

***PROFILLING KECEPATAN GELOMBANG GESER (Vs) DAN
MIKROZONASI KOTA SURABAYA MENGGUNAKAN INVERSI
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR)***

(Skripsi)

Oleh

YUSUF EFENDI



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

ABSTRACT

SURABAYA CITY SHEAR WAVE VELOCITY (V_s) PROFILLING AND MICROZONATION USING THE HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR) INVERSION

By

YUSUF EFENDI

Surabaya is the area is with geology that is almost 70% of its territory consists with alluvial sediments form of sandstone and clay. Source earthquake impact into potentially provide Surabaya is a subduction zone in the south of java and of the fault in kendeng zone in the west. Identification what can be done such collection to map the characteristics of the soil review hearts respond to the shocks of earthquakes using seismic methods horizontal to vertical spectral ratio (HVSR). The stages of this research is (i) perform data processing to obtain the value of dominant frequency, (ii) inversion to get the value V_s , V_p and depth, (iii) calculations to get the V_{s30} and amplification value, (iv) zoning map of earthquake hazards city of Surabaya. Based on the distribution of the dominant frequency value, Surabaya City is dominated by the ($f_0 < 2.5$ Hz) allegedly thickness of sediments near the surface over 30 meters. The distribution of the period value, the dominated by ($T_0 > 0,4$ s) allegedly characters sediment rock types are very software. V_{s30} value distribution is dominated by V_{s30} value ($0 < V_{s30} < 300$ m/s) and get the value of amplification ($3 < A_0 < 6$ times) where the area is an area with a moderate risk category to the danger of earthquakes in the part the northwest, north, northeast, east, south and downtown. Based on comparative analysis between V_{s30} and V_{s30} inversion there are differences in value at aech point that is possible because of the values calculated HVSR using sediment thickness is homogeneous whereas inversion HVSR using different thicknesses depending on each dot thus affecting the value of amplification HVSR and inversion HVSR.

Keywords: *microtremor, dominant frequency, amplification, V_{s30} , inversion HVSR.*

ABSTRAK

PROFILLING KECEPATAN GELOMBANG GESER (Vs) DAN MIKROZONASI KOTA SURABAYA MENGGUNAKAN INVERSI HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR)

Oleh
YUSUF EFENDI

Kota Surabaya merupakan daerah dengan kondisi geologi yang hampir 70% wilayahnya terdiri endapan alluvial dengan sedimen berupa batu pasir dan lempung. Sumber gempa bumi yang berpotensi memberikan dampak ke Kota Surabaya adalah dari zona subduksi di Selatan Jawa dan dari patahan di Zona Kendeng di sebelah barat. Identifikasi yang dapat dilakukan diantaranya survei untuk memetakan karakteristik tanah dalam merespon guncangan gempabumi menggunakan metode seismik *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai frekuensi dominan, periode dominan, amplifikasi dan V_{S30} , nilai V_s dan V_p hasil inversi HVSR, perbandingan nilai V_{S30} dan amplifikasi (HVSR) dengan nilai V_{S30} dan amplifikasi (inversi HVSR). Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah (i) melakukan pengolahan data untuk memperoleh nilai frekuensi dominan, (ii) inversi untuk mendapatkan nilai V_s , V_p dan *depth*, (iii) menghitung nilai V_{S30} dan amplifikasi, (iv) peta zonasi gempa bumi Kota Surabaya. Berdasarkan sebaran nilai frekuensi dominan, Kota Surabaya didominasi oleh ($f_0 < 2,5$ Hz) yang diduga ketebalan sedimen dekat permukaan lebih dari 30 meter. Sebaran nilai periode didominasi oleh ($T_0 > 0,4$ s) yang diduga karakter jenis batuan sedimennya sangat lunak. Sebaran nilai V_{S30} didominasi oleh nilai V_{S30} ($0 < V_{S30} < 300$ m/s) dan mendapatkan nilai amplifikasi ($3 < A_0 < 6$ kali) dimana daerah tersebut merupakan daerah dengan katagori resiko sedang terhadap bahaya gempabumi di bagian barat laut, utara, timur laut, timur, selatan dan pusat kota. Berdasarkan analisis perbandingan antara V_{S30} dan V_{S30} inversi terdapat perbedaan nilai di setiap titik yang diduga karena faktor nilai perhitungan HVSR menggunakan ketebalan sedimen yang homogen sedangkan inversi HVSR menggunakan ketebalan yang berbeda-beda disetiap titiknya sehingga mempengaruhi nilai amplifikasi HVSR dan inversi HVSR.

Kata kunci: *mikrotremor, frekuensi dominan, amplifikasi, V_{S30} , inversi HVSR.*

***PROFILLING KECEPATAN GELOMBANG GESER (Vs) DAN
MIKROZONASI KOTA SURABAYA MENGGUNAKAN INVERSI
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR)***

Skripsi

Oleh

YUSUF EFENDI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : **PROFILLING KECEPATAN GELOMBANG
GESER (V_s) DAN MIKROZONASI KOTA
SURABAYA MENGGUNAKAN INVERSI
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL
RATIO (HVSr)**

Nama : **Yusuf Efendi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115051040

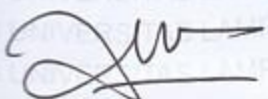
Jurusan : Teknik Geofisika

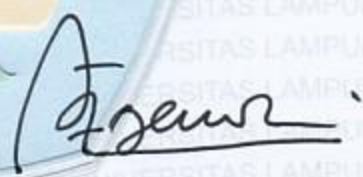
Fakultas : Teknik



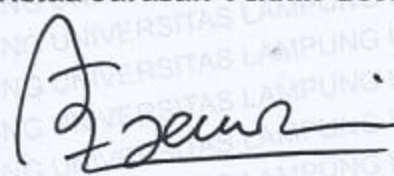
Pembimbing 1

Pembimbing 2


Rustadi, S.Si., M.T.
NIP 19720511 199710 1 002


Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.
NIP 19720928 199903 1 001

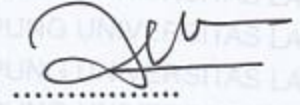
2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika


Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.
NIP 19720928 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Rustadi, S.Si., M.T.


.....

Sekretaris : Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.


.....

Penguji

Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.


.....

2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Dr. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.

NIP.19620717 198730 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 24 Januari 2017

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 01 Februari 2017

Yang Membuat Pernyataan,



Yusuf Efendi
NPM 1115051040

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Wates pada tanggal 12 Mei 1993 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Mustakim, S.P. dan Ibu Sulastri. Penulis mengawali pendidikan Taman Kanak-kanak di TK Aisyiah Busthanul Alfa Wates, Gadingrejo pada tahun 1997 dan melanjutkan ke jenjang Sekolah Dasar (SD) di SDN 4 Wates, Gadingrejo pada tahun 1999. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) penulis diselesaikan di SMPN 1 Gadingrejo, Pringsewu pada tahun 2008 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan pada tahun 2011 di SMAN 1 Gadingrejo, Pringsewu.

Pada tahun 2011 penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi negeri dan terdaftar sebagai mahasiswa strata satu (S1) Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung. Merasa tidak cukup dengan ilmu yang didapat diperguruan tinggi, didorong minat diluar bidang Teknik Geofisika, selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan tercatat sebagai:

1. Tim Relawan Konflik Balinuraga Palang Merah Indonesia (PMI) Propinsi Lampung tahun 2012
2. Kepala Divisi Pendidikan dan Latihan Unit Kegiatan Mahasiswa Korps Sukarela Palang Merah Indonesia Unit Universitas Lampung (UKM KSR PMI Unit Unila) periode 2013 – 2014

3. Koordinator Humas Forum Komunikasi Unit Kegiatan Mahasiswa Universitas Lampung (ForKom UKM Unila) periode 2013 – 2014
4. Ketua Unit Kegiatan Mahasiswa Korps Sukarela Palang Merah Indonesia Unit Universitas Lampung (UKM KSR PMI Unit Unila) periode 2013 - 2014
5. Fasilitator Palang Merah Remaja (PMR) SMK Negeri 2 Bandarlampung tahun 2012 – 2015
6. Fasilitator Palang Merah Remaja (PMR) SMP IT Ar-raihan Bandarlampung tahun 2013 – 2015
7. *Team Surveyor Quick Real and Count* Pemilu Legislatif dan Pemilihan Gubernur Lampung tahun 2014
8. *Team Survei Preferensi Politik Masyarakat Jelang Pilkada Serentak 2017* di Provinsi Lampung tahun 2016.

Didalam pengaplikasian ilmu di bidang Geofisika penulis melaksanakan Kerja Praktik di Sub Bidang Mitigasi Gempabumi dan Tsunami, Pusat Vulkanologi Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Bandung, Jawa Barat pada 22 Februari – 23 Maret 2016 dengan judul “Akuisisi dan Pengolahan Data Mikrotremor dengan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSR) untuk Mikrozonasi Kota Surabaya”, kemudian melanjutkan Tugas Akhir tentang Mitigasi Bencana di Sub Bidang Mitigasi Gempabumi dan Tsunami, PVMBG pada 17 Juli - 16 September 2016 dengan judul “*Profiling* Kecepatan Gelombang Geser (Vs) dan Mikrozonasi Kota Surabaya Menggunakan Inversi *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSR)”, serta menyelesaikan studi pada tanggal 24 Januari 2017.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

Atas Ridho Allah SWT dan dengan segala kerendahan hati kupersembahkan karya sederhana ini kepada semua yang terkasih....

Maaf jika mungkin telah menunda kebahagiaan, menghambat senyuman sayang yang telah lama ingin disampaikan, memperlambat kesuksesan untuk membuat catatan sejarah perubahan, yakinlah semua yang kulakukan adalah instruksi pribadi dari keyakinan hati nurani,... sebuah proses panjang pengembaraan untuk meningkatkan kapasitas dalam meraih takdir yang diinginkan..

Ayahku Mustakim, S.P. dan Ibuku Sulastri,

Terimakasih atas segala do'a, nasehat, dorongan, motivasi, pengalaman, pengorbanan, peluh keringat, kesabaran, kasih dan sayang, tetap do'akan semoga aku bisa menggantikan peran, mengangkat derajat keluarga, dan berbakti kepada masyarakat, bangsa, dan negara,... Hanya do'a yang terus kupanjatkan, semoga tanah suci bisa terealisasi dan do'a dijabah oleh Allah, SWT, Aamiin...

Kepada Adik - adikku Mar'ah Rizkiyana, Legiyati (Alm),

Terimakasih selalu memberikan inspirasi, semangat, mendukung, dan mendoakan keberhasilanku. Perbedaan karakter dalam keluarga itu sebuah keindahan, terus memegang prinsip bahwa kasih sayang dan kebersamaan dalam kehidupan jauh lebih berarti dibandingkan dengan materi yang kita miliki.

Kelurga H. Abdullah Siddiq (Alm) dan Sandiharjo (Alm),

Terimakasih atas semua kasih sayang, pengorbanan, do'a, dukungan, dan ketulusan yang diberikan serta menantikan keberhasilanku, kemarin adalah kenangan, hari ini adalah kesediaan, dan besok adalah harapan.

UKM KSR PMI Unit Unila,

Terimakasih telah mengajarkanku arti sebuah perjuangan dan kepedulian terhadap sesama dengan kebersamaan dan kekeluargaan. Mohon maaf jika yang kudapatkan tidak sebanding dengan apa yang telah kuberikan, Teruslah Berjaya, tetap berkomitmen untuk selalu mengatakan.... "Pengabdian Tanpa Batas untuk Kemanusiaan".

Almamaterku tercinta Universitas Lampung,

Terimakasih atas segudang pengetahuan dan wawasan yang telah diberikan, menanamkan Tri Dharma Perguruan Tinggi, dan merancang mimpi yang menjadi sebagian jejak langkahku menuju kesuksesan dalam setiap sendi kehidupan.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya” (Qs. Al-Baqarah: 286)

“Orang berilmu lebih utama daripada orang yang selalu berpuasa, shalat dan berjihad. Karena apabila mati orang berilmu, maka terdapatlah kekosongan dalam islam yang tidak dapat ditutup selain oleh penggantinya yaitu orang berilmu juga” (Umar bin Khattab)

“Ilmu pengetahuan tanpa agama lumpuh, agama tanpa ilmu pengetahuan buta” (Albert Einstein)

“Setiap keputusan itu pilihan, menuai sejarah dan dikenal, atau mengikuti sejarah dan menjadi penonton, lebih baik mati terhormat daripada hidup tidak berwibawa” (Martha Ardiansyah, S.E.)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan bimbingan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi, Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Tak lupa shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah mengantarkan kita melewati masa jahiliyah sampai masa sekarang ini.

Skripsi ini mengangkat judul “*Profilling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) dan Mikrozonasi Kota Surabaya Menggunakan Inversi Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR)*”. Skripsi ini merupakan hasil dari penelitian Tugas Akhir yang penulis laksanakan di Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Bandung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk perbaikan maupun penyempurnaan laporan ini di masa depan sehingga skripsi ini dapat bermanfaat dalam dunia ilmu Pengetahuan dan Teknologi.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, 01 Februari 2017

Penulis,

Yusuf Efendi

SANWACANA

Dengan mengucapkan syukur *Alhamdulillah* penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas ridho, rahmat, karunia, dan kasih sayang-Nya yang begitu berlimpah sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Skripsi dengan judul “*Profilling* Kecepatan Gelombang Geser (Vs) dan Mikrozonasi Kota Surabaya menggunakan Inversi *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr)” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik di Universitas Lampung.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki, tanpa bantuan dari berbagai pihak skripsi ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung, dan sebagai dosen Penguji yang telah memberikan waktu, saran, solusi, serta bantuannya
2. Bapak **Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung dan sebagai Pembimbing II yang telah memberikan waktu, saran, pengarahan dan motivasi serta bantuan yang begitu besar sehingga skripsi ini dapat terselesaikan

3. Bapak **Rustadi, S.Si, M.T.**, sebagai Pembimbing I serta yang telah memberikan pengarahan, motivasi serta bantuan yang begitu besar sehingga skripsi ini dapat terselesaikan
4. Bapak **Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.**, sebagai Pembimbing Akademik yang selalu memberikan motivasi dan arahan untuk menyelesaikan studi.
5. Bapak **Dr. Akhmad Solihin**, selaku pembimbing di PVMBG dan Bapak Amalfi Omang, S.Si., Bapak Imam Catur Priambodo, S.Si., Bapak Deden Junaedi, dan Bapak Cecep yang telah memberikan waktu, bimbingan, arahan, serta segudang ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
6. Seluruh Dosen dan Staff TU Jurusan Teknik Geofisika, Staff Dekanat Fakultas Teknik, Staff Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, terimakasih atas bantuannya.
7. Kedua orangtuaku, **Ibu Sulastri** dan **Bapak Mustakim, S.P.** yang tidak lelah mendoakan untuk kesuksesan penulis
8. Adik-adikku tercinta, **Mar'ah Rizkiyana** dan **Legiyati (Alm)** yang terus memberikan senyum dan semangat kepada penulis
9. Om **Taufik** dan Bule **Mariah**, Mas **Amri** dan Mb **dr. Kambria Erdy** yang telah memberikan ijin untuk singgah, dan memberikan semangat selama kerja praktik di PVMBG
10. **Novita Wijayanti** yang selalu mendukung dan memberikan semangatnya tiada henti
11. Teman-teman seperjuangan TG 2011: Dezy, Achmadi, Adit, Agung, Alwi, Nay, Annisa, Bejo, Asri, Bagus, Sibun, Dhi, Keto, Doni, Farid, Fitri Bubun,

Fitri Wahyu, Supri, Hardeka, Hilda, Leo, Lia, Mezrin, Wanda, Nanda, Ami, Ratu, Rika, Cici, Sari, Syamsul, Ticun, Tri, Wilyan, Yeni, Yunita

12. Kakak – kakak, teman - teman serta adik-adik KSR PMI Unit Unila (Kak Petrus, Kak Pepeng, Kak Martha, Kak Riyan, Kak Ago, Mb, Iska, Mb Ria, Kak Nanda, Mb Susi, Mb Ai, Anggun, Amel, Aya, Chris, Dwi, Elisa, Hendi, Inday, Lailiyah, Nora, Nova, Ova, Pipit, Reza, Risa, Tami, Tanti, Wiwik, Yuli, Nana, Juju, Ipong, Shinta, Andri, Cimeng, Firda, Biha, Wulan, Wahyu, Eny, Puwalla, Desi, Jeje, Atari, Lia, Fio, Latifah, Beni)
13. Dan semua pihak yang telah memberikan bantuannya yang tidak dapat disebutkan satu per satu sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Semoga do'a, bantuan, bimbingan dan motivasi yang kalian berikan mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis berharap skripsi yang sederhana ini bermanfaat bagi kita semua, khususnya bagi penulis pribadi dan pengembangan pengetahuan pada umumnya

Bandarlampung, Februari 2017

Penulis,

Yusuf Efendi

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	xi
KATA PENGANTAR	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	4
C. Batasan Masalah	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kondisi Geografis dan Demografi Kota Surabaya	5
B. Stratigrafi Kota Surabaya	6
C. Struktur Geologi Regional Kota Surabaya	9
D. Jenis Tanah Kota Surabaya	10
E. Kegempaan	13

III. TEORI DASAR

A. Gelombang Seismik	
1. Gelombang Badan (<i>Body Wave</i>)	15
2. Gelombang Permukaan	17
B. Mikrotremor	18
C. Mikrozonasi	
1. Analisis <i>Horizontal to Vertical Spectrum Ratio</i> (HVSr)	21
2. <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT)	24
3. Frekuensi Dominan	25
4. Periode Dominan	26
5. Inversi Kurva HVSr	27
6. V_{s30}	29
7. Amplifikasi	30

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	33
B. Lokasi Penelitian	33
C. Prosedur Pengolahan Data	
1. <i>Import Data</i>	34
2. <i>Filtering</i>	34
3. Menghitung Rasio H/V	35
4. Menghitung Nilai <i>Depth</i> , V_s , dan V_p	38
D. Diagram Alir	41

V. HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengamatan	42
B. Pembahasan	
1. Analisis Peta Persebaran Nilai Frekuensi Dominan	43
2. Analisis Peta Persebaran Nilai Periode Dominan	47
3. Analisis Peta Persebaran Nilai V_{s30}	50
4. Analisis Peta Persebaran Nilai Amplifikasi	53
5. Analisis Peta 3D V_s dan V_p	56
6. Analisis Perbandingan antara Peta Persebaran Nilai V_{s30} HVSr dan V_{s30} Inversi	67
7. Analisis Perbandingan antara Peta Persebaran Nilai Amplifikasi HVSr dan Amplifikasi Inversi.....	71

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	75
B. Saran	76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Kondisi tektonik Indonesia	1
Gambar 2. Peta geologi Lembar Surabaya	8
Gambar 3. Peta tektonik dan sebaran pusat gempa bumi (1964 – Maret 2016) di sekitar Pulau Jawa bagian timur hingga Kepulauan Flores	14
Gambar 4. Gelombang P	16
Gambar 5. Gelombang S	16
Gambar 6. Gelombang <i>Rayleigh</i>	17
Gambar 7. Gelombang <i>Love</i>	18
Gambar 8. Perbedaan sinyal tremor dan gempa bumi	20
Gambar 9. Program FFT, a. konversi domain waktu ke domain frekuensi, b. konversi domain frekuensi ke domain waktu.....	25
Gambar 10. Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik dan frekuensi resonansi di tanah permukaan	31
Gambar 11. Peta topografi Kota Surabaya	33
Gambar 12. Tabel dan grafik hasil <i>import data</i>	34
Gambar 13. Grafik data sebelum dilakukan <i>filtering</i>	35
Gambar 14. Grafik data sesudah dilakukan <i>filtering</i>	35
Gambar 15. Kotak dialog H/V <i>tools</i>	36

Gambar 16.	Panjang <i>time windows</i>	37
Gambar 17.	Grafik H/V	37
Gambar 18.	<i>Input data</i>	38
Gambar 19.	Grafik minimum misfit	39
Gambar 20.	Grafik <i>Ellipticity</i> (H/V)	39
Gambar 21.	Nilai <i>depth</i> , nilai V_s dan V_p	40
Gambar 22.	Diagram alir penelitian	41
Gambar 23.	Peta sebaran nilai frekuensi dominan	46
Gambar 24.	Peta sebaran nilai periode dominan	49
Gambar 25.	Peta sebaran nilai V_{s30} (Nakamura)	52
Gambar 26.	Peta mikrozonasi gempabumi (Nakamura)	55
Gambar 27.	Peta 3D kecepatan gelombang shear (V_s)	59
Gambar 28.	Peta 3D cross section kecepatan gelombang shear (V_s)	60
Gambar 29.	Penampang section line gelombang shear (V_s) arah S – N per 5 km	61
Gambar 30.	Penampang section line gelombang shear (V_s) arah W – E per 5 km	62
Gambar 31.	Peta 3D kecepatan gelombang primer (V_p)	63
Gambar 32.	Peta 3D cross section kecepatan gelombang primer (V_p)	64
Gambar 33.	Penampang section line gelombang primer (V_p) arah S – N per 5 km	65
Gambar 34.	Penampang section line gelombang primer (V_p) arah W – E per 5 km	66
Gambar 35.	Peta sebaran nilai V_{s30} (Inversi)	70
Gambar 36.	Peta mikrozonasi gempabumi (Inversi)	74

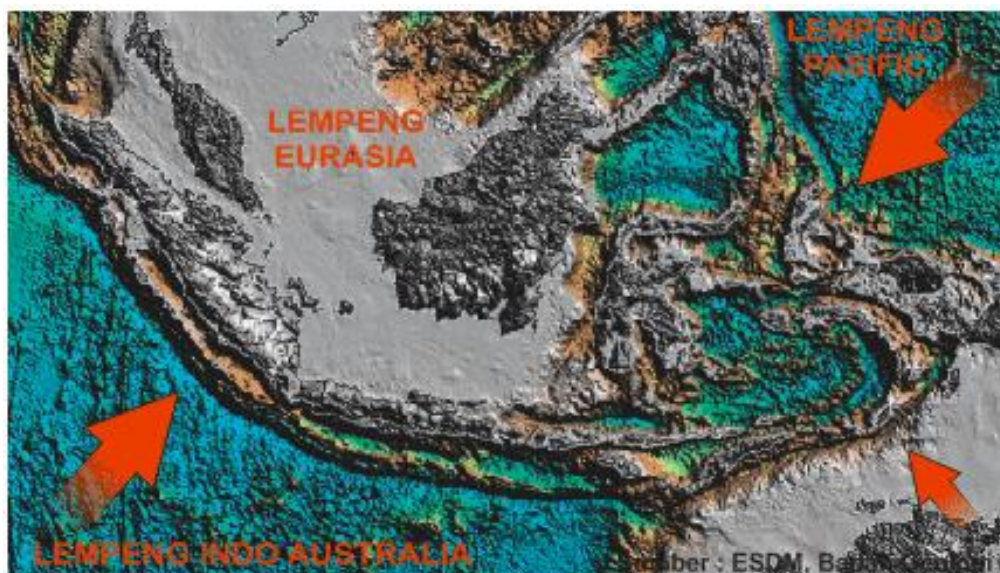
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Data jenis tanah Kota Surabaya	11
Tabel 2. Tabel kalisifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai	26
Tabel 3. Klasifikasi tanah Kanai ~ Omote – Nakajima	27
Tabel 4. Pembagian zona amplifikasi tanah	32
Tabel 5. Perbedaan Nilai V_{S30} dengan V_{S30} Inversi	69
Tabel 6. Perbedaan Nilai A_0 dengan A_0 Inversi	73

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Berdasarkan kondisi tektonik Indonesia (BMKG, 2016) pada **Gambar 1**, Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang mempunyai tingkat kegempaan yang sangat tinggi. Hal ini dikarenakan Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia yaitu Lempeng Indo-Australia, Pasifik dan Eurasia. Konsekuensi tumbukan lempeng tersebut mengakibatkan negara Indonesia rawan bencana geologi, salah satu diantaranya adalah gempa bumi.



Gambar 1. Kondisi tektonik Indonesia (BMKG, 2016).

Gempabumi adalah getaran seismik yang disebabkan oleh pecahnya atau bergesernya batuan di suatu tempat di dalam kerak bumi. Selama tiga dekade terakhir, banyak gempabumi merusak yang terjadi di berbagai daerah di belahan dunia. Gempabumi ini telah membunuh banyak orang, menyebabkan krisis sosial dan ekonomi serta menciptakan kenangan traumatis bagi banyak individu. Salah satu faktor penting dalam manajemen bencana gempabumi di perkotaan adalah mampu mengenali tingkat kerusakan yang disebabkan gempabumi. Kerusakan yang signifikan dari gempabumi dengan intensitas tinggi berkaitan dengan respon situs lokal (kondisi tanah) dan kondisi bangunan. Sebagai konsekuensi, pemahaman mengenai karakteristik tanah bawah permukaan dan kondisi struktur menjadi hal yang penting dalam analisis risiko gempabumi. Oleh karena itu, identifikasi indeks kerentanan yang terkait dengan spesifikasi tanah permukaan dan status bangunan secara bersamaan sangat penting dalam konteks manajemen bencana dari sebuah wilayah perkotaan.

Kota Surabaya merupakan ibukota Provinsi Jawa Timur dan sekaligus kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta. Kota Surabaya sebagai salah satu kota vital dan strategis, merupakan pusat bisnis, perdagangan, industri, dan pendidikan di Jawa Timur serta wilayah Indonesia bagian timur. Di sisi lain, Surabaya juga termasuk daerah rawan bencana gempabumi. Sumber gempa bumi yang berpotensi memberikan dampak ke Kota Surabaya adalah dari zona subduksi di selatan Jawa dan dari patahan di Zona Kendeng di sebelah barat.

Kita dapat meminimalisir dampak dari bencana gempa bumi dengan melakukan mitigasi bencana gempa bumi. Salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi adalah dengan mengidentifikasi wilayah yang berpotensi terjadi kerusakan apabila terkena bencana gempa bumi. Kuat lemahnya guncangan gempa bumi di suatu daerah tergantung pada jarak dari sumber gempa bumi serta kondisi batuan dan responnya terhadap guncangan tersebut (Solikhin dkk., 2016).

Identifikasi yang dapat dilakukan diantaranya survei untuk memetakan karakteristik tanah dalam merespon guncangan gempa bumi. Metode yang dapat mengukur karakteristik tanah diantaranya adalah dengan menggunakan mikrotremor yang selanjutnya diolah dengan metode *horizontal to vertical spectrum ratio* (HVSR) dari Nakamura (1989). Untuk mengetahui potensi bahaya efek tapak lokal saat terjadi gempa bumi suatu wilayah, perlu kajian efek tapak lokal melalui kegiatan survei pengukuran mikrotremor untuk mengetahui karakteristik dinamis kondisi geologi lokal (Nakamura, 1989).

Pada penelitian kali ini akan dilakukan penyelidikan karakteristik tanah permukaan (*soil*) di Kota Surabaya berdasarkan data mikrotremor. Penelitian ini sangat penting dilakukan karena dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana respon situs lokal (kondisi tanah) Kota Surabaya terhadap guncangan gempa bumi, sehingga dapat dilakukan antisipasi dan upaya-upaya mitigasi guna meminimalisir dampak kerusakan dan korban jiwa akibat bencana tersebut.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Menganalisis nilai frekuensi dominan, periode dominan, amplifikasi gempabumi dan V_{s30} berdasarkan data mikrotremor
2. Menganalisis nilai V_s dan V_p hasil inversi HVSR
3. Menganalisis perbandingan nilai V_{s30} (HVSR) dengan nilai V_{s30} (inversi HVSR)
4. Menganalisis perbandingan nilai amplifikasi (amplitudo mikrotremor HVSR) dengan amplifikasi (inversi HVSR)

C. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi masalahnya pada pengolahan dan analisis data mikrotremor untuk mengetahui karakteristik tanah permukaan (*soil*) di Kota Surabaya berdasarkan nilai frekuensi dominan, amplifikasi gempabumi dan cepat rambat gelombang seismik (V_s dan V_p). Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data skunder sebanyak 97 titik pengukuran mikrotremor di Kota Surabaya bulan 25 Februari – 10 Maret 2016.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kondisi Geografis dan Demografi Kota Surabaya

Secara geografis Kota Surabaya berada di 7°9' - 7°21' Lintang Selatan dan 112°36' - 112°57' Bujur Timur, sebagian besar wilayah Kota Surabaya merupakan dataran rendah dengan ketinggian 3 - 6 meter di atas permukaan laut, sebagian lagi pada sebelah Selatan merupakan kondisi berbukit-bukit dengan ketinggian 25 - 50 meter di atas permukaan laut. Luas wilayah Kota Surabaya ± 52087 Ha, dengan 63,45 persen atau 33048 Ha dari luas total wilayah merupakan daratan dan selebihnya sekitar 36,55 persen atau 19039 Ha merupakan wilayah laut yang dikelola oleh Pemerintah Kota Surabaya.

Secara administratif wilayah Kota Surabaya terbagi menjadi 5 wilayah kota, terdiri dari 31 Kecamatan dan 163 Kelurahan. Dengan batas-batas wilayah kota Surabaya adalah sebagai berikut: utara berbatasan dengan Selat Madura, sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Sidoarjo, sebelah timur dibatasi Selat Madura dan sebelah barat dibatasi dengan Kabupaten Gresik (Badan Lingkungan Hidup, 2012).

Menurut sensus penduduk tahun 2015 (BPS Surabaya, 2015), Kota Surabaya memiliki jumlah penduduk sebanyak 2765487 jiwa atau dengan kepadatan penduduk sebesar 8,5 jiwa per km². Surabaya pusat merupakan wilayah kota yang paling padat, sedangkan wilayah dengan kepadatan penduduk paling rendah adalah Surabaya Barat.

B. Stratigrafi Kota Surabaya

Berdasarkan peta geologi Lembar Surabaya skala 1:150.000 (Supandjono dkk, 1992) pada **Gambar 2**, lapisan batuan yang terdapat di wilayah Kota Surabaya sebagian besar merupakan seri batuan alluvial terutama pada morfologi dataran, sedangkan wilayah lainnya merupakan seri batuan sedimen tersebut terdiri dari beberapa formasi seperti Formasi Lidah, Formasi Pucangan, Formasi Kabuh, serta Endapan Alluvial. Endapan Alluvial merupakan endapan terluas meliputi hampir 70% dari seluruh luas Kota Surabaya. Karakteristik masing-masing batuan penyusun adalah sebagai berikut :

1. Endapan Alluvial

Endapan alluvial tersusun oleh material rombakan berukuran lempung hingga kerakal, berwarna kelabu-kelabu tua, yang secara setempat - setempat dijumpai pecahan cangkang fosil. Endapan ini merupakan hasil pengendapan sedimen-sedimen oleh aliran sungai. Endapan Alluvial ini tersebar di sebagian besar wilayah Surabaya mulai dari bagian utara, selatan, timur dan di daerah sekitar pesisir pantai.

2. Formasi Kabuh

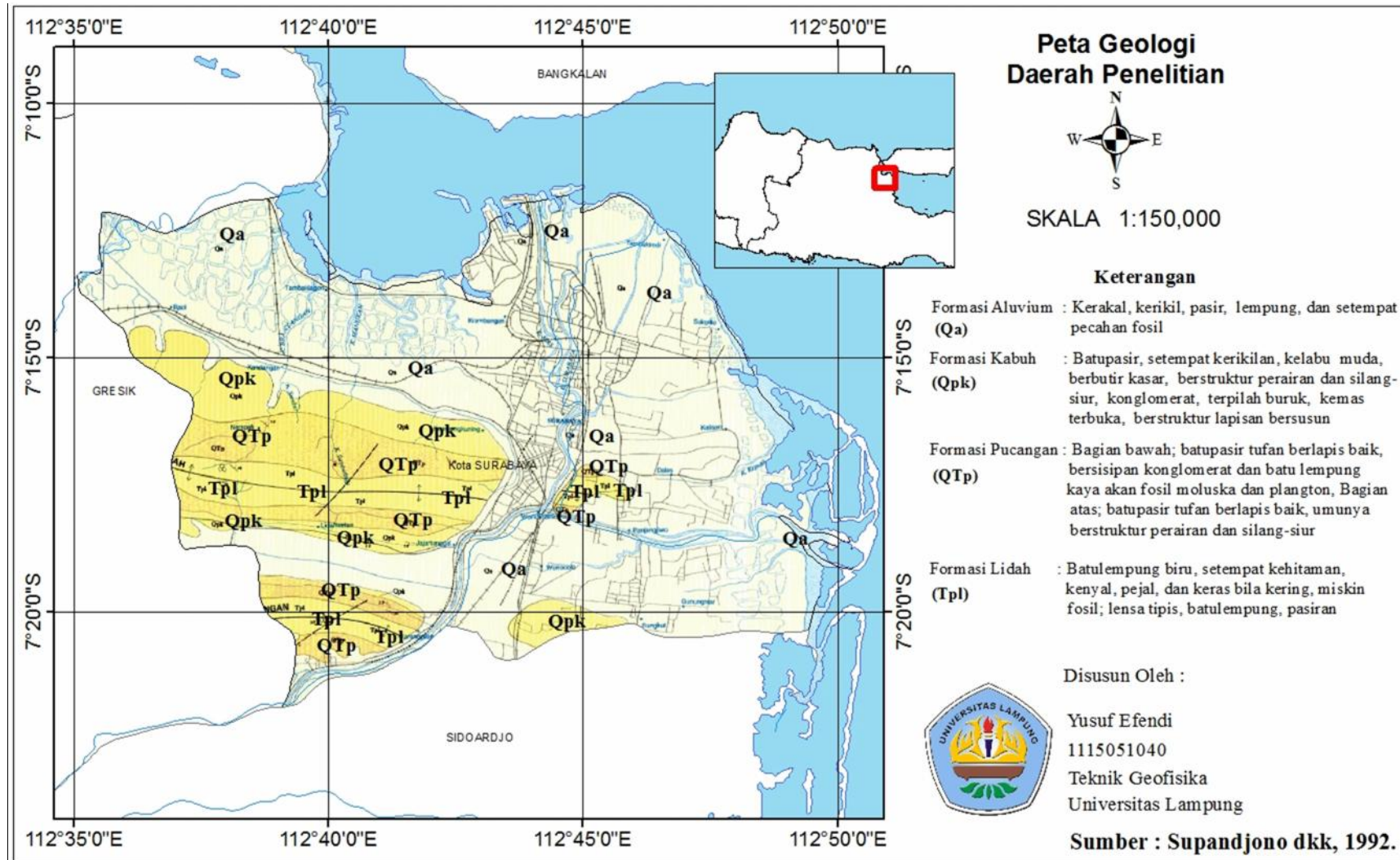
Formasi Kabuh tersusun oleh batu pasir setempat-setempat kerikilan dan konglomerat. Batu pasir mempunyai warna kelabu, berbutir pasir halus, kasar, tekstur pelapisan dan silang siur. Konglomerat mempunyai warna kelabu, terpilah buruk, kemas terbuka, tekstur lapisan bersusun. Penyebaran batuan dari Formasi Kabuh ini meliputi sebagian wilayah Kecamatan Rungkut, Wonocolo, Tenggilis, Wiyung, Karangpilang, Lakarsantri, Tandes, Sukomanunggal, Benowo, dan Dukuh Pakis.

3. Formasi Pucangan

Pada bagian bawah dari Formasi Pucangan dijumpai batu pasir tufaan berlapis baik, bersisipan konglomerat dan batu lempung, kaya fosil moluska dan plankton. Bagian atas terdiri dari batupasir tufaan berlapis baik, umumnya berstruktur perairan dan silang siur. Penyebaran batuan formasi ini adalah berada di sekitar pusat kota menyebar kearah barat dan selatan meliputi daerah Dukuh Pakis, Sawahan, Sukomanunggal, Tandes, Wiyung, Lakarsantri, Karangpilang, dan Gubeng.

4. Formasi Lidah

Formasi Lidah tersusun oleh batu lempung biru, setempat-setempat kehitaman, kenyal, pejal dan keras bila kering, miskin fosil serta dijumpai lensa-lensa tipis batu lempeng pasiran. Penyebaran batuan dari formasi ini meliputi sebagian daerah Wonokromo, Sawahan, Dukuh Pakis, Lakarsantri, Wiyung, dan Karangpilang.



Gambar 2. Peta Geologi Surabaya berdasarkan Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu (Supandjono dkk, 1992).

C. Struktur Geologi Regional Kota Surabaya

Secara struktur geologi, wilayah Kota Surabaya terletak di sebelah timur Zona Kendeng. Zona Kendeng ini meliputi deretan pegunungan dengan arah memanjang barat-timur yang terletak langsung di sebelah utara sub Zona Ngawi. Pegunungan ini tersusun oleh batuan sedimen laut dalam yang telah mengalami deformasi secara intensif membentuk suatu antiklorium. Cekungan ini disusun oleh batuan yang memiliki rentang usia Eosen menengah hingga Miosen, mirip dengan Busur Pegunungan Selatan Jawa (de Genevraye dan Samuel, 1972).

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* yang pada fase akhirnya berubah menjadi deformasi *brittle* berupa pergeseran blok – blok dasar cekungan Zona Kendeng. Intensitas gaya kompresi semakin besar ke arah bagian barat Zona Kendeng yang menyebabkan banyak dijumpai lipatan dan sesar naik dimana banyak zona sesar naik juga merupakan kontak antara formasi atau anggota formasi.

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 menunjam di bagian Kendeng Timur, fase kedua berupa pensesaran yang dapat dibagi menjadi dua, yaitu pensesaran akibat perlipatan dan persesaran akibat telah berubahnya deformasi *ductile* menjadi deformasi *brittle* karena batuan telah melampaui batas kedalaman plastisnya.

Kedua sesar tersebut secara umum merupakan sesar naik bahkan ada yang merupakan sesar sungkup. Fase ketiga berupa pergesaran blok – blok dasar cekungan Zona Kendeng yang mengakibatkan terjadinya sesar – sesar geser berarah relatif utara – selatan.

Deformasi kedua terjadi selama kuartar yang berlangsung secara lambat dan mengakibatkan terbentuknya struktur kubah di Sangiran. Deformasi ini masih berlangsung hingga saat ini dengan intensitas yang relatif kecil dengan bukti berupa terbentuknya sedimen termuda di Zona Kendeng yaitu Endapan Undak.

D. Jenis Tanah Kota Surabaya

Terdapat perbedaan jenis tanah di Kota Surabaya seperti yang terdapat pada **Tabel 1**, yang dikelompokkan menjadi jenis tanah Alluvial, bukan Abu Vulkanik, Endapan Lumpur, Endapan Pasir, Endapan Pasir Lumpur, dan Alluvial bukan Abu Vulkanik. Jenis tanah yang banyak ditemukan adalah tanah Alluvial. Tanah alluvial merupakan tanah yang terbentuk dari lumpur sungai atau pantai yang mengendap di dataran rendah. Jenis tanah ini terdapat di 18 Kecamatan yang tersebar di Wilayah Surabaya.

Untuk jenis tanah bukan abu vulkanik ditemukan pada lima Kecamatan di wilayah Surabaya Selatan dan Barat. Jenis tanah endapan lumpur terdapat pada empat Kecamatan di wilayah Surabaya Pusat, Selatan, dan Timur. Jenis tanah endapan pasir ditemukan pada satu Kecamatan wilayah Surabaya Timur. Jenis tanah endapan lumpur hanya terdapat pada satu Kecamatan di Wilayah Surabaya

Selatan, dan untuk tanah campuran antara alluvial dan bukan abu vulkanik terdapat pada dua Kecamatan Wilayah Surabaya Utara dan Barat.

Tabel 1. Data jenis tanah Kota Surabaya (Badan Lingkungan Hidup, 2012)

No	Jenis Tanah	Persebaran			Ketebalan solum (m)	Keterangan (pH)
		Wilayah	Kecamatan	Luas Kecamatan (ha)		
1	Alluvial	Pusat	Genteng	4.04	-	5.6
			Simokerto	2.59	-	6.0 - 7.0
			Bubutan	3.86	-	7
		Utara	Kenjeran	14.42	-	6.0 - 7.0
			Krembangan	8.34	-	6.0 - 7.5
			Semampir	8.76	-	7.5
			Pabean Cantikan	6.8	-	7
		Selatan	Wiyung	12.46	-	6.0 - 7.0
			Sawahlan	6.93	-	5.0 - 7.0
			Wonokromo	8.47	-	6.5
		Timur	Gubeng	7.99	-	5.0 - 6.0
			Sukolilo	23.69	-	6.0 - 7.0
			Mulyorejo	14.21	-	5.0 - 6.0
			Tambaksari	8.99	-	6.0 - 7.0
		Barat	Karangpilang	9.23	-	5.0 - 7.0
			Sukomanunggal	9.23	-	5.0 - 7.5
Asemrowo	45.79		-	6.0 - 7.5		
Pakal	22.07		-	7.0 - 8.0		
2	Bukan Abu Vulkanik	Selatan	Jambangan	4.19	-	6.0 - 7.5
			Dukuh Pakis	9.94	-	6.0 - 7.5
		Barat	Lakarsantri	18.89	-	6.0 - 7.5
			Sambikerep	23.68	-	6.0 - 7.0
			Benowo	23.73	-	7.0 - 8.0
3	Endapan Lumpur	Pusat	Tegalsari	4.29	-	6.0 - 6.5
		Selatan	Wonocolo	6.77	-	6.0 - 6.5
			Rungkut	21.08	-	6
		Timur	Tenggilis Mejoyo	5.52	-	6.5
4	Endapan Pasir	Timur	Gunung Anyar	9.71	-	6.0 - 7.0
5	Endapan Pasir Lumpur	Selatan	Gayungan	6.07	-	6.5
6	Alluvial, Bukan Abu Vulkanik	Utara	Bulak	6.72	-	7.5
		Barat	Tandes	11.07	-	5.0 - 7.5

Di daerah perbukitan sisi Barat Kota Surabaya, tanahnya mengandung kadar kapur yang tinggi. Studi Geologis yang dilakukan Direktorat Geologi Bandung tentang daya dukung tanah mengemukakan bahwa:

1. Susunan tanah di Kota Surabaya tidak merata atau tidak sejenis yang mempunyai daya dukung tanah yang berbeda-beda.
2. Di Kecamatan Wonokromo, Sawahan, Genteng, Tegalsari, Gubeng, Tambaksari, Simokerto, Semampir, Pabean Cantikan, Krembangan dan Bubutan, tebal permukaan tanahnya 10 - 18 meter dengan jenis tanah dasar tanah liat. Pondasi bangunan tinggi harus mencapai kedalaman 25 - 30 meter.
3. Pada daerah perbukitan, yaitu wilayah Surabaya Barat terdiri atas Jenis tanah alluvial dan grumosol. Jenis tanah Alluvialnya terdiri atas tiga karakteristik, yaitu alluvial hidromorf, alluvial kelabu, alluvial kelabu tua.

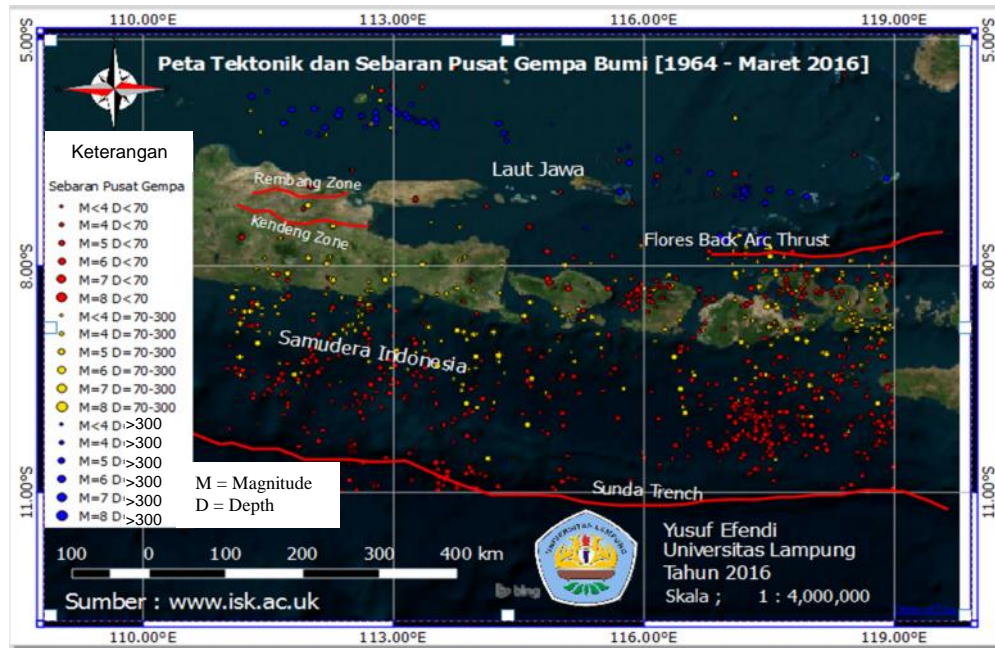
Kriteria kemampuan tanah untuk mendukung bangunan di atasnya perlu memperhatikan unsur-unsur yang berpengaruh, yaitu:

1. Tekstur tanah ditentukan berdasarkan fraksi-fraksi butiran tanah. Di kota Surabaya tergolong bertekstur halus
2. Kedalaman tanah efektif yaitu tebal lapisan tanah dari permukaan tanah sampai suatu lapisan dimana akar tanaman tidak menembus. Kota Surabaya mempunyai kedalaman efektif tanah $\pm 98\%$ kedalamannya 90 cm, sedangkan sisanya $\pm 13\%$ mempunyai kedalaman 60 - 90 cm

3. Lereng merupakan sudut yang dibentuk oleh permukaan tanah dengan bidang horisontal. Di Kota Surabaya lerengnya sekitar 87% dengan kemiringan 0 - 2% sehingga kecepatan aliran air permukaan rendah.
4. Erosi merupakan pengikisan permukaan tanah oleh aliran air permukaan. Di Kota Surabaya tidak ditemui erosi karena sebagian besar daerahnya dataran rendah, kecuali daerah perbukitan di wilayah Surabaya Barat
5. Kondisi drainase ditinjau dari lama dan seringnya tanah jenuh air dibagi menjadi tiga klasifikasi, yaitu daerah yang tidak pernah tergenang, tergenang periodik dan tergenang terus menerus.

E. Kegempaan

Sumber gempa bumi yang goncangannya dapat mengancam Kota Surabaya (**Gambar 3**) berasosiasi dengan aktifitas zona subduksi di selatan Jawa dan sesar naik belakang busur Kepulauan Flores (*flores back arc thrust*) di bagian timur Jawa dekat cekungan Bali. Zona subduksi Jawa terbentang dari Selat Sunda hingga cekungan Bali, dimana lempeng samudera menunjam masuk ke bawah lempeng benua dengan kecepatan relatif sekitar 77 mm/tahun (Tregoning dkk, 1994). Pada awal penunjaman di parit palung Jawa memiliki sudut yang landai hingga mencapai kedalaman 100 km, yang biasa disebut *Megathrust zone*. Setelah kedalaman 100 km sudut penunjaman bertambah besar dengan *dip* sekitar 50° yang menerus hingga kedalaman 600 km, yang biasa disebut *Zona Wadati-Benioff* (Widiyantoro dkk, 2011).



Gambar 3. Peta tektonik dan sebaran pusat gempabumi (1964 – Maret 2016) di sekitar Pulau Jawa bagian timur hingga Kepulauan Flores. Data pusat gempabumi berasal dari *International Seismic Centre* (www.isk.ac.uk).

Selain gempa-gempa yang terjadi akibat terjadinya pergerakan lempeng, Surabaya – Madura juga dipengaruhi oleh gempa yang terjadi pada zona – zona patahan yang berada disekitarnya, seperti patahan Lasem di perbatasan Jawa Timur – Jawa Tengah pada daerah pegunungan Kendeng. Zona Kendeng juga didefinisikan sebagai zona patahan naik (de Genevraye dan Samuel, 1972). Berdasarkan sejarahnya beberapa kejadian gempabumi mungkin telah terjadi pada Patahan Kendeng pada abad ke-19 (Simandjuntak dan Baarber, 1996), namun tidak adanya gempabumi yang lebih baru menimbulkan pertanyaan apakah patahan ini bergeser secara aseismik atau sepenuhnya terkunci. Penelitian baru dari Koulali dkk. (2016) mengusulkan bahwa Sesar Kendeng merupakan kelanjutan atau kemenerusan dari Sesar Wetar dan Flores yang merentang hingga utara Bali dan masuk ke dataran Jawa dan perlu dipertimbangkan dalam penilaian bahaya gempabumi di daerah sekitarnya termasuk Kota Surabaya.

III. TEORI DASAR

A. Gelombang Seismik

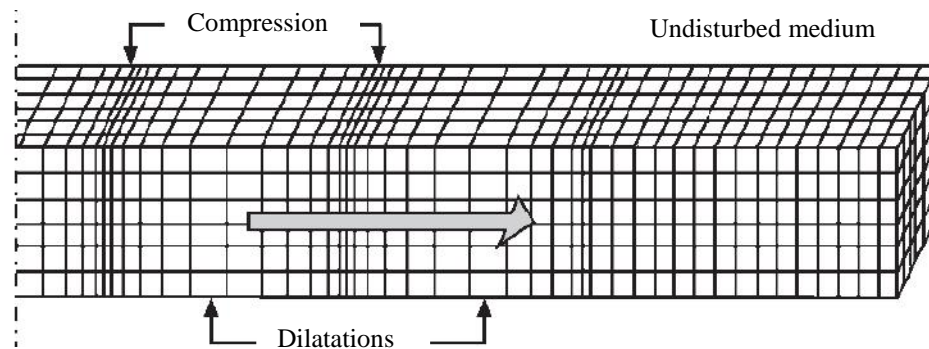
Gelombang seismik merupakan gelombang yang menjalar di dalam bumi disebabkan adanya deformasi struktur, tekanan ataupun tarikan karena sifat keelastisan kerak bumi. Gelombang ini membawa energi kemudian menjalarkan ke segala arah di seluruh bagian bumi dan mampu dicatat oleh seismograf (Siswamidjoyo, 1997).

Gelombang seismik ada yang merambat melalui interior bumi disebut sebagai *body wave*, dan ada juga yang merambat melalui permukaan bumi yang disebut *surface wave*. Sumber gelombang seismik ada dua yaitu alami dan buatan. Sumber alami terjadi karena adanya gempa tektonik, gempa vulkanik dan runtuh atau longsor, sedangkan buatan menggunakan gangguan yang disengaja (Susilawati, 2008).

1. Gelombang badan (*body wave*)

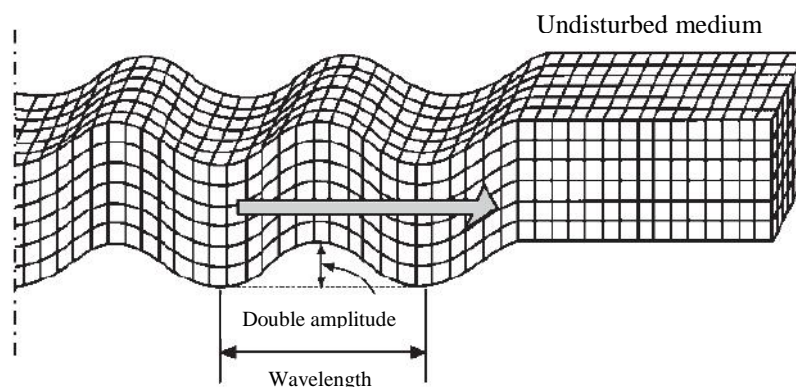
Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya keseluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjarannya gelombang dapat dibedakan menjadi gelombang P dan gelombang S.

Gelombang P seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4** disebut gelombang kompresi/gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain, dapat merambat melalui medium padat dan cair, seperti lapisan batuan, air atau lapisan cair bumi.



Gambar 4. Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008).

Gelombang S seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5** disebut juga gelombang *shear* atau gelombang transversal. Gelombang ini memiliki cepat rambat yang lebih lambat bila dibandingkan dengan gelombang P dan hanya dapat merambat pada medium padat saja. Gelombang S tegak lurus terhadap arah rambatnya. Perambatan dari gelombang S ini disertai juga dengan gerakan berputar sehingga dapat lebih membahayakan di bandingkan gelombang P.

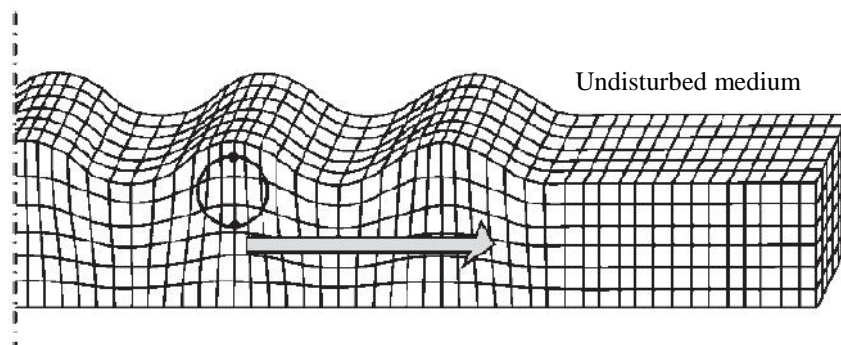


Gambar 5. Gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008).

2. Gelombang permukaan

Gelombang permukaan merupakan salah satu gelombang seismik selain gelombang badan. Gelombang ini ada pada batas permukaan medium. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar, yang menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastik (Susilawati, 2008). Jenis dari gelombang permukaan ada dua yaitu gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love*.

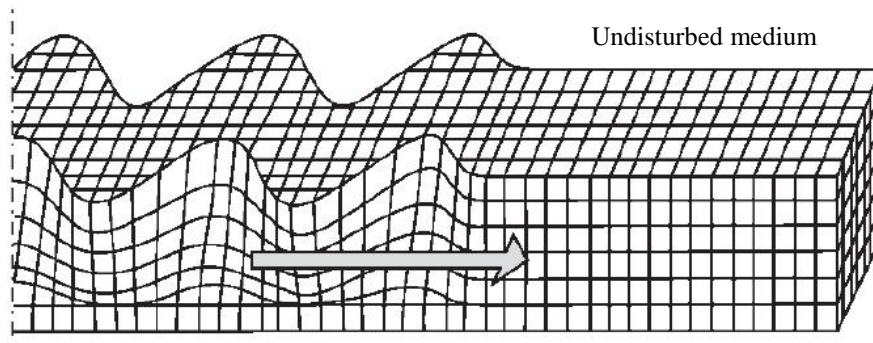
Gelombang *Rayleigh* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6** merupakan gelombang permukaan yang gerakan partikel medianya merupakan kombinasi gerakan partikel yang disebabkan oleh gelombang P dan S. Orbit gerakan partikelnya merupakan gerakan eliptik dengan sumbu mayor ellips tegak lurus dengan permukaan dan arah penjarannya (Telford dkk, 1976).



Gambar 6. Gelombang *Rayleigh* (Elnashai dan Sarno, 2008).

Gelombang *Love* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 7** merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal yang

merupakan gelombang S horizontal yang penjalarannya paralel dengan permukaannya (Gadallah dan Fisher, 2009).



Gambar 7. Gelombang *Love* (Elnashai dan Sarno, 2008).

B. Mikrotremor

Struktur bawah permukaan tanah dapat diketahui dengan survei pengukuran mikrotremor. Mikrotremor adalah getaran tanah dengan perpindahan amplitudo sekitar 0,1 - 1 mikron, dan kecepatan amplitudo berkisar 0,001 - 0,01 cm/s, yang dapat dideteksi oleh seismograf dengan pembesaran tinggi (Mirzaoglu dan Dykmen, 2003). Selain itu, mikrotremor dikenal sebagai getaran alami (*ambient vibration*) berasal dari dua sumber utama yaitu alam dan manusia. Pada frekuensi rendah yaitu dibawah 1 Hz, sumber mikrotremor adalah alam. Gelombang laut menimbulkan *ambient vibration* dengan frekuensi sekitar 0,2 Hz sedangkan frekuensi sekitar 0,5 Hz dihasilkan oleh interaksi antara gelombang laut dan pantai. Pada frekuensi di bawah 0,1 Hz, mikrotremor diasosiasikan dengan aktivitas di atmosfer. Frekuensi tinggi, lebih dari 1 Hz bisa ditimbulkan oleh angin dan aliran air. Pada frekuensi tinggi yaitu lebih dari 1 Hz, sumber utamanya adalah aktifitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, mesin dan lainnya (Takai dan Tanaka, 1961).

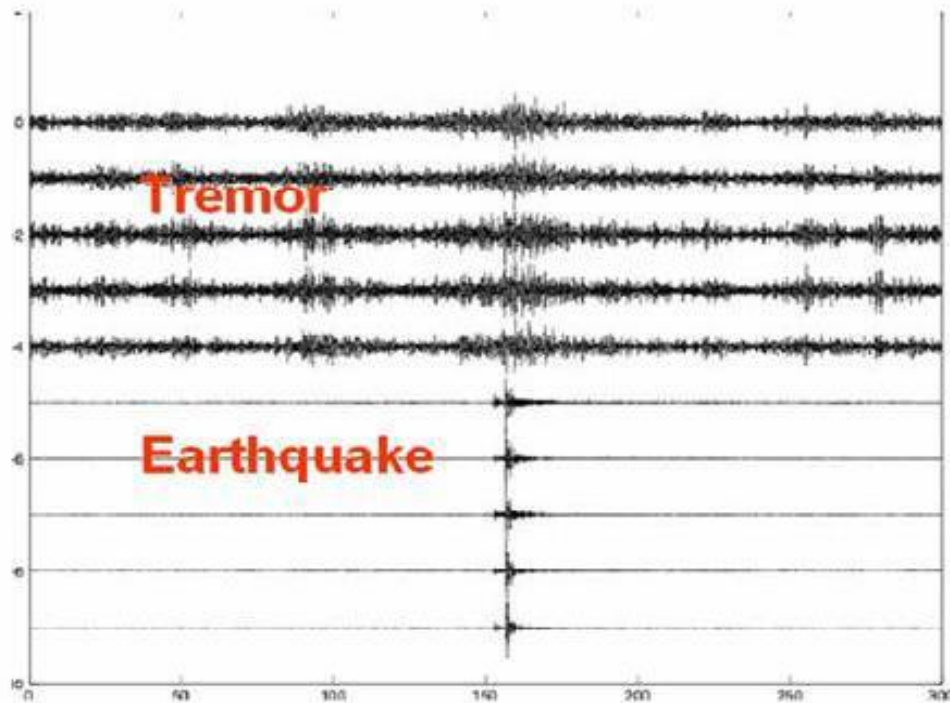
Survei mikrotremor dapat dilakukan dengan dua cara, pendekatan pertama adalah perekaman dilakukan secara simultan pada dua atau lebih lokasi. Salah satu tempat perekaman harus dilakukan di daerah batuan keras (*hard rock*) sehingga tidak menunjukkan adanya penguatan frekuensi akibat gerakan tanah. Rasio spektrum yang didapatkan pada tempat lain akan dibandingkan dengan yang terekam pada *hard rock* sehingga akan didapatkan respon *site* terhadap mikrotremor (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. Nakamura mengasumsikan bahwa H/V merefleksikan tingkat amplifikasi dari gerakan tanah. Dengan metode ini pengukuran tidak perlu dilakukan dengan syarat adanya batuan keras (*hard rock*).

Secara umum perekaman mikrotremor memerlukan seismometer yang memiliki tiga komponen yang merekam komponen EW (*east-west*), NS (*north-south*), dan komponen vertikal (*up-down*). 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).

Kajian mikrotremor telah banyak digunakan untuk memperkirakan kerusakan yang timbul akibat bencana gempa bumi. Kajian ini sangat tepat dan baik dalam memperkirakan tingkat resiko yang disebabkan oleh aktivitas seismik dengan kondisi geologi setempat (Nakamura, 2008).

Gempa bumi dan tremor dapat dibedakan dengan mudah bila dilihat pada rekaman seismograf. Getaran tremor berupa getaran yang terus menerus, tidak dapat ditentukan dimana awal getarannya secara jelas sedangkan getaran gempa bumi berupa getaran yang besar dan secara tiba-tiba, seperti pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Perbedaan sinyal tremor dan gempa bumi
(Ibrahim dan Subardjo, 2004)

C. Mikrozonasi

Pengukuran mikrotremor telah menjadi suatu metoda populer untuk menentukan lapisan tanah yang sifatnya dinamis bagi tempat dengan seismisitas rendah dan secara luas digunakan untuk mikrozonasi. Mikrozonasi mikrotremor adalah suatu proses pembagian area berdasarkan parameter tertentu memiliki karakteristik yang dipertimbangkan antara lain adalah getaran tanah, faktor penguatan (amplifikasi) dan periode dominan. Secara umum, mikrozonasi mikrotremor dapat dikatakan sebagai proses untuk memperkirakan respon dan tingkah laku dari lapisan tanah atau sedimen terhadap adanya gempabumi. Dalam mikrozonasi mikrotremor terdapat beberapa analisis yang biasa digunakan, antara lain :

1. Analisis *horizontal to vertical spectrum ratio* (HVSR)

Metode HVSR merupakan metode membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Nogoshi dan Iragashi (1971) yang menyatakan adanya hubungan antara perbandingan komponen horizontal dan vertikal terhadap kurva eliptisitas pada gelombang Rayleigh. 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.

Mikrotremor terdiri dari ragam dasar gelombang *Rayleigh*, diduga bahwa periode puncak perbandingan H/V mikrotremor memberikan dasar dari periode gelombang S. Perbandingan H/V pada mikrotremor adalah perbandingan kedua

komponen yang secara teoritis menghasilkan suatu nilai. Mereka menyimpulkan bahwa periode dominan suatu lokasi secara dasar dapat diperkirakan dari periode puncak perbandingan H/V mikrotremor. Nakamura juga menunjukkan bahwa rasio antara komponen horizontal dan vertikal rekaman dari ambient noise terkait erat dengan frekuensi fundamental tanah dan dari sini diperoleh faktor amplifikasi. Teknik ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi frekuensi dasar lapisan lapuk.

Pada tahun 1989, Nakamura mendapatkan hasil pengamatan menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berada pada batuan keras, nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap vertikal mendekati nilai 1. Sedangkan pada stasiun yang berada pada batuan lunak, rasio nilai maksimumnya mengalami perbesaran (amplifikasi), yaitu lebih besar dari 1. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pada batuan keras gerak partikel pada komponen horizontal dan vertikal mendekati nilai yang sama, sedangkan pada batuan lunak komponen horizontalnya mengalami penguatan.

Sumber-sumber gelombang non-alamiah di permukaan cenderung memicu gelombang *Rayleigh* yang merambat pada lapisan *soil*/sedimen lunak. Gelombang *Rayleigh* tersebut mempengaruhi baik komponen horizontal maupun vertikal di permukaan, tetapi hampir tidak mempengaruhi komponen gelombang pada batuan dasar, sehingga efek penguatan gelombang pada komponen horizontal dapat dinyatakan oleh Persamaan 1 berikut:

$$SE(w) = HS(w) / HB(w) \quad (1)$$

$SE(w)$ = spektrum penguatan horizontal

$HS(w)$ = spektrum mikrotremor komponen horizontal di permukaan

$HB(w)$ = spektrum mikrotremor komponen horizontal di batuan dasar.

Penguatan gelombang pada komponen vertikal dapat dinyatakan sebagai rasio spektrum komponen vertikal di permukaan dan di batuan dasar (Persamaan 2) yaitu:

$$AS(w) = VS(w) / VB(w) \quad (2)$$

$AS(w)$ = spektrum penguatan vertikal

$VS(w)$ = spektrum mikrotremor komponen vertikal di permukaan

$VB(w)$ = spektrum mikrotremor komponen vertikal di batuan dasar.

Untuk mereduksi efek sumber, maka spektrum penguatan horizontal $SE(w)$ dilakukan normalisasi terhadap spektrum sumber $AS(w)$ (Persamaan 1 dan 2) yaitu:

$$SM(w) = SE(w) / AS(w) = [HS(w) / VS(w)] / [HB(w) / VB(w)] \quad (3)$$

Dimana, $SM(w)$ adalah fungsi transfer untuk lapisan *soil*.

Jika, $HB(w) / VB(w) = 1$

Maka,

$$SM(w) = HS(w) / VS(w) \quad (4)$$

Dalam pengamatan di lapangan ada dua komponen horizontal yang diukur yaitu komponen utara–selatan dan komponen barat–timur, sehingga Persamaan 4 berubah menjadi:

$$SM(w) = [(HSN(w)^2 + HWE(w)^2)^{1/2}] / VS \quad (5)$$

$HSN(w)$ adalah spektrum mikrotremor komponen horizontal utara-selatan. $HWE(w)$ adalah spektrum mikrotremor komponen barat–timur.

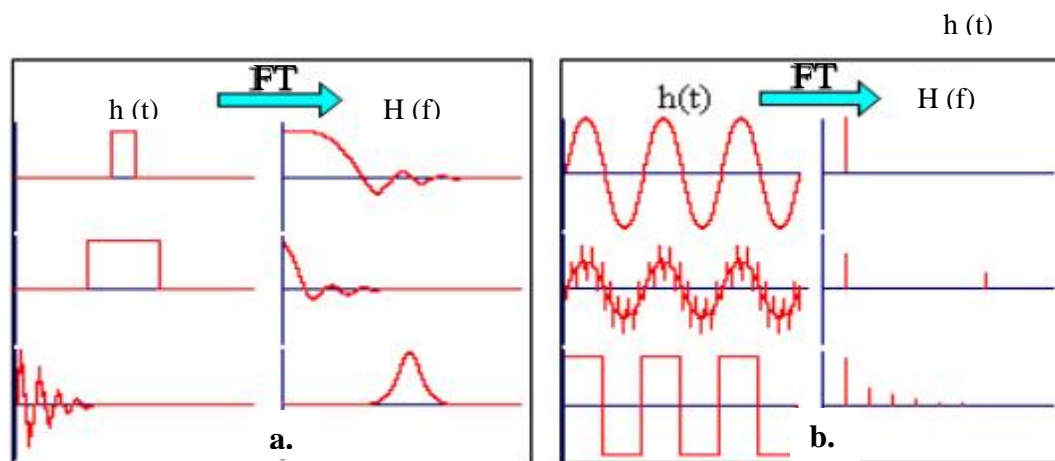
2. Fast Fourier Transform (FFT)

Analisis fourier adalah metode untuk mendekomposisi sebuah gelombang seismik menjadi beberapa gelombang harmonik sinusoidal dengan frekuensi berbeda-beda. Jadi, sebuah gelombang seismik dapat dihasilkan dengan menjumlahkan beberapa gelombang sinusoidal frekuensi tunggal. Sedangkan sejumlah gelombang sinusoidal tersebut dikenal dengan Deret Fourier (Riyanto dkk, 2009).

Transformasi fourier adalah metoda untuk mengubah gelombang seismik dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. Transformasi Fourier pada **Gambar 9** dapat dijelaskan dengan Persamaan 6:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dx dt \quad (6)$$

Dengan $x(t)$ adalah sinyal dalam domain waktu, $e^{-j2\pi ft}$ adalah Fungsi Kernel, $X(f)$ adalah fungsi dalam domain frekuensi, serta f adalah frekuensi. **Persamaan 6** digunakan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke dalam domain frekuensi.



Gambar 9. Program FFT, a. Konversi domain waktu ke domain frekuensi, b. Konversi domain frekuensi ke domain waktu (Thomson, 1980).

3. Frekuensi dominan

Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut sehingga nilai frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut. Nilai frekuensi dominan berkaitan dengan kedalaman bidang pantul bagi gelombang di bawah permukaan, dimana bidang pantul tersebut merupakan batas antara sedimen lepas dengan batuan keras, sehingga semakin kecil frekuensi yang terbentuk dari pemantulan gelombang tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal sedimennya atau semakin dalam bidang pantul gelombang tersebut.

Lachet dan Brad (1994) melakukan uji simulasi dengan menggunakan 6 model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan sedimen. Hasil simulasi menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi kondisi geologi.

Dari nilai frekuensi dominan yang terukur dipermukaan, dapat diketahui karakteristik batuan di bawahnya, hal tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2** tentang klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor di bawah ini,

Tabel 2. Tabel Kalisifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor Oleh Kanai (Arifin dkk, 2014)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis I	6,7 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hardy Sandy, gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
	Jenis II	4 – 6,7	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll	Ketebalan sedimen 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, sandy hard clay, loam</i> , dll	Kategori sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 - 30 m
Tipe II	Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpul, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal
Tipe I				

4. Periode dominan

Nilai periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang mikrotremor untuk merambat melewati lapisan endapan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya ke permukaan. Nilai periode dominan juga mengindikasikan karakter lapisan batuan yang ada di suatu wilayah (**Tabel 3**).

Tabel 3. Klasifikasi Tanah Kanai – Omote – Nakajima (Arifin dkk, 2014)

Klasifikasi Tanah		Periode (T) second	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote-Nakajima			
Jenis I	Jenis A	0,05 - 0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hardy sandy, gravel</i> , dll	Keras
Jenis II		0,15 - 0,25	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hardy clay, loam</i> . Dll.	Sedang
Jenis III	Jenis B	0,25 - 0,40	batuan alluvial, hampir sama dengan jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi <i>bluff</i>	Lunak
Jenis IV	Jenis C	Lebih dari 0,40	batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, dll. Dengan kedalaman 30m atau lebih	Sangat Lunak

Nilai periode dominan didapatkan berdasarkan Persamaan 7:

$$T_0 = 1 / f_0 \quad (7)$$

Dimana, T_0 adalah periode dominan, f_0 adalah frekuensi dominan dan ketebalan lapisan sedimen dapat dihitung berdasarkan nilai frekuensi dominan tersebut.

5. Inversi Kurva HVSR

Kurva HVSR diinversikan dengan menggunakan software model HVSR yang dikembangkan oleh Herak (2008), dengan pendekatan kurva HVSR berbasis gelombang badan untuk mendapatkan parameter kecepatan gelombang S (V_s) di titik pengukuran Mikrotremor. Sebagaimana dipaparkan oleh Herak (2008) dalam pengembangan *software* model HVSRnya bahwa kurva HVSR dipengaruhi oleh 6 parameter, yaitu V_s , V_p , Q_s , Q_p , h , dan yang menunjukkan ketidakunikan yang sangat tinggi.

Ellipticity gelombang *Rayleigh*, merupakan rasio antara horizontal dan gerakan partikel vertikal, sangat tergantung pada struktur tanah lokal (*local soil*) dan membawa informasi tentang lapisan sedimen lengkap.

Scherbaum dkk., (2003) menunjukkan bahwa inversi kurva dispersi gelombang *Rayleigh* dapat ditingkatkan termasuk puncak H/V dan melalui frekuensi dalam proses inversi. Arai dan Tokimatsu (2004) menunjukkan kemungkinan membalikan kurva H/V untuk mendapatkan *profile* kecepatan gelombang geser dari ketebalan lapisan dimana kecepatan mutlak diketahui dan diwakili. Kurva dispersi gelombang *Rayleigh* bersama kurva H/V dibalikkan, dengan asumsi mutlak yang sama pada komponen vertikal dan horisontal. Inversi kurva dispersi membatasi *profile* kecepatan sedimen, sedangkan masuknya kurva H/V menetapkan batasan tambahan pada kedalaman batuan dasar dan kecepatan karena korelasi antara kontras amplitudo H/V dan impedansi.

Selanjutnya kurva HVSR hasil analisa HVSR diinversikan untuk mendapatkan nilai V_s yang kemudian digunakan untuk mengestimasi nilai V_{s30} yang ditunjukkan pada Persamaan 8 dan 9:

$$V = V_0 \left((z + 1) - (z_0 + 1) + 1 \right) \quad (8)$$

Dimana ;

z_0 = ketebalan di lapisan atas

V_0 = kecepatan di lapisan atas

z = ketebalan dilapisan dalam

= range antar 0 dan 1

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}} \quad (9)$$

di mana h_i dan V_i secara berturut-turut menunjukkan ketebalan (dalam meter) dan kecepatan gelombang geser (*shear strain* sekitar 10^{-5} atau kurang) setiap lapisan ke- i , N merupakan jumlah lapisan di atas kedalaman 30 m. Pada akhirnya data V_{s30} digunakan untuk persiapan dari peta distribusi kecepatan gelombang geser penelitian di atas 30 m dari sedimen pada suatu daerah.

Dari hasil inversi kurva HVSR yang dilakukan telah didapatkan persebaran nilai kecepatan gelombang S (V_s) bawah permukaan pada masing-masing titik akuisisi. Dengan berdasarkan kurva HVSR berbasis gelombang badan dilakukan inversi dengan menggunakan software Model HVSR yang dikembangkan oleh Herak (2008) sehingga didapatkan nilai sebaran V_s di wilayah pengukuran (Mufida dkk, 2013).

6. V_{s30}

V_{s30} merupakan kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 m dari permukaan. Menurut Roser dan Gosar (2010) nilai V_{s30} ini dapat dipergunakan dalam penentuan standar bangunan tahan gempa. Nilai V_{s30} digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempabumi akibat efek lokal serta digunakan untuk keperluan dalam perancangan bangunan tahan gempa. V_{s30} merupakan data yang penting dan paling banyak digunakan dalam teknik geofisika untuk menentukan karakteristik struktur bawah permukaan hingga kedalaman 30 meter.

Zhao (2012) merumuskan hubungan antara frekuensi dominan dengan V_{s30} yakni dengan Persamaan 10:

$$T_{Vs30} = 120/V_{s30} \quad (10)$$

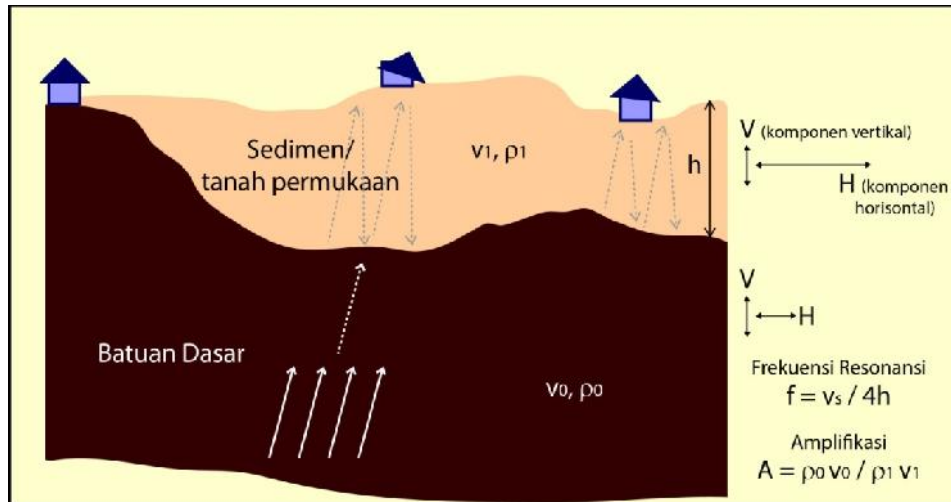
T_{Vs30} = Periode (s),

V_{s30} = Kecepatan gelombang sekunder pada 30m (m/s).

7. Amplifikasi

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

Konsep dasar fenomena amplifikasi gelombang seismik (**Gambar 10**) adalah keberadaan batuan sedimen/tanah permukaan (*soft soil*) di atas batuan dasar (*basement*) dengan perbedaan densitas () dan cepat rambat gelombang S (V_s) yang mencolok di antara keduanya. Frekuensi resonansi banyak ditentukan oleh fisik dari lapisan sedimen yaitu ketebalan h dan kecepatan gelombang S (V_s).



Gambar 10. Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik dan frekuensi resonansi di tanah permukaan (Nakamura, 1989).

Amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikalnya (H/V). Nilai amplifikasi bisa bertambah, jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan atau pesesaran) yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut (Marjiyono, 2010).

Berdasarkan pengertian tersebut, maka amplifikasi dapat dituliskan pada Persamaan 11 sebagai suatu fungsi perbandingan nilai kontras impedansi, yaitu:

$$A_0 = \left\{ \frac{\rho_0 v_0}{\rho_1 v_1} \right\} \quad (11)$$

ρ_0 = densitas batuan dasar (gr/ml),

ρ_1 = rapat massa dari batuan lunak (gr/ml),

v_0 = kec. gel. di batuan dasar (m/dt),

v_1 = kec. gel. di batuan lunak (m/dt).

Adapun besaran amplifikasi menurut Wakamatsu (2006) dalam membuat *hazard zoning map* untuk wilayah Jepang. Amplifikasi dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Log Amp} = 2,367 - 0,82 \log V_{s30} \pm 0,166 \quad (12)$$

Pusat survey geologi dalam hal ini membagi zona amplifikasi tanah yang di tunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Pembagian zona amplifikasi tanah (Marjiyono, 2010)

No	Amplifikasi tanah	Warna dalam Pemetaan	Keterangan resiko
1	0-3	Biru	Rendah
2	3-6	Hijau	Sedang
3	6-9	Kuning	Tinggi
4	Lebih dari 9	Merah	Sangat tinggi

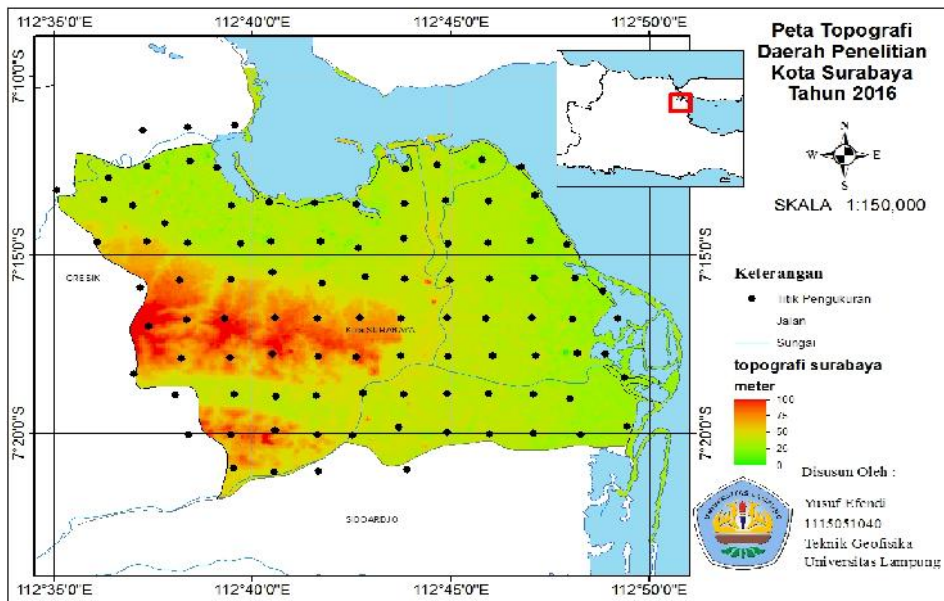
IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada tanggal 17 Juli - 16 September 2016 di Sub Bidang Mitigasi Gempabumi dan Tsunami, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Bandung, Jawa Barat.

B. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian di Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur yang terletak pada $7^{\circ}21'$ - $7^{\circ}10'$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}35'$ - $112^{\circ}50'$ Bujur Timur, seperti yang terlihat pada **Gambar 11** dengan jumlah 97 titik pengukuran data mikrotremor.

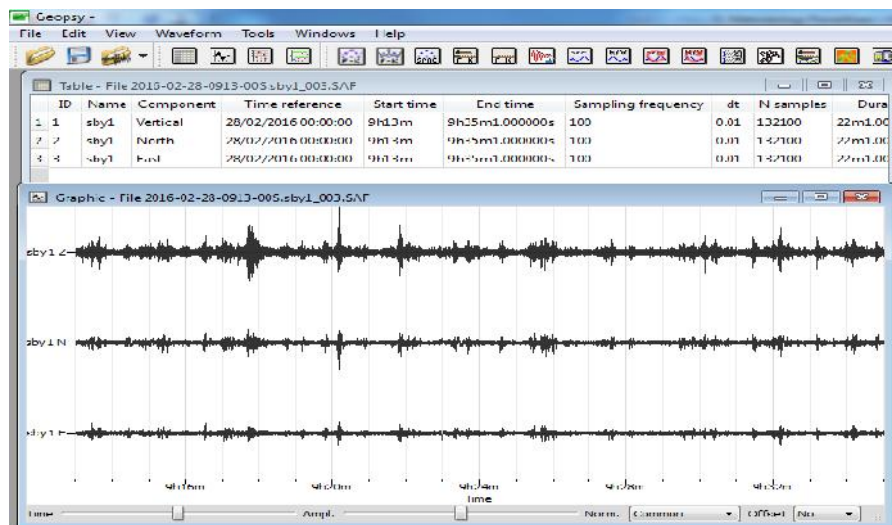


Gambar 11. Peta topografi Kota Surabaya.

C. Prosedur Pengolahan Data

1. *Import Data*

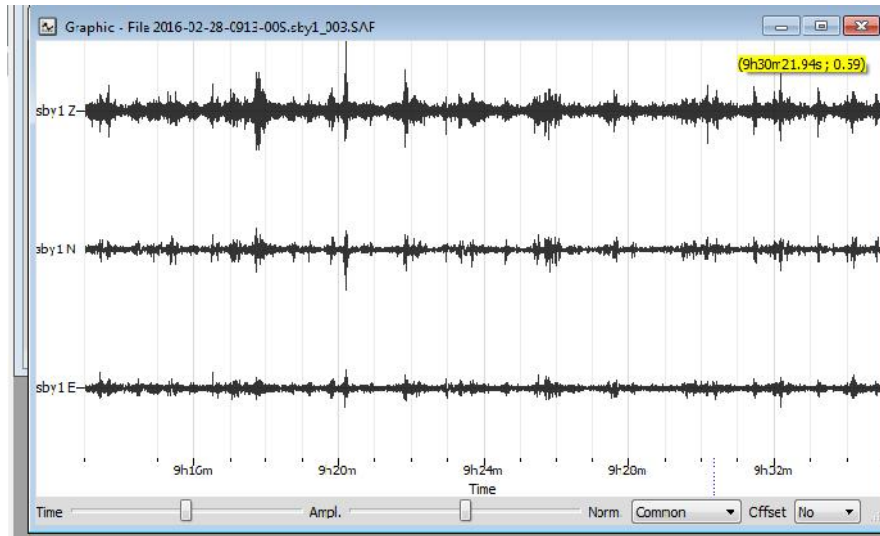
Langkah awal yang dilakukan untuk mengolah data mikrotremor dengan *software Geopsy* yaitu *import data*. Pertama kita pilih *menu file - import signals - file*, lalu pilih file yang akan diimport, maka akan muncul tabel dan grafik seperti **Gambar 12**.



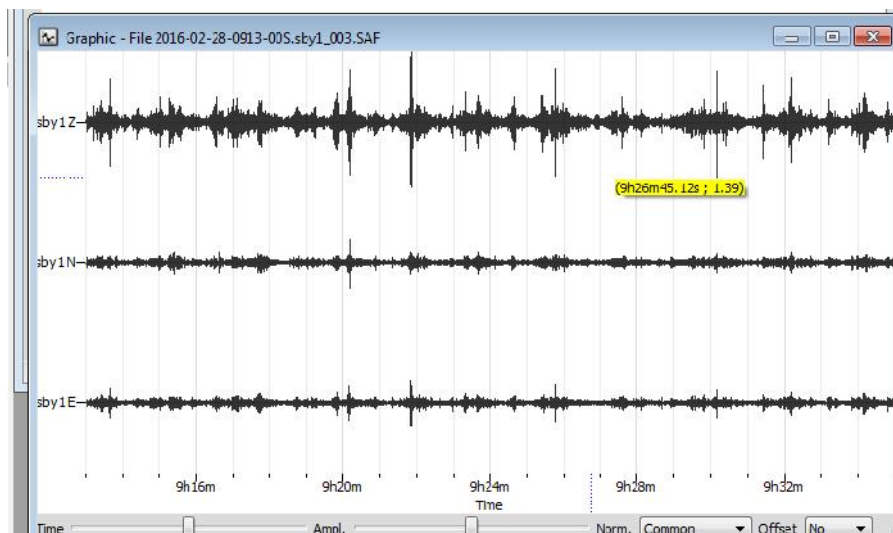
Gambar 12. Tabel dan grafik hasil import data

2. *Filtering*

Pada tahapan ini, gelombang yang telah diimport dilakukan *filtering* dengan berbagai pilihan *filter*. Langkahnya yaitu dengan memilih *menu waveform - filter*, pilih jenis *filter*, pada penelitian ini menggunakan *bandpass filter* 0,5 – 10 Hz, maka akan muncul grafik yang belum dan telah dilakukan filter seperti **Gambar 13** dan **14**.



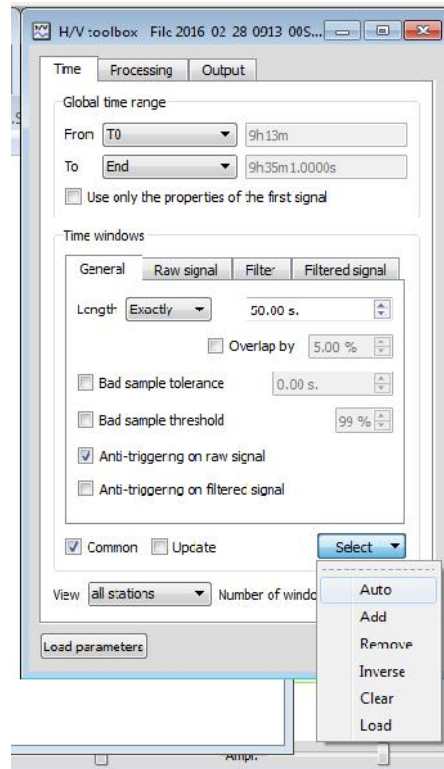
Gambar 13. Grafik data sebelum dilakukan *filtering*



Gambar 14. Grafik data sesudah dilakukan *filtering*

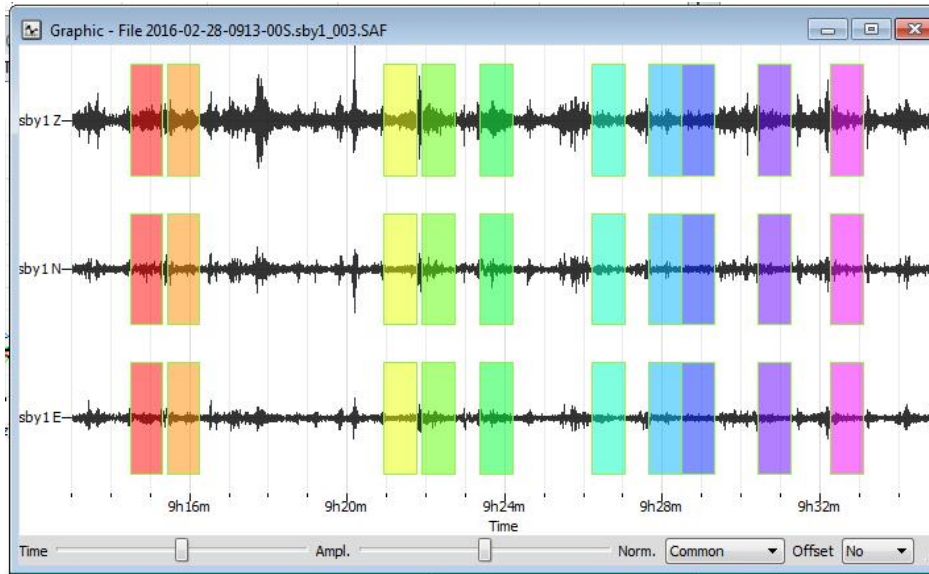
3. Menghitung rasio H/V

Langkahnya yaitu dengan memilih *menu tools – H/V*. Maka muncul kotak dialog seperti **Gambar 15**:

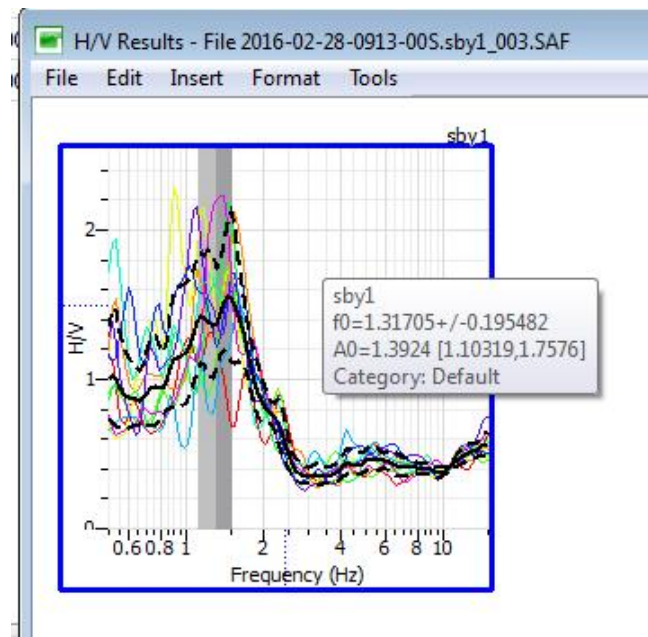


Gambar 15. Kotak Dialog H/V Tools

Pada kotak dialog *H/V Tools* diatas, pada bagian *time – time windows - general* dengan panjang *time window* yang digunakan 50s. Selanjutnya *time – time windows – raw signal*, atur nilai *STA* sebesar 1s, *LTA* 30s, min *STA/LTA* 0,20s, dan max *STA/LTA* 2,5s. Pada bagian *processing* dapat dipilih jenis *smoothing type*. Setelah itu, pilih pilih *select*, pilih *auto* kemudian klik *start*, maka muncul *time windows* dan grafik H/V sebagai **Gambar 16** dan **17**:



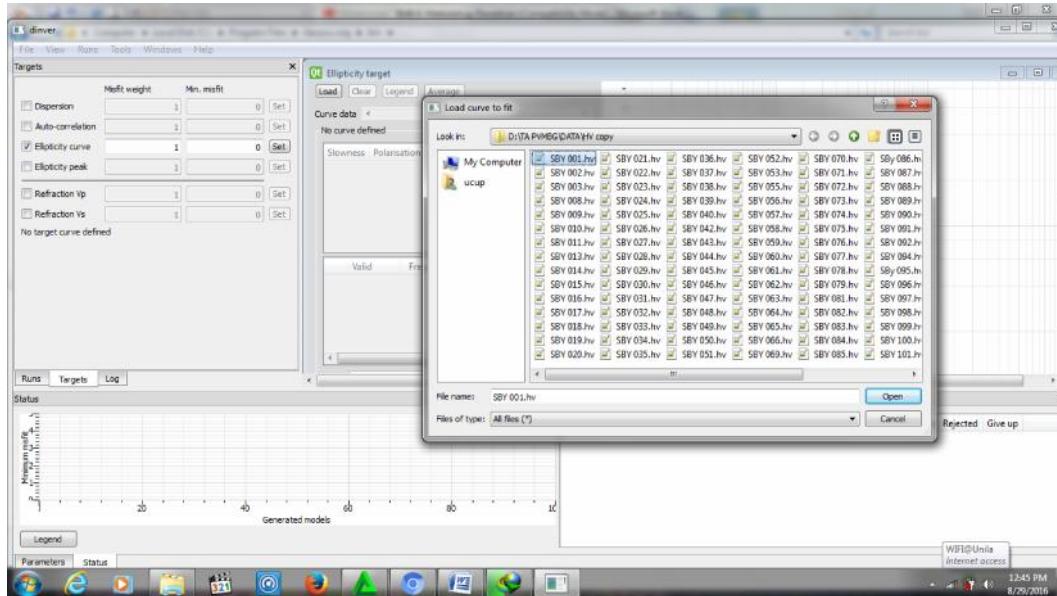
Gambar 16. Panjang *time window*



Gambar 17. Grafik H/V

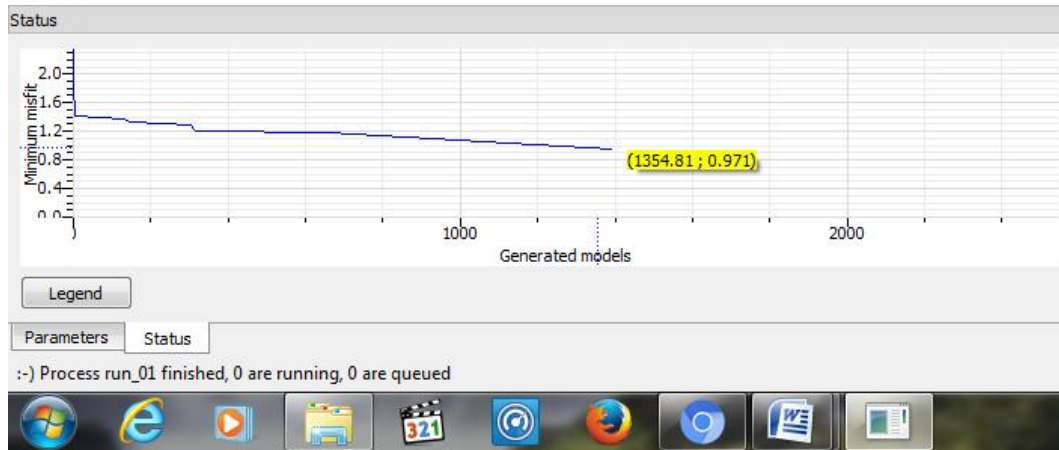
4. Menghitung nilai depth, Vs, dan Vp

Langkahnya yaitu dengan memilih *menu targets – ellipticity curve – set – load – input data*. Maka muncul kotak dialog seperti **Gambar 18**:

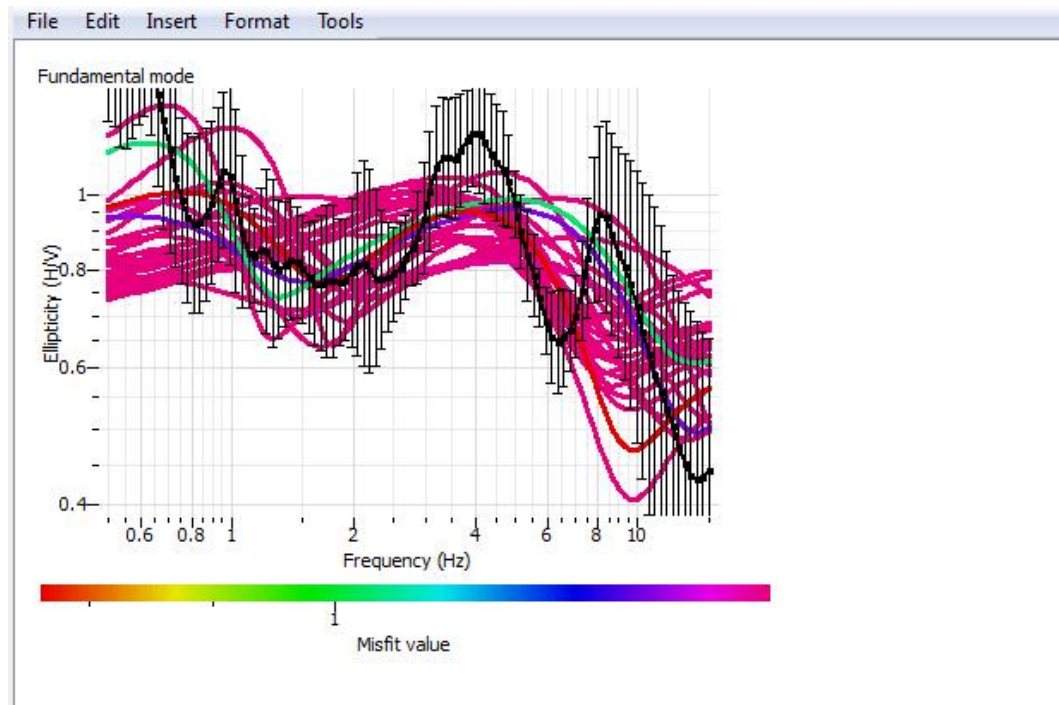


Gambar 18. Input data

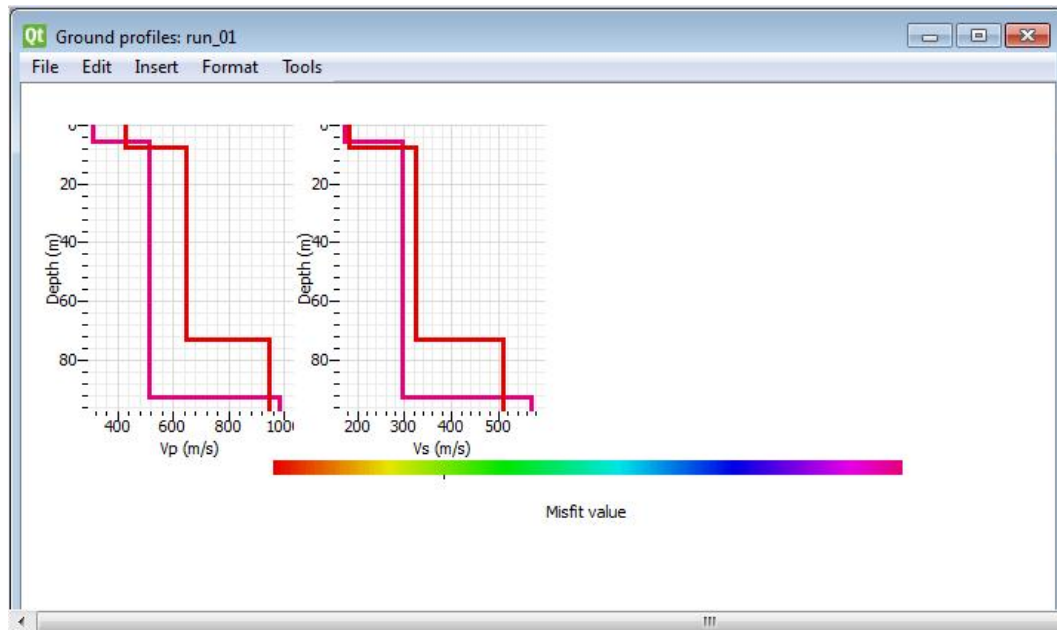
Langkah selanjutnya yaitu kita akan memasukkan nilai parameter-parameter untuk melakukan inversi seperti *compression wave velocity* (m/s) (parameters) [$V_p = 200 - 5000$ m/s], *poisson's ratio* (conditions) [$Nu = 0,2 - 0,5$], *compression wave velocity* (m/s) (parameters) [$V_s = 150 - 3500$ m/s], *density* (kg/m^3) (parameters) [$\rho = 2000\text{kg/m}^3$]. Kemudian kita run data tersebut, maka akan muncul grafik minimum misfit, grafik *ellipticity* (H/V), dan nilai *depth*, nilai Vs dan Vp seperti **Gambar 19**, **20**, dan **21**.



Gambar 19. Grafik minimum misfit



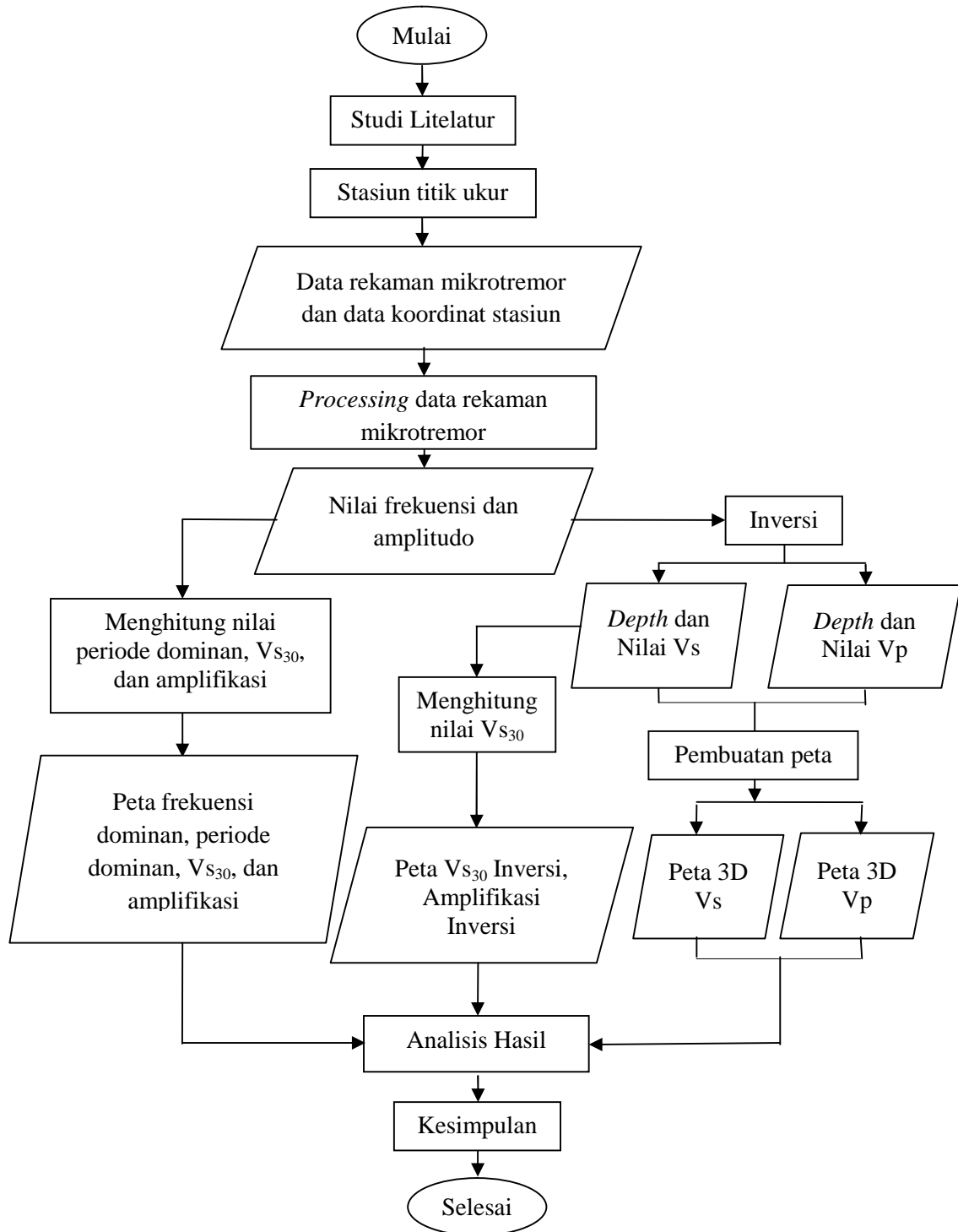
Gambar 20. Grafik Ellipticity (H/V)



Gambar 21. Nilai *depth*, nilai Vs dan Vp

D. Diagram Alir

Diagram alir dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada **Gambar 22** :



Gambar 22. Diagram alir penelitian

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Peta persebaran nilai frekuensi dominan (f_0) berdasarkan tabel kalisifikasi tanah oleh Kanai Kota Surabaya didominasi oleh frekuensi ($f_0 < 0,25$ Hz) yang diduga ketebalan sedimen dekat permukaan lebih dari 30 meter.
2. Peta persebaran nilai periode dominan (T_0) berdasarkan tabel kalisifikasi tanah oleh Omote-Nakajima pada Kota Surabaya didominasi oleh periode ($T_0 > 0,4$ s) yang diduga karakter jenis batuan sedimennya sangat lunak.
3. Peta persebaran nilai V_{S30} Kota Surabaya didominasi oleh nilai V_{S30} ($0 < V_{S30} < 300$ m/s) sama dengan persebaran nilai frekuensi dominan ($f_0 < 0,25$ Hz),
4. Peta amplifikasi Kota Surabaya didominasi oleh nilai amplifikasi ($3 < A_0 < 6$ kali) dimana daerah tersebut merupakan daerah dengan katagori resiko sedang. Seharusnya Kota Surabaya memiliki resiko yang tinggi apabila melihat nilai V_{S30} , dan dapat disimpulkan bahwa nilai V_{S30} akan mempengaruhi amplifikasi > 6 kali pembesaran gelombang apabila nilai $V_{S30} < 70$ m/s.

5. Peta 3D V_s memiliki kecepatan dari 0 – 2800 m/s dan peta 3D V_p memiliki kecepatan dari 0 – 4750 m/s sehingga diduga Kota Surabaya memiliki ketebalan sedimen yang tebal.
6. Berdasarkan analisis perbandingan antara V_{S30} dan V_{S30} Inversi terdapat perbedaan nilai di beberapa titik yang dimungkinkan karena faktor nilai perhitungan HVSR menggunakan ketebalan sedimen yang homogen sedangkan inversi HVSR menggunakan ketebalan yang berbeda-beda disetiap titiknya.
7. Perbandingan antara amplifikasi (A_0) dengan amplifikasi (A_0) inversi berbeda di beberapa titik pengukuran, sehingga saat melakukan perhitungan menggunakan persamaan $Log Amp = 2,367 - 0,82 \log V_{S30} \pm 0,166$ nilainya juga berbeda.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian tersebut adalah:

1. Diperlukan data sampel *coring* untuk memvalidasi ketebalan sedimen hasil inversi HVSR
2. Diperlukan penelitian lanjutan menggunakan metode MASW (*Multi Chanel Surface Wave Method*) atau Seismik Refraksi untuk membuktikan ketebalan sedimen yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arai, H., dan Tokimatsu, K. 2004. *S-Wave Velocity Profiling by Joint Inversion of Microtremor H/V Spectrum*. Bulletin of the Seismological Society of America, 94(1), 54-63.
- Arifin, S.S., Mulyatno, B.S., Marjiyono, dan Setyanegara, R. 2014. *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*. Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol 2/No.1.
- Badan Lingkungan Hidup (BLH). 2012. *Profil Keanekaragaman Hayati Kota Surabaya*. Surabaya : BLH.
- Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). 2016. *Indonesia Rawan Gempabumi dan Tsunami*. <https://inatews.bmkg.go.id>. Diakses pada tanggal 1 September 2016.
- Biro Pusat Statistik Kota Surabaya (BPS Surabaya). 2015. *Surabaya Dalam Angka, 2015*. BPS Surabaya.
- De Genevraye, P., dan Samuel, L. 1972. *Geology of Kendeng Zone (Central and East Java)*. Indonesian Petroleum Association.
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Wiley. Hongkong.
- Gadallah, R.M. dan Fisher, R. 2009. *Exploration Geophysics*. Springer. Berlin.
- Herak, M. 2008. "Model HVSR: a Matlab Tool to Model Horizontal – to Vertical Spectral Ratio of Ambient Noise". Computers and Geosciences, vol.34, hal. 1514–1526.
- Ibrahim G., dan Subardjo. 2004. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta:Badan Meteorologi dan Geofisika
- Konno, K., dan Omachi, T. 1998. *Ground Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio Between Horizontal and Vertical Components of Microtremor*. Bull. Seism. Soc. Am., Vol.88, No.1, 228-241.
- Koulali, A., Susilo, S., Mc Clusky, S., Meilano, I., Cummins, P., Tregoning, P., Lister, G., Efendi, J., dan Syafi’I, M.A. 2016. *Crustal Strain Partitioning and*

The Associated Earthquake Hazard in The Eastern Sunda-Banda Arc, Geophys. Res. Lett., 43, doi:10.1002/2016GL067941.

Lachet, C. dan Brad, P.Y. 1994. *Numerical and Theoretical Investigations on The Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique*. J. Phys. Earth, 42, 377-397.

Marjiyono. 2010. *Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung*. Bandung: Thesis ITB.

Mirzaoglu, M. dan Dýkmen, U. 2003. *Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure*. Journal Of The Balkan Geophysical Society, Vol. 6, No. 3, August, 2003, p. 143 – 156, 13 figs., 1 tab.

Mufida, A., Santosa, B.J., dan Warnana, D.D. 2013. *Inversi Mikrotremor Spektrum H/V untuk Profilling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Lapisan Bawah Permukaan dan Mikrozonasi Wilayah Surabaya*. Jurusan Fisika, Fakultas IPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, (2013) 1-8

Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation Of Subsurface Using Microtremor on The Ground Surface*. Tokyo: Quatrely Reports of the Railway Technical Research Institute, 30, 25-33.

Nakamura, Y. 2008. *On the H/V Spectrum*. Beijing: The 14th World Conference on Earthquake Engineering.

NEHRP. 2000. *Site Classifications Taken from Table 1615 1.1 Site Class Definitions published in 2000 International Building code*. International Code Council, Inc. on page 350.

Nogoshi M. dan Igarashi T. 1971. *On The Amplitude Characteristics of Microtremor (Part 2)*. J Seismol Soc Jpn, 24: 26–40

Riyanto, Prinalli E.P., dan Hendi, I. 2009. *Pengembangan Aplikasi Sistem Informasi Geografis Berbasis Desktop dan Web*. Yogyakarta : Gava Media.

Roser, J. dan Gosar, A. 2010. *Determination of Vs30 for Seismic Ground Classification in The Ljubljana Area, Slovenia*. University of Ljubljana. Slovenia.

Scherbaum F., Hinzen K.-G. dan Ohrnberger M. 2003. *Determination of Shallow Shear Wave Velocity Profiles in The Cologne/Germany Area Using Ambient Vibrations*. Geophys. J. Int., 152, pp 597-612.

Siswowidjoyo, S., Sudarsono F.U., dan Wirakusumah, A.D. 1997. *The Threat of Hazards in The Semeru Volcano Region in East Java, Indonesia*. Journal Of Asian Earth Sciences, Vol.15 Nos 2 -3, pp. 185 – 194.

- Solikhin, A., Hidayati, S., Omang, A., Priambodo, I.C., dan Junaedi, D. 2016. *Penyelidikan Mikrozonasi Gempabumi Kota Surabaya, Propinsi Jawa Timur*. Laporan Kegiatan. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Supandjono, J.B., Hasan, K., Panggabean, H., Satria, D., dan Sukardi. 1992. *Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara.
- Syahrudin, M.H., Aswad, S., Palullungan E.F., Maria, dan Syamsuddin. 2014. *Penentuan Profil Ketebalan Sedimen Lintasan Kota Makassar dengan Mikrotremor*. Universitas Hasanuddin. Jurnal Fisika Vol. 4 No. 1, Mei 2014.
- Takai dan Tanaka. 1961. *On microtremors VIII*. Tokyo: Bull. Earthquake Res. Inst. 39, 97-114
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sherrif, R.E., dan Keys., D.A. 1976. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Thomson, W. T. 1980. *Theory Of Vibration With Application*. Prentice-Hall, Inc.
- Tregoning, P., Brunner, F.K., Bock, Y., Puntodewo, S.S.O., McCaffrey, R., Genrich, J.F., Calais, E., Rais, J., dan Subarya, C. 1994. *First Geodetic Measurement of Convergence Across The Java Trench*. Geophysical Research Letters, 21, 2135-2138.
- Wakamatsu, K., dan Matsuoka, M. 2006. *Development of the 7.5-Arc-Second Engineering Geomorphologic Classification Database and its Application to Seismic Microzoning*, Bulletin of.
- Winoto, P. 2010. *Analisis Mikrotremor Kawasan Universitas Brawijaya Berdasarkan Metode Horizontal to Vertikal Spectral Ratio (Nakamura Method) (studi awal mikrozonasi seismik wilayah Malang)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Widiyantoro, S., Pesicek, J.D., dan Thurber, C.H. 2011. *Subducting Slab Structure Below The Eastern Sunda Arc Inferred from Non-Linear Seismic Tomographic Imaging*. Geological Society, London, Special Publications, 355, 139-155.
- Zhao, J.X., dan Xu, H. 2012. *Calibration of a Combined Site Parameter of Vs30 and Bedrock Depth for Ground-Motion Prediction Equations Using Strong-Motion Records from Japan*. Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan, China.