



APLIKASI METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSr)* UNTUK ANALISIS STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN TANAH PADA ZONA AMBLESAN STUDI KASUS PERUMAHAN TANAH MAS KOTA SEMARANG

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

oleh

Tahlis Siamitha Amrullah
4211413029

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2018

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul “Aplikasi Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)* untuk Analisis Struktur Bawah Permukaan Tanah Pada Zona Amblesan Studi Kasus Perumahan Tanah Mas Kota Semarang” telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

Hari : Jum'at
Tanggal : 2 Maret 2018

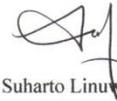
Semarang, 2 Maret 2018

Pembimbing I

Pembimbing II



Prof. Dr. Supriyadi, M.Si.
NIP. 196505181991021001



Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP. 196807141996031005

PERNYATAAN

Skripsi yang berjudul “*Aplikasi Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HYSR) untuk Analisis Struktur Bawah Permukaan Tanah Pada Zona Amblesan Studi Kasus Perumahan Tanah Mas Kota Semarang*” ini disusun berdasarkan hasil penelitian penulis di lapangan dengan arahan dosen pembimbing. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Semarang, 2 Maret 2018

Penulis,



Tahlis Siamitha Amrullah

NIM. 4211413029

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Aplikasi Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)* untuk Analisis Struktur Bawah Permukaan Tanah Pada Zona Amblesan Studi Kasus Perumahan Tanah Mas Kota Semarang

disusun oleh

Tahlis Siamitha Amrullah

4211413029

telah dipertahankan dihadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 2 Maret 2018.

Panitia:



Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt.

NIP. 196412231988031001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

NIP. 196807141996031005

Ketua Penguji

Dr. Khumaedi, M.Si.

NIP. 196306101989011002

Anggota Penguji/

Pembimbing I

Prof. Dr. Supriyadi, M.Si.

NIP. 196505181991021001

Anggota Penguji/

Pembimbing II

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

196807141996031005

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

➤ Motto:

- Pelajarilah olehmu ilmu pengetahuan dan pelajarilah pengetahuan itu dengan tenang dan sopan, rendah hatilah kamu kepada orang yang belajar kepadanya.
(HR. Abu Nu'aim)
- Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap. (Q.S. Al-Insyirah: 6 - 8)
- Belajarlah dari kegagalan, karena dengan kegagalanlah pola pikir kita akan akan terdorong untuk segera menyelesaikan sesuatu (tujuan).

➤ Skripsi ini kupersembahkan untuk:

1. Kedua orangtua saya, terimakasih atas do'a, kasih sayang, semangat serta pelajaran hidup yang telah diberikan.
2. Kakak saya, Albie Alamsyah dan Satia Kurnianingsih, S.E., terimakasih sudah menjadi kakak yang bisa memotivasi dan menginspirasi.
3. Keluarga besar Alm. Mbah Kasdi Anwar dan keluarga besar Mbah Sunoto, terimakasih atas do'a dan dukungan untuk menyelesaikan skripsi.
4. Imam dunia akhirat saya, yang belum saya ketahui siapakah gerangan, terimakasih atas do'a yang selalu kau panjatkan supaya kita segera dipertemukan disaat yang tepat.
5. Almamater, tempat saya belajar dan menata pola pikir menjadi manusia lebih baik, Universitas Negeri Semarang.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah subhanallahu wa ta'alaah atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul "**Aplikasi Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)* untuk Analisis Struktur Bawah Permukaan Tanah Pada Zona Amblesan Studi Kasus Perumahan Tanah Mas Kota Semarang**", dapat diselesaikan dengan baik.

Shalawat serta salam semoga Allah limpahkan selalu kepada Rasulullah shallallahu 'alaihi wa sallam, keluarganya, sahabatnya serta orang-orang yang senantiasa mengikuti mereka dengan kebaikan. Skripsi ini disusun untuk memenuhi kurikulum akademi sebagai salah satu syarat kelulusan yang ada di Strata Satu (S1) Program Studi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Skripsi ini terdiri dari lima bab. Bab pertama menjelaskan pendahuluan, bab kedua tinjauan pustaka, bab ketiga metode penelitian, bab keempat hasil dan pembahasan serta bab kelima simpulan dan saran.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan terselesaikan dengan baik tanpa adanya partisipasi dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang;
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang;

3. Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang;
4. Ketua Program Studi Fisika Universitas Negeri Semarang;
5. Sunarno, S.Si., M.Si., selaku dosen wali yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis;
6. Prof. Dr. Supriyadi, M.Si., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam penyusunan skripsi;
7. Dr. Suharto Linuwih, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan motivasi dalam penyusunan skripsi;
8. Dr. Khumaedi, M.Si, selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran dan masukan dalam perbaikan penyusunan skripsi;
9. Dr. Ngurah Made Darma Putra, M.Si., selaku kepala laboratorium fisik yang telah memberikan fasilitas dalam melaksanakan penelitian;
10. Bapak, Ibu, Kakak, saudara, serta sahabat-sahabat atas do'a, semangat dan dukungannya;
11. Teman-teman KSGF Unnes yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis;
12. Teman-teman Prodi Fisika angkatan 2013 yang telah mengisi hari-hari penulis selama melaksanakan studi di Unnes;
13. Teman-teman Jurusan Fisika 2013 yang telah memberi semangat;
14. Teman-teman KKN Lokasi Desa Jombor Tahun 2016 yang telah memberi pengalaman hidup sehingga menjadikan semangat kepada penulis untuk segera menyelesaikan skripsi;

15. Semua pihak terkait yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terimakasih telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk kesempurnaan penulisan selanjutnya. Semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Semarang, 2 Maret 2018

Penulis

Tahlis Siamitha Amrullah
NIM. 4211413029

ABSTRAK

Amrullah, Tahlis Siamitha. 2018. *Aplikasi Metode Horizontal To Vertical Spektral Ratio (HVSR) Untuk Analisis Struktur Bawah Permukaan Tanah Pada Zona Amblesan Studi Kasus Perumahan Tanah Mas Kota Semarang*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Prof. Dr. Supriyadi, M.Si. dan Pembimbing Pendamping Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

Kata kunci: *mikrotremor, HVSR, struktur bawah permukaan tanah, zona amblesan*

Penelitian menggunakan alat mikrotremor dengan metode HVSR (*Horizontal To Vertical Spectral Ratio*) telah dilakukan di daerah amblesan tanah perumahan Tanah Mas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai frekuensi dominan, amplifikasi tanah, dan ketebalan lapisan sedimen serta untuk mengetahui struktur bawah permukaan tanah daerah penelitian. Sebanyak 20 titik penelitian telah dilakukan dengan jarak antar titik 200 m. Dari penelitian tersebut didapatkan sinyal mikrotremor. Sinyal mikrotremor dianalisis dengan metode HVSR sehingga diperoleh data berupa frekuensi dominan dan amplifikasi tanah yang disajikan dalam bentuk kurva H/V. Data hasil pengolahan tersebut digunakan untuk menghitung nilai ketebalan lapisan sedimen dan selanjutnya digunakan untuk menganalisis struktur bawah permukaan tanah daerah penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai frekuensi dominan yang diperoleh adalah 0,66 – 0,98 Hz, dengan amplifikasi tanah sebesar 2,4 – 5,0 dan ketebalan lapisan sedimen dalam rentang 60,2 - 89,9 m. Nilai frekuensi dominan tersebut menunjukkan bahwa tanah di daerah penelitian tergolong dalam jenis tanah sedang di mana batuan penyusunnya berupa batuan *alluvial* yang terdiri dari pasir, kerikil, lempung, lanau dan lumpur. Batuan penyusun tersebut memiliki densitas yang relatif kecil, dengan frekuensi dominan relatif rendah, besar amplifikasi tanah relatif sedang dan ketebalan lapisan sedimen relatif dalam, maka apabila terdapat getaran seismik yang berpengaruh daerah tersebut akan mengalami resiko kerusakan yang rendah.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PERNYATAAN	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi	7
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kondisi Geologi Kota Semarang	9
2.2 Kondisi Geologi Daerah Penelitian.....	12

2.3 Tanah	13
2.3.1 Struktur Tanah.....	13
2.4 Amblesan Tanah (<i>subsidence</i>)	15
2.5 Gelombang Seismik	17
2.6 Jenis Gelombang Seismik	18
2.6.1 Gelombang Badan (<i>body wave</i>)	18
2.6.2 Gelombang Permukaan (<i>surface wave</i>).....	20
2.7 Mikrotremor	22
2.7.1 Metode HVSr	23
2.7.2 Amplifikasi Tanah.....	26
2.7.3 Frekuensi Dominan	28
2.7.4 Ketebalan Lapisan Sedimen	29
2.7.5 Densitas	32
BAB 3. METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	33
3.1.1 Waktu Penelitian	33
3.1.2 Lokasi Penelitian	33
3.2 Perlengkapan Penelitian	34
3.2.1 Perangkat Keras (<i>hardware</i>)	34
3.2.2 Perangkat Lunak (<i>software</i>)	36
3.3 Teknik Pengambilan Data	36
3.3.1 Pra-survei	36
3.3.2 Survei	37
3.3.3 Pengambilan Data	37
3.4 Teknik Analisis Data	41
3.5 Diagram Alir Penelitian	42
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
Hasil dan Pembahasan	43
4.1 Frekuensi Dominan, Amplifikasi Tanah, dan Ketebalan Lapisan Sedimen ..	44
4.1.1 Frekuensi Dominan	45
4.2.1 Amplifikasi Tanah	49

4.3.1	Ketebalan Lapisan Sedimen	51
4.2	Struktur Bawah Permukaan Tanah Pada Zona Amblesan	54
BAB 5. PENUTUP		
5.1	Simpulan	58
5.2	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA		60
LAMPIRAN.....		64

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1. Klasifikasi Nilai Amplifikasi Tanah	28
Tabel 2.2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan	29
Tabel 2.3. Klasifikasi Jenis Batuan Berdasarkan <i>Uniform Building Code</i> (UBC)	31
Tabel 2.4. Klasifikasi Tanah sesuai dengan <i>Eurocode 8</i>	31
Tabel 2.5. Nilai Variasi Densitas Batuan	32
Tabel 3.1. Persyaratan Teknis Survei Mikrotremor	39
Tabel 4.1. Hasil Pengolahan Data Nilai Frekuensi Dominan, Amplifikasi Tanah, dan Ketebalan Lapisan Sedimen di Perumahan Tanah Mas Kota Semarang	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Peta Geologi Kota Semarang	11
Gambar 2.2. Ilustrasi Gelombang P	19
Gambar 2.3. Ilustrasi Gelombang S	20
Gambar 2.4. Ilustrasi Gelombang <i>Rayleigh</i>	21
Gambar 2.5. Ilustrasi Gelombang <i>Love</i>	21
Gambar 2.6. Model Cekungan yang berisi Material Sedimen	24
Gambar 2.7. Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik	27
Gambar 3.1. Peta Lokasi dan Titik Pengukuran	34
Gambar 3.2. Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor	35
Gambar 3.3. Pengambilan Data di Lapangan	40
Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 4.1. Peta Pemodelan Frekuensi Dominan (f_0) di Perumahan Tanah Mas	46
Gambar 4.2. Peta Pemodelan Frekuensi Dominan (f_0) di <i>overlay</i> dengan Peta Geologi Kota Semarang	48
Gambar 4.3 Peta Pemodelan Amplifikasi Tanah (A_0) di Perumahan Tanah Mas	50
Gambar 4.4. Peta Pemodelan Ketebalan Lapisan Sedimen (h) di Perumahan Tanah Mas	52

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Grafik HVSR Hasil Pengolahan Data dengan <i>Software</i> Geopsy	64
Lampiran 2. Data Pengukuran dari Grafik HVSR	72
Lampiran 3. Data Kecepatan Gelombang S pada Kedalaman 30 m (V_{s30}).....	73
Lampiran 4. Hasil Pengolahan Data pada <i>Microsoft Excel</i>	74
Lampiran 5. Peta Peta Geologi Lembar Magelang-Semarang.....	75
Lampiran 6. Peta Geologi Kota Semarang.....	76
Lampiran 7. Peta Amblesan Kota Semarang	77
Lampiran 8. Dokumentasi Pengambilan Data di Lapangan.....	78
Lampiran 9. SK Penetapan Dosen Pembimbing	80
Lampiran 10. Surat Izin Penelitian.....	81
Lampiran 11. Surat Tugas Ujian Sarjana	82

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semarang adalah ibu kota provinsi Jawa Tengah yang terletak di pantai utara Pulau Jawa, Indonesia. Kota ini berpusat pada koordinat $6^{\circ}50'$ – $7^{\circ}10'$ LS dan $109^{\circ}35'$ – $110^{\circ}50'$ BT yang meliputi area seluas $373,70 \text{ km}^2$. Secara topografis, Kota Semarang terdiri dari dua lanskap utama, yaitu dataran rendah (daerah pesisir) di bagian utara dan dataran tinggi (daerah bukit) di bagian selatan. Bagian utara Kota Semarang terdiri dari pusat kota, pelabuhan, bandara dan stasiun kereta api, dengan topografi lereng berkisar 0° – 2° dan ketinggian antara 0 – 3,5 m. Bagian selatan Kota Semarang mencakup lereng hingga 45° dan ketinggian hingga 350 m di atas permukaan laut. Bagian utara memiliki kepadatan penduduk yang relatif tinggi dan juga memiliki lebih banyak daerah industri serta bisnis dibandingkan daerah selatan (Abidin *et al.*, 2013). Secara geologis, Semarang memiliki tiga litologi utama, yaitu batuan vulkanik, batuan sedimen dan endapan aluvial. Menurut Sukhyar, sebagaimana dikutip oleh (Abidin *et al.*, 2013), ruang bawah tanah Semarang terdiri dari Batu Bata Tersier dari Formasi Kalibiuk. Di atas formasi ini terdapat formasi Notopuro yang terdiri dari bahan vulkanik Kuartar. Dua formasi tersebut muncul di bagian selatan wilayah Semarang.

Kota Semarang merupakan kota yang berkembang dari pemukiman tua yang dibangun pada endapan aluvial yang berumur sangat muda. Wardhana & Harjono (2014) mengatakan, beberapa fenomena yang muncul seiring berkembangnya Kota Semarang saat ini adalah penurunan muka tanah, banjir rob, dan beberapa kawasan terjadi bencana longsor. Beberapa tahun terakhir, permasalahan yang cukup sulit dihadapi oleh pemerintah Kota Semarang yaitu mengenai penurunan muka tanah atau biasa disebut dengan amblesan tanah. Penurunan muka tanah atau amblesan tanah didefinisikan sebagai pemerosotan permukaan tanah secara bertahap atau tiba-tiba seiring dengan pergerakan material bumi. Penurunan muka tanah dapat terjadi karena beberapa alasan, seperti formasi bawah permukaan, tekanan sedimen, drainase, getaran, tekanan hidraulik, erosi mekanik bawah permukaan, ketidakstabilan tanah pada permukaan miring dan lain-lain (Rahnema & Mirasi, 2013). Berdasarkan hasil penelitian Supriyadi *et al.* (2006) dan Marsudi (2000), penurunan muka tanah atau amblesan di Kota Semarang disebabkan oleh pengambilan air yang berlebihan. Hal yang sama dinyatakan oleh Sarah *et al.* (2013) dalam penelitiannya, bahwa penurunan muka tanah di Kota Semarang selain disebabkan oleh eksploitasi air juga disebabkan oleh pembebanan permukaan. Contoh pembebanan permukaan adalah rumah warga, sekolah, kantor, pabrik industri, mall, serta bangunan-bangunan tinggi lainnya.

Pada lapisan lempung yang bersifat konsolidasi normal dan kompresibilitas tinggi, penambahan beban di atas permukaan dapat menyebabkan air di dalam pori terperas keluar dan menyebabkan terjadinya konsolidasi terus menerus sampai ke permukaan tanah sehingga menyebabkan terjadinya amblesan tanah

(Yuliyanti *et al.*, 2012). Aspek lain yang perlu dipertimbangkan yang mempengaruhi penurunan muka tanah adalah penggunaan air tanah yang berlebihan yang menyebabkan keretakan, pengurangan tingkat piezometrik yang menyebabkan konsolidasi dengan pemadatan tanah liat serta mengubah sifat dinamis tanah tersebut (Martinez-Gonzales *et al.*, 2012). Untuk mengetahui kondisi dinamis dari tanah tersebut maka perlu dilakukan survei bawah permukaan. Adanya survei bawah permukaan tentunya sangat berkaitan dengan struktur tanah dari daerah survei. Oleh karena itu, dilakukan survei lapangan di Kota Semarang, khususnya di daerah rawan akan fenomena amblesan tanah untuk mengetahui struktur bawah permukaan tanahnya.

Kegiatan survei lapangan untuk mengetahui keadaan struktur bawah permukaan tanah dapat berupa pengukuran menggunakan mikrotremor, gunanya adalah untuk mengetahui kondisi geologi, terutama kondisi struktur bawah permukaan tanah dari daerah pengukuran. Pengukuran menggunakan mikrotremor adalah salah satu cara untuk mengetahui struktur bawah permukaan tanah. Selain pengukuran dengan mikrotremor, untuk mengetahui struktur bawah permukaan tanah juga dapat menggunakan metode geolistrik. Perbedaan kedua metode tersebut adalah terletak pada sumber dan data yang diperoleh. Metode mikrotremor memerlukan sumber getaran alami untuk memperoleh data frekuensi dominan dan faktor amplifikasi, sedangkan metode geolistrik memerlukan arus dan potensial yang diinjeksikan ke dalam bumi untuk memperoleh data resistivitas.

Penelitian geolistrik untuk mengetahui struktur bawah permukaan tanah telah dilakukan oleh Tama & Supriyadi (2015) di sekitar kawasan Kota Lama,

Kota Semarang. Hasil dari penelitian tersebut adalah struktur bawah permukaan tanah di kawasan Kota Lama, Kota Semarang terdistribusi dalam tiga lapisan yaitu lapisan *top soil*, lapisan batu pasir dan lapisan batu lempung. Namun, karena metode geolistrik tidak menggunakan sumber data dari getaran, maka kali ini peneliti menggunakan metode lain yang memanfaatkan getaran sebagai sumber data.

Pada penelitian kali ini, untuk mengetahui struktur bawah permukaan tanah, peneliti menggunakan metode mikrotremor. Metode tersebut memanfaatkan sumber getaran yang ada. Mengingat Kota Semarang bukan merupakan kota yang sering terjadi gempa bumi yang besar, maka getaran yang digunakan adalah berupa gempa mikro yang bersumber dari getaran mesin, angin, tumbuhan dan aktivitas manusia di permukaan bumi. Sumber-sumber getaran yang ada tersebut dapat menyebabkan tanah disekitarnya beresonansi. Resonansi yang terjadi pada lapisan tanah secara periodik atau konstan ini disebut gempa mikro atau mikrotremor.

Studi mikrotremor bertujuan untuk mengetahui ketebalan lapisan sedimen dan struktur bawah permukaan tanah pada titik pengukuran. Lokasi penelitian berada pada salah satu daerah amblesan tanah di Kota Semarang, yaitu di Perumahan Tanah Mas. Berdasarkan Peta Geologi Amblesan Kota Semarang Tahun 2011 – 2030, Perumahan Tanah Mas telah mengalami penurunan permukaan tanah dengan laju mencapai 4 - 6 cm/tahun. Laju penurunan yang cukup besar tersebut pastinya sangat berkaitan dengan keadaan di atas dan di

bawah permukaan tanah. Sehingga untuk mengetahui keadaan di bawah permukaan tanah, perlu adanya dilakukan survei lapangan.

Mikrotremor merupakan gelombang yang merambat pada lapisan sedimen permukaan dan merupakan getaran alami yang disebabkan oleh aktifitas seperti manusia, lalu lintas kendaraan, mesin pabrik, dan sebagainya (Parwatiningsy, 2008). Metode ini dianggap lebih murah dan mudah dilaksanakan, sehingga pemetaan daerah rawan bencana dapat dengan cepat dibuat. Pada pengukuran mikrotremor terdapat salah satu metode yang umumnya sering digunakan para peneliti untuk mengetahui nilai frekuensi dominan atau frekuensi natural dari suatu daerah yaitu metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Menurut Shaleha *et al.* (2016) untuk menentukan struktur bawah permukaan tanah dapat dilakukan pengukuran mikrotremor yang didasarkan pada nilai frekuensi dominan tanah dan faktor amplifikasi tanah kemudian diolah dengan metode HVSR sehingga diperoleh nilai ketebalan lapisan sedimen. Metode HVSR merupakan metode yang digunakan sebagai indikator struktur bawah permukaan tanah yang memperlihatkan hubungan antara perbandingan rasio spektrum fourier dari sinyal mikrotremor komponen horisontal terhadap komponen vertikalnya (Nakamura, 1989).

Berdasarkan fenomena di atas, maka penelitian dengan judul “**Aplikasi Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) untuk Analisis Struktur Bawah Permukaan Tanah Pada Zona Amblesan Studi Kasus Perumahan Tanah Mas Kota Semarang**” dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang struktur bawah permukaan tanah di daerah penelitian. Adapun informasi bawah

permukaan tanah dapat dilakukan melalui analisis data dari hasil pengukuran mikrotremor pada beberapa titik di lokasi penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- (1) Berapakah nilai frekuensi dominan (f_0), amplifikasi tanah (A_0) dan ketebalan lapisan sedimen (h) di perumahan Tanah Mas Kota Semarang?
- (2) Bagaimanakah struktur bawah permukaan tanah di perumahan Tanah Mas Kota Semarang?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah, maka penelitian ini hanya dibatasi oleh:

- (1) Lokasi penelitian hanya berada di perumahan Tanah Mas Kota Semarang.
- (2) Menggunakan alat Mikroseismik dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (1) Mengetahui nilai frekuensi dominan (f_0), amplifikasi tanah (A_0) dan ketebalan lapisan sedimen (h) di perumahan Tanah Mas Kota Semarang.
- (2) Mengetahui struktur bawah permukaan tanah di perumahan Tanah Mas Kota Semarang.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- (1) Memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan tanah di perumahan Tanah Mas yang dapat digunakan dalam mitigasi bencana alam.
- (2) Memudahkan penelitian lebih lanjut mengenai besar kecilnya kerusakan dan memberikan pengetahuan serta informasi, tentang struktur bawah permukaan tanah di perumahan Tanah Mas apabila suatu saat terjadi guncangan besar di wilayah tersebut.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi disusun untuk memudahkan pemahaman tentang struktur dan isi skripsi. Penulisan skripsi ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

- (1) Bagian awal skripsi berisi tentang lembar judul, persetujuan pembimbing, lembar pengesahan, lembar pernyataan, motto dan persembahan, kata pengantar, abstrak, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar dan daftar lampiran.
- (2) Bagian isi skripsi terdiri dari :
 - Bab I Pendahuluan yang berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi.

- Bab II Tinjauan pustaka terdiri dari kajian mengenai landasan teori yang mendasari penelitian.
- Bab III Metode penelitian berisi lokasi dan waktu pelaksanaan penelitian, desain penelitian, perlengkapan penelitian, teknik pengambilan data, teknik analisis data, dan diagram alir penelitian.
- Bab IV Hasil dan pembahasan berisi tentang hasil-hasil penelitian dan pembahasannya.
- Bab V Penutup berisi tentang kesimpulan dan saran.
- (3) Bagian akhir skripsi terdiri atas daftar pustaka dan lampiran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

3. Kondisi Geologi Kota Semarang

Secara astronomis Kota Semarang terletak di antara $6^{\circ}50'$ – $7^{\circ}10'$ Lintang Selatan dan $109^{\circ}35'$ – $110^{\circ}50'$ Bujur Timur. Wilayah Kota Semarang secara administratif mempunyai luas sekitar $373,70 \text{ km}^2$ yang terbagi atas 16 kecamatan dan 177 kelurahan. Secara topografis Kota Semarang terdiri atas daerah pantai/pesisir, dataran, dan perbukitan dengan kemiringan lahan berkisar antara 0% - 45% (Afifah, 2011).

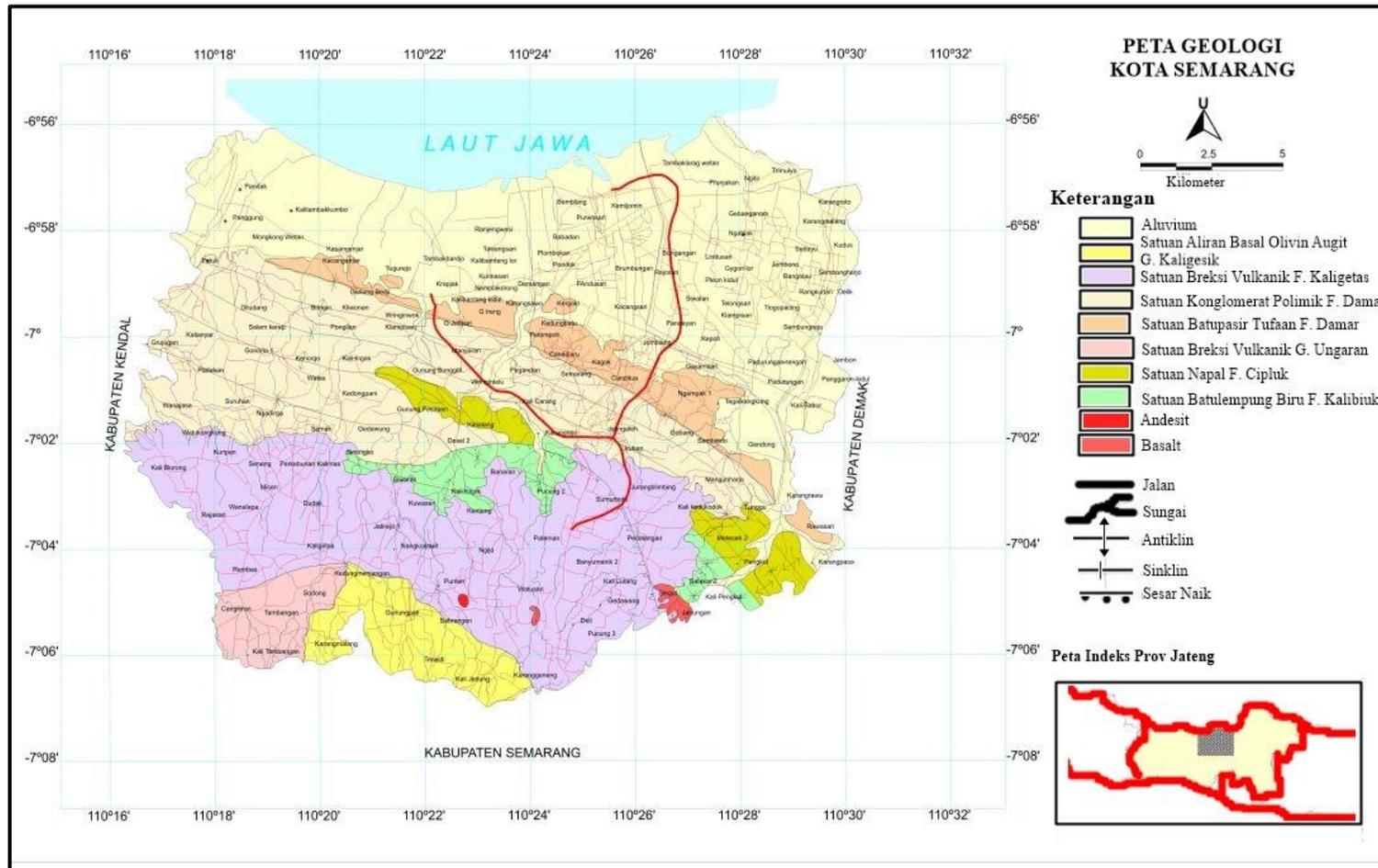
Kondisi lereng kota Semarang dibagi menjadi 4 jenis. Lereng I memiliki kemiringan lahan berkisar antara 0% - 2% yang meliputi kecamatan Genuk, Pedurungan, Gayamsari, Semarang Timur, Semarang Utara, Tugu, serta sebagian wilayah kecamatan Tembalang, Banyumanik, dan Mijen. Lereng II memiliki kemiringan lahan berkisar antara 2% - 5% yang meliputi kecamatan Semarang Barat, Semarang Selatan, Candisari, Gajahmungkur, Gunungpati, dan Ngaliyan. Lereng III memiliki kemiringan lahan berkisar antara 15% - 40% yang meliputi wilayah di sekitar Kaligarang dan Kali Kreo (kecamatan Gunungpati), sebagian wilayah kecamatan Mijen (daerah Wonopulombon) dan sebagian wilayah kecamatan Banyumanik, serta kecamatan Candisari. Sedangkan lereng IV memiliki kemiringan lahan $>50\%$ yang meliputi sebagian wilayah kecamatan

Banyumanik (sebelah tenggara), dan sebagian wilayah kecamatan Gunungpati, terutama di sekitar Kaligarang dan Kali Kripik (Bappeda, 2013).

Susunan stratigrafi Kota Semarang berdasarkan Peta Geologi Lembar Magelang-Semarang terdiri dari Aluvium, Batuan Gunungapi Gajahmungkur, Batuan Gunungapi Kaligesik, Formasi Jongkong, Formasi Damar, Formasi Kaligetas, Formasi Kalibeng, dan Formasi Kerek. Struktur geologi yang terdapat pada dataran rendah berupa endapan aluvial sungai, endapan fasies dataran delta, dan endapan fasies pasang-surut. Endapan-endapan tersebut terdiri dari selang-seling antara lapisan pasir, pasir lanauan dan lempung lunak, dengan sisipan lensa-lensa kerikil dan pasir vulkanik. Sedangkan struktur geologi yang terdapat pada daerah perbukitan sebagian besar berupa batuan beku (Soedarsono, 2012).

Geologi kota Semarang berdasarkan peta geologi lembar Magelang-Semarang (Thaden *et al.*, 1996) adalah Aluvium, merupakan endapan aluvium pantai, sungai dan danau. Endapan pantailitologinya terdiri dari lempung, lanau, pasir, dan campuran lainnya dengan ketebalan mencapai 50 m atau lebih. Endapan sungai dan danau terdiri dari kerikil, kerakal, pasir dan lanau dengan tebal 1 – 3 m. Bongkahan tersusun dari andesit, batu lempung dan sedikit batu pasir.

Berikut adalah Peta Geologi Kota Semarang berdasarkan Peta Geologi Lembar Magelang-Semarang seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Peta Geologi Kota Semarang

2.1 Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi yang terdapat di kota Semarang umumnya berupa sesar yang terdiri dari sesar normal, sesar geser dan sesar naik. Sesar normal relatif berarah barat-timur sebagian agak cembung ke arah utara, sesar geser berarah utara selatan hingga barat laut-tenggara, sedangkan sesar normal relatif berarah barat-timur. Sesar-sesar tersebut umumnya terjadi pada batuan Formasi Kerek, Formasi Kalibeng dan Formasi Damar yang berumur kuartar dan tersier. Berdasarkan peta geologi Kota Semarang di mana daerah Semarang Utara yang meliputi perumahan Tanah Mas, endapan permukaannya berupa endapan aluvium yang merupakan dataran pantai, sungai dan danau. Perumahan Tanah Mas dipilih sebagai tempat penelitian karena berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa daerah tersebut mengalami penurunan muka tanah (amblesan) yang cukup signifikan untuk diamati.

Kecamatan Semarang Utara merupakan daerah yang terletak di dataran rendah (pesisir). Beberapa daerah di Semarang Utara seperti perumahan Tanah Mas, Bandar Harjo, Stasiun Tawang, hingga Kawasan Industri Terboyo memiliki ketinggian permukaan antara 0 – 0,5 m dari permukaan laut (Geomagz, 2014). Berdasarkan peta geologi Kota Semarang yang memberikan gambaran bahwa daerah Semarang Utara terutama daerah perumahan Tanah Mas, endapan permukaannya berupa endapan aluvium yang merupakan endapan dari pantai, sungai dan danau. Keadaan seperti ini menunjukkan bahwa daerah tersebut mempunyai tanah lunak yang cukup dalam. Apabila diberikan beban berupa bangunan ataupun tanah urugan yang cukup tebal, maka daerah tersebut akan

mengalami penurunan tanah yang cukup besar. Salah satu daerah di kecamatan Semarang Utara yang mengalami penurunan tanah adalah perumahan Tanah Mas. Berdasarkan Peta Geologi Amblesan Kota Semarang Tahun 2011–2030, perumahan Tanah Mas telah mengalami penurunan permukaan tanah dengan laju mencapai 4 - 6 cm/tahun, sehingga dengan alasan tersebut, perumahan Tanah Mas menjadi lokasi penelitian untuk diketahui struktur bawah permukaan tanahnya.

2.2 Tanah

Tanah adalah unsur yang terdapat dalam lapisan bumi yang sangat besar pengaruhnya terhadap proses terjadinya peristiwa gerakan tanah (Pamungkas & Widhiatmoko, 2007). Tanah terjadi sebagai produk pecahan dari batuan yang mengalami pelapukan kimiawi dan mekanis. Menurut Bowles (1989) tanah adalah kumpulan dari bagian-bagian padat yang tidak terikat satu dengan lainnya yang secara alami dapat dipisahkan menjadi partikel yang lebih kecil.

Lapisan tanah berkembang dari bawah ke atas, tahapannya merupakan lapisan-lapisan sub horizontal yang merupakan derajat pelapukan. Lapisan tanah berbeda dengan lapisan sedimen karena tanah berada tidak jauh dari tempat terjadinya, sedangkan sedimen sudah tertransportasi oleh angin, air atau gletser dan diendapkan kembali (Plummer, 2005).

2.3.1 Struktur Tanah

Struktur tanah merupakan gumpalan-gumpalan kecil dari tanah, akibat melekatnya butir-butir tanah satu sama lain, dengan tersusunnya partikel-partikel atau fraksi-fraksi (liat, lempung, dan pasir) tanah primer, terdapat ruang kosong

atau pori-pori diantaranya. Pori-pori tanah dapat dibedakan menjadi pori-pori kasar dan pori-pori halus. Pori-pori kasar berisi udara atau air gravitasi (air yang mudah hilang karena gaya gravitasi), sedangkan pori-pori halus berisi air kapiler atau udara.

Tanah mempunyai lapisan-lapisan pada permukaan bumi yang berasal dari bebatuan yang telah mengalami serangkaian pelapukan oleh gaya-gaya alam. Sekitar setengah dari volume tanah merupakan campuran dari hasil disintegrasi, dekomposisi dan humus, yang merupakan rombakan sisa-sisa organisme, sedangkan setengahnya lagi merupakan pori-pori tempat sirkulasi air dan udara.

Struktur tanah merupakan susunan tanah yang terdiri dari beberapa lapisan. Berikut adalah lapisan-lapisan yang ada pada struktur lapisan tanah, yaitu:

- (1) Lapisan atas, merupakan lapisan yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan dan sisa-sisa makhluk hidup yang telah mati. Lapisan ini merupakan tanah yang paling subur. Pada lapisan ini air mudah menyerap ke dalam tanah.
- (2) Lapisan menengah, terbentuk dari campuran antara hasil pelapukan batuan dan air. Lapisan tersebut terbentuk karena sebagian bahan lapisan atas terbawa oleh air dan mengendap.
- (3) Lapisan bawah, merupakan lapisan yang terdiri dari atas bongkahan-bongkahan batu. Di sela-sela bongkahan terdapat hasil pelapukan batuan. Jadi, masih ada batu yang belum melapuk secara sempurna.
- (4) Lapisan batuan induk (*bedrock*), berupa bebatuan yang padat. Pada lapisan ini air sulit meresap. Batuan pada lapisan ini umumnya belum mengalami pelapukan dan relatif masih berada pada tempat aslinya.

2.3 Amblesan Tanah (*subsidence*)

Amblesan (*subsidence*) adalah penurunan lapisan permukaan tanah secara perlahan-lahan atau tiba-tiba akibat pengaruh alam atau perbuatan manusia. Amblesan dapat mengakibatkan kerusakan struktur jalan raya, bangunan, jembatan, dan dapat merubah kemiringan tanah serta aliran air. Terdapat dua jenis amblesan yaitu, amblesan endogenik dan amblesan eksogenik. Amblesan endogenik disebabkan oleh gaya alami dari dalam bumi seperti pergerakan lempeng, pelipatan dan patahan permukaan bumi serta gempa bumi. Amblesan eksogenik disebabkan oleh kegiatan manusia seperti pertambangan bawah tanah, penyedotan air tanah berlebihan, aktivitas pengeboran minyak gas dan perubahan komposisi tanah.

Amblesan tanah merupakan suatu permasalahan geologi teknik yang sangat dipengaruhi oleh sifat fisik lapisan tanah penyusunnya. Penurunan tanah dapat diakibatkan oleh bertambahnya beban atau berkurangnya tekanan hidraulik pada lapisan. Penambahan beban dapat terjadi akibat beban bangunan di atasnya. Sedangkan berkurangnya tekanan hidraulik dapat diakibatkan oleh hilangnya air tanah akibat pemompaan. Pada lapisan lempung yang bersifat terkonsolidasi normal dengan kompresibilitas tinggi, penambahan beban di bagian atasnya dapat menyebabkan air di dalam pori akan terperas keluar dan menyebabkan terjadinya konsolidasi yang menerus sampai ke permukaan tanah dan menyebabkan terjadinya amblesan tanah (Yuliyanti *et al.*, 2012). Turunnya permukaan tanah umumnya juga terjadi di kota-kota besar di Indonesia, seperti Kota Semarang.

Sophian (2010) mengatakan, studi amblesan yang dilakukan selama ini diidentifikasi ada beberapa faktor penyebab terjadinya amblesan, yaitu pembebanan di atas permukaan, hilangnya air tanah akibat eksploitasi berlebihan, gempa yang mengakibatkan rusaknya struktur tanah, ketidak stabilan bidang tanah akibat proses tertentu, dan sebagainya. Dari beberapa faktor tersebut salah satu penyebab amblesan yang terjadi di kota-kota besar di Indonesia adalah karena pengambilan air tanah yang berlebihan.

Air tanah merupakan salah satu sumber air yang potensial untuk memenuhi kebutuhan akan air bersih. Oleh sebab itu pemanfaatan air tanah telah meluas dan selalu meningkat dari waktu ke waktu. Keadaan air tanah pada akuifer secara alami dapat digambarkan sebagai suatu cadangan yang seimbang antara masukan dan keluaran. Masukan secara alamiah berupa infiltrasi dari air permukaan maupun dari akuifer atasnya. Sedangkan keluarannya secara alamiah berbentuk mata air, aliran sungai, danau, dan laut.

Pemompaan air tanah tentunya akan menambah kuantitas keluaran yang selanjutnya dapat mengganggu kesetimbangan antara masukan dan keluaran. Akibat pengambilan yang berlebihan, maka air tanah yang tersimpan dalam pori-pori lapisan penutup akuifer akan terperas keluar dan menyebabkan penyusutan lapisan penutup tersebut. Refleksinya adalah penurunan permukaan tanah. Amblesan tanah tidak dapat dilihat seketika, tetapi teramati dalam waktu yang lama dan berakibat pada daerah yang luas. Selain itu, terjadinya amblesan juga disebabkan oleh kondisi mekanik tanah yang dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu

berupa terjadinya regangan dan keruntuhan geser akibat pembebanan di atas permukaan tanah (Soedarsono, 2006).

Apabila tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah akan mengalami regangan yang hasilnya berupa penurunan. Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun pengurangan rongga air di dalam tanah tersebut. Amblesan tanah akibat pembebanan secara garis besar diakibatkan oleh konsolidasi. Konsolidasi merupakan gejala yang menggambarkan deformasi yang tergantung pada waktu dalam suatu medium berpori seperti tanah yang mengalami pembebanan.

2.4 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang-gelombang yang merambat baik di dalam maupun di permukaan bumi yang berasal dari sumber seismik seperti dari sumber gempa, ledakan (proses kimia atau nuklir), erupsi gunung api, serta longsor. Gelombang seismik merupakan gelombang mekanik yang merambat di dalam bumi, sehingga pada penjarannya gelombang seismik memerlukan medium untuk merambat. Gelombang seismik dapat ditimbulkan dengan dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif adalah metode penimbulkan gelombang seismik secara aktif atau disengaja menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia, biasanya digunakan untuk eksplorasi. Metode pasif adalah gangguan yang muncul secara alamiah, contohnya gempa.

Asumsi dasar yang digunakan untuk menjelaskan gelombang seismik yaitu memandang bumi sebagai media elastik sempurna yang terdiri dari berbagai lapisan dan semua lapisan tersebut merupakan media homogen isotropis

(Susilawati, 2008). Media homogen isotropis adalah media yang secara horizontal memiliki material penyusun yang sama, sehingga memiliki densitas yang sama pula.

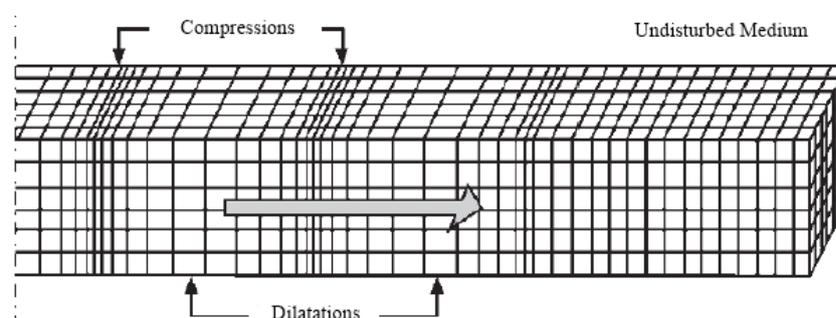
2.5 Jenis Gelombang Seismik

Gelombang seismik memiliki dua tipe utama gelombang yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang badan terdiri dari gelombang longitudinal (gelombang P) dan gelombang transversal (gelombang S), sedangkan gelombang permukaan terdiri dari gelombang Love dan gelombang Rayleigh. Pada perekaman gelombang seismik dalam metode ini yang menjadi objek utama ialah gelombang badan (*body wave*). Gelombang tersebut merupakan gelombang yang energinya ditransfer melalui medium yang berada di dalam bumi. Adapun gelombang permukaan (*surface wave*) merupakan gelombang yang energinya ditransfer pada permukaan bebas dan tidak terjadi penetrasi ke dalam bumi.

2.6.1 Gelombang Badan (*body wave*)

Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya ke seluruh bagian di dalam bumi, sehingga sering disebut dengan istilah *free wave*. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjarannya, gelombang badan dapat dibedakan menjadi gelombang Primer (P) dan gelombang Sekunder (S).

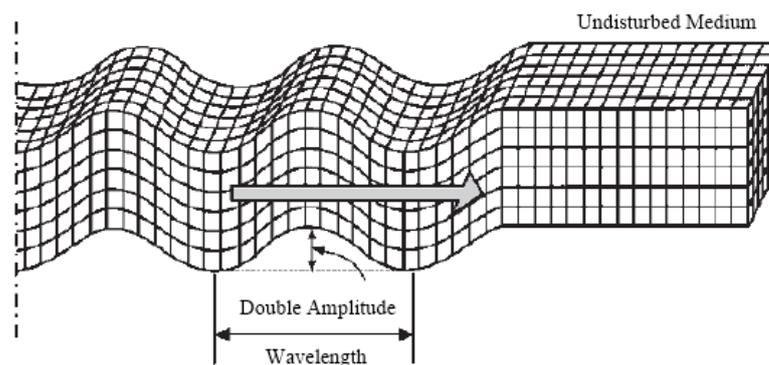
Gelombang Primer (P) disebut dengan gelombang kompresi atau



gelombang longitudinal yang memiliki arah gerak partikel sejajar dengan arah perambatannya. Gelombang P dapat melewati semua medium dengan arah getarnya ke depan dan ke belakang sehingga materi yang dilaluinya mengalami tekanan dan peregangan. Gelombang P dapat menjalar pada semua medium baik padat, cair, maupun gas. Penjalaran gelombang P pada medium dapat dijelaskan dengan Gambar 2.2. berikut:

Gambar 2.2. Ilustrasi Gelombang P (Elnashai & Sarno, 2008)

Gelombang sekunder (S) disebut juga *shear wave* atau gelombang transversal karena memiliki arah gerak partikel tegak lurus terhadap arah rambatnya. Gelombang S hanya merambat pada medium padat dan tidak dapat merambat pada fluida, sehingga pada inti bumi bagian luar tidak dapat terdeteksi sedangkan pada inti bagian dalam mampu dilewati. Penjalaran gelombang S pada medium dapat dijelaskan dengan Gambar 2.3.

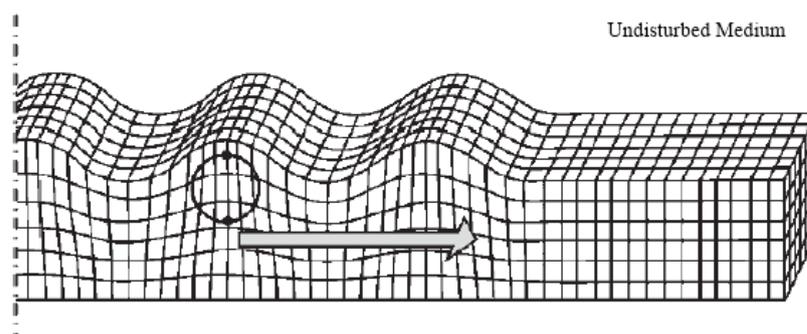


Gambar 2.3. Ilustrasi Gelombang S (Elnashai & Sarno, 2008)

2.6.2 Gelombang Permukaan (*surface wave*)

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang merambat di permukaan bumi. Amplitudo gelombang ini akan semakin melemah jika semakin menjalar masuk ke dalam inti bumi. Pada umumnya sifat gelombang permukaan lebih merusak dari pada gelombang badan, karena lebih banyak menghasilkan pergerakan tanah dan berjalan lambat, sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk merambat (Carlson *et al.*, 2011). Terdapat dua jenis gelombang permukaan yaitu, gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love*.

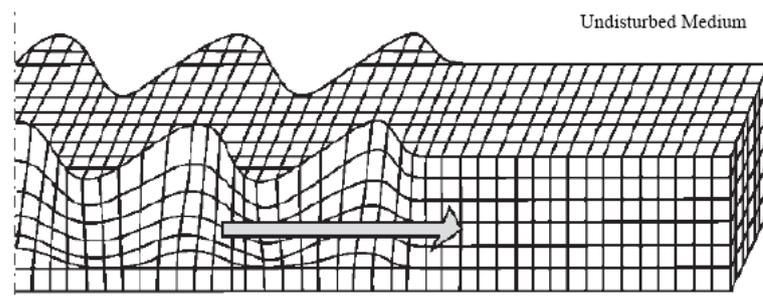
Gelombang *Rayleigh* merupakan gelombang permukaan dengan orbit gerakanya berbentuk elips yang merupakan hasil kombinasi dari gelombang P dan



gelombang S, arah gerakanya tegak lurus terhadap arah penjarannya (Telford *et al.*, 1990). Gelombang *Rayleigh* adalah gelombang yang dispersif dengan periode yang lebih panjang sehingga lebih cepat mencapai material yang lebih dalam dibandingkan dengan gelombang yang memiliki periode pendek. Hal ini menjadikan gelombang *Rayleigh* sebagai alat yang sesuai untuk menentukan struktur bawah tanah di suatu area. Penjalaran gelombang *Rayleigh* pada medium dapat dijelaskan dengan Gambar 2.4.

Gambar 2.4. Gelombang *Rayleigh* (Elnashai & Sarno, 2008)

Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang merambat pada medium berlapis dengan penjarannya paralel terhadap permukaannya (Gadallah & Fisher, 2009). Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang menyebabkan tanah mengalami pergeseran pada arah horizontal. Gelombang ini mirip dengan gelombang S yang tidak memiliki perpindahan vertikal dan hanya terpolarisasi secara horizontal, serta tidak dapat merambat di medium cair. Gelombang *Love* bergerak lebih cepat dari pada gelombang *Rayleigh* dan lebih dulu terbaca oleh seismograf. Penjaran gelombang *Love* pada medium dapat dijelaskan dengan Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Gelombang *Love* (Elnashai & Sarno, 2008)

2.6 Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran dengan amplitudo rendah dari tanah yang ditimbulkan oleh peristiwa alam maupun buatan manusia seperti angin, gelombang laut, atau getaran kendaraan yang dapat menggambarkan kondisi geologi dekat permukaan (Rochmah, 2015). Mikrotremor dapat diartikan sebagai getaran harmonik alami yang berada di lapisan sedimen permukaan dan terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi tetap yang disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah atau kegiatan alam lainnya. Karakteristik mikrotremor mencerminkan karakteristik batuan di suatu

daerah. Penelitian mikrotremor juga banyak dilakukan pada studi struktur tanah untuk mengetahui keadaan bawah permukaan tanah.

Observasi mikrotremor dapat dimanfaatkan untuk mengetahui karakteristik bawah permukaan tanah berdasarkan parameter frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Selain itu juga dapat digunakan untuk pemantauan aktivitas gunung api, mendukung eksplorasi geothermal, mikrozonasi, penelitian geofisika lingkungan, serta aplikasi geoteknik.

Mikrotremor merupakan getaran tanah dengan amplitudo pergeseran sekitar $0,1 - 1 \mu\text{m}$. Jenis pertama adalah mikrotremor periode pendek dengan periode kurang dari 1 detik dan keadaan ini terkait dengan struktur bawah permukaan yang dangkal dengan ketebalan beberapa puluh meter. Jenis kedua adalah mikrotremor periode panjang dengan periode lebih dari 1 detik, keadaan ini terkait struktur tanah yang lebih dalam, menunjukkan dasar dari batuan keras (Mirzaolgu & Dykmen, 2003).

Data mikrotremor yang telah direkam kemudian dianalisis menggunakan metode HVSR yang menghasilkan spektrum HVSR. Berdasarkan hasil spektrum HVSR tersebut akan didapatkan dua parameter penting yang menggambarkan karakteristik struktur bawah permukaan tanah yakni frekuensi dominan dan faktor amplifikasi.

2.7.1 Metode HVSR

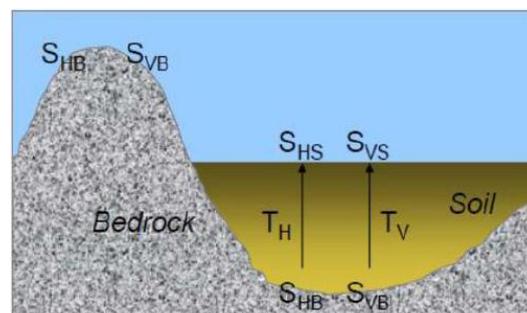
Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) adalah metode yang diperkenalkan oleh Nakamura, sehingga metode ini dikenal dengan teknik Nakamura. Metode HVSR merupakan metode yang digunakan untuk menghitung

rasio spektrum dari sinyal mikrotremor komponen horisontal terhadap komponen vertikalnya. Hasil analisis HVSR menunjukkan suatu puncak spektrum pada frekuensi dominan (Nakamura, 1989).

Metode HVSR merupakan salah satu cara untuk memahami sifat struktur bawah permukaan tanpa menyebabkan gangguan pada struktur tersebut. Metode ini menghasilkan parameter penting yaitu nilai frekuensi dominan dan amplifikasi yang berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan. Selain itu, metode HVSR dapat menjelaskan fenomena frekuensi resonansi lapisan permukaan dengan melakukan pengukuran di suatu tempat dan menghasilkan tiga komponen, diantaranya adalah vertikal, horizontal utara-selatan, dan horizontal timur-barat.

Konsep Nakamura (1989) menjelaskan bahwa amplitudo dan frekuensi puncak HVSR mempresentasikan amplifikasi dan frekuensi lokasi (*site*) setempat. *Site effect* terjadi akibat keberadaan lapisan sedimen yang menempati setengah cekungan dari batuan dasar. Dalam kondisi ini terdapat empat komponen gerakan yang terlibat, yaitu komponen gerak horisontal dan vertikal di batuan dasar serta komponen gerak horisontal dan vertikal di permukaan (Arifti, 2014).

Nakamura (2000) membagi gelombang mikrotremor menjadi dua yaitu gelombang *Rayleigh* dan gelombang badan, dimana gelombang *Rayleigh* termasuk ke dalam gelombang permukaan yang merambat pada permukaan tanah dan gelombang badan merambat melalui batuan dasar seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Model Cekungan yang berisi Material Sedimen (Slob, 2007)

Berdasarkan gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan, faktor amplifikasi pada lapisan sedimen dari gerakan horisontal dilambangkan dengan (T_H) dan gerakan vertikal dilambangkan dengan (T_V) (Nakamura, 2000).

Nilai *site effect* (T_{SITE}) pada permukaan lapisan sedimen, biasanya digambarkan dengan cara membandingkan faktor amplifikasi dari gerakan horisontal dan vertikal pada permukaan tanah sedimen:

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (2.1)$$

Besarnya faktor amplifikasi horisontal (T_H) diperoleh dengan membandingkan antara spektrum komponen gerak horisontal di permukaan tanah (S_{HS}) dengan spektrum komponen gerak horisontal pada dasar lapisan tanah (S_{HB}) seperti pada persamaan berikut:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2.2)$$

Besarnya faktor amplifikasi vertikal (T_V) diperoleh dengan membandingkan antara spektrum komponen gerak vertikal di permukaan tanah (S_{VS}) dan spektrum komponen gerak vertikal pada dasar lapisan tanah (S_{VB}) seperti pada persamaan berikut:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2.3)$$

Data mikrotremor tersusun atas beberapa jenis gelombang, tetapi utamanya adalah gelombang *Rayleigh* yang merambat pada lapisan sedimen di atas batuan dasar. Efek gelombang *Rayleigh* pada rekaman mikrotremor adalah ekuivalen untuk komponen vertikal dan horisontal saat rentang frekuensi 0,2 – 20,0 Hz, sehingga rasio spektrum antara horisontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu.

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (2.4)$$

dan jika dibulatkan menjadi

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \text{ atau } \frac{S_{VB}}{S_{HB}} = 1 \quad (2.5)$$

dengan memasukkan persamaan (2.2) dan (2.3) ke persamaan (2.1), maka didapat:

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (2.6)$$

Rumus tersebut menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horisontal terhadap komponen vertikal (HVSr), atau dapat dirumuskan sebagai:

$$HVSr = T_{SITE} = \frac{\sqrt{[(S_{utara-selatan})^2 + (S_{barat-timur})^2]}}{S_{vertikal}} \quad (2.7)$$

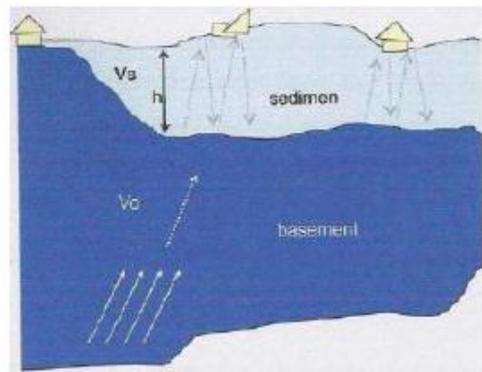
dengan $(S_{utara-selatan})^2$ adalah spektrum komponen utara-selatan, $(S_{barat-timur})^2$ adalah nilai spektrum frekuensi komponen barat-timur, dan $S_{vertikal}$ adalah spektrum frekuensi komponen vertikal. Persamaan 2.7 menunjukkan bahwa komponen horisontal dan komponen vertikal dipengaruhi oleh amplifikasinya. Hasil dari kurva HVSr adalah frekuensi dominan dan amplifikasi, dimana frekuensi

dominan adalah frekuensi yang terdapat pada daerah tersebut dan amplifikasi adalah besarnya penguatan gelombang pada saat melalui medium tertentu.

2.7.2 Amplifikasi Tanah

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar perbedaan tersebut, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar.

Pada grafik H/V (Lampiran 1), amplifikasi diperoleh dari puncak kurva frekuensi yang sering muncul (frekuensi dominan). Amplifikasi memiliki makna fisis yaitu amplitudo maksimal. Amplitudo maksimal dapat dilihat dari nilai frekuensi yang sering muncul. Frekuensi yang sering muncul tersebut merepresentasikan lapisan batuan suatu daerah. Amplifikasi berhubungan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya, sehingga menyebabkan nilai amplifikasi suatu daerah berbeda-beda. Kontras impedansi dengan kecepatan pada lapisan dengan



berhubungan dengan densitas dan gelombang permukaan lapisan di

bawahnya. Konsep dasar fenomena amplifikasi gelombang seismik oleh adanya sedimen yang berada di atas *basement* dengan ditunjukkan pada Gambar 2.7.

Gambar 2.7. Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik (Cipta, 2009)

Konsep dasar amplifikasi dapat dirumuskan seperti persamaan:

$$A_0 = \frac{\rho_0 \cdot V_0}{\rho_s \cdot V_s} \quad (2.8)$$

Dengan ρ_0 adalah densitas di lapisan *basement*, V_0 adalah kecepatan gelombang di lapisan *basement*, ρ_s adalah densitas di lapisan sedimen, dan V_s adalah kecepatan di lapisan sedimen.

Nilai amplifikasi bisa bertambah, jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan atau pesesaran) yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut (Marjiyono, 2010). Menurut Setiawan, sebagaimana dikutip oleh Sitorus *et al.*, (2017), klasifikasi nilai amplifikasi tanah dapat dinyatakan seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Klasifikasi Nilai Amplifikasi (Sitorus *et al.*, 2017)

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$
4	Sangat Tinggi	$A \geq 9$

2.7.3 Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut serta dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batumannya. Nilai frekuensi dominan dari pengolahan HVSR merupakan frekuensi alami yang terdapat di daerah tersebut. Hal ini menyatakan bahwa apabila terjadi gempa atau gangguan berupa getaran yang memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi natural, maka akan terjadi resonansi yang mengakibatkan amplifikasi gelombang seismik di area tersebut. Batasan pengamatan frekuensi untuk mikrotremor secara umum antara 0,5 – 20

Hz dan untuk mikrotremor frekuensi kecil bisa mencapai 0,2 Hz. Nilai frekuensi dominan dapat mempresentasikan jenis tanah berdasarkan tabel klasifikasi tanah yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan
(Arifin *et al.*, 2012)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe 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.
Tipe III	Jenis II	10 – 4	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10 meter.
Tipe II	Jenis III	2,5 – 4	Batuan <i>alluvial</i> , 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.
Tipe I	Jenis IV	< 2,5	Batuan <i>alluvial</i> , yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Dengan	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal, >30m.

			kedalaman 30 meter atau lebih.	
--	--	--	--------------------------------------	--

2.7.4 Ketebalan Lapisan Sedimen

Ketebalan lapisan sedimen menggambarkan ketebalan lapisan yang lunak atau lapuk pada lapisan permukaan tanah di atas batuan dasar. Ketebalan lapisan sedimen mempengaruhi kecepatan dari penjalaran gelombang badan. Menurut Nakamura (2008) ketebalan lapisan sedimen (h) berhubungan dengan frekuensi natural (f_0) dan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter (V_{S30}), sehingga dapat dirumuskan persamaan sebagai berikut:

$$f_0 = \frac{V_{S30}}{4h} \quad (2.9)$$

dengan h sebagai ketebalan sedimen sehingga:

$$h = \frac{V_{S30}}{4f_0} \quad (2.10)$$

Menurut Zaharia *et al.* (2008), semakin kecil nilai frekuensi dominan maka semakin tebal lapisan lapuk, sehingga kedalaman dari batuan dasar juga semakin dalam. Lapisan sedimen yang tebal menyebabkan banyaknya gelombang yang terjebak yang menimbulkan frekuensi dominan yang kecil. Jika frekuensi dari sebuah bangunan sama dengan frekuensi dominan dari lapisan tanah maka akan terjadi resonansi gelombang yang dapat menyebabkan penguatan gelombang seismik sehingga dapat menyebabkan kerusakan besar pada bangunan.

Nilai V_{S30} ditentukan berdasarkan data dari *United State Geological Survey* (USGS) dengan memasukkan koordinat pengambilan data. Nilai kecepatan

gelombang geser hingga kedalaman 30 m dapat digunakan sebagai penentuan parameter geoteknik dalam pembangunan infrastruktur. Berikut adalah klasifikasi nilai V_{s30} berdasarkan *Uniform Building Code* (UBC) dan *Eurocode 8* ditunjukkan pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3. Klasifikasi Jenis Batuan berdasarkan *Uniform Building Code* (UBC) (Nurrahmi *et al.*, 2015)

Tipe Batuan	Profil Jenis Batuan	V_{s30}
A	<i>Hard Rock</i> (Batuan Keras)	>1500 m/s
B	<i>Rock</i> (Batuan Sedang)	760 – 1500 m/s
C	<i>Very Dense Soil and Soft Rock</i> (Tanah Keras dan Batuan Lunak)	360 – 760 m/s
D	<i>Stiff soil</i> (Tanah sedang)	180 – 360 m/s
E	<i>Soft Soil</i> (Tanah Lunak)	<180 m/s

Tabel 2.4. Klasifikasi Tanah sesuai dengan *Eurocode 8* (Mufida *et al.*, 2013)

Tipe Tanah	Uraian Gambar Stratigrafi	V_{s30}
A	Batuan atau formasi batuan lainnya.	> 800 m/s
B	Endapan <i>sand</i> atau <i>clay</i> yang sangat padat, <i>gravel</i> , pada ketebalan beberapa puluh meter, ditandai dengan peningkatan sifat mekanik terhadap kedalaman.	360 – 800 m/s
C	Endapan <i>sand</i> padat atau setengah padat yang tebal, <i>gravel</i> atau <i>clay</i> padat dengan ketebalan beberapa puluhan hingga ratusan meter.	180 – 360 m/s
D	Endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (dengan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), atau terutama pada tanah kohesi rendah.	< 180 m/s
E	Lapisan tanah terdiri alluvium pada permukaan dengan nilai V_s tipe C dan D	

	dengan ketebalan bervariasi antara 5 m dan 20 m, di bawah tanah ini berupa material keras dengan $V_s > 800$ m/s	
S1	Terdiri dari endapan atau mengandung lapisan minimal 10 m, pada tanah lempung lanauan dengan indeks keplastisan/kekenyalan dan kadar air yang tinggi.	< 100 m/s
S2	Endapan tanah encer, tanah liat yang sensitif, atau tanah lain yang tidak termasuk dalam tipe A-E atau S1.	

2.7.5 Densitas

Densitas atau kerapatan batuan umumnya bertambah dengan bertambahnya ke dalaman. Dengan bertambahnya kedalaman, tekanan hidrostatik juga semakin bertambah besar. Semakin besarnya tekanan menyebabkan batuan mengalami kompresi sehingga semakin rapat lapisan suatu batuan yang menyebabkan semakin besar densitas batuan.

Besarnya densitas suatu batuan juga bergantung pada besarnya porositas suatu batuan. Semakin besar porositas suatu batuan mengindikasikan semakin besar pula massa suatu batuan yang hilang atau rongga batuan makin besar. Hal ini menyebabkan densitas batuan semakin berkurang (Setiawan 2008). Densitas berbanding lurus dengan cepat rambat gelombang seismik dari formasi batuan, sehingga semakin besar densitas suatu formasi batuan maka semakin besar cepat rambat gelombang dalam batuan tersebut (Patimah, 2017). Nilai variasi densitas tiap batuan dicantumkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Nilai Variasi Densitas Batuan (Telford *et al.*, 1990)

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian mengenai “*Aplikasi Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) untuk Analisis Struktur Bawah Permukaan Tanah Pada Zona Amblesan Studi Kasus Perumahan Tanah Mas Kota Semarang*”, dapat diambil kesimpulan bahwa:

- (1) Nilai frekuensi dominan di perumahan Tanah Mas relatif rendah, yaitu 0,66 Hz – 0,98 Hz. Nilai amplifikasi tanah di perumahan Tanah Mas relatif sedang, yaitu 2,4 – 5,0. Nilai ketebalan lapisan sedimen di perumahan Tanah Mas relatif tebal, yaitu 60,2 m - 89,9 m.
- (2) Struktur bawah permukaan tanah di perumahan Tanah Mas Kota Semarang tergolong dalam jenis tanah sedang. Batuan penyusunnya merupakan batuan *alluvial* yang terdiri dari pasir (*sand*), kerikil (*graveli*), lempung (*clay*), lanau serta lumpur yang memiliki densitas relatif kecil. Apabila terdapat gelombang seismik yang cukup berpengaruh pada daerah tersebut, dengan frekuensi dominan relatif rendah, besar amplifikasi tanah relatif sedang dan ketebalan lapisan sedimen relatif dalam, maka tidak akan terjadi kerusakan yang sangat beresiko.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar titik pengambilan data lebih diperluas di sekitar Semarang Utara. Data yang diperoleh bisa dikorelasikan dengan data yang lain, misalnya data bor, sehingga struktur bawah permukaan tanah yang dihasilkan bisa lebih akurat. Selain itu, untuk bisa mengetahui laju amblesan suatu daerah menggunakan alat mikrotremor, maka harus dilakukan pengambilan data lagi dengan jeda waktu yang lama. Sehingga, akan diketahui selisih ketebalan lapisan sedimen dari penelitian sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., H. Andreas., I. Gumilar., T. P. Sidiq, & Y. Fukuda. 2013. Land Subsidence in Coastal City of Semarang (Indonesia): Characteristics, Impacts and Causes. *Geometrics, Natural Hazards and Risk* Vol. 4, No. 3.
- Afifah, R. S. 2011. Pemetaan Geologi Daerah Semarang dan Sekitarnya, Kecamatan Gajahmungkur, Sampangan, Kotamadya Semarang, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Ilmiah MTG*, Vol. 4, No. 2.
- Arifin, S. S., B. S. Mulyanto, Marjiyono, & R. Setiyanegara. 2012. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSZ Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi* Vol. 2, No. 1.
- Arifti, F. W. 2014. *Identifikasi Potensi Bahaya Seismik Berdasarkan Faktor Amplifikasi Tanah dan Ketebalan Sedimen Menggunakan Mikrotremor di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur*. Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.
- Bappeda. 2013. *Semarang Dalam Angka 2012*. Tersedia di <http://bappeda.semarangkota.go.id/v2/wp-content/uploads/2014/Semarang-Dalam-Angka-Tahun-2012.pdf> [diakses pada 19 Agustus 2017. 23:31].
- Bowles, J. E. 1989. *Sifat Fisis dan Geoteknik Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Carlson, D. H., C. C. Plummer, & L. Hammersley. 2011. *Physical Geology: Earth Revealed, Ninth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Cipta, A. 2009. *Laporan Penelitian Penyelidikan Amplifikasi Wilayah Seririt, Provinsi Bali*. Bandung: Pusat Volkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Daryono., Sutikno., J. Sartohadi, Dulbahri, & K. S. Brotopustpito. 2009. Pengkajian Local Site Effect di Graben Bantul Menggunakan Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. *Jurnal Kebencanaan Indonesia* Vol.2, No.1.
- Elnashai, S. A. & L. D. Sarno. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. UK: John Wiley & Son.
- Gadallah, M. R., & R. Fisher. 2009. *Exploration Geophysics*. Berlin: Spinger.
- Geomagz. 2014. Tersedia di <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/menahan-amblesan-kota-semarang/> [diakses pada Minggu, 27 Agustus 2017. 10:31].
- Marjiyono. 2010. *Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung*. Disertasi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- Marsudi. 2000. *Prediksi Laju Amblesan Tanah di Dataran Alluvial Semarang Provinsi Jawa Tengah*. Disertasi. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Martinez-Gonzales, J. A., J. F. Lermo-Samaniego., F. J. Sanchez-Sesma., J. Angulo-Carrillo., R. Valle-Orozco., J. Ordonez-Alfaro, & L. E. Perez-Rocha. 2012. Effects of the Subsidence on the Changes of Dominant Periods of Soils within Mexico City Valley. *15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE)*, 10.
- Mirzaolgu, M., & U. Dykmen. 2003. Application of Microtremors to seismic Microzoning Procedure. *Jurnal of The Balkan Geophysical Society* Vol 6, No. 3.
- Mufida, A., B. J. Santosa, & D. D. Wamana. 2013. Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor. *Jurnal Sains dan Seni Pomits* Vo.2, No.2.
- Murdohardono, D., & T. Tigor. 2002. *Evaluasi Geologi Teknik Zona Bahaya Erosi/Lahan Kritis Semarang*. Skripsi. Yogyakarta : Fakultas Geografi UGM.
- Nakamura, Y. 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on The Ground Surface. *Quarterly Report of RTRI* Vol.30, No.1.
- Nakamura, Y. 2000. Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications. *The 12nd Word Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo, Japan.
- Nakamura, Y. 2008. On The H/V Spectrum. *The 14th World Conference On Earthquake Engineering*, Beijing, China.
- Nurrahmi., R. Efendi, & S. Kasim. 2015. Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (Remi) di Kelurahan Talise. *Jurnal Gravitasi* Vol.14, No.1.
- Pamungkas, D. W. & Widhiatmoko. 2007. *Kajian Arah Pergerakan relatif Tanah di Jalan Raya Trangkil Kecamatan Gunungpati Semarang*. Skripsi. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata.
- Panou, A. A., N. Theodulidis., P. M. Hatzidimitriou., C. B. Papazachos, & K. Stylianidis. 2004. Ambient Noise Horizontal to Vertical Spectral Ratio for Assessing Site Effect in Urban Environments: The Case of Thessaloniki City (Northern Greece), *Bulletin of Geological Society of Greece*, Vol. XXXVI.
- Patimah, S. 2017. *Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Ground Profiles Kecepatan Gelombang Geser Dengan Metode Ellipticity Curve di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

- Plummer, C. M. 2005. *Physical Geology* (10th ed.). New York: McGraw-Hill Companies.
- Purwaningtyas, D. 2008. *Perbandingan Karakteristik Lapisan Bawah Permukaan Berdasarkan Analisis Gelombang Mikrotremor dan Data Bor*. Skripsi. Jakarta: Universitas Indraprasta PGRI.
- Rahnema, H., & S. Mirasi. 2013. Seismic Study of Land Subsidence and Vulnerability of Rural Buildings by using Geophysics Method, Near Shiraz City. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* Vol.7, No.11.
- Rochmah, L. N. 2015. *Studi Percepatan Getaran Tanah Maksimum dengan Metode Tong & Katayama (1988) dan Indeks Kerentanan seismik di Dusun Patuk Kabupaten Gunung Kidul*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Yogyakarta.
- Sarah, D., E. Soebowo., A. Mulyono, & N.A. Satriyo. 2013. *Model Geologi Teknik Daerah Amblesan Tanah Kota Semarang Bagian Barat*. Bandung: Prosiding Pemaparan Geoteknologi LIPI 2013 ISBN 978-979-8636-20-2.
- SESAME, 2004. *Guidlines for The Implementation of H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibration Measurements, Processing and Interpretation*. SESAME European Research Project. Project No. EVGI-CT-2000-00026 SESAME.
- Setiawan, B. 2008. *Pemetaan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi*. Universitas Indonesia: Departemen Geofisika.
- Shaleha, A., Supriyadi, & N.M.D. Putra. 2016. Identifikasi Struktur Lapisan Tanah Daerah Rawan Longsor di Kecamatan Banyubiru Kabupaten Semarang dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR). *Unnes Physics Journal* Vol.5, No.2.
- Sitorus, N. M. H., M. S. Purwanto, & W. Utama. 2017. Estimasi Ketebalan Lapisan Sedimen dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSR. *Jurnal Teknik ITS* Vol.6, No.2.
- Slob, S. 2007. *Micro Seismic Hazard Analys, Earthquake Vulnerability and Multi-Hazard Risk Assesment: Geospatial Tools for Rehabilitation and Reconstruction Efforts*, ITC The Netherlands.
- Soedarsono. 2006. Analisis Amblesan Tanah Akibat Pembebanan Pada Akuifer Bebas (Unconfined Aquifer) dan Pengaruhnya Terhadap Lingkungan di Sebagian Kota Semarang. *Jurnal Pondasi* Vol. 12, No.1.
- Soedarsono. 2012. Kondisi Geologi dan Geomorfologi Kaitannya dengan Degradasi Lingkungan di Kota Semarang. *Jurnal Lingkungan Sultan Agung*, Vol.1, No.1.

- Sophian, R. I. 2010. Penurunan Muka Tanah di Kota-Kota Besar Pesisir Pantai Utara Jawa (Studi Kasus: Kota Semarang). *Bulletin of Scientific Contribution*, Vol.8, No.1.
- Sulistiawan, H., Supriyadi, & I. Yulianti. 2017. Seismic Hazard Analysis Based on Earthquake Vulnerability and Peak Ground Acceleration using Microseismic Method at Universitas Negeri Semarang. *Journal of Physics: Conf. Series* 812 (2017) 012002.
- Supriyadi., D. Santoso., W. G. A. Kadir., M. Sarkowi, & A. Zaenudin. 2006. Penelitian Amblesan Tanah di Kawasan Industri Kaligawe Semarang Menggunakan Metode Gayaberatmikro 4D. *Jurnal Sains Tek.*, Vol.12, No.1.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Karya Ilmiah. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara.
- Tama, S. K., & Supriyadi. 2015. Struktur Bawah Permukaan Tanah di Kota Lama Semarang Menggunakan Metode Geolistrik Resistivity Konfigurasi Schlumberger. *Unnes Physics Journal* Vol.4, No.1.
- Telford, W. M., L. P. Geldart, & R. E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. London: Cambiridge University Press.
- Thaden, R. E., H. Sumadirja, & P. W. Richards. 1996. *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa. Skala 1:100.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Wardhana, D. D., & H. Harjono. 2014. Struktur Bawah Permukaan Kota Semarang Berdasarkan Data Gayaberat. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* Vol.24, No.1.
- Yuliyanti, A., D. Sarah, & E. Soebowo. 2012. Pengaruh Lempung Ekspansif Terhadap Potensi Amblesan Tanah di Daerah Semarang. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* Vol.22, No.2.
- Zaharia, B., M. Rudulian., M. Popa., B. Grecu., A. Bala, & D. Tataru. 2008. Estimation of The Local Response Using The Nakamura Methode for The Bucharest Area. *Romanian Report in Physics*, Vol.60, No.1.