

DOI: doi.org/10.21009/SPEKTRA.033.04

Received: 16 October 2018
Revised: 02 December 2018
Accepted: 28 December 2018
Published: 30 December 2018

IDENTIFIKASI KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN DAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DI ZONA AMBLESAN KOTA LAMA SEMARANG BERDASARKAN DATA MIKROSEISMIK

Supriyadi^{a)}, Khumaedi, Sugiyanto, R.H. Hidayatullah

Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang, Universitas Negeri Semarang, Sekaran, Gunungpati Semarang

Email: ^{a)}supriyadi@mail.unnes.ac.id

Abstrak

Sebagai kota di pesisir pantai pulau Jawa Semarang merupakan tempat yang bersejarah dengan bangunan-bangunan kuno peninggalan Belanda yang disebut kota lama. Dalam rangka melestarikan kota lama peninggalan bersejarah tersebut perlu dilakukan kajian struktur bawah permukaan karena Semarang ini terutama daerah yang tersebar endapan alluvial sehingga memungkinkan terjadi Amblesan (subsidence). Amblesan ini dapat mengakibatkan banjir di daerah Semarang utara akibat banjir pasang (rob), serta terjadi kerusakan pada bangunan-bangunan peninggalan bersejarah tersebut. Amblesan ini disebabkan oleh beban berat di atas lapisan, deformasi lapisan tanah permukaan dan pemompaan air tanah kepermukaan. Potensi amblesan ini dapat diketahui melalui kajian struktur bawah permukaan dengan metode mikroseismik. Mikroseismik merupakan metode geofisika yang sering digunakan untuk survey pendahuluan mendeteksi ketidakstabilan lapisan batuan dengan memanfaatkan getaran kecil dari gelombang seismik. Akuisisi data dilakukan dengan menggunakan alat Seismometer 3 komponen dan kemudian diolah dengan metode HVSR. Dari hasil pengolahan data diperoleh ketebalan lapisan sedimen pada kawasan gereja Blenduk berkisar antara 68-116 m. Kondisi struktur bawah permukaan di kawasan Gereja Blenduk yaitu terdiri dari batuan aluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll dengan kedalaman 30 m atau lebih. Ketebalan sedimen permukannya sangatlah tebal.

Kata-kata kunci: mikroseismik, amblesan, kota lama.

Abstract

Semarang, as a city on the coast of Java island, is a historic place and has Dutch heritage buildings called the old city. In order to preserve the old historical heritage city, it is necessary to study subsurface structures. Because Semarang, especially the area with the distribution of alluvial deposits, allows for subsidence. This subsidence can cause tidal flooding in the northern Semarang area and damage the historic buildings. This subsidence is caused by heavy loads above the layers, deformation of the surface soil, and pumping of soil water to the surface. The potential of subsidence can be determined through the study of subsurface structures using the micro seismic method. Micro seismic is a geophysical method that is often used in preliminary surveys to detect instability of rock layers by utilizing small vibrations from seismic waves. Data acquisition is carried out by using a 3 component Seismometer and then processed using the HVSR method. From the results of data processing, it was found that the thickness of the sediment layer in the Blenduk church area ranged from 68-116 m. The condition of the subsurface structure in the Blenduk Church area is composed of alluvial rocks formed from

sedimentation of delta, top soil, mud, etc. with a depth of 30 m or more. The thickness of the surface sediment is very thick.

Keywords: microseismic, subsidence, old city.

PENDAHULUAN

Kota lama merupakan suatu kawasan di kota Semarang dengan banyak bangunan-bangunan kuno nan eksotis dan megah peninggalan Kolonial Belanda. Beberapa bangunan kuno peninggalan penjajah Belanda di kawasan Kota Lama, seperti gereja Blenduk, gedung asuransi Jiwasraya, kantor pos besar Semarang, stasiun Tawang, jembatan Berok, dan lain sebagainya. Bangunan-bangunan tersebut berada di Semarang bagian utara yang menandakan bahwa pembangunan cenderung kearah pantai. Dilihat dari perkembangan garis pantai di Semarang mengalami perubahan yang signifikan. Hal ini mencirikan proses pengendapan yang terus berlangsung hingga kini dan menunjukkan bahwa endapan yang terbentuk belum mengalami kompaksi dan berumur relatif muda dibanding dengan batuan dasar hingga dapat dikatakan sebagai endapan aluvial [1].

Penelitian amblesan di kota Semarang, khususnya di Semarang bagian bawah (Kota Lama) telah dilakukan oleh beberapa peneliti pada 10 tahun terakhir ini [2-6], penelitian tentang prediksi amblesan tanah (land subsidence) pada daratan aluvial di Semarang bagian Bawah, yang hasilnya menunjukkan bahwa amblesan lahan pada dataran aluvial di sebagian Kota Semarang dipengaruhi oleh sifat fisik dan mekanik tanah serta beban – beban di atas permukaan tanah. Semakin keutara (arah laut) laju amblesan semakin besar dan waktu amblesan semakin lama, ini dipengaruhi oleh indek pemampatan (C_c), dan koefisien konsolidasi (C_v). Semakin besar C_c amblesan semakin dalam dan semakin kecil C_v waktu amblesan semakin lama [2].

Hasil penelitian amblesan lahan di sebagian kota Semarang di Stasiun Tawang dan Kota Lama besarnya 5-10 cm per tahun. Amblesan di sebagian kota Semarang umumnya terjadi pada dataran aluvial dengan kedalaman yang berbeda, semakin keutara umumnya amblesan semakin besar [7]. Penjelasan penyebab amblesan tanah diduga akibat pemampatan endapan aluvial secara alami, pembebanan bangunan, pengurangan tanah dan ekstraksi air tanah melebihi kemampuannya (*Safe Yield*) [8].

Adanya endapan aluvial yang ada di daerah penelitian Kota Lama dapat diindikasikan melalui parameter, frekuensi natural (F_o), amplifikasi maksimum (A_o). Nilai ketebalan lapisan sedimen dapat diketahui dengan metode mikroseismik [9]. Metode Mikroseismik ini dapat digunakan untuk meneliti kondisi geologi bawah permukaan [10]. Hasil penelitian tersebut dapat menjelaskan kedalaman dari batuan dasar dan menggambarkan ketebalan lapisan lapuk atau lapisan sedimen yang berada di atas batuan dasar. Ketebalan lapisan sedimen (h) berhubungan dengan frekuensi natural (F_o) dan kecepatan gelombang S pada permukaan (v_s) yang diperoleh dari data USGS (United States Geological Survey), dirumuskan persamaan sebagai berikut [11]:

$$h = \frac{v_s}{4F_o} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) dapat dinyatakan bahwa semakin kecil nilai frekuensi natural maka semakin tebal lapisan sedimen sehingga kedalaman dari batuan dasar juga semakin dalam [12-13]. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan dengan mengetahui frekuensi natural bisa berdasarkan frekuensi natural mikroseismik oleh Kanai [14].

METODE PENELITIAN

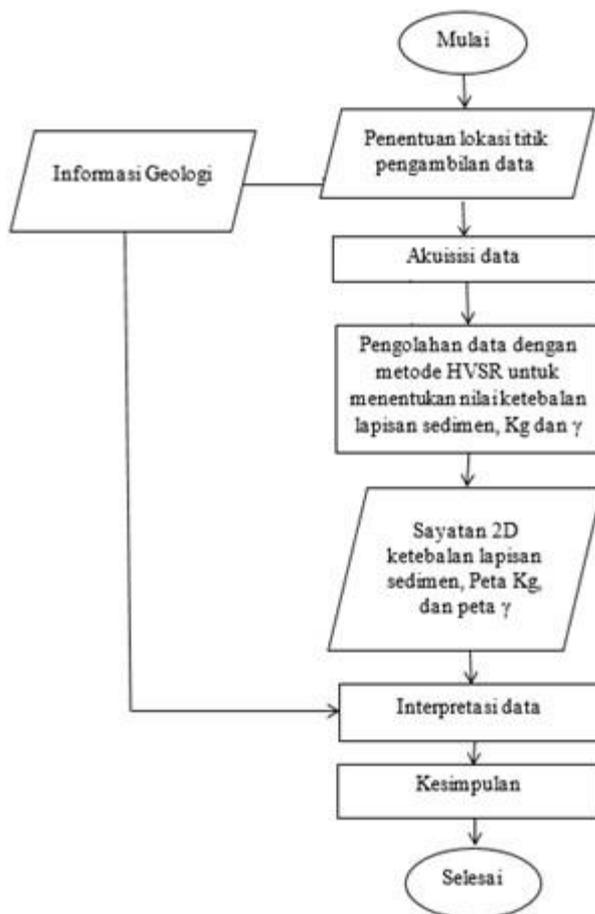
Penelitian ini dilaksanakan di Kota Lama, khususnya kawasan gereja Blenduk. Kawasan Kota Lama ini oleh Pemerintah Kota Semarang telah dijadikan kawasan pariwisata sejak 15 tahun terakhir ini. Alasan utama Kota Lama dijadikan kawasan pariwisata adalah banyaknya bangunan kuno

peninggalan penjajah Belanda dan perlu informasi struktur bawah permukaan. Hal ini disebabkan oleh kondisi yang saat ini terjadi di Kota Lama, yaitu adanya intrusi air laut, amblesan dan banjir di musim hujan. Fenomena ini tentunya sedikit banyak mempengaruhi kondisi bangunan yang ada di kawasan tersebut. Bangunan kuno peninggalan Belanda, diantaranya Gereja Blenduk, Gedung Murba, Gedung keuangan seperti GAMBAR 1.



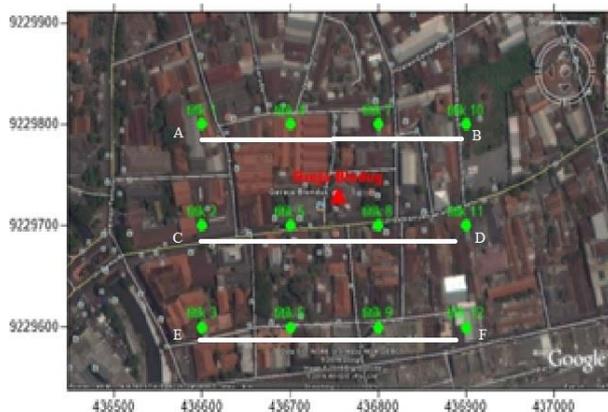
GAMBAR 1. Beberapa Bangunan Kuno Peninggalan Belanda di Kota Lama Semarang

Berdasarkan kajian awal di lapangan disusun tahapan penelitian seperti GAMBAR 2 berikut.



GAMBAR 2. Diagram Alir Penelitian Mikroseismik untuk Menentukan Lapisan Sedimen dan Struktur Bawah Permukaan

Akuisisi data dilakukan di kawasan Gereja Blenduk dengan titik ukur sebanyak 12 seperti GAMBAR 3. dengan menggunakan alat Seismometer 3 komponen merek MAE. Distribusi titik ini difokuskan di tengah-tengah lokasi penelitian. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh informasi lapisan bawah permukaan di lokasi tersebut, dimana banyak berdiri bangunan kuno peninggalan penjajah Belanda yang sebagian sudah dijelaskan di bagian metode penelitian.



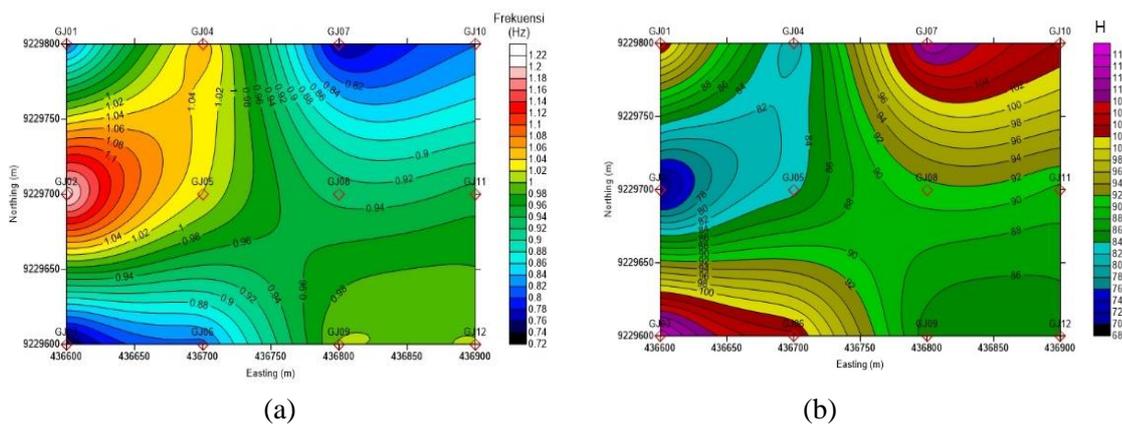
GAMBAR 3. Desain Survei Lokasi Penelitian

Selama pengambilan data usahakan lokasi titik ukur jauh dari noise, dan tanah yang berada di lokasi pengukuran tidak gembur karena jika tanah gembur akan terjadi efek peredaman gelombang mikroseismik, sehingga dapat mempengaruhi data yang ditangkap seismometer [15].

Berdasarkan pengukuran data gelombang mikroseismik di lapangan, data diolah dengan menggunakan software Geopsy. Software Geopsy digunakan untuk mengubah domain waktu pada data gelombang mikroseismik menjadi domain frekuensi menggunakan fungsi FFT (*Fast Fourier Transform*). Kemudian, spektrum gelombang seismik diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) sehingga diperoleh nilai frekuensi natural (F_0) dan amplifikasi maksimum (A_0). Dari data frekuensi natural dapat ditentukan nilai ketebalan lapisan sedimen (h) dan kondisi struktur bawah permukaan.

HASIL DAN DISKUSI

Analisis dilakukan dengan melihat hubungan antara frekuensi natural, ketebalan lapisan sedimen, karakteristik tanah, dimana semua parameter tersebut dapat digunakan untuk pemetaan mikrozonasi Kawasan Gereja Blenduk kota lama Semarang. Persebaran frekuensi natural dapat dilihat pada GAMBAR 3a. Sedangkan sebaran nilai ketebalan lapisan sedimen dapat dilihat pada GAMBAR 3b.



GAMBAR 4. (a) Peta Sebaran F_0 dan (b) Peta Sebaran Ketebalan Lapisan Sedimen di Kawasan Kota Lama

Berdasarkan GAMBAR 4a dan GAMBAR 4b menunjukkan bahwa nilai frekuensi natural di kawasan Kota Lama sebesar 0.72-1.22 Hz. Besarnya frekuensi natural suatu daerah dapat mengidentifikasi jenis tanah di daerah tersebut. Jika digunakan hasil sebagaimana dirumuskan Kanai, seperti pada Tabel 1[16], maka dapat diprediksi struktur bawah permukaan dan lapisan tanah secara kualitatif.

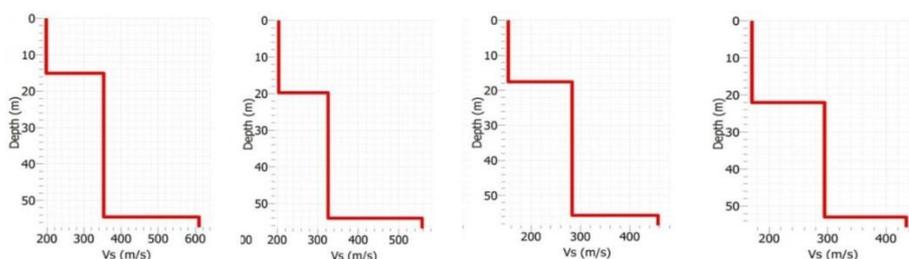
Berdasarkan TABEL 1 klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi natural mikroseismik oleh Kanai dapat diketahui bahwa struktur bawah permukaan di kawasan gereja Blenduk Kota Lama

Semarang terdiri dari batuan aluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dengan kedalaman 30 m atau lebih. Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal.

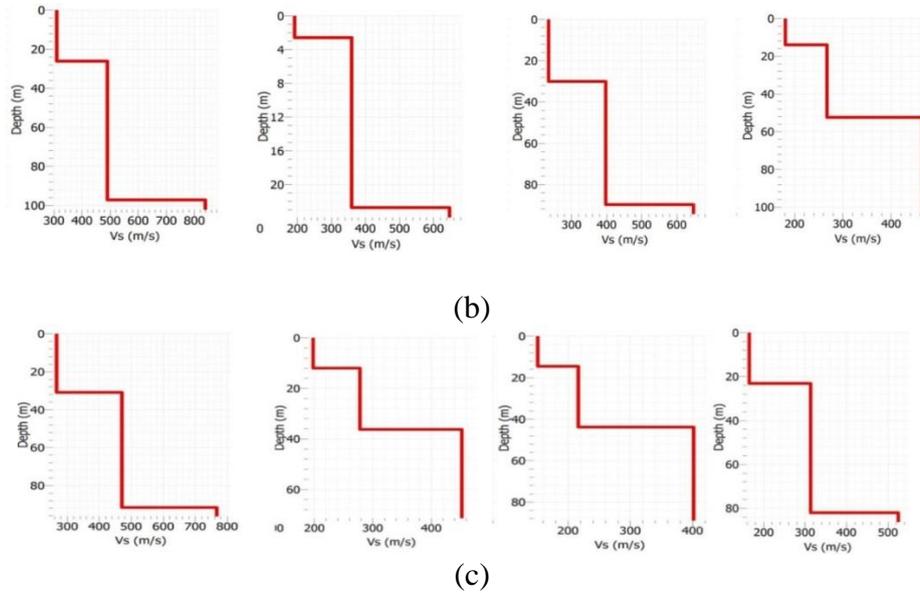
Hasil inversi kurva HVSR yang dilakukan telah didapatkan nilai kecepatan gelombang S (V_s) bawah permukaan pada masing-masing titik akuisisi. Dengan berdasarkan kurva HVSR berbasis gelombang badan dilakukan inversi dengan menggunakan *software Dinver* yang dikembangkan oleh Herak [10] sehingga didapatkan nilai sebaran V_s wilayah Kota Lama Semarang yang digambarkan dalam GAMBAR 5. yang merupakan gambar 1D nilai V_s wilayah Kota Lama Semarang (tampak atas dan dari arah Barat-Timur bagian atas (A-B), arah Barat-Timur bagian tengah (C-D), dan arah Barat-Timur bagian bawah (E-F). Dari perubahan bentuk grafik *depth - V_s* , terlihat bahwa wilayah Kota Lama Semarang memiliki rata-rata nilai V_s yang rendah, yaitu sekitar 50-800 m/s. Kemudian gambar juga menunjukkan kecepatan gelombang geser rendah (<150 m/s) semakin menebal menuju arah utara dan arah selatan, sedangkan bagian tengah arah barat lapisan dengan V_s rendah tipis. Batas-batas kedalaman V_s ini menunjukkan kedalaman *bedrock* tiap titik. Pada dasarnya *bedrock* struktur bawah permukaan dapat diketahui dari nilai V_s yang tinggi, yakni sekitar 1000 m/s. Namun yang terjadi di wilayah Kota Lama Semarang ini berbeda, karena *bedrock* yang didapatkan memiliki nilai V_s dibawah 500 m/s hal ini karena memang pada dasarnya hampir seluruh wilayah Kota Lama Semarang tertutupi oleh endapan permukaan aluvium dan batu pasir, dengan *bedrock* berupa lempung dan konglomerat.

TABEL 1. Tabel Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural Mikroseismik [16]

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Type IV	Jenis I	6,667-20	Batuan Tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
	Jenis II	4-6,667	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5-10 meter
Type III	Jenis III	2,5-4	Batuan Aluvial dengan ketebalan >5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , Dll	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30 meter.
Type II	Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal
Type I				

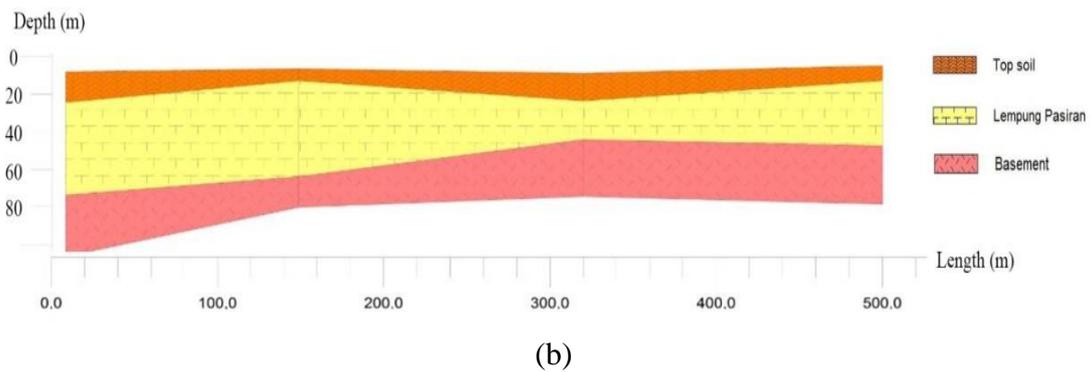
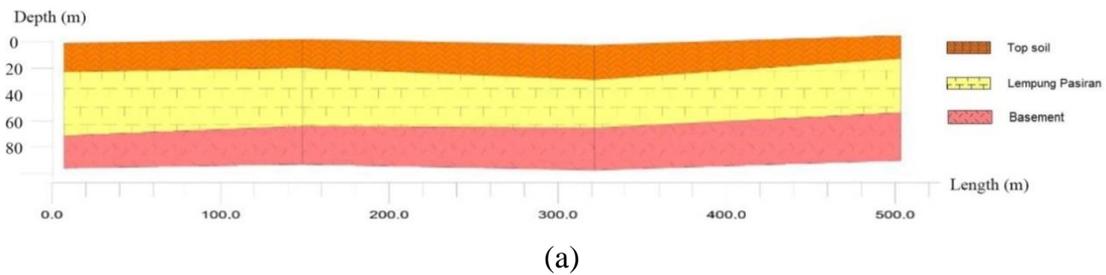


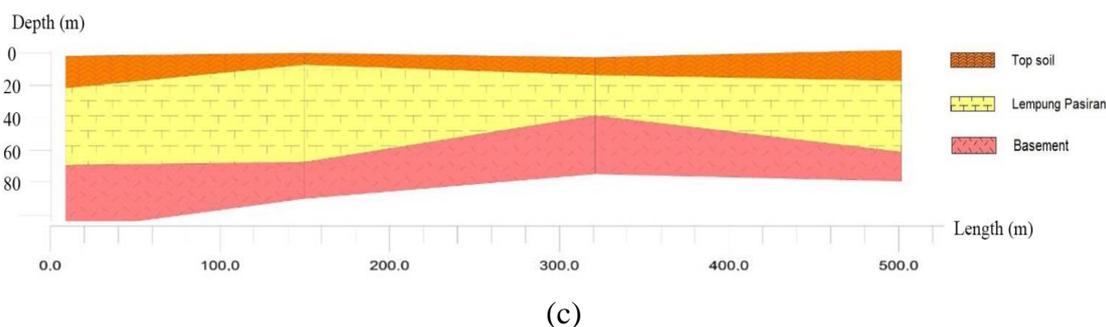
(a)



GAMBAR 5. (a) Profile 1D Gelombang Shear (V_s) Untuk pengukuran lintasan (A-B), (b) Pengukuran lintasan (C-D), dan (c) Pengukuran lintasan (E-F).

Berdasarkan analisis kecepatan gelombang S pada lapisan bawah permukaan di Kota Lama dapat dimodelkan struktur lapisan tanah daerah penelitian yang ditunjukkan pada GAMBAR 6 berikut.





GAMBAR 6. Sayatan 2D lapisan tanah bawah permukaan (a) sayatan A-B (b) sayatan C-D (c) sayatan E-F

GAMBAR 6 menunjukkan kondisi lapisan tanah bawah permukaan daerah penelitian. Berdasarkan tabel klasifikasi tanah nilai V_s maka dapat diinterpretasi bahwa nilai V_s lapisan sedimen di Kota Lama Semarang mulai dari 100 – 1000 m/s. Nilai V_s yang tinggi dari 500-1000 yang ditunjukkan dengan warna merah muda diinterpretasikan sebagai batuan bedrock yang terbentuk dari lapisan alluvial berupa batuan lempung yang lebih keras pada kedalaman lebih dari 50 m. Sementara itu Nilai V_s yang lebih rendah antara 200-500 m/s yang ditunjukkan dengan warna kuning muda diinterpretasikan sebagai batuan alluvial dengan ketebalan 20 m atau lebih yang terdiri dari batupasir dan lempung. Kemudian untuk nilai V_s 20 m/s sampai dengan 200 m/s yang ditunjukkan dengan warna orange diinterpretasikan sebagai top soil yang terdiri dari batupasir, pondasi bangunan serta lanau dengan kedalaman mulai dari 1 m hingga 10 m dan ketebalannya 5 m atau lebih.

SIMPULAN

Dari hasil pengolahan data frekuensi natutral diperoleh ketebalan lapisan sedimen pada kawasan gereja Blenduk Kota Lama Semarang dan sekitarnya berkisar antara 68-116 meter. Kondisi struktur bawah permukaan meliputi batuan aluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dengan kedalaman 30 m atau lebih. Ketebalan sedimen permukannya sangatlah tebal.

Berdasarkan analisis kecepatan gelombang S pada lapisan bawah permukaan di Kota Lama dapat dimodelkan struktur lapisan tanah daerah penelitian yang terdiri atas top soil dari permukaan sampai dengan kedalaman 20 m, lempung pasir pada kedalaman 21 sampai 70 m dan lebih dari 71 m adalah batuan dasar (basement).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini adalah bagian penelitian dengan judul Penelitian Amblesan dan Kerentanan Kegempaan untuk Pengembangan Wisata di Kawasan Kota Lama Semarang. Ucapan terimakasih disampaikan kepada DRPM Kemenristek yang telah mendanai penelitian ini dengan skim Hibah Penelitian Kompetensi dengan kontrak penelitian Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Tahun Anggaran 2018.

REFERENSI

- [1] Thaden, R. E., Sumadirja, Richard, W. 1996: *Peta geologi lembar Magelang dan Semarang, Jawa Tengah*, Direktorat Geologi Bandung.
- [2] Soedarsono, U. dan Sudjarwo, I.B. 2008. Amblesan di daerah Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 3 No. 1. pp: 1-9
- [3] Soebowo ,E., Sarah, D., Murdohardono, D., dan Wirabuana, T. 2014. Geologi Bawah Permukaan

- Wilayah Amblesan Tanah di Kota Semarang. *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI Tahun 2014* pp: 57-63.
- [4] Sarah, D., Soebowo ,E., Mulyono,A., dan Satriyo,N.A. 2013. Model Geologi Teknik Daerah Amblesan Tanah Kota Semarang Bagian Barat. *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi – LIPI 2013* pp: 11-18.
- [5] Fuji, R., Pratikso, dan Soedarsono. 2017. Pengaruh Amblesan Tanah (Land Subsidence) Terhadap Perubahan Luas Genangan Air Pada Dataran Alluvial Kota Semarang Bagian Timur (Studi Kasus : Kecamatan Genuk Dan Kecamatan Pedurungan). *Prosiding SNST ke-8 Tahun 2017 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang* pp: 1-6
- [6] Yuliyanti, A., Sarah, D., dan Soebowo, E. 2012. Pengaruh Lempung Ekspansif Terhadap Potensi Amblesan Tanah di Daerah Semarang. *Riset Geologi dan Pertambangan* Vol. 22 No. 2 pp: 105-114
- [7] Tobing, T., MHL dan Murdohardono, D. 2001. Evaluasi Geologi Teknik Penurunan Muka Air Tanah (land subsidence) Daerah Semarang dan Sekitarnya, DGTL, Bandung.
- [8] Holtz, K. 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice Hall New Jersey.
- [9] Nakamura, Y. 1989. A Method for Dynamic Characteristic Estimation of Subsurface using Microtremor on The Ground Surface. *Q.R. of RTRI*. Vol. 30, No. 1, page 25-33.
- [10] Ehsani, N., Ghaemghamian, M.R., Faslavi, M. and Haghshenas, E. 2015. *Estimation of Subsurface Structure Using Microtremor in Karaj City Iran*. 10th Asian Regional Conference of IAEG.
- [11] Nakamura, Y. 2008. *On The H/V Spectrum*. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China.
- [12] Zaharia, B., Radulian, M., Popa, M., Grecu, B., Bala, A. and Tataru, D. 2008. Estimation of the local response using the Nakamura method for the Bucharest area. *Romanian Report in Physics*, Vol. 60, No. 1, P. 131-144.
- [13] Mala, H. U., Susilo, A. dan Sunaryo. 2015. Kajian Mikrotremor dan Geolistrik Resistivitas di Sekitar Jalan Arteri Primer Trans Timor untuk Mitigasi Bencana. *Jurnal Natural B*, Vol. 3, No. 1.
- [14] Putra, D. M. A., Wibowo, N. B. dan Darmawan, D. 2014. *Indeks Kerentanan Seismik Kabupaten Kulon Progo Berdasarkan Data Mikrotremor*. *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika*, ISBN: 978-602-99834-6-3. Yogyakarta.
- [15] SESAME. 2004. *Guidlines for The Implementation of H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation*. SESAME European Research Project. Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME.
- [16] Arifin, S. S., Mulyanto, B.S., Marjiyono dan Setianegara, R. 2012. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi* Vol. 2, No. 1.