



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - RF184838**

**PEMODELAN KECEPATAN GELOMBANG GESER ( $V_s$ ) HVS  
MULTI 1D UNTUK IDENTIFIKASI KEMENERUSAN SESAR  
KENDENG DI WILAYAH SURABAYA TIMUR**

**SYARFA MONITA WAHJUDHI**  
NRP 03411640000018

**Dosen Pembimbing**

Wien Lestari S.T., M.T.  
NIP 19811002 201212 2 003  
Nita Ariyanti, S.T., M.Eng.  
NIP. 370181001

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA**  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



TUGAS AKHIR - RF184838

**PEMODELAN KECEPATAN GELOMBANG GESER ( $V_s$ ) HVSR  
MULTI 1D UNTUK IDENTIFIKASI KEMENERUSAN SESAR  
KENDENG DI WILAYAH SURABAYA TIMUR**

SYARFA MONITA WAHJUDHI  
NRP 03411640000018

**Dosen Pembimbing**

Wien Lestari, S.T., M.T.  
NIP. 19811002 201212 2 003  
Nita Ariyanti, S.T., M.Eng.  
NIP. 370181001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



UNDERGRADUATE THESIS - RF184838

***PROFILING OF SHEAR WAVE VELOCITY (VS) USING  
MULTI 1D HVSR TO IDENTIFY THE CONTINUOUS  
KENDENG FAULT IN EASTERN REGION OF SURABAYA***

SYARFA MONITA WAHJUDHI  
NRP 03411640000018

**Advisor**

Wien Lestari, S.T, M.T.  
NIP. 19811002 201212 2 003  
Nita Ariyanti, S.T., M.Eng.  
NIP. 370181001

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Civil Engineering, Planning, and Earth  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **Pernyataan Keaslian Tugas Akhir**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Pemodelan Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ ) HVSR Multi 1D untuk Identifikasi Kemenerusan Sesar Kendeng di Wilayah Surabaya Timur” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 20 Juni 2020



Syarfa Monita Wahjudhi  
NRP. 0341164000018

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

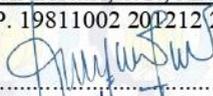
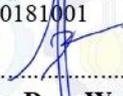
## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Syarfa Monita Wahjudhi  
NRP : 03411640000018  
Departemen : Teknik Geofisika  
Judul Tugas Akhir : Pemodelan Kecepatan Gelombang Geser (Vs) HVSR Multi 1D Untuk Identifikasi Kemenerusan Sesar Kendeng di Wilayah Surabaya Timur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 28 Juli 2020

1.   
**Wien Lestari, S.T., M.T.** (Pembimbing I)  
NIP. 19811002 201212 2 003
2.   
**Nita Ariyanti, S.T., M.Eng.** (Pembimbing II)  
NIP. 370181001
3.   
**Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si.** (Penguji I)  
NIP. 19760123 200003 1 001
4.   
**M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M.Eng.** (Penguji II)  
NIP. 19890208 201803 1 001

Menyetujui,  
Kepala Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



**Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si.**  
NIP. 19760123 200003 1 001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Abstrak

# PEMODELAN KECEPATAN GELOMBANG GESER (VS) HVSR MULTI 1D UNTUK IDENTIFIKASI KEMENERUSAN SESAR KENDENG DI WILAYAH SURABAYA TIMUR

Nama : Syarfa Monita Wahjudhi  
NRP : 03411640000018  
Dosen Pembimbing : Wien Lestari, S.T, M.T.  
Nita Ariyanti, S.T., M.Eng.

Secara geografis letak Surabaya berada pada patahan yang diperkirakan masih aktif dan besar kemungkinan bisa menimbulkan gempa bumi dengan kekuatan besar. Sumber gempa tersebut berasal dari Sesar Kendeng. Sesar Kendeng melintas dan membelah Surabaya menjadi dua bagian yaitu utara dan selatan dengan perkiraan magnitudo maksimum mencapai 6,5. Selain itu, *strain rate* sepanjang segmen timur menunjukkan adanya kompresi sebesar 37.231 ns/tahun  $\pm$  20.267 ns/tahun. Mekanisme yang terjadi pada ekstensi Sesar Kendeng ini menunjukkan adanya potensi sumber gempa baru di sekitar Selat Madura. Maka dari itu dilakukan survei geofisika dengan menggunakan metode mikrotremor yang bertujuan untuk menyelidiki posisi dan arah kemenerusan Sesar Kendeng di wilayah Surabaya Timur. Metode mikrotremor cocok digunakan untuk menggambarkan karakteristik dinamis tanah akibat aktivitas seismik melalui kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) karena mempunyai kelebihan mudah dan tidak perlu sumber buatan. Data mikrotremor kemudian dianalisis menggunakan pendekatan *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dengan melalui dua tahapan, yaitu analisis kurva HVSR dan inversi. Berdasarkan nilai  $f_0$ , wilayah Surabaya Timur mempunyai frekuensi natural rendah  $< 2,5$  Hz. Hasil inversi dari kurva HVSR memperlihatkan sebaran nilai  $V_s$  bawah permukaan berkisar 80 – 1500 m/s. Berdasarkan sebaran nilai  $V_s$  tersebut, wilayah Surabaya Timur teridentifikasi adanya patahan naik yang berasosiasi dengan lipatan. Dugaan tersebut terletak di stasiun SBA06 – SBA04, tepatnya di kecamatan Gubeng dan Sukolilo.

**Kata Kunci** : Analisis HVSR, Gelombang Geser, Mikrotremor, Sesar Kendeng

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## *Abstract*

### ***PROFILING OF SHEAR WAVE VELOCITY (VS) USING MULTI ID HVSR TO IDENTIFY THE CONTINUOUS KENDENG FAULT IN EASTERN REGION OF SURABAYA***

Name : Syarfa Monita Wahjudhi  
Student ID : 03411640000018  
Advisor : Wien Lestari, S.T, M.T.  
Nita Ariyanti, S.T., M.Eng.

*Geographically, Surabaya is located on a fault that is thought to be still active and is likely to cause an earthquake with a large force. The source of the earthquake came from the Kendeng Fault. The Kendeng Fault crosses and divides Surabaya into two parts namely north and south with an estimated maximum magnitude of 6.5. In addition, strain rates throughout the eastern segment showed a compression of 37,231 ns/year  $\pm$  20,267 ns/year. The mechanism that occurs in the Kendeng Fault extension shows the potential for new earthquake sources around the Madura Strait. Therefore a geophysical survey was carried out using the microtremor method which aims to investigate the position and direction of the Kendeng Fault in East Surabaya. The microtremor method is suitable for describing the dynamic characteristics of soil due to seismic activity through shear wave velocity (Vs) because it has an easy advantage and does not need an artificial source. The microtremor data is then analyzed using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) approach through two stages, namely the analysis of the HVSR curve and inversion. Based on the value of  $f_0$ , the East Surabaya region has a low natural frequency  $<2.5$  Hz. The inversion results from the HVSR curve show the distribution of subsurface Vs values ranging from 80 - 1500 m / s. Based on the distribution of the value of Vs, the Eastern Region of Surabaya was identified by an upward fault associated with the fold. The allegations are located at SBA06 - SBA04 stations, precisely in the sub-districts of Gubeng and Sukolilo.*

**Keywords :** *HVSR Analysis, Share Wave Velocity, Microtremor, Kendeng Fault*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Kata Pengantar

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul:

### **“Pemodelan Kecepatan Gelombang Geser (Vs) HVSR Multi 1D Untuk Identifikasi Kemenerusan Sesar Kendeng Di Wilayah Surabaya Timur”**

Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan motivasi, fasilitas, dan dukungan selama pengerjaan Tugas Akhir.
2. Wien Lestari, S.T., M.T., Nita Ariyanti, S.T., M.Eng., dan Firman Syaifuddin, S.Si., M.T., selaku dosen pembimbing atas arahan, saran, dan kritik yang membangun dalam penyempurnaan pengerjaan Tugas Akhir.
3. Bapak dan Ibu dosen serta para staf Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.
4. Kezia, Ramaditio, Redo, Almarsa, dan Dillon selaku teman satu tim tugas akhir yang telah saling memberikan semangat dan bekerja sama selama pengerjaan Tugas Akhir.
5. Brian, Tyas, Vivie, Putri Amali, Shofi, Sumita, Mia, Mega, Yolanda, Bagoes, dan Agul yang telah memberikan semangat dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir.
6. Teman-teman TG05 atas dukungan dan bantuannya.
7. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu oleh penulis, terima kasih banyak atas doa dan dukungannya.

Penulis menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 20 Juni 2020

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# Daftar Isi

Halaman Pengesahan.....	i
Abstrak.....	iii
<i>Abstract</i> .....	v
Kata Pengantar.....	vii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	2
1.3    Batasan Masalah.....	2
1.4    Tujuan.....	2
1.5    Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1    Dasar Teori .....	3
2.1.1    Geologi Regional Surabaya .....	3
2.1.2    Gelombang Seismik .....	8
2.1.3    Metode Mikrotremor .....	10
2.1.4    HVSr ( <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> ) .....	11
2.1.5    Penampang HVSr Multi 1D .....	14
2.1.6    Klasifikasi Tanah .....	16
2.2    Penelitian Terdahulu.....	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1    Lokasi dan Waktu Penelitian.....	19
3.2    Perangkat .....	20

3.3	Diagram Alir dan Tahapan Penelitian .....	22
3.3.1	Akuisisi Data Lapangan .....	23
3.3.2	Pengolahan Data.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		27
4.1	Hasil Penelitian.....	27
4.1.2	Data Mikrotremor .....	27
4.1.3	Hasil Inversi HVSR.....	30
4.2	Pembahasan .....	34
4.2.1	Analisis Persebaran Frekuensi Natural .....	34
4.2.2	Analisis Inversi HVSR.....	35
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....		39
5.1	Kesimpulan.....	39
5.2	Saran .....	39
DAFTAR PUSTAKA.....		41
Daftar Luaran .....		45
Lampiran.....		47
Biografi Penulis.....		1

## Daftar Tabel

<b>Tabel 2.1.</b> Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai (Ghazali, 2017; Arifin dkk, 2013) .....	16
<b>Tabel 2. 2</b> Klasifikasi <i>site</i> didasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium (SNI 2002, UBC-97, IBC 2009, ASCE 7-10) (BMKG, 2014).....	17
<b>Tabel 3.1.</b> Lokasi Penelitian Metode Mikrotremor.....	19
<b>Tabel 4.2.</b> Nilai Frekuensi Dominan dan Faktor Amplifikasi.....	28
<b>Tabel 4.3.</b> Parameter model tebakkan awal sesuai referensi dari data bor N-SPT Gunung Anyar Surabaya .....	31
<b>Tabel 4.4.</b> Parameter hasil inversi pada SBA06 .....	32

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Daftar Gambar

<b>Gambar 2.1.</b> Peta geologi Surabaya berdasarkan Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu modifikasi.....	3
<b>Gambar 2.2.</b> Fisiografi Pulau Jawa bagian timur mengikuti (Van Bemmelen, 1949).....	4
<b>Gambar 2.3.</b> Peta persebaran sesar aktif di wilayah Jawa (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017) .....	5
<b>Gambar 2.4.</b> Karakteristik Sesar Kendeng (Fardiansyah dkk, 2013) .....	5
<b>Gambar 2.5.</b> Kolom stratigrafi Kota Surabaya modifikasi .....	7
<b>Gambar 2.6.</b> Gelombang Primer (Kramer, 1996) .....	8
<b>Gambar 2.7.</b> Gelombang Sekunder (Kramer, 1996) .....	9
<b>Gambar 2.8.</b> Gelombang <i>Rayleigh</i> (Kramer, 1996) .....	9
<b>Gambar 2.9.</b> Gelombang <i>Love</i> (Kramer, 1996) .....	10
<b>Gambar 2.10.</b> Penggambaran Metode HVSR (Nakamura, 1989; Koulali, 2016) .....	11
<b>Gambar 2.11.</b> (a) Geometri perlapisan tanah (b) model sumber mikrotremor yang diformulasikan menggunakan teori Spektrum H/V (Arai dan Tokimatsu, 2004).....	13
<b>Gambar 2.12.</b> (a) <i>Ellipticity curve</i> dan (b) Profil kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) beserta kedalaman lapisan sebagai hasil dari proses inversi HVSR (Papazachos dkk, 2018).....	15
<b>Gambar 2.13.</b> Profil data geofisika dan geoteknik di sepanjang penampang 1D (Raptakis, 2000).....	16
<b>Gambar 3.1.</b> Lokasi Pengukuran Mikrotremor .....	19
<b>Gambar 3.2.</b> Portable Seismometer .....	20
<b>Gambar 3.3.</b> Sensor.....	21
<b>Gambar 3.4.</b> Accumulator .....	21
<b>Gambar 3.5.</b> Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	22
<b>Gambar 3.6.</b> Data <i>trace</i> 3-komponen dalam domain waktu .....	23
<b>Gambar 3.7.</b> <i>Picking</i> dengan <i>window</i> yang telah diseleksi .....	23
<b>Gambar 3.8.</b> Proses pengaturan pemodelan dan inversi.....	25
<b>Gambar 4.1.</b> Pemilihan <i>Window</i> pada SBA 01 .....	27
<b>Gambar 4.2.</b> Kurva H/V pada SBA 01 .....	28
<b>Gambar 4.3.</b> Hasil fitting inversi pada SBA06 .....	32
<b>Gambar 4.4.</b> <i>Ground profile</i> SBA06 berdasarkan $V_s$ dan kedalaman (kiri) serta klasifikasinya (kanan) .....	33
<b>Gambar 4.5.</b> Peta persebaran frekuensi natural .....	34

<b>Gambar 4.6.</b> Hasil inversi HVSr penampang multi 1D dengan kedalaman maksimal 200 m dan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) 0 – 1200 m/s .....	36
<b>Gambar 4.7.</b> Sayatan pada Penampang Multi 1D HVSr.....	37

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pulau Jawa merupakan salah satu pulau di Indonesia yang memiliki seismisitas tinggi, hal ini disebabkan oleh dinamika tektonik pulau Jawa yang kompleks. Menurut Koulali dkk (2016) terdapat sumber gempa baru yang berasal dari Sesar Kendeng di wilayah Jawa Timur. Sesar ini aktif bergerak dengan kecepatan sebesar 5 mm/tahun yang menyebabkan terjadinya gempa-gempa dangkal berukuran sedang (M4-5) sepanjang zona sesar (Koulali dkk., 2016). Secara geologi zona Kendeng dibagi menjadi 3 segmen, yaitu kendeng barat, tengah, dan timur. Berdasarkan penelitian Kuncoro dkk (2018) yang dilakukan dengan menggunakan teknologi GNSS (*Global Navigation Satellite System*), menyebutkan bahwa *strain rate* sepanjang segmen timur menunjukkan adanya kompresi sebesar  $37.231 \text{ ns/tahun} \pm 20.267 \text{ ns/tahun}$ . Kompresi terbesar terjadi pada segmen timur Sesar Kendeng sedangkan kompresi terkecil terjadi pada segmen barat Sesar Kendeng. Mekanisme ini menguatkan dugaan (Koulali dkk., 2016) mengenai potensi sumber gempa baru di sekitar Selat Madura.

Pusat Studi Gempa Nasional menemukan fakta bahwa letak Surabaya secara geografis berada pada patahan/sesar yang diperkirakan masih aktif dan memungkinkan terjadinya gempa bumi dengan kekuatan besar di wilayah Surabaya. Sesar Kendeng melintasi tengah kota Surabaya dan bergerak 0,1 mm/tahun. Sesar tersebut membelah Surabaya menjadi dua bagian yaitu utara dan selatan dengan perkiraan magnitudo maksimum 6,5 (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Namun ekstensi dari Sesar Kendeng ini belum diketahui secara pasti hingga kini.

Pada penelitian ini akan dilakukan penyelidikan mengenai kemenerusan Sesar Kendeng dengan menggunakan survei mikrotremor. Mikrotremor digunakan dalam teknik kegempaan untuk memperkirakan profil kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ). Mikrotremor didominasi oleh gelombang permukaan yang dapat digunakan untuk menentukan kurva dispersi gelombang Rayleigh tanpa memerlukan sumber tiruan. Data mikrotremor dianalisis dengan metode *Horizontal to Vertical Spectrum Ratio* (HVSr) dari Nakamura (1989). Metode HVSr merupakan metode yang memperlihatkan hubungan antara perbandingan spektrum H/V dengan *ellipticity curve* dari gelombang permukaan Rayleigh (Gazali, 2017). Pada metode HVSr terdapat teknik *smoothing* yang digunakan untuk mendapatkan nilai frekuensi natural sehingga dapat membantu identifikasi kontinuitas patahan (Syarifuddin dkk., 2016). Nilai-nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) memainkan peranan penting dalam konstruksi penampang 1D yang akurat (Makra dkk., 2000)

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun masalah yang dihadapi pada pelaksanaan tugas akhir ini adalah bagaimana arah kemenerusan Sesar Kendeng pada wilayah Surabaya Timur.

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam pelaksanaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Data mikrotremor yang digunakan dalam proses pengolahan dipilih dalam rentang waktu 7 hari.
2. Parameter pemodelan kedepan (*forward modelling*) mengacu pada data bor N-SPT Gunung Anyar referensi.

## **1.4 Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi posisi dan arah kemenerusan Sesar Kendeng pada wilayah Surabaya Timur berdasarkan penampang multi 1D dengan menggunakan analisis HVSR.

## **1.5 Manfaat**

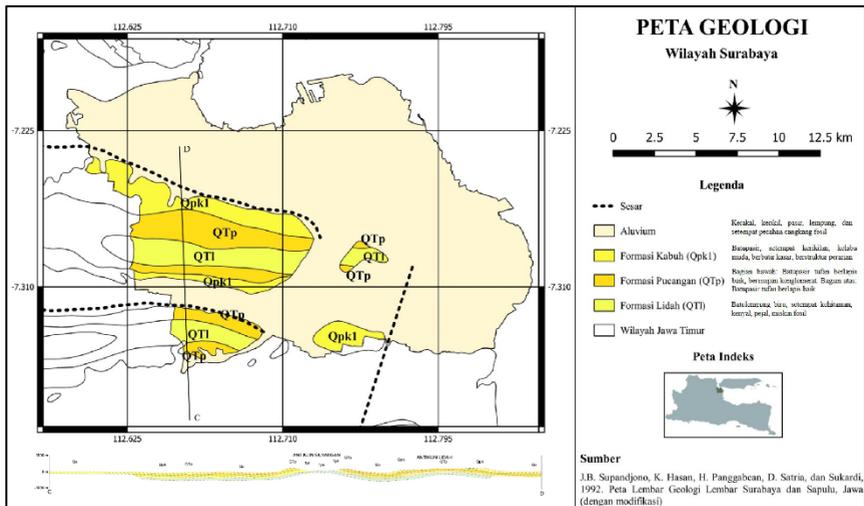
Penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk memberikan informasi kepada pemerintah dan masyarakat dalam melakukan rencana pengembangan dan pembangunan kota. Selain itu, penelitian ini juga dapat membantu dalam pembaruan peta mikrozonasi gempa sebagai upaya dalam mitigasi bencana pada wilayah penelitian.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Dasar Teori

#### 2.1.1 Geologi Regional Surabaya

Secara geologi Kota Surabaya terbentuk oleh batuan sedimen yang berumur Miosen sampai Plistosen seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1. Batuan sedimennya adalah bagian dari lajur Kendeng dengan Formasi Lidah, Pucangan, dan Kabuh. Batuan dasar untuk kota Surabaya merupakan Formasi Lidah yang berumur Pliosen. Formasi ini berada pada kedalaman 250 – 300 meter. Selain itu, Kota Surabaya berupa cekungan endapan aluvial muda hasil endapan laut dan sungai, tuf dan batu pasir (Rochman, 2018; Sukardi, 1992).



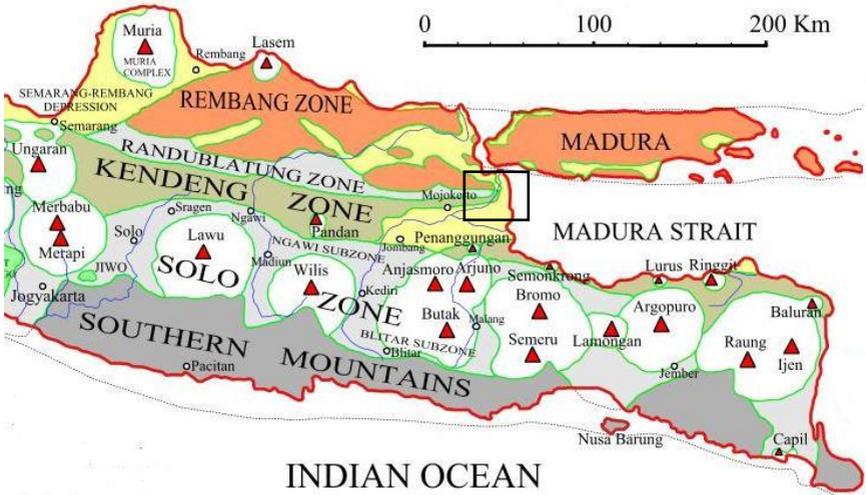
**Gambar 2.1.** Peta geologi Surabaya berdasarkan Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu dengan modifikasi

#### 2.1.1.1 Fisiografi Regional

Menurut Van Bemmelen (1949), fisiografi bagian timur Pulau Jawa dibedakan menjadi 5 zona, yaitu: Zona Pegunungan Selatan, Zona Solo, Zona Punggungan Kendeng, Zona Depresi Randublatung, dan Zona Rembang. Gambar 2.2 menunjukkan bahwa Kota Surabaya terletak diantara 2 zona, yaitu Zona Depresi Randublatung dan Zona Kendeng. Pada Zona Randublatung ditandai dengan kemunculan antiklin terisolir. Pola perlipatan antiklin tersebut masih mengikuti pola lipatan Zona Kendeng. Zona Randublatung dapat dikatakan sebagai sebuah depresi tektonis, hal ini disebabkan sedimentasi Zona Randublatung terus aktif menerima pasokan sedimen dari Perbukitan Kendeng

maupun Perbukitan Rembang semenjak akhir Tersier hingga saat ini (Marliyani, 2016; Van Bemmelen, 1949).

Zona Kendeng merupakan deretan pegunungan yang tersusun oleh batuan sedimen laut yang telah mengalami deformasi dan memanjang dengan arah timur – barat. Pegunungan ini membentang dari Gunungapi Ungaran ke arah timur melalui Ngawi hingga daerah Mojokerto. Kelanjutan zona ini masih dapat diikuti hingga ke arah Selat Madura. Zona ini terletak di sebelah utara Subzona Ngawi (Marliyani, 2016; Van Bemmelen, 1949).

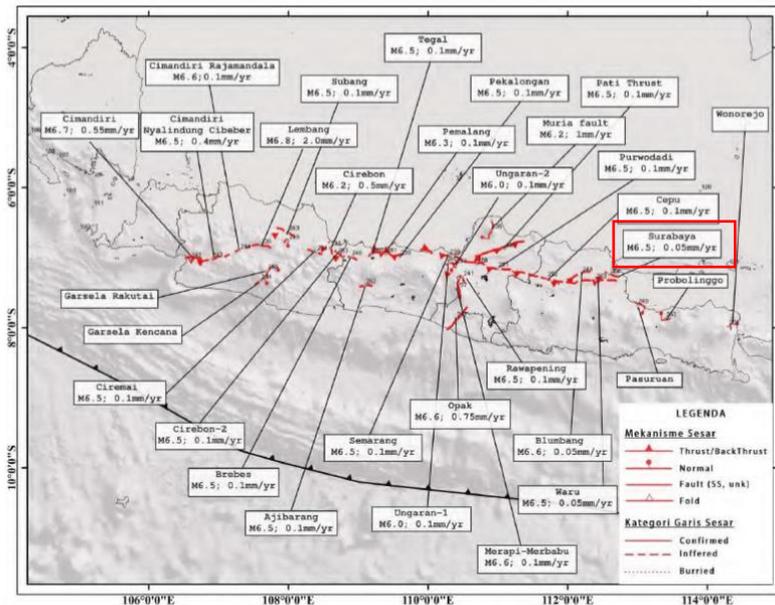


**Gambar 2.2.** Fisiografi Pulau Jawa bagian timur mengikuti (Van Bemmelen, 1949)

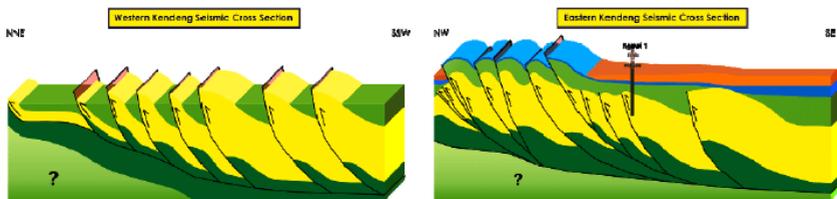
Menurut Newcomb dan McCann (1987), karakteristik zona subduksi di Pulau Jawa memiliki frekuensi dan magnitudo kegempaan yang lebih rendah dibanding Pulau Sumatera. Pergerakan lempeng di zona subduksi Jawa diakomodasi oleh pergerakan aseismik, namun tidak disertai oleh penumpukan energi. Gempa yang pernah terjadi pada tahun 1994 dan 2006 berlangsung di daerah sempit (beberapa puluh km dari palung) menyimpulkan bahwa gempa ini terjadi akibat adanya *isolated locked-zone* di batas subduksi Jawa. Gempa yang akan datang kemungkinan terjadi di daerah yang terdapat adanya *seismic gap* (zona dengan seismisitas rendah) di sepanjang zona seismik yang sempit (Kanamori, 2008).

Secara umum struktur geologi aktif di Jawa didominasi oleh sesar geser dan sesar naik. Menurut Moody dan Hill (1956) pola umum tektonik Pulau Jawa

sesuai dengan konsep tektonik *wrench fault* yang disebabkan oleh gaya lateral utara-selatan, sehingga menghasilkan dua patahan berarah barat laut-tenggara dan timur laut- barat daya. Berdasarkan gambar 2.3 Surabaya dilalui oleh sesar aktif yaitu Sesar Kendeng, yaitu sesar yang memanjang mulai dari bagian timur Jawa Timur hingga bagian barat Jawa Tengah (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Sesar Kendeng terlihat menyambung ke dalam sistem Sesar Semarang dan Sesar Baribis. Gempa-gempa dangkal berukuran sedang (M4-5) terjadi di sepanjang zona sesar ini dalam beberapa tahun terakhir. Sesar Kendeng memiliki mekanisme sesar naik dengan arah *dipping* ke arah selatan. Pernyataan ini diterangkan dalam Gambar 2.4. Sesar Kendeng aktif bergerak setiap tahun dengan kecepatan gerak sebesar 5mm/tahun (Koulali, 2016).



Gambar 2.3. Peta persebaran sesar aktif di wilayah Jawa (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)



Gambar 2.4. Karakteristik Sesar Kendeng (Fardiansyah dkk, 2013)

### 2.1.1.2 Stratigrafi Regional

Acuan utama dalam menyusun stratigrafi Kendeng adalah publikasi De Genevraye dan Samuel (1972). Stratigrafi penyusun Zona Kendeng merupakan endapan laut dalam di bagian bawah yang semakin ke atas berubah menjadi endapan laut dangkal dan akhirnya menjadi endapan nonlaut.

Wilayah Surabaya terdiri dari tiga formasi (Formasi Kabuh, Pucangan, dan Lidah) dan endapan aluvium (Qa). Formasi-formasi tersebut dijelaskan dalam kolom stratigrafi pada Gambar 2.5. Berikut penjelasan urutan formasi dari umur tua ke muda.

#### 1. Formasi Lidah (QTl)

Formasi Lidah memiliki nama lain *Blue Clays* (Van Bemmelen, 1949). Formasi ini sebanding dengan Formasi Pucangan fasies lempung. Formasi ini terdiri dari urutan lempung berwarna biru tua monoton, plastis, dan jika lapuk berwarna coklat kuning. Pada umumnya tidak berlapis dan tidak mengandung pasir sama sekali, namun secara setempat berselingan dengan batupasir kuarsa yang mengandung glaukonit dan molusca laut. Semakin kearah barat batuan yang identik dapat ditemukan disekitar Ploso, yakni di timur Gunung Pucangan dengan batulempung yang kadang mengandung molusca laut, echinoid, belanus dan foraminifera kecil. Formasi ini berumur Pliosen Atas hingga Pleistosen (N21-N22) yang diendapkan pada lautan yang agak terlindung untuk bagian bawah dan berangsur-angsur menjadi dangkal kearah atas (Mufida, 2013; Sukardi, 1992).

#### 2. Formasi Pucangan (Qtp)

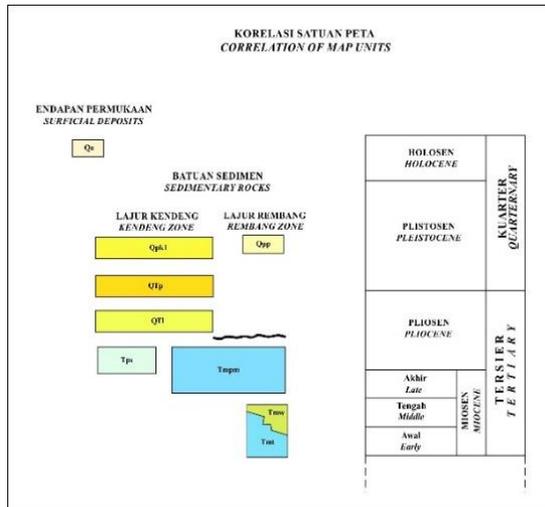
Terdiri dari batupasir berbutir kasar hingga konglomeratan, batupasir tufan berbutir halus hingga kasar dan batupasir tufan mengandung lempung dengan sisipan breksi tufan, batukerikil, batupasir tufan napalan, mengandung molusca laut. Kumpulan fosilnya menunjukkan umur Pliosen Atas-Pleistosen (N21-N22) selain itu ditemukan juga *Pithecanthropus Mojokertensis* di lingkungan paralis darat. Pada bagian Kendeng Timur formasi ini diendapkan pada lingkungan *marine* dan terletak selaras diatas Formasi Lidah. Formasi ini menindih tak selaras Formasi Kalibeng (Mufida, 2013; Sukardi, 1992).

#### 3. Formasi Kabuh (Qpk1)

Formasi ini tersusun oleh batupasir dengan material non vulkanik antara lain kuarsa, berstruktur silang siur dengan sisipan konglomerat, mengandung moluska air tawar dan fosil-fosil vertebrata. Formasi ini diperkirakan berumur Plistosen Tengah dengan ditemukannya fosil *Pithecanthropus Erectus*. Ketebalan Formasi ini diperkirakan mencapai 45-200 m. Formasi Kabuh menindih selaras Formasi Pucangan (Mufida, 2013; Sukardi, 1992).

#### 4. Endapan Aluvium (Qa)

Endapan permukaan yang terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung dan setempat pecahan cangkang fosil (Mufida, 2013; Sukardi, 1992).



**Gambar 2.5.** Kolom stratigrafi Kota Surabaya dengan modifikasi

### 2.1.1.3 Sejarah Geologi

Secara struktur geologi, wilayah Kota Surabaya terletak di sebelah timur Zona Kendeng. Deformasi pertama pada Zona Kendeng terjadi pada akhir pliosen (Plio-Plistosen), berupa manifestasi dari zona konvergen pada konsep tektonik lempeng yang diakibatkan oleh gaya kompresi berarah relatif utara-selatan dengan tipe formasi berupa *ductile*. Setelah berubah menjadi deformasi *brittle* berupa pergeseran blok-blok dasar cekungan Zona Kendeng pada fase akhir. Intensitas gaya kompresi mengalami peningkatan (semakin besar) ke arah bagian barat Zona Kendeng. Hal tersebut menyebabkan banyak dijumpai lipatan dan sesar naik (Marliyani, 2016).

Deformasi Plio-Plistosen dapat dibagi menjadi menjadi tiga fase. Fase pertama berupa perlipatan yang mengakibatkan terbentuknya geantiklin Kendeng yang memiliki arah umum barat-timur dan menonjol di bagian Kendeng Timur. Fase kedua berupa proses terbentuknya sesar yang dapat dibagi menjadi dua, yaitu akibat perlipatan dan akibat telah berubahnya deformasi *ductile* menjadi deformasi *brittle* karena batuan telah melampaui batas kedalaman plastisnya. Fase ketiga berupa pergeseran blok-blok dasar cekungan Zona Kendeng yang mengakibatkan terjadinya sesar-sesar geser berarah relatif utara-selatan (Marliyani, 2016).

Deformasi kedua terjadi selama kuarter yang berlangsung secara lambat dan mengakibatkan terbentuknya struktur kubah di Sangiran. Deformasi ini masih berlangsung hingga saat ini dengan intensitas relatif kecil. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan adanya sedimen termuda di Zona Kendeng yaitu Endapan Undak (Marliyani, 2016).

### 2.1.2 Gelombang Seismik

Perambatan energi yang mampu memindahkan partikel ke tempat lain sesuai dengan arah perambatannya disebut dengan Gelombang. Gelombang seismik merupakan gelombang mekanik yang merambat di dalam bumi. Sehingga pada penjalarnya gelombang seismik memerlukan medium untuk merambat (Young, 2002).

Gelombang seismik disebabkan oleh adanya deformasi struktur di bawah bumi akibat tekanan ataupun tarikan karena sifat keelastisitasan kerak bumi. Proses tersebut biasanya berupa aktivitas vulkanik, ledakan buatan maupun gempa bumi. Gelombang seismik membawa energi yang dapat menjalar ke segala arah di seluruh bagian bumi, sehingga mampu dicatat oleh seismograf. Gelombang seismik dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Muhtar, 2016; Waluyo, 1996).

#### 1. Gelombang Badan (*Body Wave*)

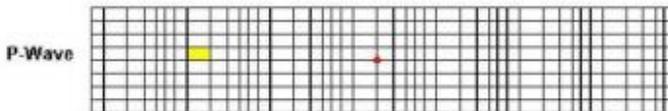
Gelombang yang menjalar ke segala arah di dalam dan di permukaan bumi. Gelombang badan ini terdiri dari gelombang primer (gelombang P) dan gelombang sekunder (gelombang S).

##### a. Gelombang Primer

Gelombang longitudinal dengan gerakan partikelnya searah dengan arah perambatannya dan dapat menjalar dalam segala medium. Ilustrasi gelombang primer dapat dilihat pada Gambar 2.6. Kecepatan penjalaran gelombang P ditulis dengan persamaan sebagai berikut (Kayal, 2008):

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

dimana  $V_p$  adalah kecepatan gelombang P (m/s),  $k$  adalah modulus bulk (Pa),  $\mu$  adalah modulus geser ( $\text{N/m}^2$ ), dan  $\rho$  adalah densitas atau kerapatan material yang dilalui gelombang ( $\text{kg/m}^3$ ).



**Gambar 2.6.** Gelombang Primer (Kramer, 1996)

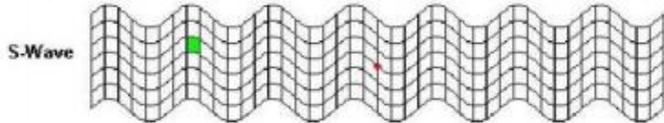
##### b. Gelombang Sekunder

Gelombang transversal atau gelombang geser (*shear wave*) dengan arah gerakan partikelnya tegak lurus dengan rambatannya (Muhtar, 2016; Waluyo, 1996). Gelombang ini menjalar lebih lambat dibandingkan dengan gelombang primer, tetapi memancarkan energi lebih banyak. Gelombang S

hanya dapat merambat pada medium padat. Persamaan penjaran gelombang S ditulis dengan persamaan (Dentith & Mudge, 2014):

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

dimana  $\mu$  adalah rigiditas atau modulus geser ( $\text{N/m}^2$ ), dan  $\rho$  adalah densitas atau kerapatan material yang dilalui gelombang ( $\text{kg/m}^3$ ).



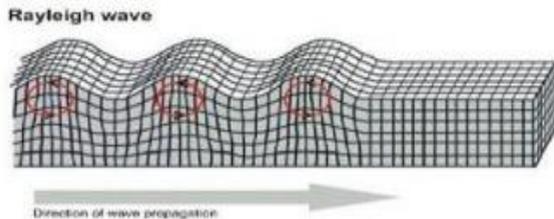
**Gambar 2.7.** Gelombang Sekunder (Kramer, 1996)

2. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang yang penjarannya hanya melalui permukaan bumi. Gelombang ini menjalar lebih lambat daripada gelombang badan, namun mengakibatkan kerusakan yang lebih besar. Gelombang permukaan dibedakan menjadi dua yaitu gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love*.

a. Gelombang *Rayleigh*

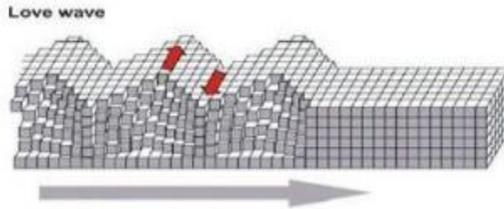
Gelombang permukaan yang gerakan partikelnya merupakan kombinasi gerakan gelombang P dan S, yaitu berbentuk *ellips*. Gambar 2.8 menunjukkan ilustrasi gelombang *Rayleigh*. Gelombang *Rayleigh* memiliki kecepatan antara 2,0 – 4,2 km/s di dalam bumi, dengan besar amplitudonya menurun secara eksponensial sebagai fungsi kedalaman (Muhtar, 2016; Waluyo, 1996).



**Gambar 2.8.** Gelombang *Rayleigh* (Kramer, 1996)

b. Gelombang *Love*

Gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Gerakan partikel gelombang *love* mirip dengan gelombang S. Gelombang ini terpolarisasi secara horisontal dan tidak menghasilkan perpindahan vertikal (Muhtar, 2016; Waluyo, 1996). Penjelasan tersebut diilustrasikan melalui Gambar 2.9.



**Gambar 2.9.** Gelombang *Love* (Kramer, 1996)

### 2.1.3 Metode Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran lingkungan (*ambient vibration*) yang berasal dari dua sumber utama, yaitu aktivitas manusia dan alam (Nakamura, 1989). Menurut Okada (2004), mikrotremor merupakan getaran konstan dari permukaan bumi (Okada, 2003). Menurut Ibrahim dan Subardjo (2005), mikrotremor terjadi karena getaran akibat orang berjalan, getaran mobil, getaran mesin-mesin pabrik, getaran angin, gelombang laut atau getaran alamiah dari tanah (Ibrahim dan Subarjo, 2005). Mikrotremor digunakan dalam teknik kegempaan untuk memperkirakan profil kecepatan gelombang geser (*V<sub>s</sub>*). Mikrotremor didominasi oleh gelombang permukaan yang dapat digunakan untuk menentukan kurva dispersi gelombang *Rayleigh* tanpa memerlukan sumber tiruan.

Survei mikrotremor dapat dilakukan dengan dua cara, pendekatan pertama adalah perekaman dilakukan secara simultan pada dua atau lebih lokasi. Salah satu tempat perekaman harus dilakukan di daerah batuan keras (*hard rock*) sehingga tidak menunjukkan adanya penguatan frekuensi akibat gerakan tanah (Winoto, 2010). Pendekatan kedua diperkenalkan oleh (Nakamura, 1989) bersamaan dengan metode analisisnya. Nakamura menemukan bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari mikrotremor meningkat pada frekuensi resonansi dan akan menunjukkan puncak pada frekuensi tersebut.

Sinyal mikrotremor terdiri dari tiga komponen yaitu dua komponen horizontal yaitu spektrum E (barat-timur), dan spektrum N (utara-selatan) juga satu komponen vertikal yaitu spektrum Z (Ibrahim dan Subarjo, 2005). Pada perekaman mikrotremor tidak dibutuhkan adanya sumber buatan atau sumber berupa gempa bumi, namun pengukuran langsung dilakukan karena yang direkam merupakan gelombang yang timbul dari alam. Spektra *ambient noise* yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk menentukan respon lokasi khususnya frekuensi dari puncak utama atau frekuensi resonansi lapisan sedimen. Respon lokasi pada daerah sedimen sangat berhubungan dengan ketebalan sedimen dan kecepatan gelombang geser sehingga respon lokasi yang diperoleh dari teknik perbandingan spektra dapat digunakan untuk menentukan ketebalan sedimen (Syahrudin dkk., 2014).

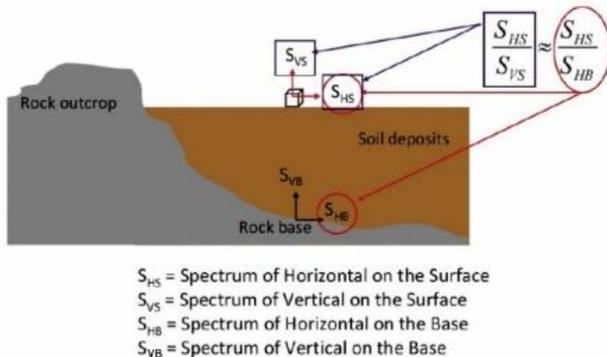
### 2.1.4 HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

Penelitian tugas akhir ini akan dilakukan analisis data mikrotremor dengan menggunakan pendekatan HVSr. Nakamura (1989) menyatakan bahwa, “Perbandingan spektrum H/V sebagai fungsi frekuensi berhubungan erat dengan fungsi *site transfer* untuk gelombang S (*shear*)”. Menurut Konno dan Ohmachi (1998), mikrotremor sebagian besar terdiri atas gelombang permukaan.

Menurut Tuladhar (2002) dan Bour et al. (1998) Metode ini menggunakan beberapa asumsi bahwa: (1) mikrotremor sebagian besar terdiri dari gelombang geser; (2) komponen vertikal gelombang tidak diamplifikasi lapisan tanah lunak dan hanya komponen horisontal yang teramplifikasi; (3) Batuan dasar (*basement*) menyebarkan gelombang ke segala arah; (4) Gelombang Rayleigh diasumsikan sebagai *noise* mikrotremor dan diusulkan metode untuk mengeliminasi efek gelombang *Rayleigh*.

Metode HVSr (Nakamura, 1989) menduga bahwa mikrotremor berfrekuensi kecil yang sebagian besar terdiri dari gelombang geser. Observasi data mikrotremor memperlihatkan bahwa nilai maksimum rasio antara getaran horisontal dan vertikal pada setiap titik pengamatan (H/V) berhubungan dengan kondisi tanah dan hampir setara dengan kekuatan tanah yang dilewati beberapa getaran ke segala arah. Komponen horisontal gelombang geser mengalami amplifikasi pada lapisan tanah lunak yang disebabkan oleh kejadian refleksi gelombang S yang berulang-ulang.

Pada metode HVSr, terdapat 2 data komponen horisontal EW dan NS dan satu data komponen vertikal. Penggabungan kedua data horisontal, biasanya dilakukan berdasarkan kaidah *Pythagoras* dalam fungsi frekuensi. Metode HVSr dilakukan dengan cara estimasi rasio spektrum *Fourier* komponen vertikal terhadap komponen horisontal. Penjelasan tersebut diilustrasikan melalui Gambar 2.10. Frekuensi natural setempat merupakan frekuensi pada rasio HVSr puncak pertama, sedangkan rasio HVSr pada frekuensi natural merupakan nilai amplifikasi geologi setempat (SESAME, 2004; Tuladhar, 2002).



**Gambar 2.10.** Penggambaran Metode HVSr (Nakamura, 1989; Koulali, 2016)

Fungsi transfer ( $S_T$ ) lapisan permukaan didefinisikan sebagai rasio antara spektrum getaran horisontal permukaan permukaan dan spektrum getaran horisontal lapisan basement  $S_{HB}$ .

$$S_T = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2.3)$$

Pada metode ini, diasumsikan bahwa spektrum getaran horisontal di permukaan dipengaruhi oleh gelombang Rayleigh, yang dianggap sebagai noise pada pengukuran mikrotremor. Selain itu, gelombang Rayleigh juga mempengaruhi spektrum vertikal di permukaan tetapi tidak mempengaruhi spektrum vertikal batuan dasar. Selain itu, diasumsikan bahwa sedimen lunak tidak mengamplifikasi gelombang vertikal. Oleh karena itu, pengaruh gelombang Rayleigh ( $E_S$ ) dapat dievaluasi dengan rasio komponen vertikal di permukaan ( $S_{VS}$ ) dan di batuan dasar ( $S_{VB}$ ).

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2.4)$$

Oleh karena itu, dengan pengaruh gelombang Rayleigh, fungsi transfer baru ( $S_{TT}$ ) dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$S_{TT} = \frac{S_T}{E_S} = \frac{R_S}{R_B} \quad (2.5)$$

dengan  $R_S = \left(\frac{S_{HS}}{S_{VS}}\right)$ ;  $R_B = \left(\frac{S_{HB}}{S_{VB}}\right)$

Diasumsikan *bedrock* menyebarkan gelombang ke segala arah. Oleh karena itu, rasio spektrum vertikal terhadap horisontal di batuan dasar ( $R_B$ ) akan bernilai sama dengan satu. Konsekuensinya, amplifikasi merupakan fungsi transfer gelombang geser dan sekaligus mengeliminasi pengaruh gelombang Rayleigh, sehingga rasio spektrum vertikal terhadap sepektrum horisontal I pada yang terukur di permukaan.

$$R_B = 1$$

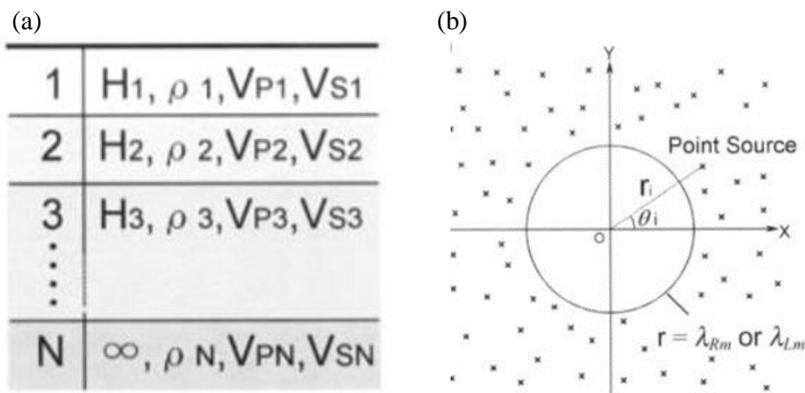
$$S_{TT} = R_S = \left(\frac{S_{HS}}{S_{VS}}\right) \quad (2.6)$$

Faktor amplifikasi setempat di wakili oleh nilai maksimum kurva HVSR mikrotremor yang diukur di permukaan dan frekuensi pada HVSR puncak merepresentasikan frekuensi natural titik tersebut.

#### 2.1.4.1 Spektrum H/V

Teori spektrum H/V dapat ditentukan melalui model perlapisan tanah (Gambar 2.11). Model perlapisan tanah diasumsikan sebagai bidang *semi-infinite* medium elastik yang terdiri N paralel, solid, homogen, lapisan isotropis. Setiap lapisan dikarakterisasi dengan ketebalan (H), densitas ( $\rho$ ), kecepatan gelompong-P ( $V_p$ ), dan kecepatan gelombang-S ( $V_s$ ). Hal ini juga diasumsikan bahwa

Fourier-time mentransformasikan titik-titik vertikal dan horizontal memiliki frekuensi sudut  $\omega$ ,  $L_y(\omega)$ , dan  $LH(\omega)$  tersebar dipermukaan secara acak pada jarak diatas satu panjang gelombang dari titik observasi yaitu titik asal.



**Gambar 2.11.** (a) Geometri perlapisan tanah (b) model sumber mikrotremor yang diformulasikan menggunakan teori Spektrum H/V (Arai dan Tokimatsu, 2004)

Kurva HVSR merupakan spektrum gelombang badan, tepatnya gelombang SH. Menurut Herak (2008), terdapat enam parameter yang mempengaruhi kurva HVSR, antara lain:  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $h$ ,  $\rho$ ,  $Q_p$  dan  $Q_s$ . Untuk mempengaruhi tingkat pengaruh keenam parameter tersebut, dapat dilakukan dengan melakukan cara pemodelan kedepan yang mevariasikan satu variabel dengan variabel yang lainnya tetap. Karakteristik ini, berguna untuk desain inversi kurva HVSR (Herak, 2008)

Nakamura et al (1989, 2000, 2008) mengembangkan metode HVSR pada data mikrotremor untuk karakterisasi suatu tempat. Metode ini didasari oleh terperangkapnya gelombang geser pada medium sedimen diatas bedrock. Hal tersebut didukung dengan persamaan berikut.

$$f = \frac{V_s}{4h} \tag{2.7}$$

Pengembangan (Yutaka Nakamura, 2000) yang berhasil memaparkan bahwa Spektrum Fourier komponen horizontal atau vertikal data mikrotremor diketahui berhubungan dengan sumber eksitasi, tidak stabil dan tidak merepresentasikan kondisi setempat. Tetapi, rasio spektrum Fourier vertikal terhadap horizontal diketahui stabil dan hasilnya tidak dipengaruhi sumber

getaran. Hal ini sesuai dengan Nakamura (1989) yang memperlihatkan bahwa efek sumber bisa diminimalisir dengan normaslisasi amplitudo spektrum horizontal dengan amplitudo spektrum vertikal.

#### 2.1.4.2 *Inversi Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)*

Inversi *horizontal to vertical spectral ratio* (INV\_HVSR) adalah modul yang menginversikan kurva HVSR yang teramati untuk menemukan model tanah yang terbaik menggambarkannya (Herak, 2008). Algoritma ini didasarkan pada kombinasi yang sederhana dan dalam pencarian ruang model didasarkan pada metode Monte Carlo yang meminimalkan fungsi ketidak cocokannya (misfit).

$$m = \sum_i \{ [HVSR_{OBS}(f_i) - HVSR_{THE}(f_i)] W_i \}^2 \tag{2.8}$$

dimana OBS adalah observasi dan THE adalah teori dari kurva HVSR.  $W_i$  adalah pembobotan yang didefinisikan sebagai berikut :

$$W_i = [HVSR_{OBS}(f_i)]^E, E \geq 0 \tag{2.9}$$

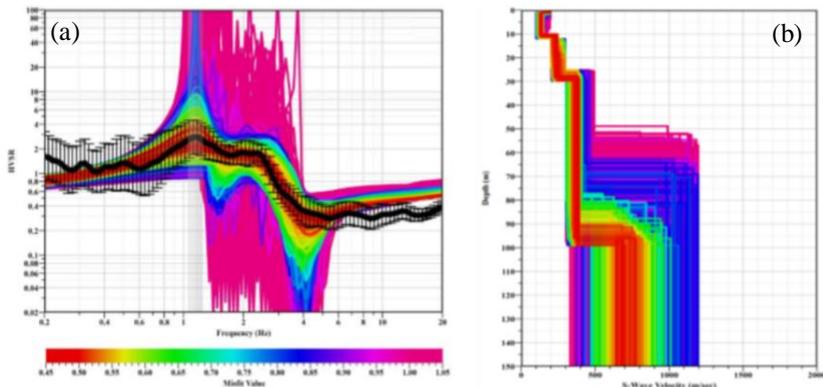
Grandis (2009) memaparkan bahwa fungsi matematis kurva HVSR bersifat non-linier, karena fungsi obyektifnya dapat memiliki nilai minimum lebih dari satu, yang hampir semua nilai minimum tersebut hanya memiliki sifat minimum lokal, bukan nilai minimum global seperti yang diharapkan. Amplifikasi atau puncak HVSR dapat lebih dari satu, dan amplifikasi pada frekuensi tinggi patut untuk dipertimbangkan. Hal ini karena kurva observasi HVSR pada frekuensi tinggi terdapat sumbangsih gelombang permukaan, kemudian seperti yang dikatakan Ali et al (2010) dalam penelitian (Sungkono dan B.J. Santosa, 2012) pada frekuensi rendah kondisi cuaca dan angin dapat mempengaruhi HVSR dan begitu juga dengan *noise* lingkungan yang turut berperan dalam mempengaruhi puncak frekuensi. Parameter yang mempengaruhi kurva HVSR yaitu  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $Q_p$ ,  $Q_s$ ,  $h$ , dan  $\rho$ , maka semakin kompleks pula bentuk fungsi obyektifnya. Maka perlu dilakukan pendekatan global dalam menginversikan kurva HVSR, salah satunya adalah dengan mengevaluasi secara sistematis harga fungsi obyektif untuk setiap model pada ruang model (Sutrisno, 2014).

#### 2.1.5 **Penampang HVSR Multi 1D**

Pengukuran HVSR biasanya dilakukan untuk mengevaluasi frekuensi ( $f_0$ ) dan perkiraan faktor amplifikasi ( $A_0$ ), sehingga secara tidak langsung memberikan informasi ketebalan sedimen di setiap titik pengukuran (Papazachos dkk). Beberapa metode telah dikembangkan untuk pengolahan terhadap *ambient noise* yang dapat memungkinkan untuk menangkap karakterisasi dispersi

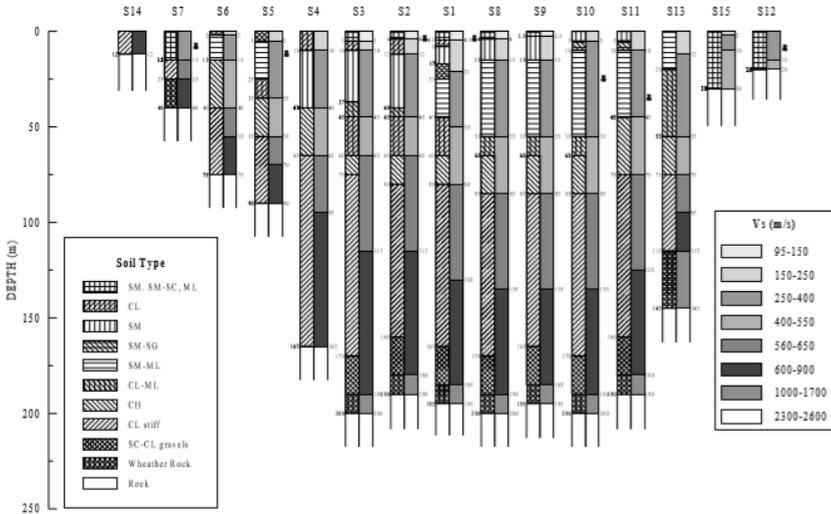
gelombang permukaan pada perekaman. Informasi mengenai kecepatan gelombang geser 1D (atau bahkan 2D/3D) memerlukan sejumlah instrumen.

Kurva H/V yang menyatakan nilai  $f_0$  dan  $A_0$  menjadi input dalam pengolahan inversi HVSR, sehingga diperoleh *ground profile* yang menyatakan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) beserta kedalamannya. Namun inversi HVSR yang dilakukan secara langsung mengakibatkan terjadinya ketidakunikan pada hasil *ellipticity curve*. Menurut Hobiger dkk (2013) diperlukan adanya pembatasan pada bagian atas model  $V_s$  1D. Hal tersebut dapat diminimalisir dengan menggunakan data struktur dangkal yang tersedia dari lubang bor. Informasi dari data lubang bor berupa kedalaman dan sesuai estimasi  $V_s$  pada kisaran kedalaman dangkal. Sehingga struktur bawah permukaan yang dihasilkan dari inversi HVSR (Gambar 2.12) dapat dikatakan sesuai dengan kurva dispersi lokal (Hobiger dkk, 2013).



**Gambar 2.12.** (a) *Ellipticity curve* dan (b) Profil kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) beserta kedalaman lapisan sebagai hasil dari proses inversi HVSR (Papazachos dkk, 2018)

Pemodelan struktur geologi bawah permukaan dapat dilakukan dengan interpretasi antara data geofisika dengan geoteknik. Langkah ini sebagai upaya meningkatkan definisi struktur lapisan tanah dalam hal parameter untuk memodelkan respon pada lokasi penelitian. Raptakis (2000) menggunakan dua prosedur utama yaitu pertama, menentukan lapisan bawah permukaan dengan jumlah yang relatif sama tiap stasiun pengukuran, namun disesuaikan data geoteknik yang tersedia. Kedua, menentukan antar muka lapisan untuk mendefinisikan lapisan tanah dalam hal kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ).



**Gambar 2.13.** Profil data geofisika dan geoteknik di sepanjang penampang 1D (Raptakis, 2000)

### 2.1.6 Klasifikasi Tanah

Pada penelitian ini perlu dilakukan klasifikasi tanah guna mempermudah proses analisis dan interpretasi. Klasifikasi tanah ini mengacu pada parameter tertentu yang mempunyai karakteristik didasarkan pada pertimbangan antara lain frekuensi dominan dan kecepatan gelombang geser. Kanai mengklasifikasikan jenis tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 2.1.** Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai (Ghazali, 2017; Arifin dkk, 2013)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Type	Jenis			
Type IV	Jenis I	6,67 – 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy</i> , dan <i>gravel</i>	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
	Jenis II	10 - 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan	Ketebalan sedimen

			5 m. Terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , dan <i>loam</i>	permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 - 10 m
Tipe III	Jenis III	2,5 - 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan >5m, terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , dan <i>loam</i>	Ketebalan sedimen permukaan termasuk kategori tebal, sekitar 10 – 30 m
Tipe II	Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , dan lumpur. Dengan kedalaman 30m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal
Tipe I				

Frekuensi dominan mempunyai hubungan yang berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen. Menurut Gazali (2017) kecepatan gelombang geser juga mempunyai hubungan dengan kedua parameter tersebut. Pada penelitian ini klasifikasi tanah berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) mengacu pada SNI 2002, UBC-97, IBC 2009, dan ASCE 7-10.

**Tabel 2. 2** Klasifikasi *site* didasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium (SNI 2002, UBC-97, IBC 2009, ASCE 7-10) (BMKG, 2014)

Klasifikasi <i>site</i>	$V_s$ (m/s)	N	$S_M$ (kPa)
A. Batuan Keras	$V_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < V_s \leq 750$	$N > 50$	$S_M \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < V_s \leq 350$	$15 \leq N \leq 50$	$50 \leq S_M \leq 100$
E. Tanah Lunak	$V_s < 175$	$N < 15$	$S_M < 50$
Atau setiap profil lapisan dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : Indeks plastisitas, $PI < 20$ Kadar air ( $w$ ) $\geq 40\%$ , dan Kuat geser tak terdrainase $S_M < 25$ kPa			

## 2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian tugas akhir yang dilakukan oleh Nizar Dwi Riyantiyo (2017) mengenai “Identifikasi Patahan Lokal dengan Menggunakan Metode Mikrotremor”. Penelitian tersebut dilakukan di patahan lokal yang sejajar dengan sungai Surabaya, dengan menggunakan data mikrotremor dan data bor N-SPT. Sungai Surabaya terbentuk oleh patahan turun mengarah utara – selatan dengan nilai frekuensi dominan 2,1 Hz – 4 Hz, kedalaman sedimen antara 15 m – 80 m, dan nilai kecepatan geser sebesar 50 m/s – 800 m/s.

Penelitian tugas akhir yang dilakukan oleh Imam Ghazali (2017) mengenai “Estimasi Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ ) Berdasarkan Inversi Mikrotremor HVSR”. Pada penelitian tersebut mampu membuktikan bahwa adanya hubungan antara nilai frekuensi natural, kedalaman lapisan (geologi setempat) dan kecepatan geser yang saling mempengaruhi satu sama lain.

Penelitian tugas akhir yang dilakukan oleh Ardianto (2018) mengenai “Pemetaan Kecepatan Gelombang Geser ( $V_{s30}$ ) Metode MASW untuk Zona Amplifikasi Gempa Wilayah Surabaya Bagian Timur”. Penelitian tersebut menggunakan data primer yang diambil pada 22 titik yang tersebar di Surabaya Timur. Hasil penelitian menyebutkan bahwa tanah wilayah Surabaya bagian Timur merupakan tanah lunak (tipe D menurut UBC 97) yang berupa *unconsolidated* sedimen seperti kerakal, kerikil, pasir, lempung dan fosil cangkang kerrang (hingga kedalaman 30 m) dengan nilai  $V_s 30$  sebesar 183,61 - 264,73 m/s. Hasil tersebut berhubungan dengan amplifikasi yaitu semakin muda lapisan lapuk maka akan semakin besar nilai amplifikasinya.

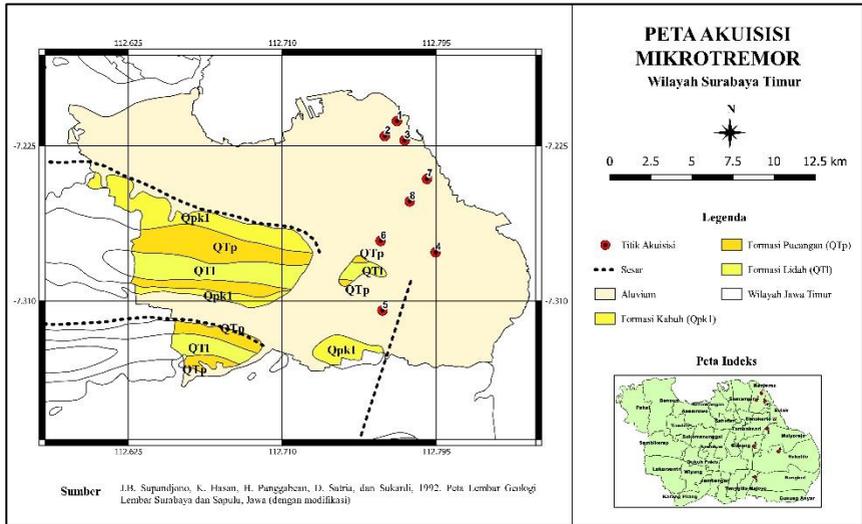
Penelitian yang dilakukan oleh Firman Syaifuddin (2016) mengenai “*Microtremor Study of Volcano Mud, Surabaya, Jawa Timur*” menjelaskan mengenai prinsip proses data mikrotremor yang mengubah getaran dalam domain waktu menjadi spektrum frekuensi untuk masing-masing komponen dengan menggunakan teknik transformasi fourier. Pada penelitian ini melakukan korelasi antara kecepatan gelombang geser dan N-SPT dari hasil regresi statistik sumur geoteknik dan survei seismik. Penggunaan teknik *smoothing* berguna dalam mendapatkan nilai frekuensi natural yang sesuai dengan frekuensi regional, sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi kemenerusan patahan.

Penelitian yang dilakukan oleh Asmaul Mufida (2013) mengenai “*Profiling Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ ) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor*” menjelaskan bahwa bahwa daerah sepanjang Surabaya bagian timur sampai Surabaya bagian utara memiliki nilai frekuensi natural yang rendah, amplifikasi tinggi dan nilai  $V_{S30}$  yang rendah, sehingga bisa dikatakan bahwa daerah tersebut merupakan daerah yang rentan terhadap kerusakan akibat gempa.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dengan metode mikrotremor dilakukan di Kota Surabaya Timur mulai bulan Desember 2019 – Februari 2020 dengan jumlah stasiun pengukuran sebanyak 8 titik yang tersebar sebagai berikut:



**Gambar 3.1.** Lokasi Pengukuran Mikrotremor

Gambar 3.1 menunjukkan letak stasiun pengukuran yang tersebar di sepanjang Surabaya Timur dan disajikan dengan lingkaran merah. Berikut adalah koordinat titik perekaman mikrotremor:

**Tabel 3.1.** Lokasi Penelitian Metode Mikrotremor

No	Stasiun	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	Nama Tempat	Kecamatan
1	SBA01	695805	9202519	Tambak Wedi	Kenjeran
2	SBA02	695061	9201616	SMPN 31 Surabaya	Kenjeran
3	SBA03	696264	9201345	SMAN 19 Surabaya	Kenjeran
4	SBA04	698131	9194547	Lab Petrofisika ITS	Sukolilo
5	SBA05	694876	9191028	SMAN 14 Surabaya	Rungkut
6	SBA06	694778	9195249	Sukodami 1	Gubeng
7	SBA07	697622	9199002	SMPN 18 Surabaya	Bulak
8	SBA08	696564	9197644	Kalijudan VI	Mulyorejo

Data yang digunakan berupa rekaman seismik pasif multikomponen dengan jumlah komponen sebanyak 3 yang terdiri dari 2 komponen horizontal dan 1 komponen vertikal. Data memiliki waktu rekaman yang sama di seluruh stasiun dengan panjang rekaman selama 24 jam dan memiliki frekuensi sampel sebesar 100 Hz.

### 3.2 Perangkat

Perangkat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat lunak dan keras. Adapun perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat alat mikrotremor dengan rincian berikut :

1. *Portable Seismometer*
2. *Sensor*
3. Kabel konektor
4. *Accumulator*
5. Laptop



**Gambar 3.2.** *Portable Seismometer*



**Gambar 3.3.** *Sensor*



**Gambar 3.4.** *Accumulator*

Adapun perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini diantaranya:

1. ArcMap 10.3.1

Perangkat ini digunakan dalam pembuatan *grid* stasiun-stasiun penelitian. Selain itu, ArcMap juga digunakan untuk melakukan *overlay* penampang hasil inversi Vs dengan peta geologi.

2. Geopsy

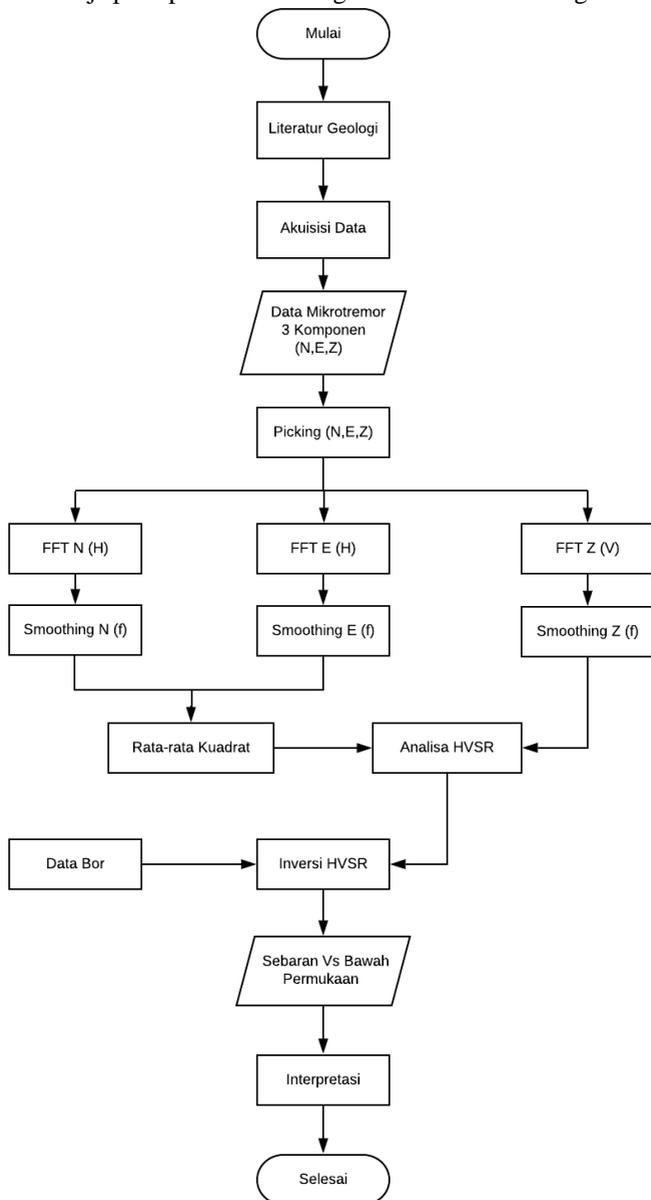
Perangkat ini digunakan dalam pengolahan data mikrotremor untuk menghasilkan *output* berupa nilai frekuensi natural.

3. OpenHVSR

Perangkat ini digunakan untuk melakukan inversi terhadap kurva HVSR sehingga menghasilkan penampang nilai Vs bawah permukaan pada daerah penelitian.

### 3.3 Diagram Alir dan Tahapan Penelitian

Alur kerja pada penelitian ini digambarkan melalui diagram alir berikut:



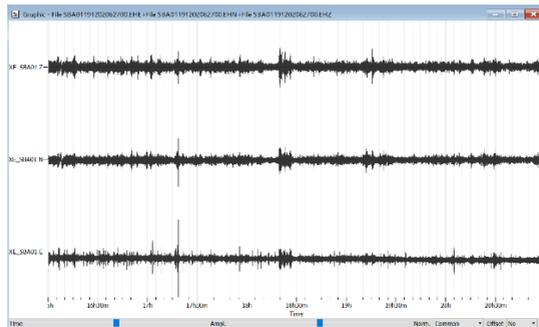
**Gambar 3.5.** Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.3.1 Akuisisi Data Lapangan

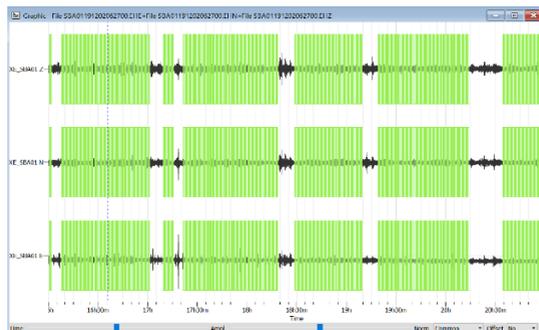
Pada tahap ini dilakukan pengukuran mikrotremor pada stasiun pengukuran yang telah direncanakan sebelumnya. Pemilihan stasiun tersebut didasarkan pada daerah yang jauh dari gangguan *noise*. Seismometer diletakkan pada sebuah ruang dengan kondisi alat menyentuh permukaan tanah secara langsung.

### 3.3.2 Pengolahan Data

Pengolahan ini dilakukan untuk mendapatkan rasio spektrum horizontal terhadap vertikal (H/V) dari semua jenis sinyal getaran (*ambient noise* gempa bumi, cuaca, maupun aktifitas manusia). Data yang digunakan memiliki 3 komponen sinyal yaitu *North-South*, *East-West* dan *Vertical*. Gambar 3.3 menunjukkan data dengan komponen sinyal lengkap dan cukup (jumlah waktu) untuk menjadi prasyarat untuk siap diolah. Selanjutnya dilakukan *picking* untuk memilih data atau menghilangkan *noise* yang dihasilkan seperti dari pergerakan manusia binatang dan lainnya.



Gambar 3.6. Data trace 3-komponen dalam domain waktu



Gambar 3.7. *Picking* dengan *window* yang telah diseleksi

Proses pengolahan data mikrotremor dilakukan dengan menggunakan *software* Geopsy. Data dibagi dalam beberapa *window* dengan frekuensi *sampling* 100 Hz untuk data mikrotremor. Berdasarkan (SESAME European Research Project, 2008), disarankan pada penentuan panjang *window* memiliki minimal persyaratan :

$$l_w = \frac{10}{f_0} \quad (3.1)$$

Dalam hal ini  $l_w$  adalah panjang *window* dan  $f_0$  adalah frekuensi resonansi, sehingga memiliki minimal 10 *cycle* signifikan pada masing-masing *window*. Berikut adalah langkah-langkah yang harus dilalui agar didapatkan kurva HVSR.

### 3.3.2.1 Fast Fourier Transform (FFT)

Sesame (2008) menganjurkan dalam analisis HVSR digunakan minimal 10 *window* stasioner antara 20-50 detik *non-overlapping*. Kemudian setiap *window* dilakukan analisis spektrum Fourier yang berfungsi mengubah data mikrotremor awal berupa domain waktu (*time series*) menjadi domain frekuensi. Algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) digunakan dalam analisis spektrum Fourier karena data awal akuisisi dalam bentuk diskrit.

### 3.3.2.2 Smoothing

Hasil dari proses FFT masih berupa komponen yang belum halus, maka dari itu dilakukan *filtering*. *Filter smoothing* Konno dan Ohmachi (1998) dengan koefisien *bandwith* sebesar 40 dan cosine taper 5%. Persamaan analitik *Smoothing* Konno dan Ohmachi (1998) secara umum sebagai berikut:

$$W_p(f) = \frac{\sin \left[ \left( \log_{10} \left( \frac{f}{f_0} \right) \right)^b \right]}{\left[ \left( \log_{10} \left( \frac{f}{f_0} \right) \right)^b \right]^4} \quad (3.2)$$

dimana  $W_p(f)$  adalah fungsi pembobotan,  $f$  adalah frekuensi,  $f_0$  adalah frekuensi pusat yang dihaluskan, dan  $b$  adalah koefisien *bandwidth*.

### 3.3.2.3 Analisa HVSR

Setelah dilakukan FFT dan *smoothing*, maka selanjutnya dilakukan penggabungan komponen horizontal dan vertikal kedalam analisis HVSR berupa *spectral ratio* amplitudo spektrum *Fourier* dari persamaan berikut :

$$R(t) = \left[ \frac{\sqrt{F_{NS}(T)^2 + F_{EW}(T)^2}}{F_Z(T)} \right] \quad (3.3)$$

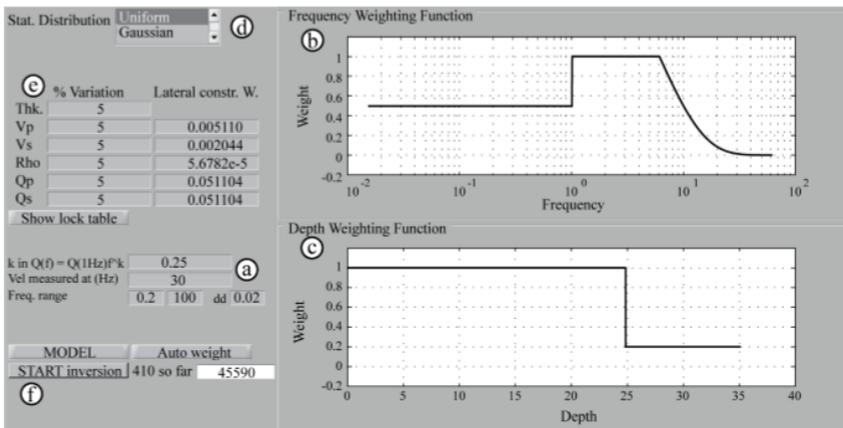
dimana  $R(t)$  adalah spektrum rasio vertikal terhadap horizontal,  $F_{NS}$  adalah spektrum *fourier* di NS,  $F_{EW}$  adalah spektrum *fourier* di EW, dan  $F_Z$  adalah spektrum *fourier* di Z (vertikal). Selanjutnya rata-rata spektrum HVSR diplot untuk setiap titik pengukuran setelah diperoleh sepektrum HVSR masing-masing *window*.

### 3.3.2.4 Inversi HVSR

Pada tahapan ini menggunakan *software* OpenHVSR menghasilkan model struktur bawah permukaan dari kurva HVSR dengan menggunakan metode propagasi Monte Carlo. *Software* ini dituliskan dalam *software* Matlab basis GUI. Data yang digunakan yaitu data frekuensi dan amplifikasi pada setiap stasiun, serta model awal bawah permukaan berupa nilai  $V_p$ ,  $V_s$ , densitas, H,  $Q_p$ , dan  $Q_s$  yang diperoleh dari data N-SPT referensi (data N-SPT Gunung Anyar).

Selanjutnya menyiapkan data *subsurface* hasil perhitungan parameter model yang didapatkan dari data N-SPT referensi dan kurva HVSR (puncak HVSR dan frekuensi). Kurva HVSR dan data *subsurface* diletakkan dalam satu folder yang kemudian akan dipanggil dalam proses pembuatan *file project* untuk inversi.

Selanjutnya proses pengaturan *forward modelling* dan inversi dapat dijelaskan sebagai berikut.



**Gambar 3.8.** Proses pengaturan pemodelan dan inversi

Gambar 3.8 menunjukkan poin-poin yang berpengaruh terhadap proses inversi HVSR model 1D maupun 2D termasuk sensitivitasnya.

- (a) Berisi parameter pengontrol selama proses pemodelan kedepan (FWD), yang juga digunakan dalam proses inversi. Pada penelitian ini, faktor atenuasi ( $Q_p$ ,  $Q_s$ ) sangat bergantung terhadap nilai frekuensi dan dapat dirumuskan:

$$Q = Q_0 f^k \quad (3.4)$$

dimana  $Q_0$  adalah faktor atenuasi pada frekuensi 1 Hz dan untuk nilai  $k$  dianggap konstan yang diasumsikan sama untuk semua lokasi pengukuran. *Range* frekuensi disesuaikan dengan input kurva HVSR yang diambil pada saat pengolahan di *software* geopsy.

- (b) Berisi fungsi pembobotan yang menjadi fokus selama proses inversi. Poin ini dapat dilakukan dengan klik kanan pada tab tersebut, lalu lakukan proses "*modify weighting function*". Hal tersebut dapat dilakukan juga pada poin (c).
- (c) Berisi fungsi pembobotan terhadap kedalaman.
- (d) Berisi distribusi statistik persebaran data. Pada penelitian ini menggunakan probabilitas Gaussian karena distribusi ini umum digunakan dalam analisis statistik mikrotremor.
- (e) Berisi pengaturan parameter input data yang disajikan dalam presentase maksimal.
- (f) Tombol untuk memulai proses inversi.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

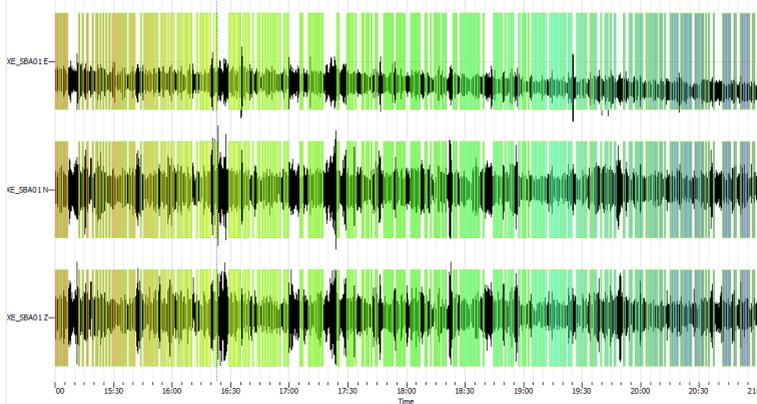
Penelitian dilakukan di wilayah Surabaya Timur yang merupakan daerah yang berbatasan dengan selat Madura. Kota Surabaya dilalui oleh sesar yang diperkirakan masih bergerak aktif yaitu Sesar Kendeng. Identifikasi kemungkinan adanya kemenerusan jalur Sesar Kendeng ini dikaji dengan metode mikrotremor, yaitu melakukan karakterisasi sinyal mikrotremor pada kawasan sesar dengan menggunakan beberapa parameter. Parameter tersebut adalah frekuensi dominan ( $f_0$ ), faktor amplifikasi ( $A_0$ ), dan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ). Parameter-parameter tersebut dikembangkan menjadi model yang dapat dianalisis dan dapat diinterpretasikan kemungkinan arah kemenerusan Sesar Kendeng di lokasi penelitian.

### 4.1 Hasil Penelitian

#### 4.1.2 Data Mikrotremor

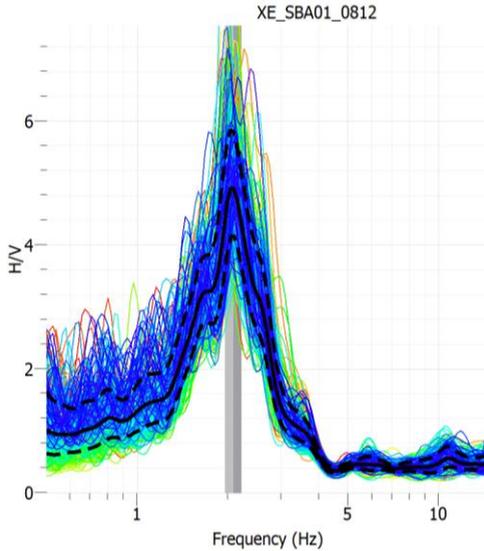
Frekuensi dominan dan faktor amplifikasi merupakan parameter berdasarkan kurva H/V yang dihasilkan dari pengolahan mikrotremor dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Proses pengolahan menggunakan *software* Geospy dengan merujuk pada standar yang telah ditetapkan dalam *SESAME European Research Project*. Hal tersebut guna menghasilkan nilai yang memenuhi kriteria berupa *reliable* dan *clear peak*.

Gelombang yang terekam oleh seismometer adalah gelombang campuran, sehingga masih terdapat gangguan dari luar. Maka dari itu diperlukan proses *windowing* dengan tujuan untuk mendapatkan sinyal yang *stationer*. Durasi pengukuran pada penelitian ini adalah 24 jam, namun hanya dipilih 6 jam atau 21600 s yaitu dari pukul 22.00 – 04.00 WIB. Pengaturan *time window* menggunakan perhitungan persamaan 3.1. Penelitian ini menggunakan lebar *window* 50.00 s.



Gambar 4.1. Pemilihan *Window* pada SBA 01

Proses *fast fourier transform* (FFT) dihitung pada masing-masing komponen dari sinyal yang dipilih dan estimasi yang *reliable* dari kurva HVSR. Proses analisa kurva HVSR menggunakan *smoothing* yang diusulkan Konno dan Ohmachi. Pemilihan *smoothing* mempengaruhi bentuk kurva H/V yang dihasilkan, sebab dapat memastikan titik angka konstan pada frekuensi rendah dan tinggi.



**Gambar 4.2.** Kurva H/V pada SBA 01

Gambar 4.2 menampilkan kurva HVSR dan standar deviasinya. Pada gambar tersebut menunjukkan adanya 3 kurva dengan garis berwarna hitam. Garis putus-putus menunjukkan standar deviasi amplitudo minimum dan maksimum. Garis nyata menunjukkan rata-rata dari kurva yang berwarna-warni. Sedangkan garis lurus berwarna abu-abu menunjukkan standar deviasi frekuensi dominan. Hasil pengolahan mikrotremor pada stasiun pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.1. di bawah ini.

**Tabel 4.1.** Nilai Frekuensi Dominan dan Faktor Amplifikasi

Stasiun	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	f0	a0
SBA01 (Tambak Wedi)	695805	9202519	2,088320	4,87738
			2,08713	5,01567
			2,08484	4,91145
			2,07681	5,04108

			2,06002	5,04362
			2,05143	5,10789
			2,10392	5,00916
SBA02 (SMPN 31 Surabaya)	695061	9201616	2,21668	1,92863
			2,216	1,9754
			2,23306	1,91202
			2,20649	1,92284
			2,22879	1,92153
			2,18077	1,97544
			2,18303	1,98233
SBA03 (SMAN 19 Surabaya)	696264	9201345	2,32052	3,24856
			2,32733	3,21071
			2,33443	3,29178
			2,35689	3,31921
			2,33259	3,39294
			2,31795	3,33994
			2,32681	3,37998
SBA04 (Lab Petro LPTSI)	698131	9194547	1,98689	4,51169
			2,03124	4,75788
			2,03131	4,49735
			2,01618	4,40929
			2,0556	4,26545
			2,04767	4,58774
			2,02639	4,38942
SBA05 (SMAN 14 Surabaya)	694876	9191028	0,960333	2,9868
			0,965749	3,05998
			0,950463	3,43068
			0,983685	3,2327
			0,952193	3,3632
			0,976764	3,18565
			0,97937	3,23375

SBA06 (Sukodami I)	694778	9195249	1,65487	4,53543
			1,64361	4,8228
			1,64374	4,65879
			1,64851	4,82407
			1,6485	4,82629
			1,63045	4,7122
			1,66827	4,77754
SBA07 (SMPN 18 Surabaya)	697622	9199002	1,82231	3,63714
			1,80918	3,82689
			1,76261	4,02779
			1,79178	4,36133
			1,76022	4,2583
			1,79201	3,6731
			1,77942	3,95661
SBA08 (Kalijudan VI)	696564	9197644	2,16998	4,62484
			2,18756	4,31366
			2,1755	4,32592
			2,18724	4,49048
			2,16432	4,62014
			2,1692	4,637
			2,1723	4,65942

Pada penelitian ini batas frekuensi natural terendah yang dapat dipercaya adalah 0.2 Hz karena mengingat lokasi penelitian berada di lingkungan aluvial yang memiliki nilai frekuensi kecil. Hasil  $f_0$  pada penelitian ini dapat dikatakan *reliable*. Pada pengaturan Sesame dikatakan bahwa  $A_0$  dapat dikatakan *reliable* ketika bernilai  $>2$ , namun pada SBA02 nilai  $A_0$  tidak mencapai nilai tersebut, sehingga tidak dapat dikatakan *reliable*. Pada proses pengolahan selanjutnya tidak menggunakan data SBA02.

#### 4.1.3 Hasil Inversi HVSR

Pada proses inversi membutuhkan data input berupa model awal yang berisi parameter-parameter seperti kecepatan gelombang P ( $V_p$ ), kecepatan gelombang S ( $V_s$ ), densitas ( $\rho$ ), ketebalan lapisan ( $h$ ), redaman gelombang P

( $Q_p$ ), dan redaman gelombang S ( $Q_s$ ). Perhitungan data secara matematik dengan menggunakan parameter yang telah diketahui diatas mendasari proses pemodelan kedepan atau *forward modelling*. Tujuan dari pemodelan kedepan ini adalah untuk mendapatkan model dengan respon yang cocok atau *fit* dengan data lapangan, sehingga dapat dianggap mewakili kondisi bawah-permukaan daerah penelitian tersebut (Grandis, 2009). Pada proses pemodelan kedepan ini, keenam parameter divariasikan antara satu variabel dengan variabel lainnya tetap.

Pada penelitian ini tembakan model awal mengacu pada data bor N-SPT Gunung Anyar Surabaya. Berdasarkan penelitian oleh Riyantiyo (2017) parameter ini dapat menghasilkan inversi yang sesuai dengan kondisi batuan alluvial di Surabaya.

**Tabel 4.2.** Parameter model tembakan awal sesuai referensi dari data bor N-SPT Gunung Anyar Surabaya

$V_p$	$V_s$	$\rho$	H	$Q_p$	$Q_s$
210,05	105,03	1,51	0,50	15,00	5,00
256,12	128,06	1,60	2,50	15,00	5,00
287,61	143,80	1,68	4,50	15,00	5,00
472,34	236,17	1,84	6,50	15,00	5,00
487,60	243,80	1,92	8,50	15,00	5,00
445,73	227,86	2,00	10,50	15,00	5,00
464,22	232,11	2,08	12,50	15,00	5,00
500,48	250,74	2,18	14,50	15,00	5,00
1600,00	800,00	2,50	999,00	999,00	999,00

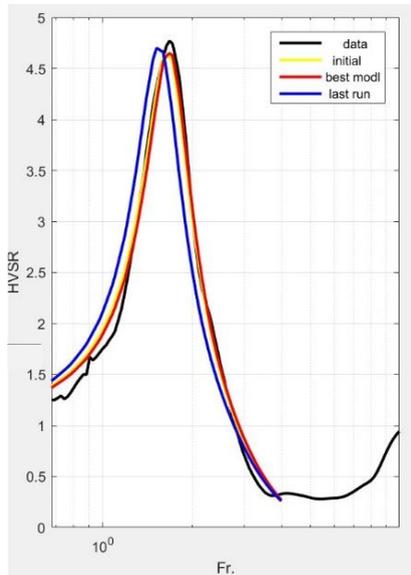
Pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa nilai  $Q_p$  dan  $Q_s$  dibuat konstan. Parameter ini umumnya digunakan pada batuan sedimen. Herak (2008) merumuskan faktor Q seperti yang terdapat pada persamaan 3.4, dimana faktor Q dipengaruhi oleh sebuah konstanta yang diasumsikan sama untuk semua lapisan. Disperi gelombang tubuh dianggap hanya untuk model dengan Q konstan ( $k=0$ ) (Herak, 2008). Selain itu faktor Q ini juga mempunyai pengaruh dengan kurva HVSr.  $Q_p$  tidak mempunyai pengaruh pada nilai frekuensi dan amplifikasi kurva HVSr, sedangkan  $Q_s$  mempunyai pengaruh dengan amplifikasi kurva HVSr (Sungkono, 2011).

Proses pemodelan inversi atau biasa disebut *data fitting* dilakukan dengan menggunakan *software* OpenHVSr. Mekanisme proses inversi adalah mencocokkan data perhitungan pada *forward modelling* dengan data pengukuran. Kesesuaian antara respon model dengan data pengukuran dinyatakan oleh suatu fungsi obyektif yang harus diminimumkan (Grandis, 2009). Pada penelitian ini kesesuaian antara keduanya diatur sebesar 50% variasi. Hasil inversi pada 8 stasiun disajikan pada lampiran 2.

**Tabel 4.3.** Parameter hasil inversi pada SBA06

Vp	Vs	$\rho$	H	Qp	Qs
182,41	80,00	1,70	9,01	15,00	5,00
564,49	233,53	1,70	12,60	15,00	5,00
409,43	236,67	1,70	12,99	15,00	5,00
2281,03	760,34	1,70	30,44	15,00	5,00
2122,83	915,21	1,70	39,21	15,00	5,00
2924,99	1082,93	1,70	73,21	15,00	5,00
1735,70	1263,34	1,70	78,64	15,00	5,00
2485,79	1403,88	1,70	80,64	15,00	5,00
2940,00	1470,00	1,70	200	15,00	5,00

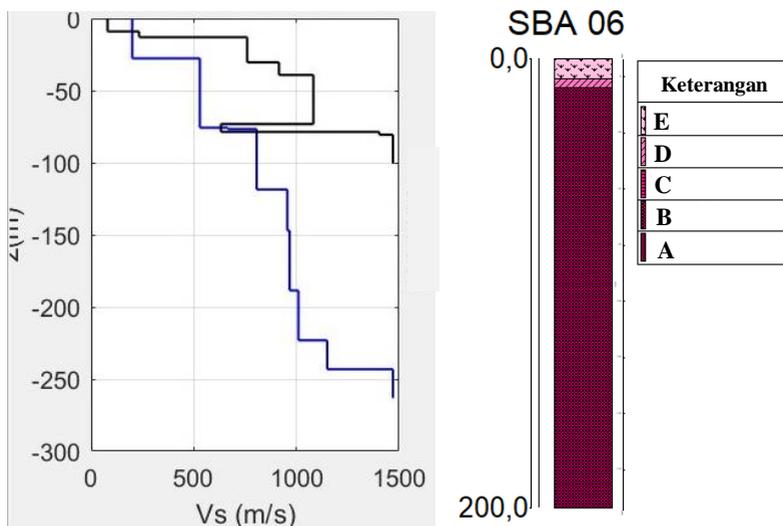
Tabel 4.4 yang memperlihatkan hasil inversi di salah satu stasiun menunjukkan bahwa  $\rho$  yang dihasilkan dari inversi nilainya tidak berubah atau tetap. Jika dilihat pada Tabel 4.3 nilai  $\rho$  cenderung mengalami peningkatan sebanding dengan semakin dalam suatu lapisan yaitu berkisar antara 1,50 – 2,50  $\text{gr/cm}^3$ . Hal ini dikarenakan nilai  $\rho$  tersebut merupakan nilai nyata yang diambil dari data bor. Nilai  $\rho$  dari hasil inversi masih dalam rentang nilai tersebut, sehingga dapat dikatakan masih dalam jenis tanah yang sama.



**Gambar 4.3.** Hasil *fitting* inversi pada SBA06

Pada Gambar 4.3 terlihat 3 garis, data yang ditunjukkan dengan kurva hitam merupakan kurva HVSr hasil pengolahan mikrotremor yang telah dikoreksi berdasarkan SESAME, kurva merah merupakan *best model*, dan kurva biru merupakan *last run*. Inversi HVSr membuat ketiga kurva tersebut seharusnya berhimpit. Proses inversi ini juga didukung dengan adanya fungsi *misfit* yang berpengaruh tahap optimalisasi. Apabila *misfit* kecil atau dibawah 10%, maka puncak ketiga kurva tersebut semakin saling berhimpit. Hal tersebut menandakan kualitas data baik (Bignardi, 2016). Pada penelitian ini tahap optimalisasi P/S berjalan dengan baik. Hal ini dapat dilihat dari hasil salah satu stasiunnya (Gambar 4.3) puncak ketiga kurva berhimpit.

Selain itu proses inversi menghasilkan *ground profile* 1D. Nilai gelombang geser ( $V_s$ ) dari tiap lapisan kemudian diklasifikasikan berdasarkan acuan SNI 2002, UBC-97, IBC-2009, ASCE 7-10. Penjelasan mengenai tabel klasifikasi terdapat di tabel 2.2



**Gambar 4.4.** *Ground profile* SBA06 berdasarkan  $V_s$  dan kedalaman (kiri) serta klasifikasinya (kanan)

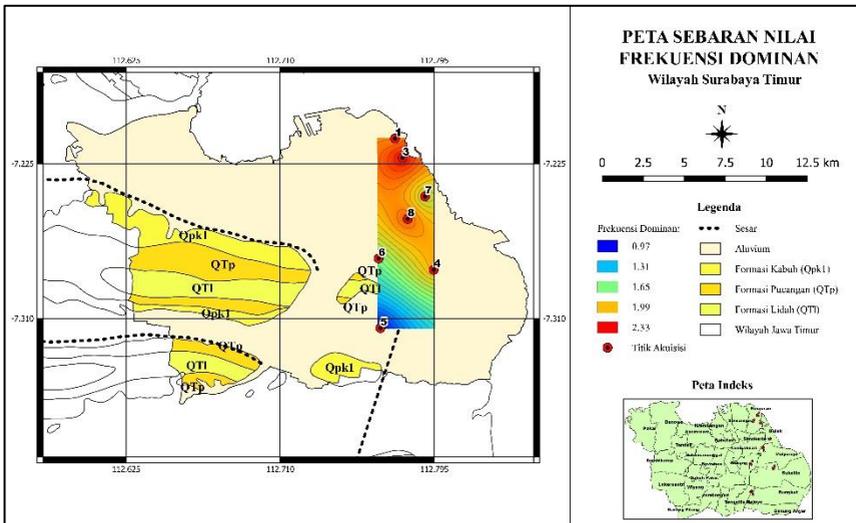
Pada gambar 4.3 disajikan hasil inversi pada SBA06, terlihat bahwa nilai gelombang geser ( $V_s$ ) yang dihasilkan mempunyai hubungan sebanding dengan kedalaman. Gambar kanan terdapat dua warna garis yaitu warna biru menunjukkan hasil inversi dan warna hitam menunjukkan data. Nilai gelombang geser pada stasiun ini dapat digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu tanah jenis E

(tanah lunak), D (tanah sedang), dan B (batuan). *Single log* yang terdapat di sebelah kanan gambar 4.3 menunjukkan bahwa pada stasiun ini sudah mencapai batuan pada kedalaman 30,44 m. Hasil inversi HVSR didapatkan nilai persebaran gelombang geser ( $V_s$ ) dengan rentang 80 m/s hingga 1500 m/s. Hasil penampang 1D selanjutnya diintegrasikan menjadi satu *section* penampang multi 1D.

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Analisis Persebaran Frekuensi Natural

Frekuensi natural merupakan parameter yang mencerminkan kondisi fisik tanah. Nilai frekuensi dominan berkaitan dengan kedalaman bidang pantul suatu gelombang di bawah permukaan. Bidang pantul tersebut merupakan batas antara sedimen dengan batuan keras. Pada penelitian ini rentang nilai frekuensi natural didapatkan berkisar 0,9 Hz – 2,32 Hz.



**Gambar 4.5.** Peta persebaran frekuensi natural

Frekuensi natural mempunyai hubungan terbalik dengan ketebalan sedimen. Nilai frekuensi dominan tinggi menunjukkan bahwa sedimen pada daerah penelitian tipis, sedangkan nilai frekuensi dominan rendah menunjukkan bahwa sedimen tersebut tebal (Pratama, 2017). Pada gambar 4.5 daerah utara dari penelitian terlihat lebih tinggi daripada daerah selatan. Hal tersebut terlihat perbedaan warna kontur dari merah menuju biru tua. Namun nilai  $f_0$  dari kedua bagian ini masih dalam rentang yang tidak jauh berbeda. Jika diklasifikasi

berdasarkan Kanai (Tabel 2.1), dengan rentang nilai frekuensi dominan tersebut, daerah penelitian tergolong pada jenis IV. Karakteristik tanah berdasarkan jenis tersebut yaitu batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, *top soil*, dll, dengan ketebalan sedimen tebal. Menurut Mufida (2013) daerah sepanjang Surabaya bagian timur sampai Surabaya bagian utara memiliki nilai frekuensi natural yang rendah berkisar 1,2 Hz – 2,4 Hz.

Ketebalan sedimen ini dapat dianalisis lebih lanjut dengan melakukan perhitungan Nakamura sesuai persamaan 2.7. Hasilnya adalah Surabaya bagian timur yang menjadi daerah penelitian mempunyai ketebalan sedimen berkisar antara 20 - 52 m. Hal ini didukung oleh peta geologi bahwa daerah Surabaya bagian timur seluruhnya tertutup dengan endapan alluvium.

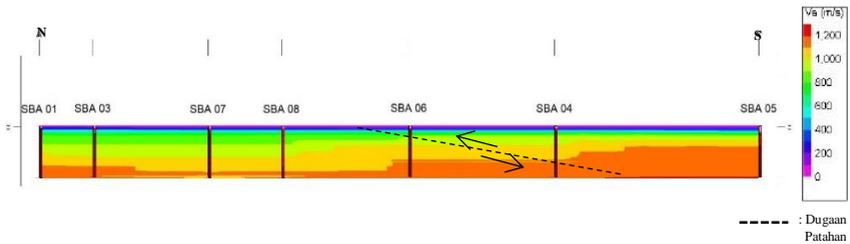
Ketebalan sedimen cenderung menebal ke arah utara, sebab bagian tersebut cenderung dekat dengan selat Madura. Perbedaan zona tinggi menuju rendah berdasarkan nilai frekuensi natural diduga adanya anomali. Dugaan tersebut berada di daerah SBA06 – SBA04. Dugaan adanya patahan ini akan diperkuat dengan nilai kecepatan gelombang geser hasil inversi.

#### **4.2.2 Analisis Inversi HVSR**

Data hasil *ground profiles* beserta nilai  $V_s$  pada daerah penelitian secara lengkap terdapat di Lampiran 2. Nilai  $V_s$  tersebut kemudian diklasifikasi berdasarkan SNI 2002, UBC-97, IBC-2009, ASCE 7-10. Nilai  $V_s$  tiap stasiun pengukuran menunjukkan perbedaan jenis material di bawah permukaan. Nilai persebaran kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) pada daerah penelitian adalah 80 m/s hingga 1500 m/s. Nilai  $V_s$  terendah yaitu 80 m/s tergolong tanah lunak (E) dan lapisan ini terdapat di seluruh stasiun pengukuran. Nilai  $V_s$  tertinggi mencapai 1500 m/s tergolong batuan (B). Maka dapat disimpulkan bahwa penyusun material pada daerah penelitian berupa tanah lunak hingga batuan.

Hal tersebut sesuai dengan penelitian Maulida (2013) yang menyatakan bahwa wilayah Surabaya memiliki rata-rata nilai  $V_s$  yang rendah, dengan estimasi  $V_s$  berkisar 50 – 300 m/s. Hampir seluruh wilayah Surabaya tertutupi oleh endapan aluvium dan batu pasir, dengan *bedrock* berupa lempung dan konglomerat.

Pemodelan multi 1D  $V_s$  hasil dari inversi HVSR menggambarkan struktur bawah permukaan secara menyeluruh pada daerah penelitian. Hal tersebut bertujuan untuk memudahkan analisis struktur bawah permukaan daerah penelitian sehingga dapat diketahui kemungkinan jalur kemenerusan Sesar Kendeng. Pemodelan multi 1D pada 8 stasiun pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4.7.



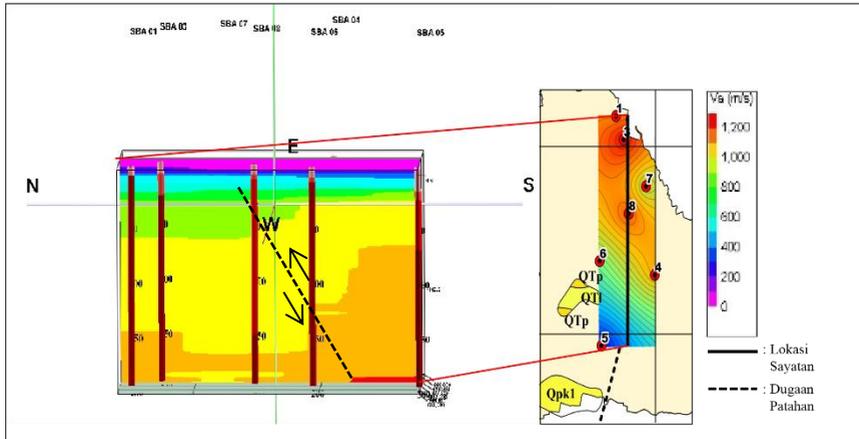
**Gambar 4.6.** Hasil inversi HVSR penampang multi 1D dengan kedalaman maksimal 200 m dan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) 0 – 1200 m/s

Gambar 4.7 menunjukkan hasil  $V_s$  yang diklasifikasikan menjadi 5 jenis ditunjukkan oleh *log* vertikal, dan penampang persebaran  $V_s$  yang ditunjukkan oleh *section* di semua stasiun pengukuran. Karakteristik tanah yang terdapat di daerah penelitian termasuk dalam 4 kelas, yaitu E, D, C, dan B. Tanah yang tergolong dalam klasifikasi E merupakan tanah lunak dengan nilai  $V_s < 175$  Hz terdapat di kedalaman hingga 0 - 20 m. Tanah lunak atau *top soil* ini tersebar di semua stasiun pengukuran yang ditandai oleh lapisan berwarna ungu. Tanah jenis D atau tanah sedang dengan nilai  $V_s$  175 – 350 Hz terdapat pada kedalaman 20 – 30 m yang ditandai oleh lapisan berwarna biru. Tanah jenis C dengan nilai  $V_s$  350 – 750 Hz terdapat pada kedalaman 30 – 130 m yang ditandai oleh lapisan berwarna biru muda dan hijau. Tanah jenis B merupakan batuan yang mempunyai klasifikasi nilai  $V_s$  dengan rentang 750 -1500 Hz, tanah jenis ini terlihat mendominasi dengan ditandai oleh lapisan berwarna kuning dan jingga. Tanah dengan nilai  $V_s$  tinggi ini terlihat lebih tebal di bagian selatan.

Gazali (2017) menyebutkan bahwa nilai frekuensi natural, ketebalan sedimen, dan kecepatan gelombang geser saling mempengaruhi satu sama lain dikarenakan mencerminkan respon yang sama, sehingga dapat menunjukkan adanya anomali pada daerah penelitian. Berdasarkan nilai frekuensinya, daerah peralihan dari warna merah – hijau disinyalir adanya anomali. Jika ditinjau dari Gambar 4.7 memperlihatkan seperti kenaikan lapisan menuju arah selatan. Hal tersebut ditandai oleh garis hitam putus-putus. Kenaikan lapisan ini berada pada SBA06 – SBA04, dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 4.7. Fenomena geologi ini diidentifikasi sebagai patahan karena adanya ketidakmenerusan pada lapisan tersebut. Bagian sebelah kiri garis putus-putus diindikasikan sebagai *foot wall*, sedangkan sebelah kanan merupakan *hanging wall*. Patahan yang terdapat pada daerah penelitian ini diduga patahan naik.

Jika ditinjau dari peta geologi, lokasi SBA06 – SBA04 dekat dengan Formasi Lidah dan Formasi Pucangan yaitu kecamatan Gubeng dan Sukolilo. Hal ini mendukung adanya dugaan patahan yang berasosiasi dengan lipatan.

Proses terbentuknya dugaan tersebut disinyalir akibat gaya kompresi yang berarah relatif utara-selatan, sehingga terjadi perubahan deformasi *ductile* menjadi deformasi *brittle*. Gaya kompresi tersebut merupakan asumsi dari Sesar Kendeng yang mengakomodasi *stress* dari subduksi Jawa bagian timur. *Strain rate* yang tercatat pada segmen timur Sesar Kendeng ini sebesar 37.231 ns/tahun  $\pm$  20.267 ns/tahun (Kuncoro, 2018).



**Gambar 4.7.** Sayatan pada Penampang Multi 1D HVSR

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V SIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis struktur bawah permukaan dapat diambil kesimpulan bahwa pada daerah Surabaya Timur teridentifikasi kemungkinan adanya patahan naik yang berasosiasi dengan lipatan dan dugaan tersebut berada di SBA06 – SBA04, tepatnya di kecamatan Gubeng dan Sukolilo.

### **5.2 Saran**

Beberapa hal yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Memperbanyak stasiun pengukuran dengan jarak yang lebih dekat dan secara *looping* sehingga daerah penelitian menjadi luas.
2. Melakukan penelitian dengan menggunakan metode geofisika maupun geodesi untuk memperkuat dugaan jalur kemenerusan Sesar Kendeng.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Arai, H. dan Tokimatsu, K. (2004), "S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.94. <http://doi.org/10.1785/0120030028>.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2014), "Pelayanan Informasi Seismologi Teknik", Jakarta.
- Chatzis, Nikolaos., Klimis, Nikolaos., Antymidis, Marios. (2018), " 1d Vs Models By Single-Station Noise Data Inversion And Joint 1d Vs Models By Single-Station Noise Data Inversion", 16<sup>th</sup> European Conference On Earthquake Engineering.
- Fardiansyah, I., Budiman, A., Yulianto, M.N., Galena, R., Prasetyadi, C., (2013), "Control of Syn-Contractional Sedimentation of Kendeng Fold-Thrust Belt : New Perspective Analogue to Evaluate Risk Associated With Trap Formation", Proceeding The 37<sup>th</sup> Annual Indonesian Petroleum Association (IPA) Convention & Exhibition, Jakarta, Indonesia, 15<sup>th</sup> – 17<sup>th</sup> May.
- Van Bemmelen, R.W. (1949), "The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes", *Government Printing Office, The Hague*, hal. 545–547; 561–562. <http://doi.org/10.1109/VR.2018.8447558>.
- Gazali, I. (2017), *Berdasarkan Inversi Mikrotremor Spectrum Horizontal To Vertical Spectral Ratio ( Hvsr ) Studi Kasus : Tanah Longsor Desa Olak Alen*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- De Genevraye, P., Samuel, L. (1972), "Geology of the Kendeng zone (Central and East Java)", *Proc. Indon. Petrol. Assoc., 1st Ann. Conv., 1972*, Diambil dari <http://ipapublication.org/publication/geology-of-the-kendeng-zone-central-and-east-java>.
- Herak, M. (2008), "Model HVSR—A Matlab s tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise", *Elsevier: Computers & Geosciences*, <http://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.009>.
- G. I. Marliyani, Neotectonics of Java, Indonesia: Crustal deformation in the overriding plate of an orthogonal subduction system. Arizona State University, 2016.
- Ibrahim, G. dan Subarjo (2005), *Pengetahuan Seismologi*, Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta. Diambil dari <https://www.bmkg.go.id/seismologi-teknik/>.
- Koulali, A., McClusky, S., Susilo, S., Leonard, Y., Cummins, P., Tregoning, P., Meilano, I., Efendi, J. dan Wijanarto, A.B. (2016), "The kinematics of crustal deformation in Java from GPS observations : Implications for fault slip partitioning", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.1, hal. 1–11. <http://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.10.039>.

- Kramer. (1996), *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Kuncoro, H., Ayu, G., Kartini, J. dan Meilano, I. (2018), "Identifikasi Mekanisme Sesar Di Bagian Timur Pulau Jawa Dengan Menggunakan Data Gns Kontinyu 2010-2016 Data From 2010 to 2016 )", *Seminar Nasional Geomatika*, Vol.2018, hal. 805–812.
- Makra, K., Ptilakis, K., Raptakis, D. dan Cha, F.J. (2000), *Site effects at Euroseistest — I. Determination of the valley structure and confrontation of observations with 1D analysis*, Vol.19, hal. 1–22.
- Mufida, Asmaul., Santosa, Bagus Jaya., Warnana, Dwa Desa. (2013), "Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor", *Jurnal Sains dan Seni POMITS Vol.2 No.2*, Surabaya
- Muhtar, A.A. (2016), *Identifikasi Patahan Dan Pemetaan Daerah Rawan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Data Pengukuran Mikrotremor Di Kota Solok*, Universitas Gadjah Mada.
- Nakamura, Y (1989), "Method For Dynamic Characteristics Estimation Of Subsurface Using Microtremor On The Ground Surface", *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, Vol.30, No.1. Diambil dari <https://trid.trb.org/view/294184>.
- Nakamura, Yutaka (2000), "Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications", *Proceedings of the 12th world conference on ...*, No.January 2000, hal. Paper no. 2656. Diambil dari [http://www.sdr.co.jp/papers/n\\_tech\\_and\\_application.pdf](http://www.sdr.co.jp/papers/n_tech_and_application.pdf).
- Okada (2003), *The Microtremor Survey Method*, Society Of Exploration Geophysicists; illustrated edition.
- Papazachos, Cistas., Antoniou, Andreas. (2018), "Quick and Reliable Assessment of V S Profiles and 1D Ground Response Along The Trans Adriatic Pipeline", 16<sup>th</sup> European Conference On Earthquake Engineering
- Pusat Studi Gempa Nasional (2017), *Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Bandung.
- Rochman, J.P.G.N., Warnana, D.D., Syaifuddin, F., Lestari, W. dan Mahsa, A. (2018), Application of Gravity Method for Local Geological Structures Identification in Surabaya, <http://doi.org/10.3997/2214-4609.201800437>.
- Riyantiyo, Nizar Dwi (2017), Identifikasi Patahan Lokal Menggunakan Analisa Mikrotremor (Studi Kasus: Patahan Lokal Sungai Surabaya), Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- SESAME European Research Project (2008), "Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurement, Processing and Interpretation", *Bulletin of Earthquake Engineering*, No.March, hal. 1–63. Diambil dari

- <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm%0AParticipating>.
- Sukardi (1992), *Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu, Jawa*. Diambil dari <https://onesearch.id/Record/IOS1.INLIS000000000142102>.
- Sungkono dan B.J. Santosa (2012), "Karakterisasi Kurva Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur Dan Permodelan", *Jurnal Neutrino*, <http://doi.org/10.18860/neu.v0i0.1662>.
- Sutrisno, W.T. (2014), *Profiling persebaran kecepatan gelombang geser (Vs) menggunakan inversi mikrotremor spectrum Horizontal -to-Vertical Spectral Ratio (HVSR)*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Syaifuddin, F., Bahri, A.S., Lestari, W. dan Pandu, J. (2016), "Microtremor study of Gunung Anyar mud volcano, Surabaya, East Java", *AIP Conference Proceedings*, Vol.1730. <http://doi.org/10.1063/1.4947400>.
- Waluyo (1996), *Seismologi*, Yogyakarta.
- Young, H. dan R.A.F. (2002), *Fisika Universitas (Terjemahan) Jilid.1*, Erlangga, Jakarta.

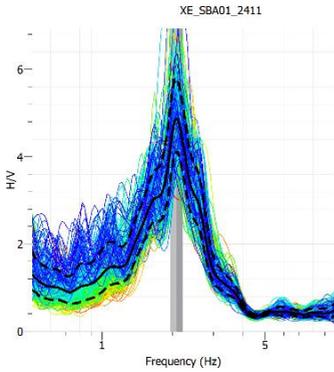
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Daftar Luaran

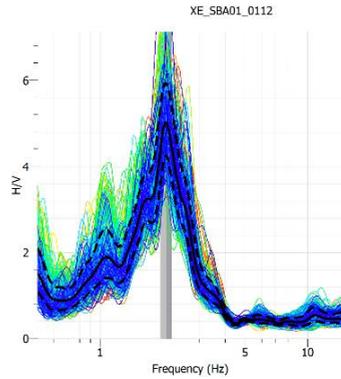
1. Jurnal Geosaintek - <http://www.iptek.its.ac.id/>
2. Jurnal POMITS
3. Jurnal Teknik ITS - <http://ejurnal.its.ac.id/>

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

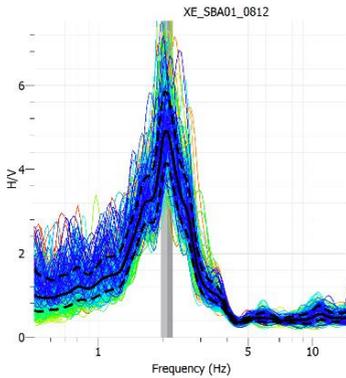
## Lampiran



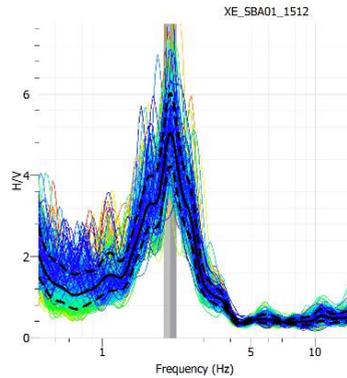
Gambar 1. Kurva H/V SBA 01 (24-11-19)



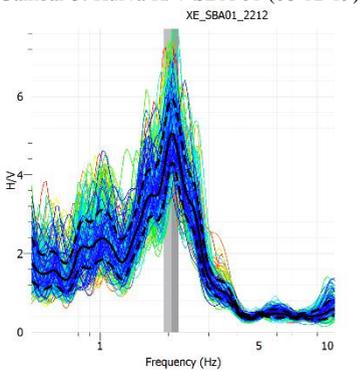
Gambar 2. Kurva H/V SBA 01 (01-12-19)



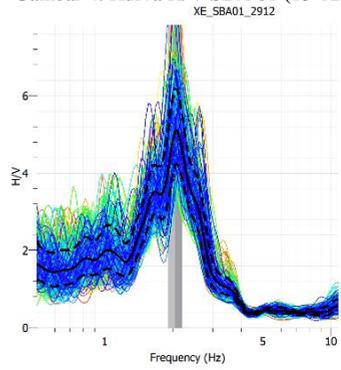
Gambar 3. Kurva H/V SBA 01 (08-12-19)



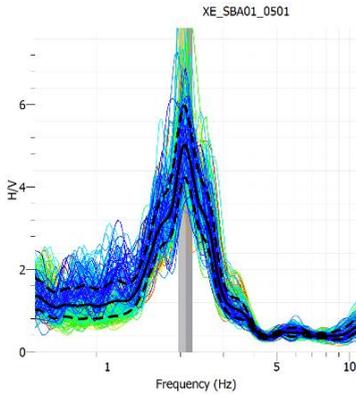
Gambar 4. Kurva H/V SBA 01 (15-12-19)



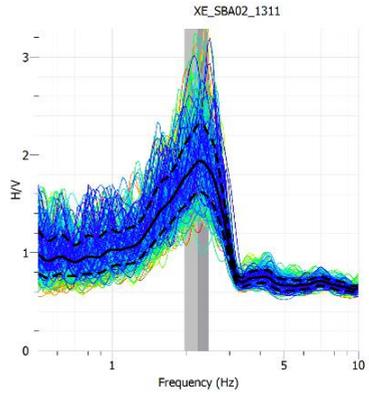
Gambar 5. Kurva H/V SBA 01 (22-12-19)



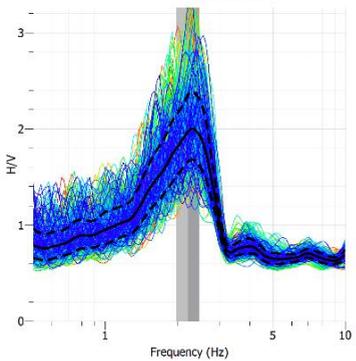
Gambar 6. Kurva H/V SBA 01 (29-12-19)



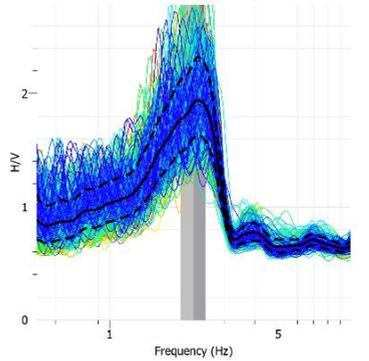
Gambar 7. Kurva H/V SBA 01 (05-01-20)  
XE\_SBA02\_1711



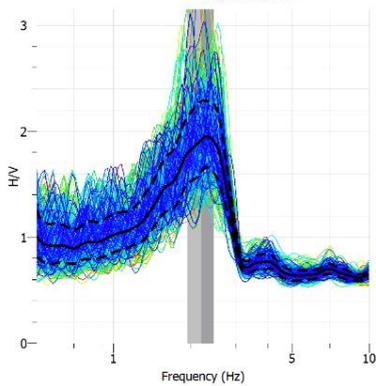
Gambar 8. Kurva H/V SBA 02 (13-11-19)  
XE\_SBA02\_2011



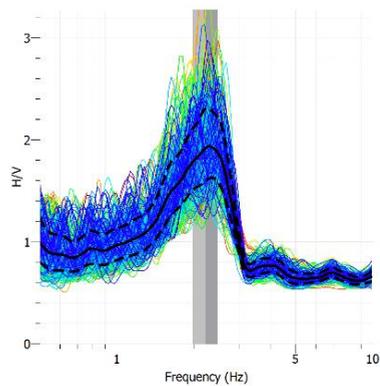
Gambar 9. Kurva H/V SBA 02 (17-11-19)  
XE\_SBA02\_2411



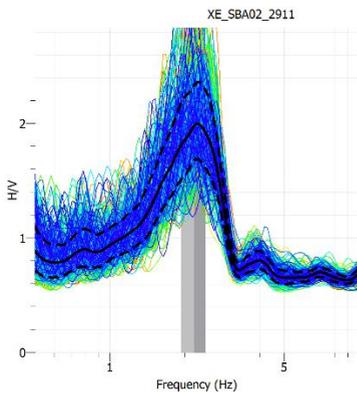
Gambar 10. Kurva H/V SBA 02 (20-11-19)  
XE\_SBA02\_2711



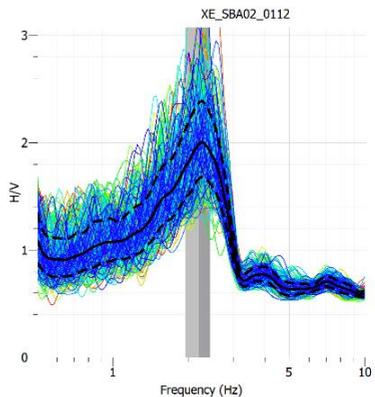
Gambar 11. Kurva H/V SBA 02 (24-11-19)



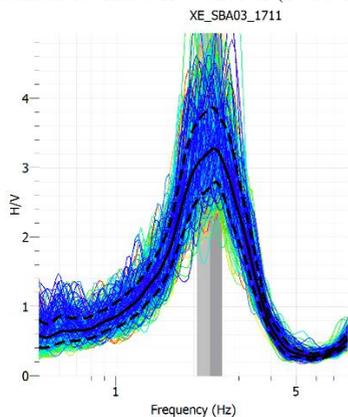
Gambar 12. Kurva H/V SBA 02 (27-11-19)



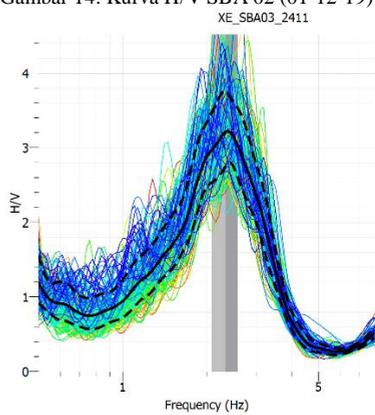
Gambar 13. Kurva H/V SBA 02 (29-11-19)



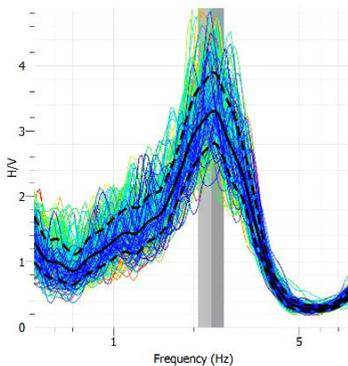
Gambar 14. Kurva H/V SBA 02 (01-12-19)



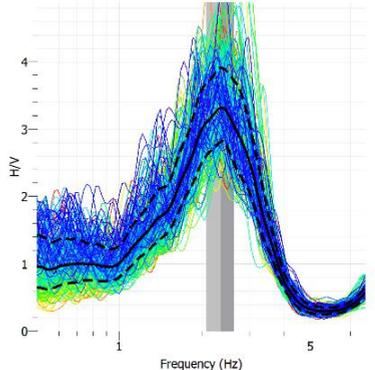
Gambar 15. Kurva H/V SBA 03 (17-11-19)



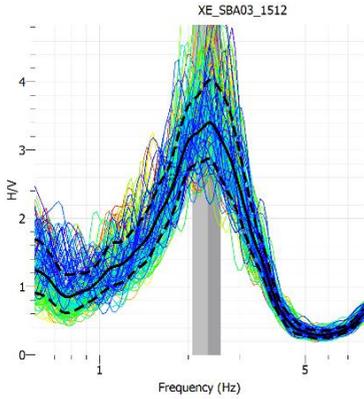
Gambar 16. Kurva H/V SBA 03 (24-11-19)



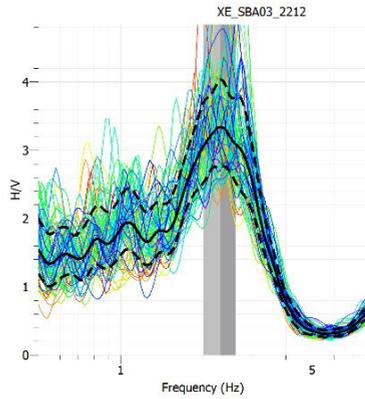
Gambar 17. Kurva H/V SBA 03 (01-12-19)



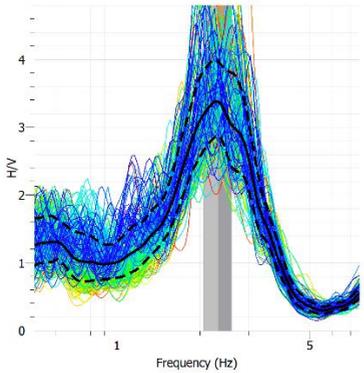
Gambar 18. Kurva H/V SBA 03 (08-12-19)



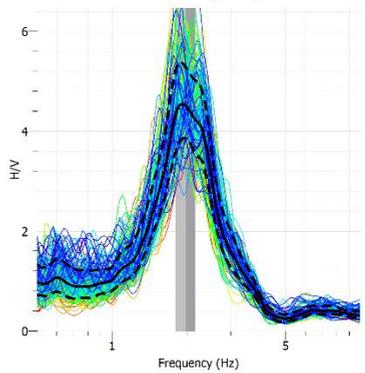
Gambar 19. Kurva H/V SBA 03 (15-12-19)  
XE\_SBA03\_0501



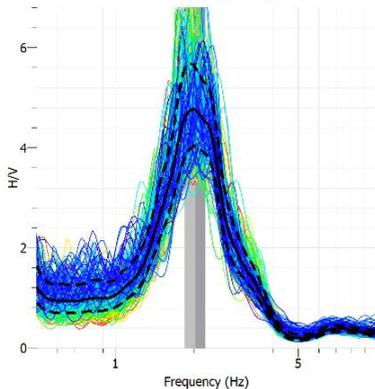
Gambar 20. Kurva H/V SBA 03 (22-12-19)  
XE\_SBA04\_1311



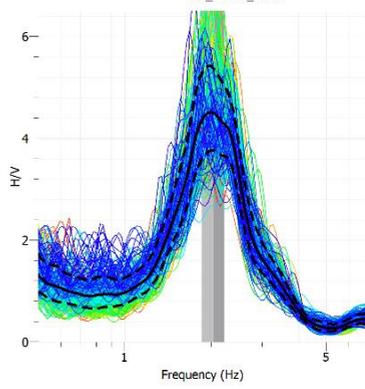
Gambar 21. Kurva H/V SBA 03 (05-01-20)  
XE\_SBA04\_2111



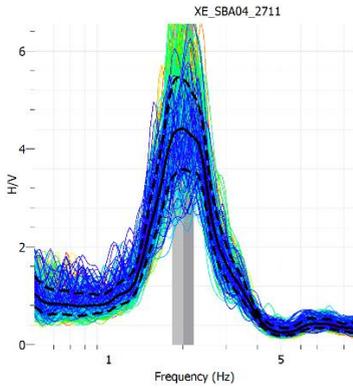
Gambar 22. Kurva H/V SBA 04 (13-11-19)  
XE\_SBA04\_2411



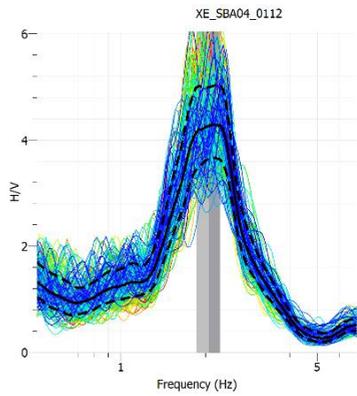
Gambar 23. Kurva H/V SBA 04 (21-11-19)



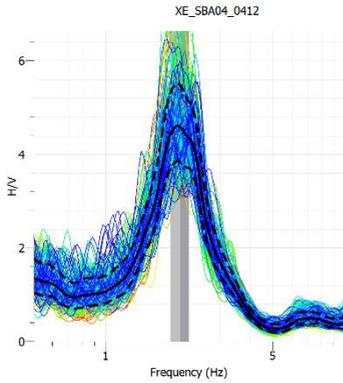
Gambar 24. Kurva H/V SBA 04 (24-11-19)



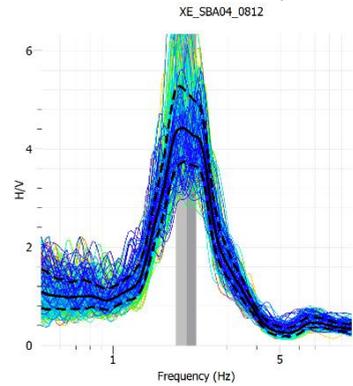
Gambar 25. Kurva H/V SBA 04 (27-11-19)



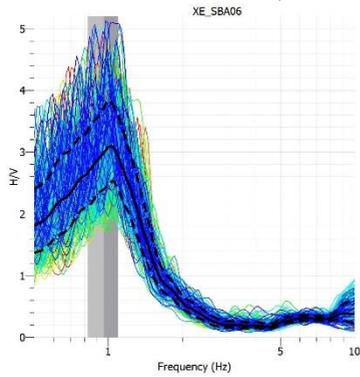
Gambar 26. Kurva H/V SBA 04 (01-12-19)



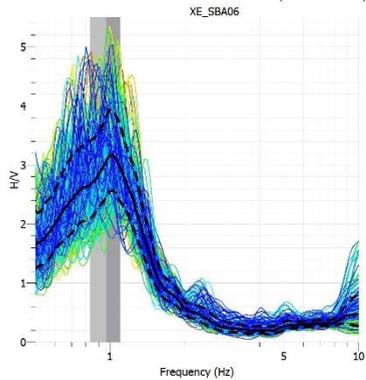
Gambar 27. Kurva H/V SBA 04 (04-12-19)



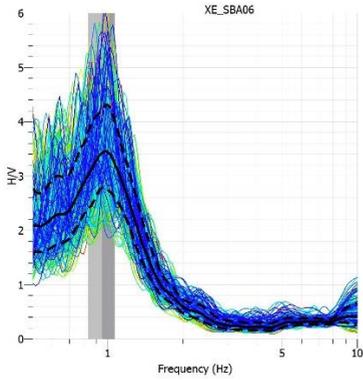
Gambar 28. Kurva H/V SBA 04 (08-12-19)



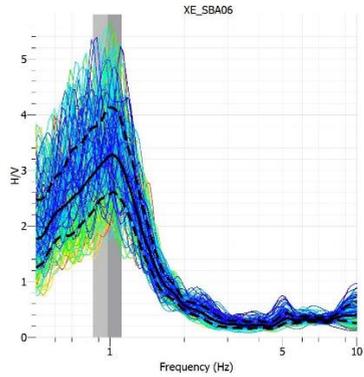
Gambar 29. Kurva H/V SBA 05 (16-11-19)



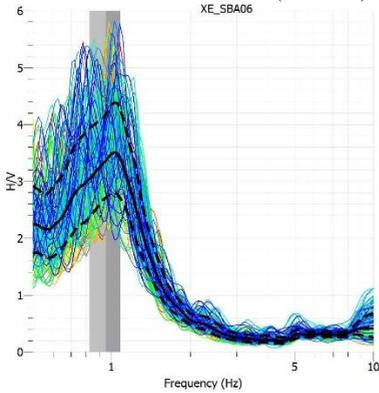
Gambar 30. Kurva H/V SBA 05 (17-11-19)



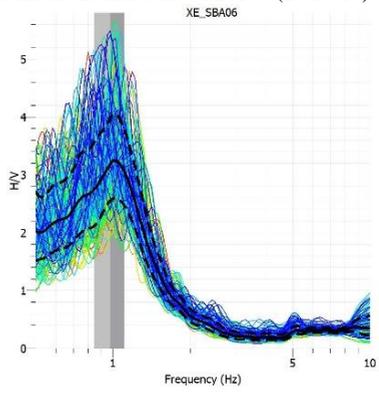
Gambar 31. Kurva H/V SBA 05 (18-11-19)



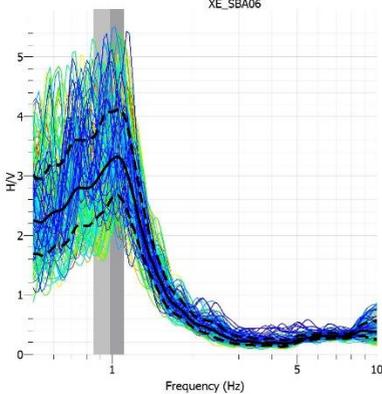
Gambar 32. Kurva H/V SBA 05 (20-11-19)



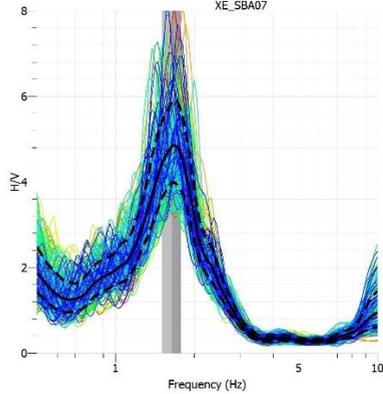
Gambar 33. Kurva H/V SBA 05 (21-11-19)



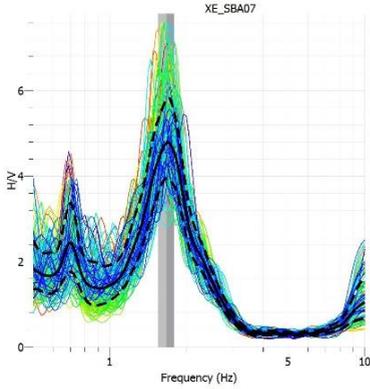
Gambar 34. Kurva H/V SBA 05 (22-11-19)



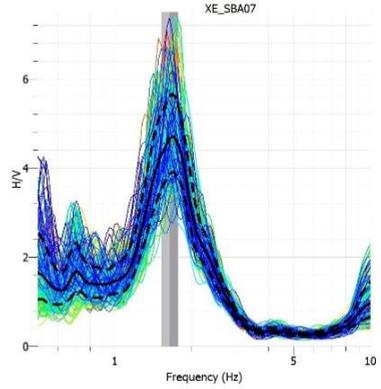
Gambar 35. Kurva H/V SBA 05 (24-11-19)



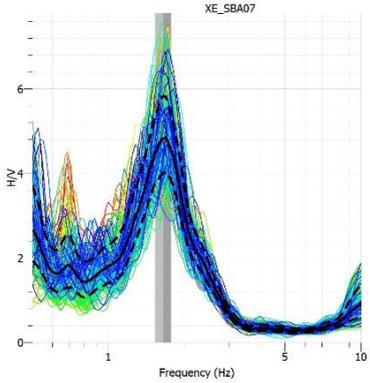
Gambar 36. Kurva H/V SBA 06 (01-12-19)



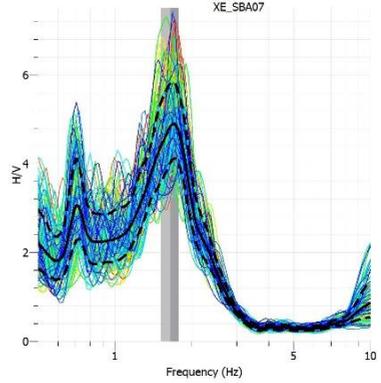
Gambar 37. Kurva H/V SBA 06 (03-01-20)



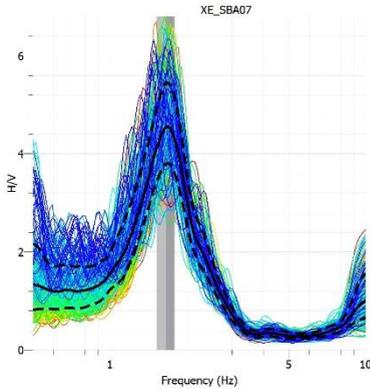
Gambar 38. Kurva H/V SBA 06 (08-12-19)



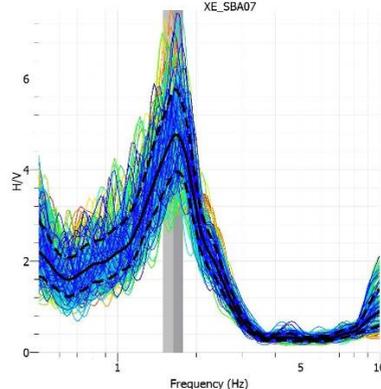
Gambar 39. Kurva H/V SBA 06 (15-12-19)



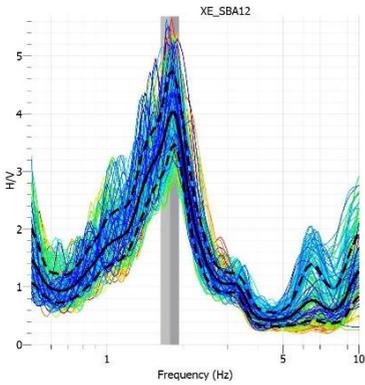
Gambar 40. Kurva H/V SBA 06 (22-12-19)



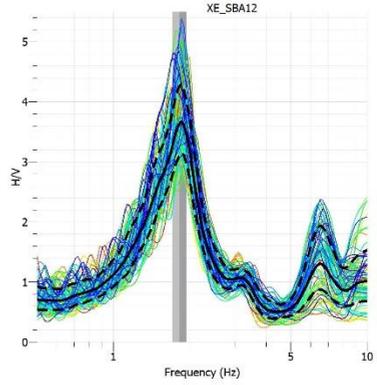
Gambar 41. Kurva H/V SBA 06 (25-11-19)



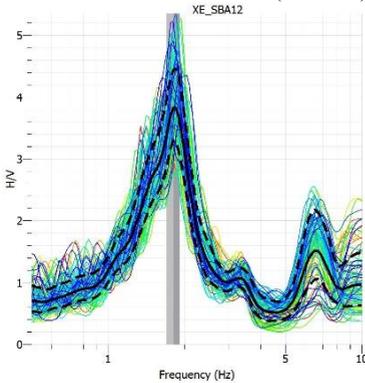
Gambar 42. Kurva H/V SBA 06 (29-12-19)



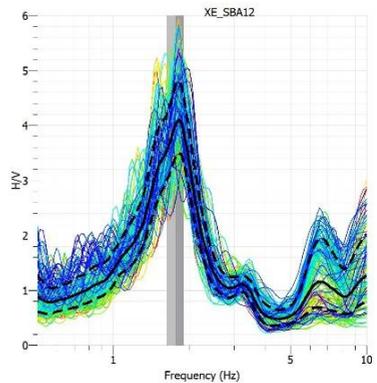
Gambar 43. Kurva H/V SBA 07 (01-12-19)



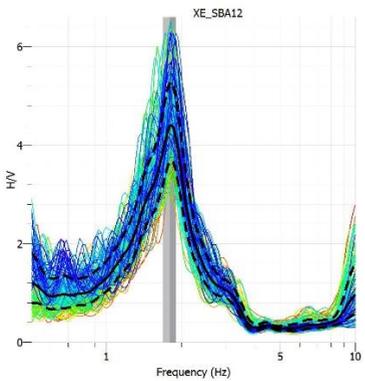
Gambar 44. Kurva H/V SBA 07 (15-11-19)



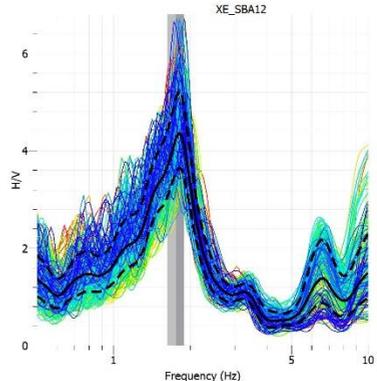
Gambar 45. Kurva H/V SBA 07 (17-11-19)



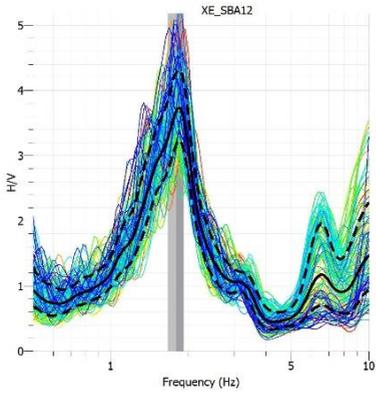
Gambar 46. Kurva H/V SBA 07 (20-11-19)



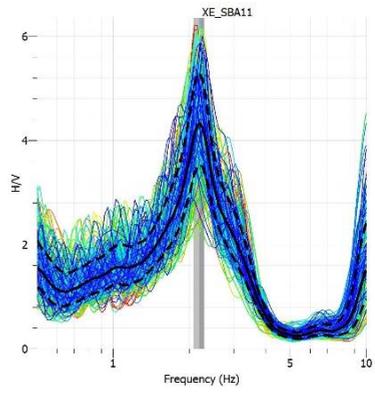
Gambar 47. Kurva H/V SBA 07 (23-11-19)



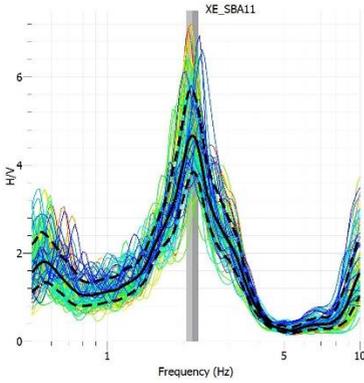
Gambar 48. Kurva H/V SBA 07 (26-11-19)



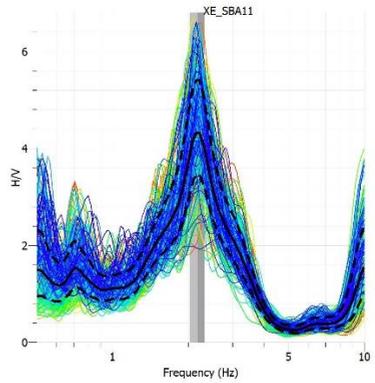
Gambar 49. Kurva H/V SBA 07 (29-11-19)



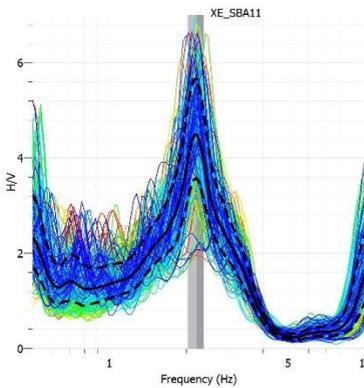
Gambar 50. Kurva H/V SBA 08 (01-12-19)



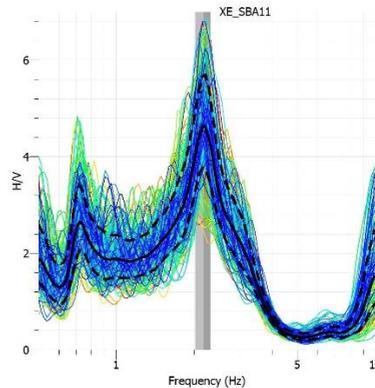
Gambar 51. Kurva H/V SBA 08 (01-01-20)



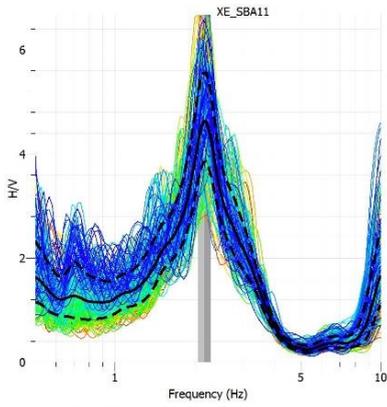
Gambar 52. Kurva H/V SBA 08 (08-12-19)



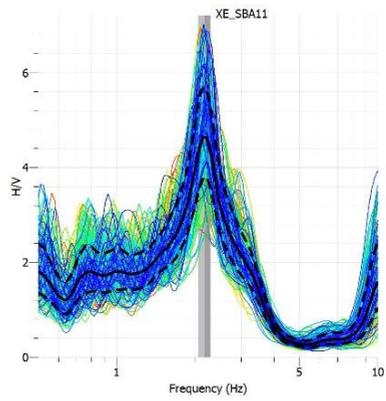
Gambar 53. Kurva H/V SBA 08 (15-12-19)



Gambar 54. Kurva H/V SBA 08 (22-12-19)



Gambar 55. Kurva H/V SBA 08 (24-11-19)



Gambar 56. Kurva H/V SBA 08 (29-12-19)

## Lampiran 2

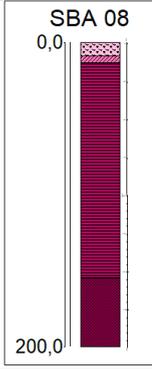
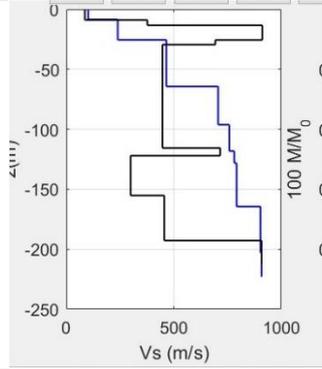
### Hasil Analisis nilai Vs dengan metode inversi

Stasiun	Ground Profile	Model Struktur Bawah Permukaan	Vs	H
SBA01			80	7,84
			858,55	18,13
			860,8	52,62
			971,68	86,94
			1190	118,8
			1230,1	133,64
			1392	176,07
			1440	183,56
			1500	200
SBA03			109,53	7,24
			154,74	10,27
			276,25	14,11
			348,81	15,04
			315,03	29,22
			806,23	38,48
			814,05	39,01

			994	55,83
			1024,25	200
SBA04			80	7,02
			171,93	8,72
			173,48	9,96
			330,99	12,29
			516,25	19,28
			573,57	21,48
			926	32,36
			1267,38	41,06
			1329,5	200
			83,46	12,66
			172,53	20,85
			256,26	29,27
			707,49	48,41
			739,52	74,77
			812,63	86,2
			822,27	112,96
			922	151,06

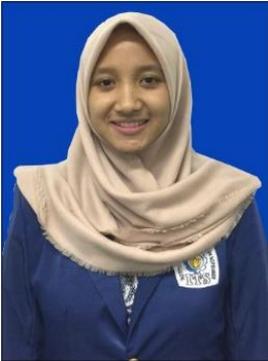
			1010,22	200
SBA06			80	9,01
			233,53	12,6
			236,67	12,99
			760,34	30,44
			915,21	39,21
			1082,93	73,21
			1263	78,64
			1403,88	80,64
			1470	200
SBA07			80	2,24
			80	7,95
			97,64	9,12
			223,87	12,4
			353,3	13,18
			364,43	15,49
			701	20,05
			738,03	26,52
			813,57	200

SBA08



86,14	8,9
298,88	13,35
376,88	25,6
447,33	29,46
455,5	115,66
693,16	122,01
715,69	155,15
908	192,77
911,7	200

## Biografi Penulis



Syarfa Monita Wahjudhi, lahir di Surabaya, 24 April 1998 merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis merupakan putri pasangan Bapak Tonny Wahjudhi dan Ibu Ruliyani. Penulis menempuh Pendidikan dasar di SDN Kepuh Kiriman I Waru (2004 – 2010). Penulis kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Sidoarjo (2010 – 2013) dan menengah atas di SMAN 1 Waru Sidoarjo (2013 – 2016). Penulis kemudian bergabung di Departemen Teknik Geofisika ITS melalui jalur SNMPTN pada tahun 2016.

Selama menempuh Pendidikan S1, penulis aktif dalam organisasi, kepanitiaan, dan pelatihan. Setiap semester penulis disibukan oleh kegiatan tersebut. Organisasi itu antara lain Staff Sosial Masyarakat HMTG ITS (2017-2018), Staff HRD LDJ KMTG Al Ardh (2017 – 2018), Staff IECC BEM ITS (2018 – 2019), dan Manajer dari Internal Affair IECC BEM ITS (2019 – 2020). Penulis juga aktif pada organisasi keprofesian yaitu SEG ITS SC sebagai Kepala Divisi External. Selain itu, dalam lingkungan fakultas, penulis aktif sebagai Pemandu FTSLK ITS.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PHE Siak-Kampar dengan topik metode interpretasi seismik 3D untuk eksplorasi minyak dan gas pada tahun 2019. Apabila ingin berdiskusi lebih lanjut terkait tugas akhir dapat menghubungi penulis melalui alamat email: [syarfamonita@gmail.com](mailto:syarfamonita@gmail.com).



