

ANALISIS LITOLOGI BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN GROUND PROFILES KECEPATAN GELOMBANG GESER DENGAN METODE *ELLIPTICITY CURVE* DI KECAMATAN PRAMBANAN DAN KECAMATAN GANTIWARNO KABUPATEN KLATEN

SUBSURFACE LITHOLOGY ANALYSIS BASED ON SHEAR WAVE VELOCITY GROUND PROFILES USING ELLIPTICITY CURVE METHOD IN PRAMBANAN AND GANTIWARNO SUBDISTRICT OF KLATEN REGENCY

Oleh:

Siti Patimah, Nugroho Budi Wibowo, Denny Darmawan

patimah806@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai kecepatan gelombang geser dari pemodelan *ground profiles* menggunakan metode *ellipticity curve*, dan untuk menentukan litologi bawah permukaan. Penelitian mikrotremor dilakukan sebanyak 30 titik penelitian. Sinyal mikrotremor dianalisis menggunakan metode HVSR sehingga diperoleh data berupa frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang disajikan dalam bentuk kurva H/V. Kemudian data tersebut menjadi input untuk metode *ellipticity curve* untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) hasil dari pemodelan *ground profiles*, dengan memperhatikan beberapa parameter seperti kecepatan gelombang S (V_s), kecepatan gelombang P (V_p), kerapatan batuan, dan *Poisson ratio*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa litologi bawah permukaan di daerah penelitian terbagi menjadi tiga zona yang diklasifikasikan berdasarkan formasi pada titik penelitian, yaitu zona I (Formasi Merapi Muda) sebanyak 23 titik pengukuran, zona II (Formasi Kebobutak) sebanyak 6 titik pengukuran, dan zona III (Formasi Semilir) sebanyak 1 titik pengukuran. Nilai V_s pada *layer* pertama di zona I bernilai antara 50,15 m/s hingga 274 m/s dan pada *layer* terakhir bernilai antara 414 m/s hingga 1657 m/s. Pada zona II nilai V_s pada *layer* pertama bernilai antara 50,75 m/s hingga 203,42 m/s dan *layer* terakhir bernilai antara 1035,36 m/s hingga 1555,08 m/s. Zona III memiliki nilai V_s sebesar 52,09 m/s dan *layer* terakhir memiliki nilai V_s sebesar 1744,5 m/s. Litologi daerah penelitian didominasi oleh abu dan *tuff* yang tebal pada zona Formasi Merapi Muda, konglomerat dan aglomerat pada zona Formasi Kebobutak, lempung, dasit dan andesit pada zona Formasi Semilir. Analisa litologi memperlihatkan bahwa Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno adalah wilayah yang mempunyai potensi bahaya kerusakan yang cukup parah, karena didominasi oleh tanah lunak yang cukup tebal.

Kata kunci: *ellipticity curve*, *ground profiles*, kecepatan gelombang geser, litologi bawah permukaan

Abstract

The aims of this study were to determine the value of shear wave velocity from ground profiles modelling using ellipticity curve method and to determine the subsurface lithology by taking the microtremor data of 30 locations. Microtremor signals were analyzed using HVSR method, to get the predominant frequency and amplification from the H/V curve. The H/V curve data has been used as the input for ellipticity curve method, and yield the shear wave

velocity (V_s) from its ground profiles modelling using several initial value parameters i.e. S wave velocity (V_s), P wave velocity, density, and Poisson ratio. The results showed that the surface lithology in the area were divided into three zones that can be classified based on its geological formation, as zone I (Merapi Muda Formation) consisting of 23 measurement points, zone II (Kebobutak Formation) consisting of 6 measurement points, and zone III (Semilir Formation) consisting of 1 measurement point. The determined V_s value on the first layer in zone I

ranging from 50.15 m/s to 274 m/s, and from 414 m/s to 1657 m/s for the last layer. Zone II has V_s value on the first layer ranging from 50.75 m/s to 203.42 m/s on the first layer and for the last layer ranging from 1035.36 m/s to 1555.08 m/s. Zone III has V_s value of 52.09 m/s and the last layer has V_s value of 1744.5 m/s. It can be concluded that the lithology of the research area were dominated by thick ash and tuff at Merapi Muda formation zone, conglomerates and agglomerates at Kebobutak formation zone, clay, dasit, and andesit at Semilir formation zone. Based on the lithology of its constituents, Prambanan and Gantiwarno Subdistrict have a high damage risk possibility since they were dominated by thick layer of soft soil.

Keywords: : ellipticity curve, ground profiles, shear wave velocity, subsurface lithology

PENDAHULUAN

Kabupaten Klaten merupakan bagian dari Provinsi Jawa Tengah yang letaknya berada pada bagian selatan Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis Kabupaten Klaten terletak antara $7^{\circ}42'43.392''$ LS $-7^{\circ}47'45.519''$ LS dan $110^{\circ}29'21.450''$ BT $-110^{\circ}37'3.214''$ BT dan memiliki ketinggian antara 100-400m di atas permukaan laut. Kabupaten Klaten di sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Boyolali, dibatasi oleh Gunung Merapi yang terkadang menunjukkan aktivitas vulkaniknya, sedangkan dibagian selatan berbatasan dengan Kabupaten Gunung Kidul yang berada dekat dengan zona subduksi lempeng bumi.

Kabupaten Klaten merupakan daerah dengan kondisi geologi yang sebagian besar berupa Formasi Merapi Muda, sedikit endapan alluvium, batuan gunung api tua, batuan Merapi Tua, dan sebagian kecil Formasi Wonosari, Formasi Semilir dan Formasi Kebobutak. Formasi Merapi Muda umumnya memiliki litologi penyusun berupa material hasil aktivitas Gunung Merapi Muda yaitu *tuff*, aliran lava andesit, breksi serta endapan lahar. Suatu wilayah yang memiliki kondisi geologi berupa *tuff* mempunyai potensi bahaya lebih besar terhadap efek getaran tanah akibat amplifikasi dan interaksi getaran tanahnya (Nakamura, 2000). Selain

itu, Kabupaten Klaten berada dekat dengan jalur sesar aktif Opak yang berdasarkan peta geologi memanjang dari wilayah Bantul Yogyakarta hingga perbatasan Kecamatan Prambanan Kabupaten Sleman dengan Kecamatan Prambanan Kabupaten Klaten, sehingga besar kemungkinan wilayah ini dapat terkena dampak gempa bumi yang diakibatkan oleh sesar aktif tersebut. Gempa bumi yang terjadi di Yogyakarta tahun 2006 silam menimbulkan kerusakan yang cukup parah baik di daerah Yogyakarta (kawasan jalur Sesar Opak) maupun Kabupaten Klaten khususnya Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno. Kerusakan struktur bangunan akibat gempa bumi juga diakibatkan oleh kondisi geologi dan kondisi tanah setempat. Batuan sedimen yang lunak dapat memperkuat gerakan tanah selama gempa (Seed dan Schnadel, 1972).

Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2013) dalam Indeks Rawan Bencana, Kabupaten Klaten berada pada rangking 19 untuk tingkat nasional, mengungguli beberapa kabupaten di Daerah Istimewa Yogyakarta seperti Kabupaten Sleman, Kabupaten Bantul, Kabupaten Kulonprogo, dan Kabupaten Gunung Kidul. Data Indeks Rawan Bencana Indonesia (IRBI) Provinsi Jawa Tengah menunjukkan bahwa Kabupaten Klaten masuk ke dalam kelas daerah rawan bencana yang tinggi seperti

banjir, gunung meletus, tanah longsor, maupun gempa bumi.

Gempa bumi adalah salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia. Aktivitas gempa bumi yang tinggi di Indonesia khususnya Pulau Jawa terjadi karena Pulau Jawa berada diatas Lempeng Eurasia oleh tunjaman ke utara Lempeng Australia dibawah Lempeng Eurasia. Pertemuan antar lempeng tersebut mengakibatkan terbentuknya daerah penunjaman (subduksi), sehingga memiliki aktivitas seismik yang tinggi. Studi dan evaluasi tentang bahaya dan resiko gempa bumi perlu dilakukan, salah satu metode untuk menganalisis probabilitas resiko gempa bumi adalah dengan melakukan studi bahaya seismik (Geofisika ITB, 2017).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Pengukuran sinyal mikrotremor dilaksanakan pada tanggal 12-13, dan 18-19 Maret 2017. Sebelum melakukan pengukuran sinyal mikrotremor dilakukan studi pustaka, diskusi, dan survei lapangan terlebih dahulu pada bulan Oktober 2016 sampai bulan Februari 2017. Pengambilan data primer berupa pengukuran sinyal mikrotremor secara langsung di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno dengan luas wilayah sebesar 500 km³ sebanyak 30 titik lokasi pengukuran dengan jarak antar titik sejauh dua km. Sinyal mikrotremor yang diambil berada pada wilayah yang terletak pada koordinat geografis 7°42'43,392" LS – 7°47'45,519" LS dan 110°29' 21,450" BT – 110°37'3,214" BT.

Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Global Mapper 13*, *Sesarray Geopsy*, *Dinver*, dan *Rockwork 15*.

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Digitizer* tipe TDL-303S, Seismometer tipe TDV-23S, *Global Positioning System* (GPS), Antena GPS yang terhubung dengan *Digital Portable*

Seismograph, kompas, laptop, dan kabel penghubung antara sensor dan *seismograph*.

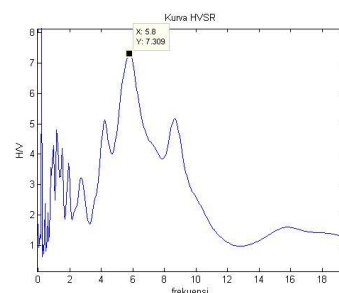
Teknik Pengambilan Data

Proses pengambilan data terbagi menjadi dua tahap, yaitu tahap desain survei dan pengambilan data. Pada tahap desain survei, dilakukan survei lapangan untuk membuat desain survei dengan interval antar titik sepanjang 2 km yang dilakukan dengan menggunakan metode *grid*.

Pengambilan data mikrotremor dilakukan selama 30 menit sampai 1 jam pada setiap titik penelitian dengan frekuensi *sampling* sebesar 100 Hz. Data hasil pengukuran akan tersimpan secara otomatis dalam penyimpanan *digitizer*.

Teknik Analisis Data

Data hasil pengukuran merupakan data mentah mikrotremor yang berupa sinyal getarandan dianalisis menggunakan *software Sesaray Geopsy* untuk *filtering* sinyal tanpa *noise*. Kemudian sinyal dianalisis menggunakan metode HVSR sehingga menghasilkan kurva H/V, nilai frekuensi predomanan (f_0) dan faktor amplifikasi (A). Kemudian kurva H/V digunakan sebagai input dalam metode *ellipticity curve* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva H/V sebagai input metode *Ellipticity Curve*

Kurva H/V sebagai input untuk metode *ellipticity curve* dianalisis menggunakan *software Dinver* dengan memperhatikan beberapa parameter antara lain *Poisson Ratio*, V_s , dan kerapatan mikrotremor. Hasil dari model tersebut berupa *ground profiles* dari V_s . Model dengan *misfit* terendah ($0 \leq misfit < 1$) akan digunakan sebagai model terbaik.

Perhitungan *misfit* berdasarkan persamaan berikut (Hogiber, 2011):

$$\text{misfit} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{D_i - M_i}{\sigma_i} \right)^2}$$

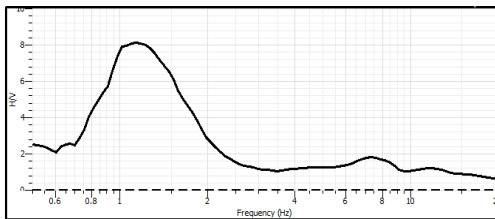
Hasil analisis dari metode *ellipticity curve* menggunakan *software Dinver* yaitu berupa pemodelan *ground profiles* V_s . Data V_s serta kedalaman hasil pemodelan *ground profiles* kemudian diolah menggunakan *software Rockwork 15* untuk memvisualisasikan litologi bawah permukaannya.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Kurva H/V di titik penelitian

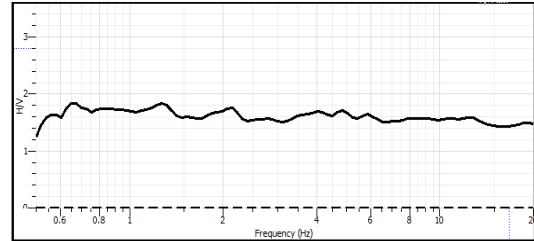
Kurva H/V memiliki kriteria yang merujuk pada standar yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* yang berupa kriteria *reliable* dan *clear peak* (SESAME, 2004). Terdapat beberapa interpretasi bentuk kurva H/V dan hubungannya terhadap karakteristik geologi lokal di daerah penelitian seperti *clear peak*, *flat H/V curve*, dan *unclear low frequency peak*.

Kurva H/V berbentuk *clear peak* terjadi apabila pengukuran tidak dekat dengan kegiatan industri sehingga dapat dikatakan bahwa nilai f_0 yang didapatkan menyatakan frekuensi predomian di daerah tersebut. Pada penelitian ini kondisi *clear peak* terjadi pada beberapa titik yaitu titik 13, 15, 17, 19, dan 21. Contoh kurva berbentuk *clear peak* ditunjukkan pada Gambar 2.



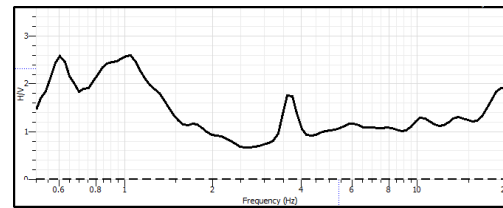
Gambar 2. Kurva H/V berbentuk *clear peak* pada titik 20

Kurva H/V berbentuk *flat H/V curve* terjadi pada beberapa titik yaitu titik 6, 7, 12, 14, 18, 22, 28, 29, 30, 33, 34, dan 35. Karakteristik pada jenis ini cenderung kaku (endapan pasir yang dalam) yang terletak di atas suatu *bedrock* yang tidak diketahui kedalamannya. Contoh kurva ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva H/V berbentuk *flat H/V curve* pada titik 12

Kurva H/V berbentuk *unclear low frequency peak* terjadi pada titik 16, 19, 25, 26, 36, 37, 41, dan 44. Kondisi ini terjadi apabila nilai f_0 kurang dari 1 Hz. Contoh kurva bentuk ini ditunjukkan pada Gambar 4.



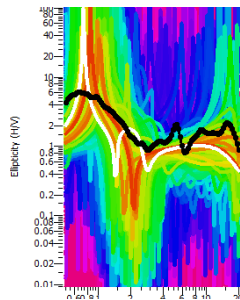
Gambar 4. Kurva H/V berbentuk *unclear low frequency peak* pada titik 36

B. Ellipticity Curve

Metode *ellipticity curve* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan (*ground profiles*) berdasarkan kurva H/V hasil pengukuran mikrotremor sebagai input model awal. Metode ini sangat ditentukan oleh beberapa parameter sebagai inisialisasi model awal. Parameter yang dijadikan sebagai inisialisasi awal pada analisis metode *ellipticity curve* yaitu V_s (kecepatan gelombang S), V_p (kecepatan gelombang P), *Poisson ratio*, dan massa jenis (densitas) batuan. Nilai parameter tersebut disesuaikan dengan kondisi pada formasi geologi di wilayah penelitian sebagai berikut: nilai *Poisson ratio* yang digunakan sebagai inisialisasi awal pada metode ini berkisar antara 0,2 sampai 0,5 (Ostander, 1984), nilai kecepatan gelombang S (V_s) bernilai antara 50

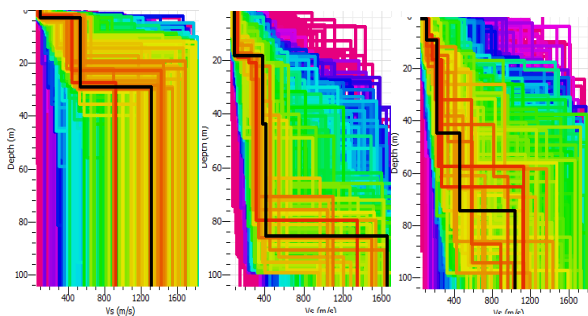
m/s sampai 2000 m/s, nilai kecepatan gelombang P (V_p) bernilai antara 200 m/s sampai 5000 m/s dan untuk massa jenis (kerapatan) batuan bernilai antara 1500 kg/m³ sampai 2000 kg/m³.

Penelitian ini menggunakan model lapisan sebanyak 3 lapisan (*layer*), 4 lapisan (*layer*), dan 5 lapisan (*layer*). Banyaknya berdasarkan pada informasi geologi di lokasi penelitian yang memiliki kondisi litologi relatif seragam. Kurva dari metode *ellipticity curve* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva dari metode *Ellipticity Curve*.

Warna pada kurva menunjukkan beberapa model kurva dengan *misfit* yang beragam. Kurva dengan garis hitam menunjukkan kurva H/V sebagai model referensi untuk metode *ellipticity curve*, dan kurva dengan garis putih menunjukkan kurva hasil dari metode *ellipticity curve* dengan nilai *misfit* terbaik yang kemudian bisa digunakan untuk analisis *ground profiles* V_s .



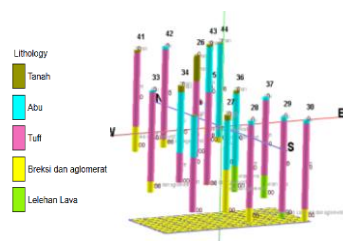
Gambar 6. *Ground Profiles* V_s dengan variasi lapisan (a) *ground profiles* V_s 3 lapisan (b) *ground profiles* V_s 4 lapisan (c) *ground profiles* V_s 5

Gambar 6 menunjukkan beberapa contoh *ground profiles* V_s dengan jumlah lapisan yang berbeda pada setiap titik pengukuran yaitu 3 lapisan, 4 lapisan, dan 5 lapisan. Gambar 6(a) adalah pemodelan *ground profiles* pada titik 6, Gambar 6(b) adalah *ground profiles* V_s pada titik 19, dan

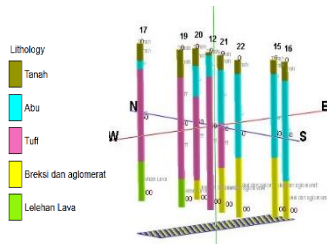
Gambar 6(c) adalah *ground profiles* V_s pada titik 21. Untuk lapisan pertama pada setiap *ground profiles* V_s dengan variasi lapisan yang berkisar dari kedalaman 0 sampai 5 meter memiliki nilai V_s yang relatif sama, yaitu dengan rentang nilai sebesar 50 m/s sampai 274 m/s.

Titik penelitian selanjutnya dilakukan pengelompokan berdasarkan formasi geologi di daerah penelitian, hal ini dilakukan agar mempermudah visualisasi litologi bawah permukaannya serta persebaran litologinya pada masing-masing formasi geologi. Oleh karena itu titik penelitian terbagi menjadi 3 zona yaitu zona I (Formasi Merapi Muda) yang berjumlah 23 titik pengukuran, zona II (Formasi Kebobutak) yang berjumlah 6 titik pengukuran, dan zona III (Formasi Semilir) berjumlah 1 titik pengukuran.

Menurut tabel klasifikasi *site* berdasarkan nilai v_s hasil penyelidikan tanah dan laboratorium SNI (RSNI 1726, 2010), sifat batuan diklasifikasikan menjadi 5 jenis, yaitu untuk jenis batuan keras memiliki nilai $V_s \geq 1500$ m/s, untuk jenis batuan memiliki nilai V_s antara 750 sampai 1500 m/s, untuk jenis batuan lunak dan tanah sangat padat memiliki nilai V_s antara 350 sampai 750 m/s, untuk tanah sedang memiliki nilai V_s antara 175 sampai 350 m/s, dan untuk jenis tanah lunak memiliki nilai V_s kurang dari 175 m/s. Berdasarkan Formasi Geologinya untuk Zona Merapi Muda yang tersusun atas *tuff*, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan tersebut diklasifikasikan berdasarkan jenis tanah (*site*) yang dirujuk dari Tabel RSNI, begitu pula untuk zona Formasi Kebo Butak, dan zona Formasi Semilir. Pemodelan tiga dimensi litologi bawah permukaan zona I Formasi Merapi Muda pada daerah penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.

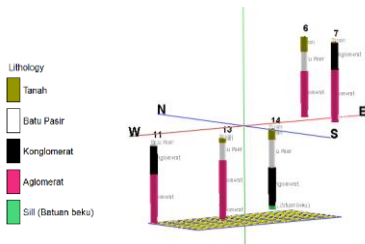


Gambar 7. *Multilog* 3D Zona I Formasi Merapi Muda bagian Utara



Gambar 8. Multilog 3D Zona I Formasi Merapi Muda bagian Selatan

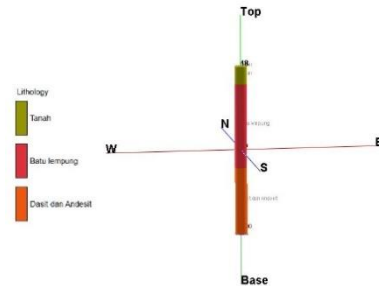
Zona I mencakup wilayah yang berada pada Formasi Merapi Muda di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten. Gambar 7 menunjukkan bahwa sisi Utara pada formasi ini secara keseluruhan tertutupi oleh abu dengan kedalaman 0 sampai 1 meter. Lapisan bawahnya didominasi oleh tuff dengan kedalaman yang cukup dalam dari kedalaman 10 meter sampai 80 meter meskipun ada beberapa wilayah di sisi Utara yang didominasi oleh abu. Kemudian untuk sisi Selatan pada zona I seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 keseluruhan titik tertutupi oleh tanah dari kedalaman 0 meter sampai 5 meter. Lapisan di bawahnya didominasi oleh abu dan tuff dari kedalaman 20 sampai 70 meter dan lapisan akhir dengan sedikit material breksi dan aglomerat pada 5 titik penelitian. Dengan demikian sebagian besar wilayah penelitian pada zona I tersusun oleh material abu dan tuff yang cukup tebal dengan distribusi nilai kecepatan gelombang geser (V_s) antara 50,15 m/s sampai 274,01 m/s pada layer pertama, dan 414,45 m/s sampai 1628,28 m/s untuk layer terakhir.



Gambar 9. Multilog 3D Zona II Formasi Kebobutak

Zona II mencakup wilayah yang memiliki Formasi Kebobutak di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten. Gambar 9 menunjukkan bahwa zona II memiliki variasi litologi penyusun didominasi oleh lapisan batuan konglomerat

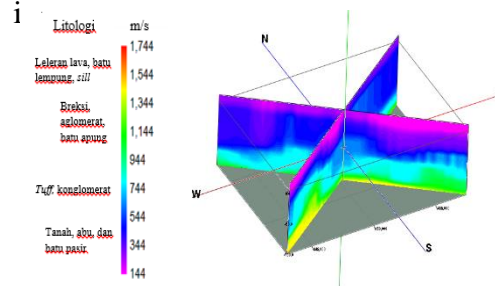
dan aglomerat. Keseluruhan daerah ini tertutupi oleh lapisan tanah yang tidak terlalu tebal pada kedalaman 0 meter sampai 5 meter. Lapisan dibawahnya dilapisi oleh batuan pasir pada beberapa titik dengan kedalaman 5 meter sampai 10 meter, dengan distribusi nilai kecepatan gelombang geser (V_s) yakni antara 50,75 m/s sampai 203,42 m/s pada layer pertama, 1035,36 m/s sampai 1555,08 m/s untuk layer terakhir.



Gambar 10. Tampilan Multilog 3D Zona III Formasi Semilir

Gambar 10 menunjukkan bahwa pada zona ini wilayah penelitian didominasi oleh tuff pada kedalaman 10 meter sampai 50 meter dan batuan lempung di bagian dasar, dengan sedikit material tanah pada kedalaman 0 meter sampai 10 meter. Sebagian besar wilayah penelitian pada zona ini tersusun oleh tuff yang cukup tebal dengan distribusi nilai kecepatan gelombang geser (V_s) yakni 52,09 m/s pada layer pertama, dan 1744 m/s pada layer terakhir.

Seluruh data hasil pengolahan mikrotremor yang telah dianalisis menggunakan metode *ellipticity curve* sehingga menghasilkan nilai kecepatan gelombang gesernya kemudian dilakukan *profiling* persebaran kecepatan gelombang geser (V_s) seperti yang disajikan pada Gambar 11. Dilakukannya *profiling* ini adalah untuk memudahkan dalam proses



Gambar 11. Sayatan persebaran kecepatan gelombang geser

Pada Gambar 11 dapat terlihat hasil pemodelan 3D yang telah dilakukan sayatan *x-cross*. Pada sisi Barat Daya dan Tenggara terlihat litologi berupa tanah lunak hingga batuan lunak terlihat cukup tebal yang ditunjukkan oleh spektrum warna ungu hingga biru tua. Oleh karena itu besar kemungkinan wilayah penelitian yaitu Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno mengalami potensi bahaya kerusakan yang cukup besar dari kondisi litologi penyusun formasi geologinya.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

1. Nilai kecepatan gelombang geser permukaan (V_s) pada lokasi penelitian relatif seragam. Untuk zona I (Formasi Merapi Muda) dari 23 titik pengukuran persebaran nilai V_s pada *layer* pertama memiliki rentang nilai antara 50,15 m/s sampai 274 m/s dan untuk *layer* terakhir memiliki nilai V_s antara 414 m/s sampai 1657 m/s. Zona II (Formasi Semilir) yang berjumlah 1 titik pengukuran memiliki nilai V_s pada *layer* pertama sebesar 52,09 m/s dan *layer* terakhir memiliki nilai V_s sebesar 1744,5 m/s. Kemudian untuk zona III (Formasi Kebobutak) dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 6 titik pengukuran persebaran nilai V_s pada *layer* pertama memiliki rentang nilai antara 50,75 m/s sampai 203,42 m/s dan untuk *layer* terakhir memiliki nilai V_s antara 1035,36 m/s sampai 1555,08 m/s.

2. Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten memiliki litologi penyusun struktur bawah permukaan yang didominasi oleh abu dan *tuff* yang tebal pada zona Formasi Merapi Muda, konglomerat dan aglomerat yang cukup tebal pada zona Formasi Kebobutak, *dasit*, *andesit* dan batu lempung pada zona Formasi Semilir.

3. Analisa litologi memperlihatkan bahwa Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno adalah wilayah yang mempunyai potensi bahaya kerusakan yang cukup parah, karena didominasi oleh material tanah lunak yang cukup tebal.

2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk mencari data bor yang berada di wilayah tersebut agar struktur litologi struktur bawah permukaan yang dihasilkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (SNI) 1726. (2010). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung*. Jakarta
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2013). *Data Indeks Rawan Bencana Provinsi Jawa Tengah*. Diakses dari <http://bnpb.go.id/uploads/migration/public/441.pdf> pada tanggal 10 Maret 2017, jam 23.15 WIB
- Geofisika ITB. (2017), Studi Seismik Hazard & Analisis Resiko dengan Pendekatan Probabilitas di Pulau Jawa. Bandung: Teknik Geofisika. 2017, jam 14.38 WIB.
- Hogiber, M. (2011). *Polarization Of Surface Waves : Characterization, Inversion and Application to Seismic Hazard Assessment*. France: University of Grenoble.
- Nakamura, Y. (2000). *Clear identification of fundamental idea of Nakamura's Technique and its application*. Japan: System and data research.
- Seed, H. B. and Schnabel, P. B., (1972). *Soil and Geological Effects on Site Response During Earthquakes. Proc. of First International Conf. on Microzonation for Safer Construction – Research and Application*, vol. I, pp 61-74.