. 57 Bandung 40122

²Balai Penelitian dan Pengkajian Teknologi Kegunungapian Yogyakarta, Jl. Cendana No. 15 Yogyakarta

Abstrak

Dataran Klaten dan sekitarnya ditutupi oleh endapan fluvial vulkanik Merapi yang bersifat lepas. Hal ini menyulitkan dalam mengidentifikasi struktur geologi dibawahnya. Sehubungan dengan hal tersebut telah dilakukan pengukuran mikrotremor pada tiga (3) lintasan di daerah ini. Pengolahan data dilakukan dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr, metode Nakamura) untuk mendapatkan penampang spektrum HVSr. Hasil pengolahan menunjukkan adanya pola struktur bawah permukaan berupa dataran, cekungan dan sesar normal yang berarah utara-selatan.

Kata kunci : mikrotremor, HVSr, fluvial vulkanik Merapi, periode/frekuensi resonansi, penampang spektrum.

Abstract

A probable existence of geological structures beneath the Klaten plain are difficult to identify because they are covered by fluvio volcanic sediments of Merapi volcano. In this regard the microtremor measurements have been carried out on three (3) lines in this area. Data processing was done by the Horizontal to Vertical Spectral Ratio method (HVSr, Nakamura technique) to get a cross section of HVSr spectra. The results of processing indicate the patterns of subsurface structures such as plains, basin and normal fault which are directed in the north-south direction.

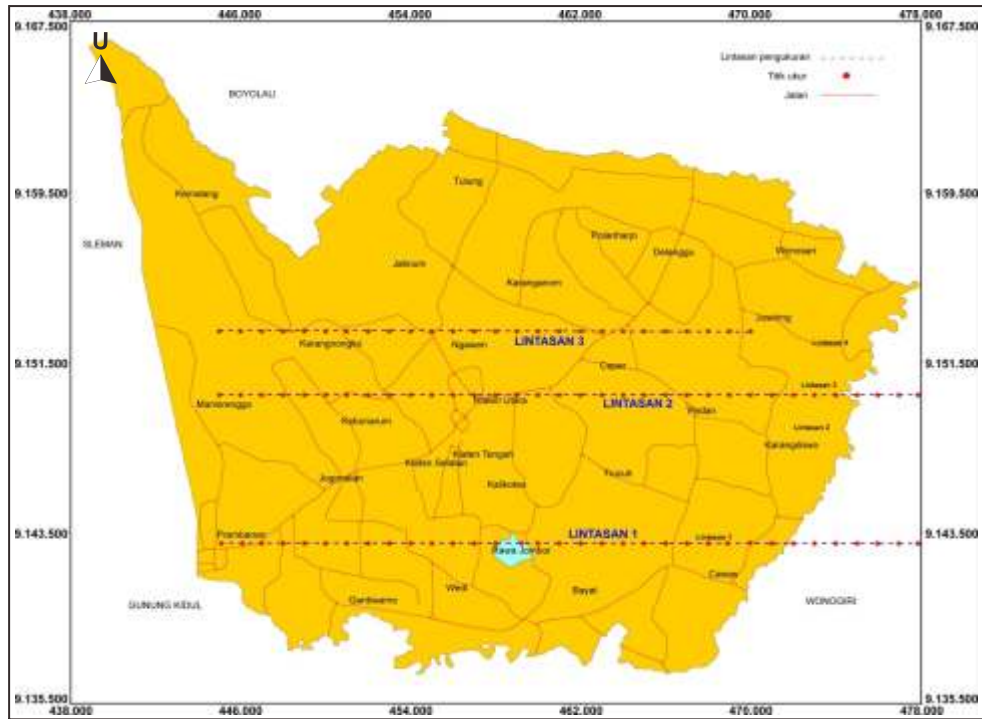
Keyword : microtremor, HVSr, Merapi fluvio volcanic, resonant frequency/period, spectrum section

Pendahuluan

Daerah Klaten dan sekitarnya secara umum merupakan daerah hamparan endapan fluvial vulkanik Merapi, kecuali sedikit di bagian selatan berupa tinggian yang dikenal dengan Perbukitan Jiwo. Secara geologi daerah ini menarik karena tersingkapnya batuan tua di daerah Perbukitan Jiwo, sehingga daerah ini menjadi salah satu laboratorium alam geologi terlengkap di Pulau Jawa.

Di sebelah selatan wilayah Klaten berupa morfologi perbukitan pematang Baturagung yang memanjang pada arah barat - timur. Pematang ini merupakan perbukitan monoklin dengan perlapisan batuan miring ke arah selatan. Batuan pada pematang ini berupa batuan sedimen berumur Tersier dan telah mengalami proses tektonik cukup intensif yang ditandai dari kerapatan

struktur sesarnya. Sesar-sesar tersebut berarah barat-timur hingga utara-selatan, beberapa sesar berarah timur laut - barat daya yang kemungkinan menerus hingga batuan pra-Tersier di daerah Perbukitan Jiwo. Samodra dan Sutisna (1997) menyatakan keberadaan danau Rowo Jombor di sebelah barat Perbukitan Jiwo juga dikontrol oleh sesar. Beberapa sesar berarah utara - selatan pada pematang ini kemungkinan menerus ke arah utara hingga dataran Klaten yang ditutupi endapan fluvial vulkanik Merapi. Indikasi sesar pada dataran ini tidak dapat teramati di permukaan karena endapan fluvial vulkanik Merapi bersifat lepas. Keberadaan sesar di bawah permukaan ini dapat menjadi potensi bencana bila mengalami aktifitas. Sehubungan dengan hal tersebut, untuk mengamati kondisi bawah permukaan dataran Klaten ini, telah dilakukan pengamatan mikrotremor sebanyak 3 (tiga) lintasan (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian

Dasar Teori

Gelombang mikrotremor terutama berasal dari fenomena pemantulan ganda (*multiple reflection*) gelombang geser, yakni gelombang seismik yang arah pergerakannya tegak lurus dengan arah pergerakan gelombang. Bila batuan pada daerah penelitian dimodelkan dengan media dua lapis sederhana dengan litologi permukaan berupa sedimen lunak berketebalan dan kecepatan gelombangnya V_s seperti pada Gambar 2, maka frekuensi resonansi (f_r) akan terjadi berulang pada setiap kelipatan ganjil dari $1/4$ atau A

$$f_r = \frac{n \cdot V_s}{4h} \dots\dots\dots(1)$$

dengan $n : 1,3,5,\dots$

l = panjang gelombang geser (*shear*)

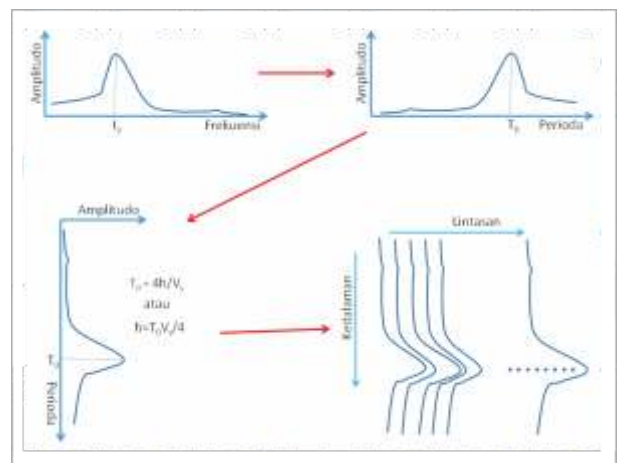
Frekuensi resonansi yang berkaitan dengan ketebalan sedimen lunak terjadi pada fundamental mode ($n=1$). Hubungan nilai frekuensi resonansi dengan panjang gelombang adalah :

$$f_o = V_s/\lambda \quad \text{atau} \quad f_o = V_s/4h \dots\dots\dots(2)$$

dengan f_o adalah frekuensi resonansi pada *fundamental mode*.

Bila f_o dinyatakan dalam perioda fundamental (T_o) adalah :

$$T_o = \frac{4h}{V_s} \dots\dots\dots(3)$$



Gambar 2. Sketsa model geologi bawah permukaan dua lapis dan respon spektralnya.

Tinjauan Pustaka

Kaitan antara frekuensi / periode resonan mikrotremor terhadap ketebalan soil / sedimen lunak dalam metode Nakamura sudah tidak diragukan. Lachet dan Bard (1994) menyimpulkan adanya hubungan yang jelas antara frekuensi resonan dengan ketebalan subsoil berdasarkan simulasi numerik data mikrotremor HVSr. Aplikasi metode Nakamura untuk mengamati konfigurasi struktur bawah permukaan juga telah banyak dilakukan diantaranya Lbs von-Seht & Wohlenberg (1999), Parolai, dkk., (2002) dan Noguchi & Nishida (2002).

Metodologi

Pengamatan mikrotremor di daerah penelitian dilakukan dengan seismometer Mark tipe L4C-3D dengan natural frekuensi 1 Hz. Perekaman data dilakukan dengan data logger DataMark LS 8000 XT dengan sampling rate 100 Hz. Pengukuran dilakukan pada titik-titik ukur dengan spasi satu kilometer pada tiga (3) lintasan, dengan panjang masing-masing 34 km (lintasan 1 dan 2) dan 25 km (lintasan 3). Adapun lokasi pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengolahan data dilakukan dengan perangkat lunak Hvmx berdasarkan metode HVSr (*horizontal to vertical spectral ratio*) atau juga dikenal dengan metode Nakamura. Pada prinsipnya metode ini menghitung rasio spektrum antara komponen total resultan horizontal terhadap komponen vertical. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut (Nakamura, 1989):

$$R(f) = \frac{\sqrt{H_{EW}^2(f) + H_{NS}^2(f)}}{V_{UD}(f)} \dots\dots\dots(4)$$

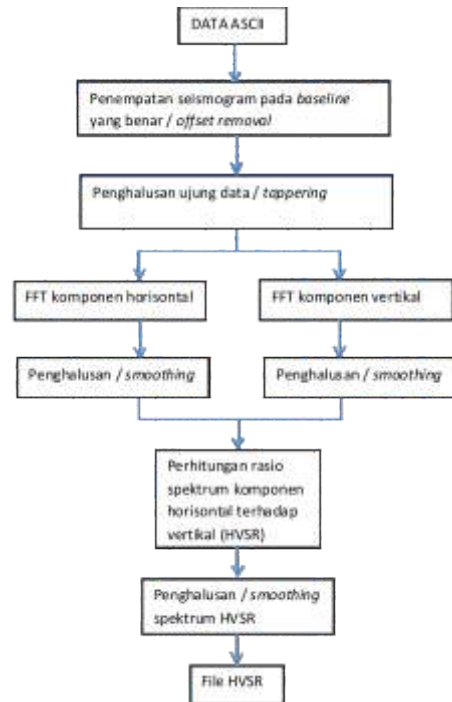
dimana $R(f)$: spektrum rasio HVSr

$H_{EW}(f)$: spektrum komponen horizontal barat-timur

$H_{NS}(f)$: spektrum komponen horizontal utara-selatan

$V_{UD}(f)$: spektrum komponen vertical

Adapun diagram alir proses pengolahan data mikrotremor HVSr secara rinci dapat dilihat pada Gambar 3.

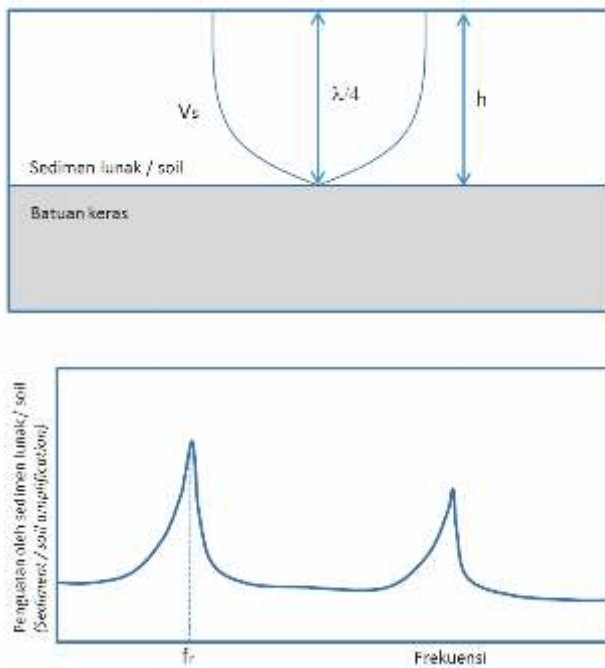


Gambar 3. Diagram alir pengolahan data mikrotremor HVSr.

Ketebalan dari sedimen lunak di permukaan berkaitan langsung dengan nilai perioda, sehingga spektrum harus diubah dalam domain perioda. *Picking* perioda dominan (T_0) dilakukan pada puncak spektrum HVSr. Berdasarkan persamaan (3) bila diketahui nilai kecepatan gelombang geser pada sedimen lunak, maka spektrum dalam domain perioda dapat diubah langsung dalam domain kedalaman. Bila setiap spektrum dalam satu lintasan pengamatan dijabarkan secara vertikal akan terbentuk penampang menyerupai penampang seismik. (Gambar 4).

Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian secara umum merupakan dataran rendah yang ditempati oleh endapan fluvial vulkanik produk dari G. Merapi. Aktifitas G. Merapi ini diperkirakan dimulai pada masa Plistosen Tengah bersamaan dengan kegiatan G. Lawu (Surono, dkk., 1992). Di bagian tengah daerah penelitian terdapat perbukitan terisolir yang dikenal dengan Perbukitan Jiwo. Perbukitan ini dibelah oleh sungai antisenden Dengkung menjadi Perbukitan Jiwo Barat dan Perbukitan Jiwo Timur. Batuan malihan berupa sekis dan filit berumur Kapur tersingkap di perbukitan ini. Menumpang secara tidak selaras di atas batuan ini batugamping Formasi Oyo (Samodra dan Sutisna, 1997).



Gambar 4. Konsep pembuatan penampang spektrum HVSR.

Surono dr., (1992) menyatakan batugamping ini merupakan Formasi Wonosari. Batuan pra-Tersier di Permukiman Jiwo ini diterobos oleh batuan beku diorit pada Oligosen Awal (Soeriaatmaja dr., 1991). Batuan terobosan ini tersingkap di G. Pendul di Perbukitan Jiwo Timur dan G. Kebo di Perbukitan Jiwo Barat.

Bagian selatan daerah penelitian adalah pematang Baturagung yang merupakan bagian jalur Pegunungan Selatan, memanjang pada arah barat-timur. Litologi pematang ini berupa batuan sedimen dengan bidang perlapisan miring ke arah selatan. Dari tua ke muda litologi di pematang ini adalah : batupasir Formasi Kebobutak, perselingan batupasir dan batulanau anggota Belang dan Mangli, Formasi Kebobutak, perulangan batupasir tufan, batulanau dan batulempung Formasi Semilir dan breksi gunungapi Formasi Nglanggran. Ketiga formasi batuan ini berumur Oligosen hingga Miosen Awal.

Proses deformasi yang membentuk struktur geologi di daerah penelitian dimulai pada masa Plistosen (Surono dr., 1992). Struktur geologi yang banyak dijumpai terutama berupa sesar berarah barat – timur hingga utara – selatan di sekitar pematang Baturagung dan Perbukitan Jiwo. Samodra dan Sutisna (1997) menduga beberapa sesar diantaranya merupakan bagian dari sesar regional yang menerus hingga batuan dasar.

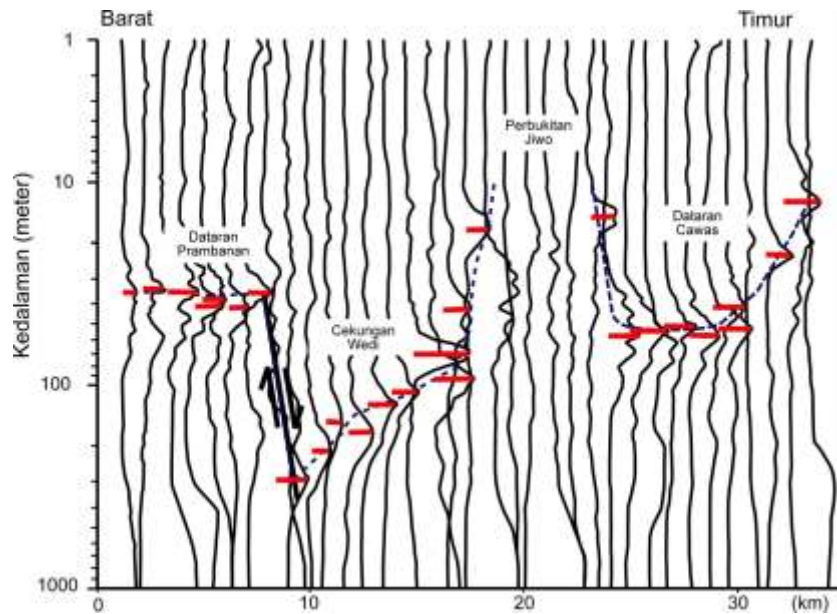
Diskusi

Mikrotremor adalah gelombang geser yang terjebak dalam media berimpedansi rendah, sehingga mengalami pemantulan ganda (multiple reflection). Dalam kasus ini media dimodelkan dua lapis dimana lapisan permukaan mewakili endapan fluvial vulkanik Merapi dan lapisan kedua mewakili batuan yang mengalasi endapan fluvial ini. Endapan fluvial vulkanik Merapi didominasi oleh material pasir yang bersifat lepas, sedangkan batuan yang mengalasinya kemungkinan merupakan batuan sedimen Tersier yang muncul di pematang Baturagung.

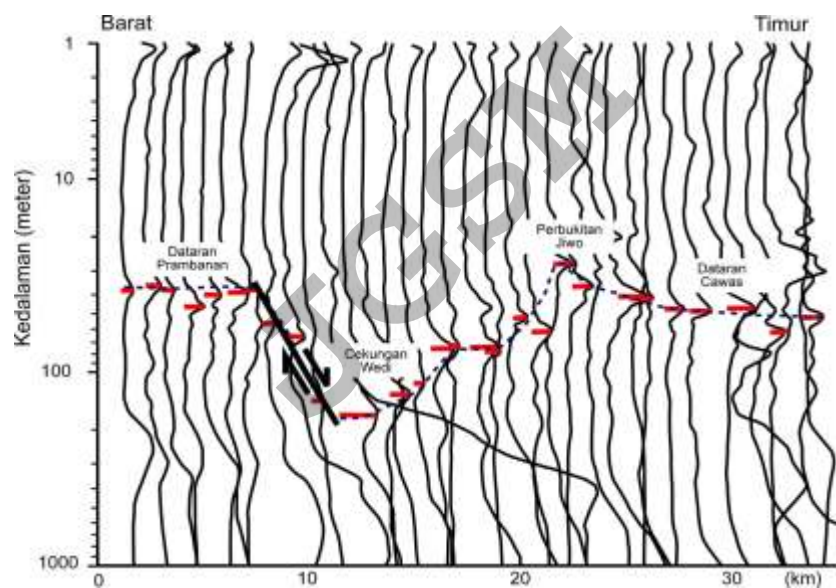
Parameter kecepatan gelombang geser untuk endapan fluvial vulkanik Merapi berdasarkan data pemoran di daerah Pranti, Srihardono, Pundong, Bantul adalah 241,96 m/detik (Suharna, 2008). Bila diasumsikan sifat fisik endapan fluvial Merapi di daerah penelitian sama dengan di daerah Pundong, Bantul sehingga nilai kecepatan gelombangnya dianggap sama maka ketebalan endapan fluvial di daerah penelitian dapat dihitung berdasarkan nilai peak periodnya. Berdasarkan persamaan (3) maka ketebalan sedimen fluvial vulkanik Merapi dapat diketahui untuk setiap spektrum (ditandai warna merah pada penampang spektrum).

Hasil pengolahan data mikrotremor secara umum menunjukkan spektrum dengan peak yang tegas dan amplitudo yang cukup besar, hal ini mencirikan kontras impedansi antara endapan permukaan dan batuan yang mengalainya cukup tinggi.

Lintasan pengamatan 1 (paling selatan) membentang dari daerah Prambanan hingga Cawas memotong Perbukitan Jiwo. Dari penampang spektrum HVSR (Gambar 5) terlihat pola bawah permukaan dengan ketebalan endapan fluvial bervariasi. Dari arah barat kurang lebih sepanjang 7 km ketebalan endapan fluvial terlihat relatif datar yakni pada kedalaman sekitar 30 m hingga 40 m. Ke arah sebelah timur hingga batas Perbukitan Jiwo ketebalan endapan fluvial meninggi dengan ketebalan maksimum sekitar 200 m, membentuk cekungan. Spektrum HVSR di daerah Perbukitan Jiwo secara umum tidak menunjukkan *peak* yang jelas, karena merupakan batuan keras, namun demikian secara gradual Perbukitan Jiwo menunjukkan pola tinggian. Di daerah sekitar Cawas ketebalan endapan fluvial kembali datar dengan ketebalan sekitar 40 m hingga 50 m. Selanjutnya kedua pola dataran ini disebut sebagai Dataran



Gambar 5. Penampang spektrum HVSF lintasan 1.

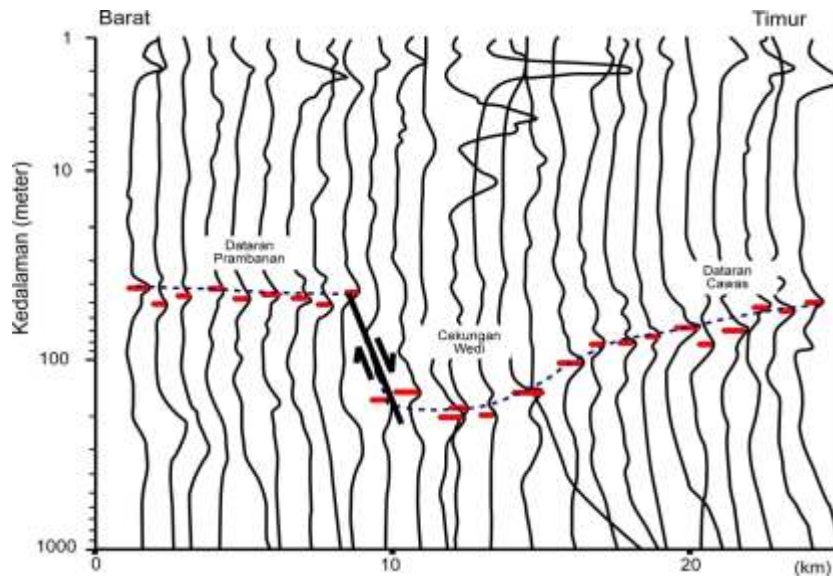


Gambar 6. Penampang spektrum HVSF lintasan 2.

Prambanan dan Dataran Cawas, sedangkan pola cekungan di daerah Wedi disebut sebagai Cekungan Wedi. Bila dilihat dari pola cekungan yang hampir tegak di bagian barat, maka Cekungan Wedi diperkirakan dikontrol oleh struktur.

Lintasan pengamatan 2 berada di tengah daerah penelitian melintasi kota Klaten berjarak 8 km di utara lintasan 1. Penampang spektrum HVSF pada lintasan ini dapat dilihat pada Gambar 6. Dari

penampang tersebut dapat diamati pola "paleomorfologi" yang masih mirip dengan lintasan 1. Dataran Prambanan dan Dataran Cawas masih muncul pada kedalaman yang sama, begitu pula pola Cekungan Wedi dengan struktur sesar normalnya masih menerus di lintasan ini. Hal yang menarik adalah tinggian Perbukitan Jiwo masih tersisa pada lintasan ini, yang berarti Perbukitan Jiwo menerus ke utara hingga di bawah permukaan kota Klaten pada kedalaman sekitar 30 m.



Gambar 7. Penampang spektrum HVSR lintasan 3.

Lintasan 3 (paling utara) berada di 4 km utara lintasan 2. Penampang spektrum HVSR pada lintasan ini ditunjukkan oleh Gambar 7. Dari penampang tersebut dapat diamati pola struktur sesar normal masih menerus hingga lintasan ini, begitu pula dengan Dataran Prambanan masih menerus dengan kedalaman yang sama. Pola tinggian Perbukitan Jiwo pada lintasan ini sudah tidak muncul.

Bila dirunut posisi sesar normal pada ketiga penampang tersebut ke arah selatan pada Peta Geologi Lembar Klaten (Samodra dan Sutisna, 1997), maka sesar ini bertepatan dengan sesar pada G. Soko, yang menerus ke selatan di G. Dawung dan berbelok ke arah barat.

Kesimpulan

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa :

- Metode mikrotremor HVSR dapat digunakan sebagai metode geofisika alternatif dalam kajian geologi bawah permukaan dangkal.
- Dari ketiga lintasan pengamatan teramati adanya struktur sesar normal yang menerus dari utara ke selatan yang kemungkinan menerus

pada struktur sesar berarah utara selatan pada pematang Baturagung.

- Perbukitan Jiwo diduga melampar ke utara hingga di bawah permukaan sebelah timur kota Klaten.

Saran

Struktur berarah utara-selatan pada pematang Baturagung yang menerus di bawah permukaan dataran Klaten perlu diteliti lebih lanjut kemungkinan aktifitasnya karena bisa berpotensi menimbulkan bencana. Disamping itu perlu dilakukan pemetaan perioda dominan di seluruh dataran ini untuk dapat mengamati bentuk paleomorfologi secara lebih luas.

Ucapan Terima Kasih

Pengukuran mikrotremor lintasan 2 dan 3 merupakan data hasil pengukuran tim pelatihan mikrotremor yang diselenggarakan oleh Pusat Survei Geologi. Sehubungan dengan hal tersebut penulis menyampaikan terima kasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi serta tim lapangan dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Alam Geologi, Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, UGM dan ITS.

Acuan

- Lachet, C and Bard P.Y., 1994. Numerical and Theoretical Investigation on the Possibility and Limitation of the Nakamura Technique. *Journal Physics Earth*. 42: 377-397.
- Ibs-von Seht M. and Wohlenberg.J., 1999. Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediment. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 89 (I): 250-259.
- Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface*. Quarterly report Railway Technical Research Institute, Tokyo: 25-33.
- Noguchi, T. and Nishida, R., 2002. Determination of Subsurface Structure of Tottori Plain Using Microtremors and Gravity Anomaly. *Journal of Natural Disaster Sciences*. 24(1):1-13.
- Parolai, S, Bormann, P. and Milkereit, C., 2002. New Relationships Between Vs, Thickness of Sediments and Resonant Frequency Calculated by the H/V Ratio of Seismic Noise for Cologne Area (Germany). *Bulletin of Seismological Society of America*. 92: 2521-2527.
- Samodra, H. dan Sutisna, K., 1997. *Peta Geologi Lembar Klaten, Jawa skala 1 : 50.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Soeriaatmaja, R., Maury.R.C, Bellon.H, Pringgoprawiro.H, Polve.M., and Priadi.B., 1991. The Tertiary Magmatic Belt in Java. *Proceeding of the Symposium on the Dynamics of Subduction and Its Product*, Yogyakarta.
- Suharna, Y., 2008. Laporan Mikrozonasi Daerah Bantul. tidak dipublikasi.
- Surono, Toha.B. dan Sudarno., 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, Jawa, Skala 1: 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

JGSM