

## Identifikasi Litologi Bawah Permukaan Menggunakan Pengukuran Mikrotremor di Bukit Sebadut, Desa Purwoharjo, Kecamatan Samigaluh

### *Identification of Subsurface Lithology Using Microtremor Method in Sebadut Hill Purwoharjo Village Samigaluh District*

Hernisa Hamukti Prameswari<sup>1</sup>, Laila Katriani<sup>2</sup>

Mahasiswa Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta<sup>1</sup> dan Dosen Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta<sup>2</sup>

E-mail: [hhernisa@gmail.com](mailto:hhernisa@gmail.com)<sup>1</sup>, [laila\\_katriani@uny.ac.id](mailto:laila_katriani@uny.ac.id)<sup>2</sup>

**Abstrak-** Bertujuan untuk identifikasi litologi bawah permukaan di area bekas tanah longsor Bukit Sebadut, Desa Purwoharjo, penelitian ini menggunakan metode mikrotremor untuk mengidentifikasi karakter frekuensi dominan ( $f_0$ ), faktor amplifikasi ( $A_0$ ), kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ), dan litologi bawah permukaan. Pengambilan data dilakukan pada 20 titik pengukuran. Data berupa sinyal mikrotremor kemudian diolah dengan metode HVSR menggunakan *Open HVSR* pada *software Matlab 2015* sehingga diperoleh nilai  $f_0$  dan  $A_0$  dari kurva H/V. Kurva H/V diproses menggunakan metode *ellipticity curve* pada program *Dinver* dari *software Geopsy* sehingga diperoleh data *ground profiles*. Dari *ground profiles* didapatkan nilai  $v_s$  kemudian dianalisis sesuai dengan formasi batuan daerah penelitian. Hasil penelitian menunjukkan nilai  $f_0$  berkisar antara 0,49 – 14,88 Hz, nilai  $A_0$  berkisar antara 3,13 – 12,22, dengan litologi penyusun berupa tanah, batu pasir, konglomerat halus, breksi, aglomerat, sill serta andesit. Mikrozonasi  $f_0$ ,  $A_0$ , serta litologi menunjukkan daerah penelitian masih rawan bencana tanah longsor.

**Kata kunci :** mikrotremor, litologi, tanah longsor

**Abstract-** Research aimed to identify subsurface lithology in the area of the former landslide of Sebadut Hill, Purwoharjo Village. This research using microtremor method to identify characters of the predominant frequency ( $f_0$ ), amplification factor ( $A_0$ ), shear wave velocity ( $v_s$ ), and subsurface lithology. Data retrieval was carried out on 20 measurement points. The data in the form of a microtremor signal was then processed by the HVSR method using the *Open HVSR* in *Matlab 2015* software so that the values  $f_0$  and  $A_0$  were obtained from the H/V curve. The H/V curve was processed using the *ellipticity curve* method with the *Dinver* program from the *Geopsy* software in order to obtain ground profiles. From the ground profiles, the value of  $v_s$  is obtained which is then analyzed according to the rock formation of research area. The results showed that the  $f_0$  ranged from 0.49 – 14.88 Hz, the  $A_0$  value ranged from 3.13 – 12.22, with the lithology in the form of soil, sandstone, fine conglomerate, breccia, agglomerates and sills and andesites. Microzonation  $f_0$ ,  $A_0$ , and subsurface lithology shows that the research area is still prone to landslides.

**Keywords:** microtremor, lithology, landslide

## PENDAHULUAN

Litologi merupakan sifat atau ciri dari bebatuan, yang terdiri dari struktur, warna, komposisi mineral, ukuran butir dan tata letak bahan-bahan pembentuknya. Kondisi litologi bawah permukaan ini perlu diketahui guna mengidentifikasi kerentanan suatu daerah terhadap bencana longsor karena material penyusun suatu wilayah sangat berkaitan dengan kondisi litologi suatu wilayah. Kondisi litologi bawah permukaan yang lebih lunak cenderung memberikan respon periode

getaran yang panjang (frekuensi rendah) dan mempunyai resiko yang lebih tinggi bila digoncang gelombang bawah tanah karena akan mengalami penguatan yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih rapat. Oleh sebab itu litologi berupa batuan lunak akan memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang lebih tinggi dibandingkan dengan litologi berupa batuan keras (Daryono, 2011).

Bukit Sebadut memiliki satu jenis formasi batuan yaitu Formasi Kebo Butak. Formasi Kebo Butak dengan

ketebalan sekitar 500 meter ini merupakan formasi batuan yang diperkirakan berumur Oligosen akhir hingga Miosen awal. Susunan dari formasi ini terdiri dari breksi andesit, *tuff*, *tuff* lapili, aglomerat, dan sisipan aliran lava andesit (Rahardjo *et al.*, 1995). 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).

Desa Purwoharjo dilihat dari kondisi geologinya yang mempunyai tingkat kerawanan bencana tanah longsor yang tinggi. Di Kecamatan Samigaluh sendiri sudah terjadi 175 bencana tanah longsor yang menjadikan Kecamatan Samigaluh sebagai kecamatan kedua yang memiliki tingkat bencana tanah longsor tinggi setelah Kecamatan Girimulyo. Salah satu bencana tanah longsor yang paling buruk yaitu pada tanggal 28-30 November 2017 akibat adanya badai Siklon Tropis Cempaka yang mengakibatkan tanah longsor yang memotong 2 dusun yaitu Dusun Sendang Mulyo dan Dusun Kalinongko hingga sepanjang  $\pm 1$  km, (BPBD, 2017). Hal itu tidak mengurangi kemungkinan terjadinya bencana tanah longsor dimasa mendatang, oleh karena itu diperlukan kajian yang berkaitan dengan kondisi bawah permukaan yang ada di Desa Purwoharjo.

Penelitian dengan metode mikrotremor ini pernah dilakukan untuk pemetaan resiko tanah longsor di Kabupaten Kulon Progo khususnya di Kecamatan Samigaluh karena kecamatan tersebut secara morfologi merupakan daerah perbukitan dan secara geologi tersebar jenis tanah lempung sehingga berpotensi terjadi tanah longsor (Baskoro, 2015). Penelitian mikrotremor juga pernah dilakukan untuk mengidentifikasi potensi pergerakan tanah pada lereng yang dipicu gempa bumi di Desa Ngargosari, Samigaluh (Nurwijayanto, *et al.*, 2017). Selain itu, dapat digunakan untuk menentukan potensi terjadinya tanah longsor di perbukitan Menoreh, Kulon Progo (Rositadewi, 2016). Oleh karena itu, penelitian dengan metode mikrotremor ini dapat memberikan tambahan informasi mengenai daerah yang rawan terjadi longsor di Bukit Sebadut, Desa Purwoharjo, Kecamatan Samigaluh, serta belum adanya penelitian dengan metode mikrotremor di wilayah tersebut, sehingga penelitian ini dapat digunakan untuk mengurangi resiko bencana tanah longsor.

## METODE PENELITIAN

Pengukuran sinyal mikrotremor dilaksanakan pada tanggal 30 dan 31 Oktober serta 1 hingga 2 November 2018. Pengambilan data primer berupa pengukuran sinyal mikrotremor secara langsung di area sekitar tanah longsor dan area bekas tanah longsor Bukit Sebadut, Desa Purwoharjo Kecamatan Samigaluh sebanyak 20 titik lokasi pengukuran dengan jarak antar

titik 10-200 m. Sinyal mikrotremor yang diambil berada pada wilayah yang terletak pada koordinat geografis  $7^{\circ} 41' 46,85''$  LS -  $7^{\circ} 41' 32,53''$  LS dan  $110^{\circ} 10' 22,54''$  BT -  $110^{\circ} 11' ,4''$  BT.

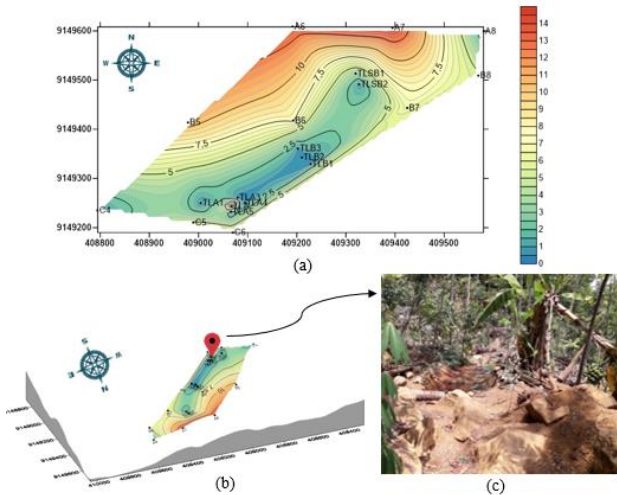
Penelitian dimulai dengan membuat desain survei menggunakan *Software Surfer 13*. Untuk kemudian digunakan sebagai pedoman saat melakukan survei lapangan. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Pengukuran menggunakan seperangkat alat *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S merek Taide sebagai alat perekam sinyal seismik. Pengolahan sinyal mentah menggunakan *Software Sesarray Geopsy* untuk *cutting* dan *windowing*. Kemudian menggunakan *Program Open HVSR* dari MATLAB untuk mengolah data berupa sinyal mikrotremor sehingga memperoleh kurva H/V sebagai fungsi frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_0$ ). Kurva H/V diolah menggunakan program Dinver dengan metode *ellipticity curve* sehingga didapatkan *ground profiles* pada titik pengukuran. Pada *ground profiles* didapatkan nilai  $v_s$  pada setiap lapisan bawah tanah. Dari nilai  $v_s$  diidentifikasi litologi bawah permukaannya sesuai dengan formasi batuan Bukit Sebadut yaitu, formasi Kebo Butak.

Pemodelan 3D diantaranya berupa mikrozonasi  $f_0$  dan  $A_0$  yang sudah di *overlay* dengan topografi wilayah penelitian menggunakan *Software Surfer 13*, pemodelan multilog 3D, litologi bawah permukaan serta stratigafi menggunakan *Software Rockwork 15*.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang dilakukan di area sekitar bekas tanah longsor pada sisi timur laut Bukit Sebadut, Desa Purwoharjo memperoleh hasil karakteristik geologi di daerah penelitian yang dapat dilihat dari kurva H/V dalam bentuk parameter frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_0$ ). Serta litologi bawah permukaan berdasarkan *ground profiles* nilai kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) menggunakan metode *ellipticity curve*.

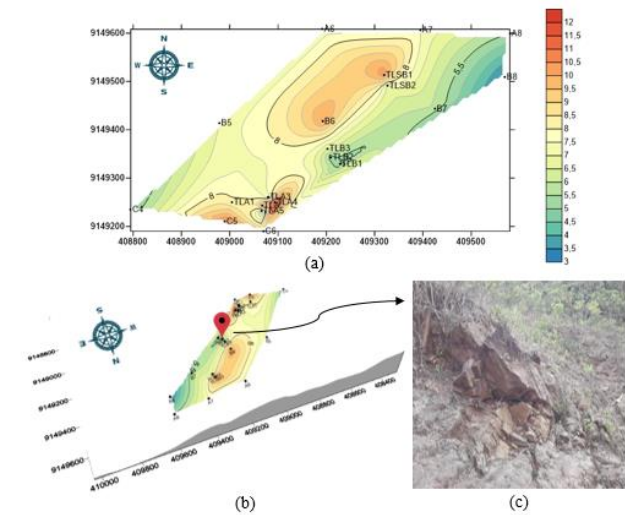
Frekuensi dominan merupakan nilai frekuensi yang sering muncul sehingga dapat disebut juga dengan nilai frekuensi alami suatu wilayah penelitian. Nilai frekuensi dominan berkaitan dengan ketebalan lapisan sedimen. Semakin rendah nilai frekuensi dominan suatu wilayah, maka semakin tebal lapisan sedimennya. Sebaliknya, nilai frekuensi dominan yang tinggi menunjukkan tipisnya lapisan sedimen suatu wilayah karena tanah yang lebih padat mendominasi. Nilai frekuensi dominan di area sekitar tanah longsor Bukit Sebadut, Desa Purwoharjo adalah 0,49 – 14,88 Hz. Nilai frekuensi dominan tersebut dapat diklasifikasikan berdasarkan metode Kanai, 1983.



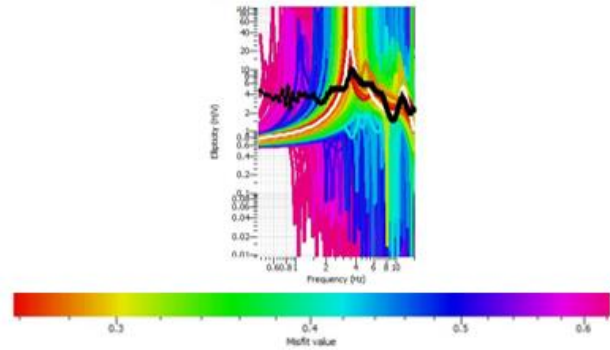
Gambar 1. (a) Mikrozonasi Nilai Frekuensi Predominan, (b) Mikrozonasi Nilai Frekuensi Predominan dengan Topografi Wilayah, (c) Titik TLA3 pada lokasi penelitian

Bukit Sebadut sendiri mempunyai Formasi Kebo Butak. Formasi Kebo Butak secara umum terdiri dari batu pasir, konglomerat halus (tanah lempung), sill serta andesit. Nilai frekuensi dominan klasifikasi tanah jenis IV dengan rentang nilai 0,49 – 1,46 Hz merepresentasikan kondisi geologi tanah lunak. Nilai frekuensi yang rendah pada area bekas tanah longsor menggambarkan adanya lapisan sedimen yang sangat tebal. Data ini didukung oleh area penelitian A8, C4, TLA1, TLA3, TLA4, TLA5, TLB1, TLB2, TLB3 dan TLSB2 yang sebagian besar titik berada pada lokasi bekas tanah longsor yang menunjukkan bahwa lokasi tersebut masih mempunyai sedimentasi yang tebal meskipun sudah terjadi tanah longsor seperti pada Gambar 1(c). Nilai frekuensi dominan jenis IV ini ditunjukkan oleh spektrum warna biru pada Gambar 1(a). Nilai frekuensi dominan tanah Jenis I berada pada titik A6, A7, B5, B6, B7, C6 dan TLA dengan nilai frekuensi dominan 6,78 -14,88 Hz. Tanah Jenis I ini tersusun oleh sedimentasi tipis dan didominasi oleh batuan keras dengan spektrum kuning hingga merah.

Nilai faktor amplifikasi area sekitar bekas tanah longsor Bukit Sebadut adalah 3,13 – 12,22. Pada Bukit Sebadut tidak terdapat nilai faktor amplifikasi klasifikasi rendah. Nilai  $A_0$  sedang berada pada rentang 3,13 – 5,9 yang ditunjukkan oleh spektrum warna biru hingga hijau pada Gambar 2(a). Hal ini sesuai dengan kondisi lapangan dengan ditemukannya singkapan batuan pada salah satu titik bekas tanah longsor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2(c) berwarna kuning pada peta mikrozonasi faktor amplifikasi. Nilai faktor amplifikasi sangat tinggi tersebar pada titik B6, C5, TLA, TLA4 dan TLSB1 dengan rentang nilai 10,19 – 12,22 yang ditunjukkan spektrum warna kuning hingga merah. Persebaran nilai faktor amplifikasi sangat tinggi ini berada pada bagian atas bekas tanah longsor serta sisi sebelah barat laut bekas tanah longsor.



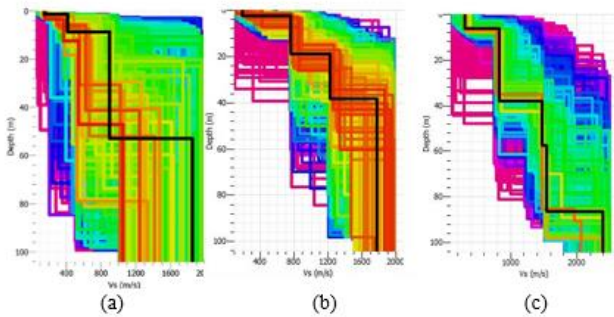
Gambar 2. (a) Mikrozonasi Nilai Faktor Amplifikasi (b) Mikrozonasi Nilai Faktor Amplifikasi dengan Topografi Wilayah, (c) Singkapan Batuan pada Titik TLSB2



Gambar 3. Kurva dari metode ellipticity curve

Metode *ellipticity curve* bergantung pada parameter sebagai inialisasi model awal. Parameter yang digunakan yaitu  $v_s$  (kecepatan gelombang S),  $v_p$  (kecepatan gelombang P), Poisson ratio, dan massa jenis batuan. Nilai parameter tersebut disesuaikan dengan kondisi pada formasi geologi di daerah penelitian, yaitu : kecepatan gelombang S bernilai antara 50 m/s sampai 2.000 m/s, kecepatan gelombang P bernilai antara 200 m/s sampai 5.000 m/s, Poisson ratio berkisar antara 0,2 sampai 0,5, dan massa jenis batuan bernilai antara 1.500 kg/m<sup>3</sup> sampai 2.000 kg/m<sup>3</sup>. Penelitian ini menggunakan model 3 lapisan (*layer*), 4 lapisan (*layer*) dan 5 lapisan (*layer*). Banyaknya lapisan berdasar pada kondisi litologi di daerah penelitian yang relative seragam. Pada wilayah penelitian yang terpusat di area sekitar tanah longsor dan bekas longoran di Bukit Sebadut, Desa Purwoharjo, material penyusun banyak dijumpai aglomerat dan konglomerat. Kurva dari metode *ellipticity curve* ditunjukkan pada Gambar 3. Kurva *ellipticity curve* tersebut merepresentasikan data dari nilai frekuensi dan nilai *ellipticity* yang selanjutnya

digunakan analisis *ground profiles* pada setiap titik pengukuran.



Gambar 4. Ground Profiles  $v_s$  dengan variasi lapangan (a) Ground Profiles  $v_s$  pada 3 lapisan di titik C4, (b) Ground Profiles  $v_s$  pada 4 lapisan di titik TLB3, (c) Ground Profiles  $v_s$  pada 5 lapisan di titik TLSB1

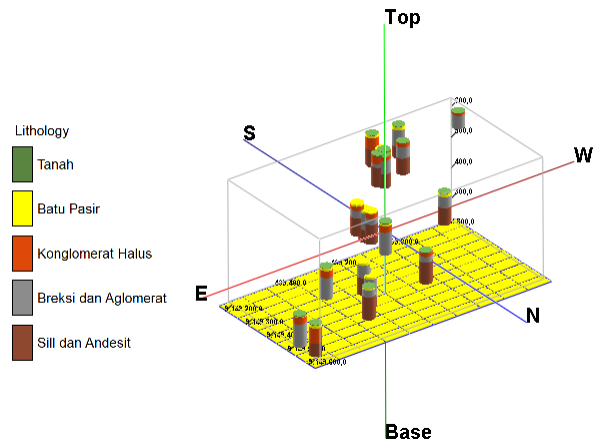
Nilai  $v_s$  yang digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan tanah diperoleh dari pemodelan *ground profile vs* dengan metode *ellipticity curve* berdasarkan kurva H/V hasil pengukuran. Kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) merupakan salah satu parameter penting untuk mendeskripsikan litologi bawah permukaan. Nilai *ground profiles* bervariasi pada setiap lapisannya. Pada lokasi penelitian digunakan 3-5 lapisan material sehingga setiap lapisan menunjukkan nilai kedalaman. Pada lapisan pertama pemodelan *ground profiles* memiliki variasi ke dalam berkisar 0 – 7 meter dengan nilai sekitar 140 m/s hingga 290 m/s. Nilai yang relatif kecil menunjukkan batuan atau material yang bersifat lunak, karena nilai kecepatan gelombang geser (berbanding lurus dengan densitas batuan). Gambar 4 menunjukkan beberapa contoh *ground profiles* dari yang jumlah lapisannya berbeda setiap titik pengukuran.

$v_s$ (m/s)	Kedalaman (meter)	Litologi	Klasifikasi site berdasarkan SNI
<175	0-5	Tanah	Tanah Lunak
175 – 350	0-20	Batu Pasir	Tanah Sedang
350 - 750	12 - 100	Konglomerat Halus (Batu Lempung)	Batuan Lunak
750- 1500	29 – 100	Breksi dan Aglomerat	Batuan
>1500	>100	Sill dan Andesit	Batuan Keras

Tabel 1. Interpretasi nilai  $v_s$  Formasi Kebo Butak

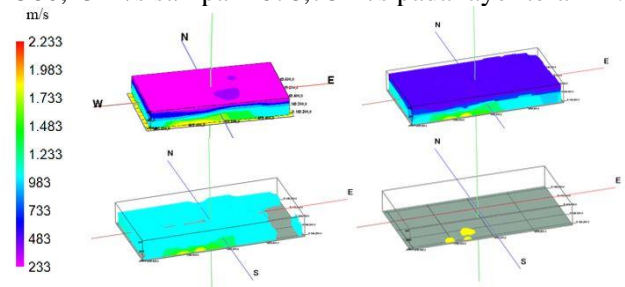
Titik penelitian yang dilakukan hanya berada pada satu zona yaitu Formasi Kebo Butak. Identifikasi persebaran litologi bawah permukaan dilakukan dengan membuat pemodelan nilai kecepatan gelombang geser

yang diinterpretasikan dengan litologi penyusun pada formasi geologi daerah penelitian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 5. Tampilan Multilog 3D Formasi Kebo Butak pada daerah penelitian

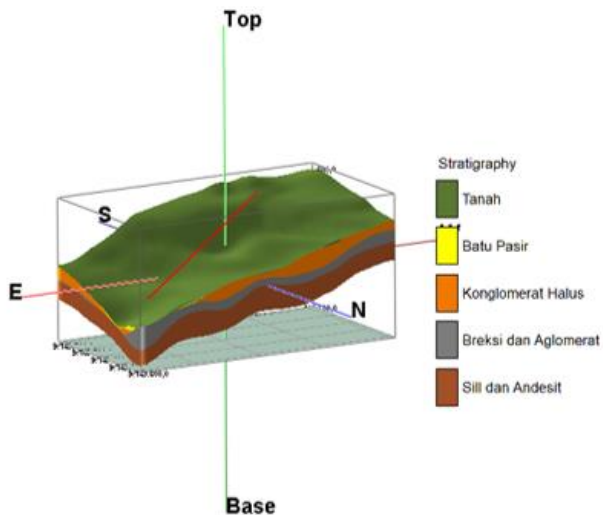
Pemodelan 3D nilai kecepatan gelombang geser yang diperoleh dari pemodelan *ground profile vs* dibuat dengan tampilan model *multilog* 3D litologi bawah permukaan untuk formasi geologi daerah penelitian dan tampilan model 3D litologi bawah permukaan tiap lapisannya. Pemodelan *multilog* 3D litologi bawah permukaan Formasi Kebo Butak daerah penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 22. Distribusi nilai kecepatan gelombang geser Formasi Kebo Butak pada *layer* (lapisan) pertama antara 56,6 m/s sampai 166,1 m/s, 184,97 m/s sampai 349,16 m/s pada *layer* kedua, 355,84 m/s sampai 742,59 m/s pada *layer* ketiga, 755,73 m/s sampai 1459,49 m/s pada *layer* keempat dan 1580,45 m/s sampai 2678,78 m/s pada *layer* terakhir.



Gambar 6. Model 3D berdasarkan jenis tanah a) Model full litologi, b) Model 3D tanpa lapisan tanah, c) Model 3D tanpa tanah dan batuan lunak, d) model 3D batuan keras.

Gambar 6(a) merupakan pemodelan 3D (tiga dimensi) di daerah penelitian yang menunjukkan interpretasi litologi berdasarkan nilai Gambar 6(b) menunjukkan jika material tanah dan batu pasir dihilangkan dari model maka akan terlihat persebaran batuan lunak menyebar dengan ketelaban yang berbeda. Gambar 6(c) menunjukkan persebaran konglomerat halus yang cukup tebal. Gambar 6(d) menunjukkan batuan dibagian dasar penelitian yang terdiri atas sill dan andesit.

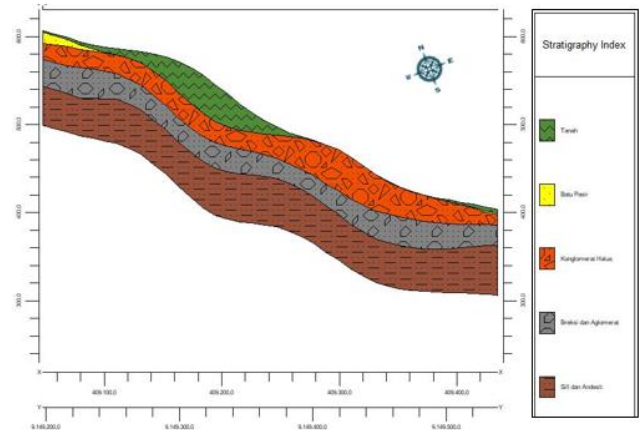




Gambar 7. Pemodelan 3D Litologi Bawah Permukaan

Pengidentifikasi potensi rawan longsor pada area sekitar tanah longsor di Bukit Sebadut, Desa Purwoharjo didapatkan berdasarkan jenis tanah, nilai faktor amplifikasi ( $A_0$ ) yang dikorelasi dengan topografi wilayah, kondisi litologi bawah permukaan serta ketebalan sedimen. Area penelitian di bekas jalur tanah longsor mempunyai rentang nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) sekitar 0,49 – 1,46 Hz yang termasuk ke dalam tanah jenis IV, yaitu kondisi tanah yang berupa endapan alluvial, *top soil*, lumpur, tanah lunak, humus, yang tergolong ke dalam tanah lembek. Nilai faktor amplifikasi pada daerah tersenut tergolong dalam klasifikasi tinggi, yaitu dengan nilai 6,38 – 8,9. Sedangkan, nilai faktor amplifikasi dengan klasifikasi sangat tinggi dengan nilai 10,19 – 12,22, berada pada titik atas tanah longsor, sisi sebelah barat laut bekas tanah longsor, serta pada bagian paling bawah bekas tanah longsor. Hal ini menunjukkan bahwa batuan lunak pada daerah tersebut masih lebih banyak dibandingkan titik bagian tengah bekas tanah longsor. Area lereng bekas tanah longsor yang berada pada sisi timur laut Bukit Sebadut ini memiliki elevasi sekitar 335 – 629 meter dengan kemiringan lereng yang curam. Lapisan sedimen yang tersisa pada jalur tanah longsor pun juga masih cukup tebal. Lapisan sedimen ini tersusun oleh tanah, batuan pasir, konglomerat halus (lempung). Hal ini terlihat pada Gambar 8 yang merupakan sayatan ke arah timur laut pada jalur tanah longsor pada Gambar 7, bahwa lapisan sedimen memiliki ketebalan sekitar 10 – 15 meter.

Lapisan sedimen ini tersusun oleh material dengan densitas rendah sehingga menyebabkan air dapat meresap ke lapisan *bedrock*. Air yang meresap ini dapat menambah beban pada lereng dan membuat lapisan sedimen mudah bergeser. Dengan adanya faktor lingkungan seperti curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan resiko rawan bencana tanah longsor.



Gambar 8. Sayatan Pemodelan Litologi pada Jalur Longsor

## SIMPULAN

Hasil mikrozonasi nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) di area sekitar tanah longsor dan area bekas longoran pada Bukit Sebadut berkisar antara 0,49 – 14,88 Hz dan nilai faktor amplifikasi ( $A_0$ ) berkisar antara 3,13 – 12,22. Wilayah dengan nilai frekuensi dominan yang rendah tersebar jalur tanah longsor, dengan nilai faktor amplifikasi tinggi. Persebaran nilai faktor amplifikasi sangat tinggi berada pada bagian atas bekas tanah longsor serta sisi sebelah barat laut bekas tanah longsor serta bagian paling bawah bekas tanah longsor. Area sekitar tanah longsor dan area bekas tanah longsor pada Bukit Sebadut memiliki Formasi Kebo Butak dengan litologi penyusun struktur bawah permukaan berupa tanah, batu pasir, konglomerat halus, breksi, aglomerat dan sill serta andesit. Lokasi ini didominasi dengan penyusun konglomerat halus serta aglomerat. Area sekitar bekas tanah longsor pada sisi timur laut Bukit Sebadut jika dilihat dari jenis tanah, nilai faktor amplifikasi, litologi bawah permukaan serta ketebalan sedimennya masih memiliki tingkat kerawanan tanah longsor yang tinggi. Adanya faktor lingkungan seperti curah hujan yang tinggi juga mempengaruhi tingkat kerawanan tanah longsor pada lokasi penelitian.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Mengucapkan terima kasih kepada Penguji utama, Bapak Denny Darmawan, M.Sc., Penguji Pendamping Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si., Pembimbing Tugas Akhir Skripsi, Ibu Laila Katriani, M.Si., BMKG Yogyakarta, warga Bukit Sebadut serta rekan-rekan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2019. *Bencana Alam di D.I. Yogyakarta dari Tahun 2016 sampai 2018*. Diakses melalui

<http://bnpb.cloud/dibi/tabel1a> pada tanggal 25 Februari 2019.

- Baskoro, Anang Arif. 2015. *Pemetaan Resiko Tanah Longsor di Kecamatan Samigaluh, Kabupaten Kulon Progo*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Daryono. (2011). *Indeks Kerentanan Seismic Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuk Lahan Di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. Disertasi, Fakultas Geografi: Universitas Gajah Mada.
- Kanai, K. 1983. *Seismology in Engineering*. Tokyo University: Japan.
- Nakamura, Yutaka. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications*. System and Data Research, Japan.
- Nurwijayanto, et al., 2017. *Identifikasi Potensi Pergerakan Tanah pada Lereng yang Dipicu Gempabumi Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, H.M.D. Rosidi. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Rositadewi, Reditha Ayu. 2016. *Analisis Ground Shear Strain untuk Menentukan Potensi di Perbukitan Menoreh Kabupaten Kulon Progo*. Malang: Universitas Brawijaya.