

**PENGOLAHAN DATA MIKROTREMOR BERDASARKAN
METODE HVSR DENGAN MENGGUNAKAN MATLAB**

(Skripsi)

Oleh

WINDA STYANI YULIAWATI



**KEMENTRIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2017**

ABSTRACT

MICROTREMOR DATA PROCESSING BASED ON HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSr) METHOD BY USING MATLAB

By

WINDA STYANI YULIAWATI

The research has conducted to get the result of Matlab program for microtremor data processing. The purpose of this research is to apply Matlab software into microtremor data processing. The microtremor is the ground motion to identify earthquake vulnerability by using HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) method. The HVSr method for comparing both of horizontal component and vertical component on microtremor wave to obtain the result dominant frequency(f_0) based on the high spectrum H/V value from the analysis of HVSr curve. The data processing conducted on Matlab software by steps: (i) reading the raw data, (ii) time domain to frequency domain transformation using FFT (Fast Fourier Transform), (iii) Calculation absolute value by FFT, (iv) Calculation Horizontal and vertical spectrum value, (v) the curve plotting, and (vii) calculation of dominant frequency value (f_0) based on HVSr curve. Based on this research which concludes that microtremor data processing has processed using Matlab software. The result of this data processing gives similar value from the geopsy software. The value of dominant frequency by Matlab software and geopsy software calculation are classified on the site class type II which is dominantly alluvium. Whereas, the result of dominant period by geopsy and Matlab are classified on the site class type I which shows as the bedrock.

Keyword: Software Matlab, Microtremor, HVSr, Frequency

ABSTRAK

PENGOLAHAN DATA MIKROTREMOR BERDASARKAN METODE HVSR DENGAN MENGGUNAKAN MATLAB

Oleh

WINDA STYANI YULIAWATI

Telah dilakukan penelitian untuk pengolahan data mikrotremor dengan menggunakan sebuah program matlab. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan *software matlab* ke dalam pengolahan data mikrotremor. Mikrotremor adalah getaran tanah yang dapat mengidentifikasi kerentanan gempa bumi dengan menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertikal Spectral Ratio*). Metode HVSR (*Horizontal to Vertikal Spectral Ratio*) merupakan metode untuk membandingkan dua komponen horizontal terhadap komponen vertikal pada gelombang mikrotremor yang akan menghasilkan nilai frekuensi dominan (f_0) berdasarkan nilai spektrum H/V tertinggi dari analisis kurva HVSR. Pengolahan data tersebut dilakukan pada *software matlab* dengan langkah: (i) Pembacaan data pengukuran, (ii) Transformasi domain waktu ke domain frekuensi menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*), (iii) perhitungan nilai absolute dari hasil FFT, (iv) perhitungan nilai spektrum horizontal dengan spektrum vertikal, (v) *plotting* kurva, dan (vii) perhitungan nilai frekuensi dominan (f_0) berdasarkan kurva HVSR. Berdasarkan dari penelitian tersebut disimpulkan bahwasannya pengolahan data mikrotremor dapat dilakukan dengan *software matlab*. Hasil dari pengolahan data menghasilkan nilai yang hampir sama dengan program yang sudah ada (*software geopsy*). Nilai frekuensi dominan yang dihasilkan oleh *software geopsy* dan *matlab* masuk ke dalam *site class* jenis 2 yaitu sebagian besar adalah aluvium. Sedangkan dari nilai periode dominan yang dihasilkan oleh *software geopsy* dan *matlab* masuk ke dalam *site class* jenis 1 dengan jenis lapisan tanah yang keras.

Kata Kunci: *Software Matlab, Mikrotremor, HVSR, Frekuensi*

**PENGOLAHAN DATA MIKROTREMOR BERDASARKAN
METODE HVSR DENGAN MENGGUNAKAN MATLAB**

Skripsi

Oleh

WINDA STYANI YULIAWATI

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

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**KEMENTRIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi

**: PENGOLAHAN DATA MIKROTREMOR
BERDASARKAN METODE HVSR DENGAN
MENGUNAKAN MATLAB**

Nama Mahasiswa

: Winda Styani Yuliatwati

No. Pokok Mahasiswa : 1315051058

Jurusan

: Teknik Geofisika

Fakultas


: Teknik

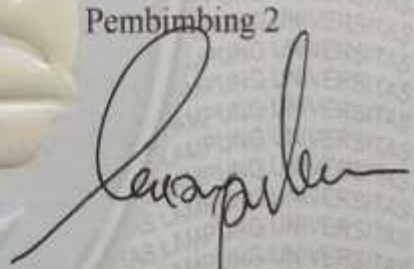
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

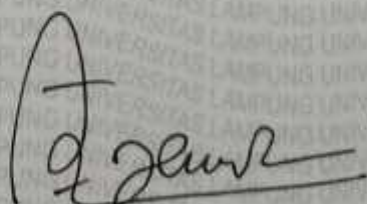
Pembimbing 1

Pembimbing 2


Syamsurijal Resimeng., S.Si., M.Si.
NIP 19730716 200012 1 001


Karyanto, S.Si., M.T.
NIP 19691230 199802 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika


Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.
NIP. 19720912 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Syamsurijal Resimeng., S.Si., M.Si.

Sekretaris : Karyanto, S.Si., M.T.

Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.

2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.
NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 28 April 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, 10 April 2017



Winda Styani Yuliawati
NPM. 1315051058

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi pada tanggal 21 Juli 1995, sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Warisun dan Ibu Ani Triastuti. Penulis mengawali Pendidikan di TK Al- Munawwarrah di Kec. Abung Surakarta, Lampung Utara pada tahun 2000. Kemudian dilanjutkan Sekolah Dasar (SD) di SDN 1 Tatakarya, Kec. Abung Surakarta, Lampung Utara pada tahun 2001. Selanjutnya Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 2 Tumijajar, Tulang Bawang Barat pada tahun 2007 dan pada tahun 2010 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Tumijajar, Tulang Bawang Barat.

Pada tahun 2013 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN undangan 2013. Selama menjadi mahasiswi, penulis juga aktif menjadi Eksekutif Muda (Eksmud) di BEM FT (Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik) periode 2013/2014. Selain itu juga Penulis aktif dalam organisasi kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HIMA TG) pada tahun 2014/2015 sampai periode tahun 2015/2016 sebagai anggota Kaderisasi. Dan pada tahun 2015/2016 penulis diberikan kesempatan untuk menjabat menjadi Kepala Dinas Kesekretariatan di BEM FT (Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik). Dan jabatan yang terakhir dipegang oleh penulis adalah diamanahkan menjadi Sekretaris di SEG (*Society Exploration of Geophysicist*) SC Unila. Selama menjadi Mahasiswi juga, penulis pernah diamanahkan menjadi Asisten Praktikum mata kuliah geologi dasar, eksplorasi geolistrik, geomagnetik, workshop geofisika, dan juga menjadi koordinator asisten praktikum mata kuliah komputasi numerik.

Pada tanggal 1 Agustus – 26 Agustus 2016, penulis menjalani Kerja Praktek (KP) di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG), Yogyakarta tentang Mikrozonasi Gempa Bumi dengan judul **“Pengolahan Data Mikrozonasi Untuk Analisis Kerentanan Gempa Bumi Dengan Metode HVSR Di Wilayah”**. Kemudian pada bulan November 2016 melakukan penelitian sebagai bahan penyusunan Tugas Akhir (TA) di Kampus dengan melanjutkan data KP (Kerja Praktek), Mikrozonasi Gempa bumi dengan pengolahan menggunakan Matlab dengan judul **“Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR dengan Menggunakan Matlab”**. Hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada bulan April tahun 2017.

PERSEMBAHAN

BISMILLAHIRROHMANIRROHIM

**ATAS RIDHO ALLAH SWT DAN DENGAN SEGALA KERENDAHAN HATI
KUPERSEMBAHKAN SKRIPSIKU INI KEPADA:**

**BAPAKKU TERCINTA WARISUN DAN IBUKU TERSAYANG ANI TRIASTUTI,
TERIMAKASIH UNTUK SETIAP PENGORBANAN, PELUH KERINGAT,
KESABARAN, KASIH DAN SAYANG, SERTA DOA YANG TIADA HENTI
DIBERIKAN SEHINGGA AKU MAMPU MEMPERSEMBAHKAN KEBERHASILAN
INI UNTUK MU BAPAK DAN IBU.**

KEPADA ADIK TERSAYANG RIA AMELIA

**SELURUH KELUARGA BESAR KU YANG SELALU MENDOAKAN DAN
MENDUKUNG SERTA MENANTIKAN KEBERHASILANKU.**

**TEKNIK GEOFISIKA UNILA 2013
KELUARGA BESAR TEKNIK GEOFISIKA UNILA
SAHABAT-SAHABATKU TERCINTA**

**ALMAMATER TERCINTA UNILA
TEMPATKU MEMPEROLEH ILMU DAN MERANCANG MIMPI YANG MENJADI
SEBAGIAN JEJAK LANGKAHKU MENUJU KESUKSESAN.**

MOTTO

“Man Shobaru Zhafira - Siapa yang Bersabar akan Beruntung”

*“Allah Pencipta langit dan bumi, dan bila Dia berkehendak (untuk menciptakan) sesuatu, Maka (cukuplah) Dia mengatakan kepadanya: Jadilah! Lalu jadilah ia”
(Qs Al Baqarah : 117)*

*“Percayalah Hasil tidak akan pernah mengkhianati Usaha”
Winda Styani Yuliatwati*

*“Karena Keberhasilan Memerlukan Perjuangan dan Pengorbanan”
Bapak Warisun*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbilalamin, Puji dan Syukur penulis haturkan atas kehadiran Allah S.W.T, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR dengan Menggunakan Matlab”** sebagai salah satu bagian dari kurikulum dan salah satu syarat bagi penulis untuk menyelesaikan studi sebagai Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Skripsi ini merupakan hasil Penelitian Tugas Akhir (TA) di Jurusan Teknik Geofisika. Terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan laporan ini. Penulis pun menyadari mungkin masih terdapat kekurangan di dalam Skripsi ini, sehingga sangat diharapkan dan ditunggu kritik dan saran yang membangun. Semoga semua yang tertulis di dalam laporan ini dapat memberikan manfaat kepada siapapun, baik kalangan umum maupun akademisi untuk kemajuan ilmu pengetahuan.

Penulis

Winda Styani Yuliawati

SANWACANA

Banyak sekali pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan Skripsi ini yang berjudul **“Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR dengan Menggunakan Matlab”**. Terimakasih atas seluruh bantuan, informasi dan bimbingan serta kritik dan saran. Tentunya saya tidak bisa menyebutkan satu-persatu dari banyak sekali pihak yang telah banyak membantu saya. Pada kesempatan kali ini saya ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. **Allah SWT**, Tuhan Yang Maha Esa. Berkat rahmat dan hidayah-Nya saya diperkenankan untuk menimba ilmu hingga saat ini sehingga dapat menyusun Laporan Kerja Praktek ini dengan baik.
2. **Rasulullah Muhammad SAW** yang telah membawa umat manusia keluar dari lubang kegelapan ke dunia yang terang benderang.
3. Kedua Orang tua saya **Bapak Warisun** dan **Ibu Ani Triastuti** serta **Adik Ria Amalia** yang selalu memberikan doa, dukungan, cinta, semangat dan kepercayaan dalam bentuk lahir maupun batin.
4. **Bpk. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si** selaku Pembimbing I yang telah banyak membantu, memberikan ilmu, memberikaan saran dan kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. **Bpk Karyanto, S.Si., M.T** selaku Pembimbing II yang telah memberikan ilmu, nasehat, saran dan koreksi-koreksi pada skripsi ini.
6. **Bpk. Dr. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si** selaku Penguji yang selalu memberikan ilmu, kritikan, saran dan nasehat dalam proses penyelesaian skripsi.
7. **Bpk Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Unila.
8. **Bpk Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M. T.**, selaku Ketua Jurusan Teknik

Geofisika Unila dan selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah bersedia memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam proses penyusunan skripsi maupun saat mengajar.

9. **Ibu Sulistiyani, S.Si** selaku pembimbing lapangan saya di BPPTKG yang telah banyak memberikan ilmu dan sarannya. Kepada **Pak Harno** yang telah berkenan memberikan waktunya untuk memberikan materi tentang mikrozonasi, **Mas Dwi** dan **Pak Jono** terima kasih atas keramahannya dan bantuannya selama magang di BPPTKG.
10. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Unila, **Bapak Syamsurijal Rasimeng., S.Si., M.Si., Bapak Karyanto, M.T., Bapak Dr. H. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si., Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D., Bapak Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T., Bapak Alimuddin Muchtar, M.Si., Bapak Rustadi, M.T., Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T., Bapak Nandi H., M.Si., Bapak I Gede Boy, M.Eng., Bapak Rahmat Catur W, M.Eng., dan Bapak Ordas Dewanto, M.Si.,** yang telah memberikan ilmu yang luar biasa.
11. Seluruh Staff Tata Usaha Jurusan Teknik Geofisika Unila, **Pak Marsono** dan **Mbak Dewi** yang telah memberi banyak bantuan dalam proses administrasi serta **Pak Pujono** dan **Pak Legino** sebagai PLP Laboratorium Geofisika.
12. **Kak Azis, Kak Sigit, Kak Lia, Kak Asri, Kak Rahmi, Kak Yeni,** dan **Kak Rahmi** yang telah dengan sabar dan tulus memberikan pengajaran dan ilmu yang bermanfaat kepada saya khususnya dalam bidang mitigasi bencana.
13. **Keluarga Teknik Geofisika 2013** yang tersayang **Atikah, Ririn, Eci, Wuri, Dian, Pipit, Yasrifa, Alicya, Herlin, Deswita, Ulfa, Priesta, Yeni, Bunga, Shiska, Endah, Cahaya, Feni, Widia, Hanun, Aji, Udin, Ujep, Reza, Dwi kuda, Edi, Kholil, Nico, Egina, Nafis, Fajri, Kubel, Farkhan, Putu, Rafi, Dono, Vide, Suryadi Komti, Imbron, Agung, Nafis, Bana, Noris, Sule, Aloy, Harris, Abdi, Helton, Dodi, dan Aristo.** Yang selalu menemani dan membantu saya dalam segala hal. Selalu

- memberikan tawa, canda, cerita dan kasih sayang selama saya di TG. Mereka keluarga baru dengan mereka kami berjuang bersama menuju S.T.
14. **Kak Eki Zuhelmi** yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan membantu saya dalam penyusunan skripsi ini.
 15. **Kak Aji Penetrapp Raga** yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan membantu saya dalam penyusunan skripsi ini.
 16. Teman seperjuangan penelitian di kampus **Yasrifa** dan **Herlin**, serta kakak tingkat **kak Elen** dan **Kak Gita** yang setia menunggu sampai malem di Lab demi bimbingan.
 17. Teman setia menemani **Ririn, Atikah Kuy, Eci, Wuri, Dwi Kuda** dan **bana** saat mengerjakan skripsi, mengantarkan saya kemanapun, menemani menunggu pembimbing dikampus.
 18. Tim penunggu Lab **Bang Ryan, Kak Yuda, Kak Esha, Kak Zahidah, Kak Hilman, Kak Irwan, Kak Eki**, dan **Ririn** yang telah banyak membantu saya saat saya mengalami kesulitan dalam pembuatan skripsi.
 19. Bidadari-bidadari cantik Wisma Idola **Ayang Vinny, Ica, Ratna**, dan **Anggri**, yang selama ini telah banyak memberikan saya motivasi dan memacu saya untuk segera menyelesaikan skripsi ini.
 20. Partner KP (Tim Magang BPPTKG) **Pipit, Dian, Fachrul, Aer, Mba Och, Ayub, Aida, Resqy, Kak Aidil, Kak Danis, Kak Febri, Reza, Nizar, Memey, Rian, Edo, Waskita**, dan **Ardian** yang telah banyak membantu saya selama ini.
 21. Kumpulan Mantan (Pimpinan BEM FT 2015/2016) **Kak Salam, Kak Yolanda, Kak Lidya, Kak Surya, Kak Faqih, Kak Aji, Kak Sigit, Kak Soulthana, Kak Fahmi, Kak Candra, Kak Wahyu, Kak Dedi, Kak Didi, Mustika (Partner KRT), Agung, Kiki, Rafi, Amel, Bayu**, dan **Herdi**.
 22. **Adik tingkat tersayang Rindi, Tiwi** dan **Yulinda** yang selalu memberikan semangat.
 23. Kakak-kakak serta adik tingkat Teknik Geofisika yang saya banggakan.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, 10 April 2017

Penulis,

Winda Styani Yuliawati

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR.....	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
 I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan.....	3
C. Batasan Masalah	3

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pemrosesan Data Magnetotellurik dengan Memperhitungkan <i>Crosspower</i> dengan menggunakan Matlab	4
B. Analisis Data Geofisika Monitoring Gunungapi Berdasarkan Pengembangan Pemodelan Analitik dan Diskrit (Bagian III) Suatu Studi Konsep Mekanisme Sumber Gempa.....	7
C. Aplikasi Transformasi Hartley pada Analisa Kontinuasi Data Gravitasi dan Geomagnet	11
D. Analisis Mikrotremor Untuk Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Di Kawasan Jalur Sesar Sungai Oyo Yogyakarta	13

III. TEORI DASAR

A. Pemrograman Matlab	15
B. Pengertian Matriks	16
C. Regresi Linier.....	16
D. <i>Transformasi Fourier</i>	17
E. Sampling.....	19
F. Interpolasi B-Spline.....	20
G. Mikrotremor	22
H. <i>HVSR(Horizontal to Vertical Spectrum Ratio)</i>	24
I. Frekuensi Dominan	27
J. Analisis Periode Dominan.....	29
K. Analisis Amplifikasi.....	30
L. Sumber Gempa Referensi.....	32
M. <i>Peak Ground Acceleration (PGA)</i>	33

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
B. Data Penelitian	36
C. Alat dan Bahan.....	37
D. Prosedur Pembuatan <i>Script Matlab</i> untuk Pengolahan Data Mikrotremor.....	37
a. Pembacaan data pengukuran	37

b. Penentuan nilai frekuensi dengan proses FFT	38
c. Pengolahan nilsi H/V dengan <i>matlab</i>	38
d. <i>Plotting</i> kurva HVSR untuk penentuan nilai frekuensi dominan	40
e. Pengolahan nilai amplifikasi dengan data <i>Vs30</i>	41
f. Pengolahan nilai PGA dengan persamaan Kanai 1966.....	41
E. Diagram Alir Penelitian	44

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian	45
B. Pembahasan	46
a. Pengolahan data mikrotremor dengan <i>software matlab</i>	46
b. Pengolahan data mikrotremor dengan <i>software geopsy</i>	56
c. Perbandingan hasil dari <i>software geopsy</i> dan <i>matlab</i>	61
d. Analisis kurva <i>HVSR</i> (<i>Horizontal to Vertical Spectrum Ratio</i>) ..	63

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	66
B. Saran	66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Tampilan program seleksi <i>crosspower</i>	4
Gambar 2. Kurva resistivitas semu sebelum seleksi	5
Gambar 3. Kurva resistivitas semu sesudah seleksi	5
Gambar 4. Perbandingan hasil pengolahan	6
Gambar 5. Model <i>displacement</i> dalam sistem koordinat u_r, u_θ, u_z	8
Gambar 6. Kombinasi gaya sebagai sumber gempa	8
Gambar 7. Bentuk sinyal <i>source time function</i> untuk sumber gempa <i>double couples</i> berupa fungsi Ricker dengan frekuensi sentral sebesar 2 Hz	10
Gambar 8. Model <i>displacement</i> dari sumber (atas) gelombang P- komponen radial (tengah) dan S komponen tangensial (bawah) pada <i>receiver</i> yang berjarak 10 km (lihat sketsa pada Gambar 7)	11
Gambar 9. Hasil uji program untuk kontinuitas <i>upward</i> (a) sintetik data magnetik dan (b) sintetik data gravity	12
Gambar 10. Kurva HVSR.....	14
Gambar 11. Peta zonasi berdasarkan nilai frekuensi dominan	14
Gambar 12. <i>Spline</i> interpolasi kubik untuk fungsi getara teredam	21
Gambar 13. Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik.....	31
Gambar 14. <i>Script</i> pembacaan data pengukuran	37
Gambar 15. <i>Script</i> FFT	38

Gambar 16. <i>Script</i> perhitungan nilai H/V	39
Gambar 17. <i>Script Plotting</i> kurva HVSR dan penentuan nilai frekuensi dominan	40
Gambar 18. <i>Script</i> perhitungan nilai amplifikasi	41
Gambar 19. <i>Script</i> perhitungan nilai PGA	43
Gambar 20. Diagram Alir Penelitian	44
Gambar 21. <i>Script</i> pembacaan data pengukuran	47
Gambar 22. Grafik hubungan waktu dan komponen titik pengukuran X, Y dan Z	48
Gambar 23. <i>Script</i> proses FFT dan mencari nilai absolute	50
Gambar 24. Hubungan nilai frekuensi dan Abs X	51
Gambar 25. <i>Script</i> perhitungan H/V dan <i>plotting</i> kurva	52
Gambar 26. Persebaran data hasil FFT pada frekuensi 350 Hz	53
Gambar 27. Kurva HVSR	55
Gambar 28. <i>Script</i> pengolahan nilai PGA	56
Gambar 29. Header data untuk pengolahan sinyal pada <i>geopsy</i>	57
Gambar 30. Hasil <i>import signals</i>	58
Gambar 31. Hasil <i>cutting signals</i>	59
Gambar 32. Hasil <i>windowing signals</i>	60
Gambar 33. Kurva HVSR dengan <i>software geopsy</i>	61
Gambar 34. Hasil nilai pada Matlab dan Geopsy	62
Gambar 35. Hasil dari kurva HVSR menunjukkan nilai $f_0 = 1.489$	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor oleh Kanai.....	28
Tabel 2. Klasifikasi Tanah Kanai dan Omote - Nakajima	29
Tabel 3. Perbandingan nilai dari <i>software geopsy</i> dan <i>matlab</i>	61
Tabel 4. Nilai eror.....	61

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Matlab adalah bahasa pemrograman yang dikhususkan untuk pemrograman, komputasi numerik dan visualisasi. Penelitian ini menggunakan *software matlab* untuk mengolah data mikrotremor. Penerapan *software matlab* untuk pengolahan data ini sering sekali dilakukan, hal ini dikarenakan pengolahan dengan *software matlab* ini lebih efektif, mudah, menyediakan fasilitas untuk memplot struktur, *script* program yang dapat diubah sesuai dengan keinginan *user* dan lain-lain.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectrum Ratio*) yang merupakan metode untuk mengetahui karakteristik tanah dengan membandingkan spektrum horizontal dan spektrum vertikal. Metode *HVSR* tersebut akan menghasilkan nilai frekuensi dominan berdasarkan analisis kurva *HVSR* yang dihasilkan, selanjutnya akan dapat menghitung pula nilai periode dominannya.

Penelitian ini bertujuan untuk merealisasikan pengolahan data mikrotremor dengan menggunakan Matlab yang berguna untuk mengetahui nilai frekuensi dominan, periode dominan, amplifikasi dan percepatan gerak tanah maksimum di suatu wilayah.

Hal ini dilakukan agar dapat membandingkan hasil dari pengolahan dengan *software geopsy* dan *matlab*. Pengolahan yang dilakukan dengan *software geopsy* ini kurang efektif karena terdapat beberapa tahapan yang harus dilalui dan diolah per satu titik. Sedangkan pada *software matlab* hanya dilakukan dengan sekali *running*, karena semua tahapan seperti proses FFT dan sebagainya sudah tercatat di dalam *script*. Oleh sebab itu, penelitian ini membuat *script* pengolahan data mikrotremor dengan menggunakan pemograman matlab, supaya lebih efisiensi dalam pengolahan datanya yang digunakan untuk memetakan daerah yang rawan dari gempabumi.

Penelitian ini dilatar belakangi oleh penelitian-penelitian sebelumnya yaitu penelitian tentang pengolahan data yang dilakukan dengan menerapkan *software matlab* antara lain yaitu Pemrosesan Data Magnetotellurik dengan Memperhitungkan *Crosspower* dengan menggunakan Matlab (Daud, dkk., 2013), Analisis Data Geofisika Monitoring Gunungapi Berdasarkan Pengembangan Pemodelan Analitik dan Diskrit (Bagian III) Suatu Studi Konsep Mekanisme Sumber Gempa (Hendra, 2010), dan Aplikasi Transformasi Hartley pada Analisa Kontinuasi Data Gravitasi dan Geomagnet (Syamsu dan Benny, 2012).

Berdasarkan dari penelitian-penelitian sebelumnya, pengolahan data dengan berbasis matlab ini sudah banyak diaplikasikan untuk berbagai jenis data baik jenis data *image*, data matematis, maupun data lainnya dan menghasilkan hasil yang lebih baik. Oleh sebab itu, penelitian ini sangat penting dilakukan karena untuk mengetahui data mikrotremor juga dapat diolah dengan menggunakan *software matlab* dengan menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan menggunakan *software geopsy* serta lebih efektif. Pengolahan data dari penelitian

ini juga akan menghasilkan nilai frekuensi dominan, periode dominan, amplifikasi dan PGA (*Peak Ground Acceleration*) yang diolah dengan menggunakan *software matlab*.

B. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merealisasikan *software matlab* untuk pengolahan data penelitian.
2. Mengetahui nilai frekuensi, periode, amplifikasi dan *Peak Ground Acceleration* (PGA).
3. Membandingkan nilai frekuensi hasil dari *software matlab* dan *software geopsy* pada pengolahan data mikrotremor.

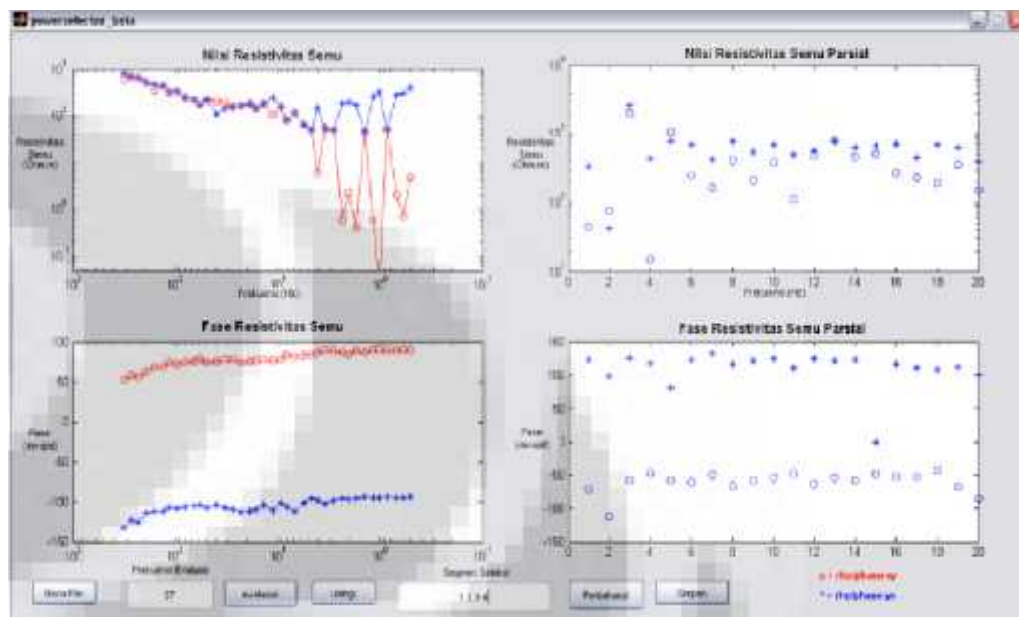
C. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah membahas mengenai penerapan *software matlab* dalam pengolahan data mikrotremor untuk mengetahui nilai frekuensi, periode, amplifikasi dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) dengan menggunakan metode HVSR.

II. TINJAUAN PUSTAKA

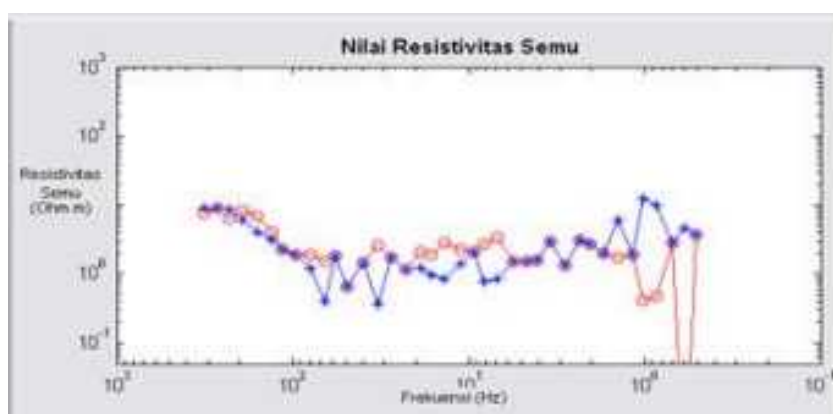
A. Pemrosesan Data Magnetotellurik dengan Memperhitungkan *Crosspower* dengan menggunakan Matlab

Penelitian ini menggunakan program pengolahan data Magnetotellurik dengan menggunakan program Matlab untuk melakukan pengolahan data dengan memperhitungkan dan melakukan variasi nilai *crosspower*. Seleksi *crosspower* dilakukan satu per satu untuk setiap frekuensi. Frekuensi yang akan diseleksi ditentukan oleh nilai yang diberikan pada kolom “Frekuensi Evaluasi”. Program akan membaca nilai tersebut dan memunculkan nilai *crosspower* dari frekuensi yang bersangkutan pada kolom sebelah kanan.

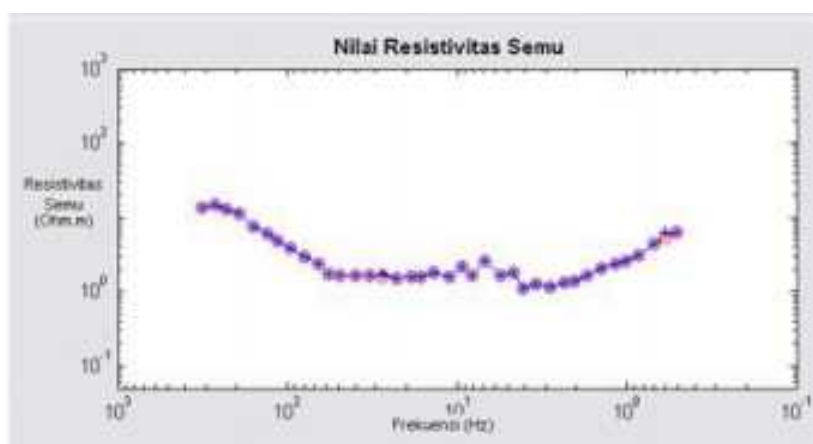


Gambar 1. Tampilan program seleksi *crosspower* (Daud, dkk., 2013).

Setelah frekuensi yang akan dievaluasi ditentukan selanjutnya melakukan pemilihan data *crosspower* dengan memberikan nilai *crosspower* yang kan dimatikan pada kolom “segmen seleksi”. Dengan menekan tombol “perbaharui”, maka grafik rho-phase pada kolom sebelah kiri akan diperbaharui dengan nilai resistivitas semu dan fase yang baru. Proses tersebut dilakukan pada semua nilai frekuensi sehingga menghasilkan kurva yang baik. Perbandingan antara kurva sebelum dan sesudah seleksi *crosspower* (**Gambar 2** dan **Gambar 3**).

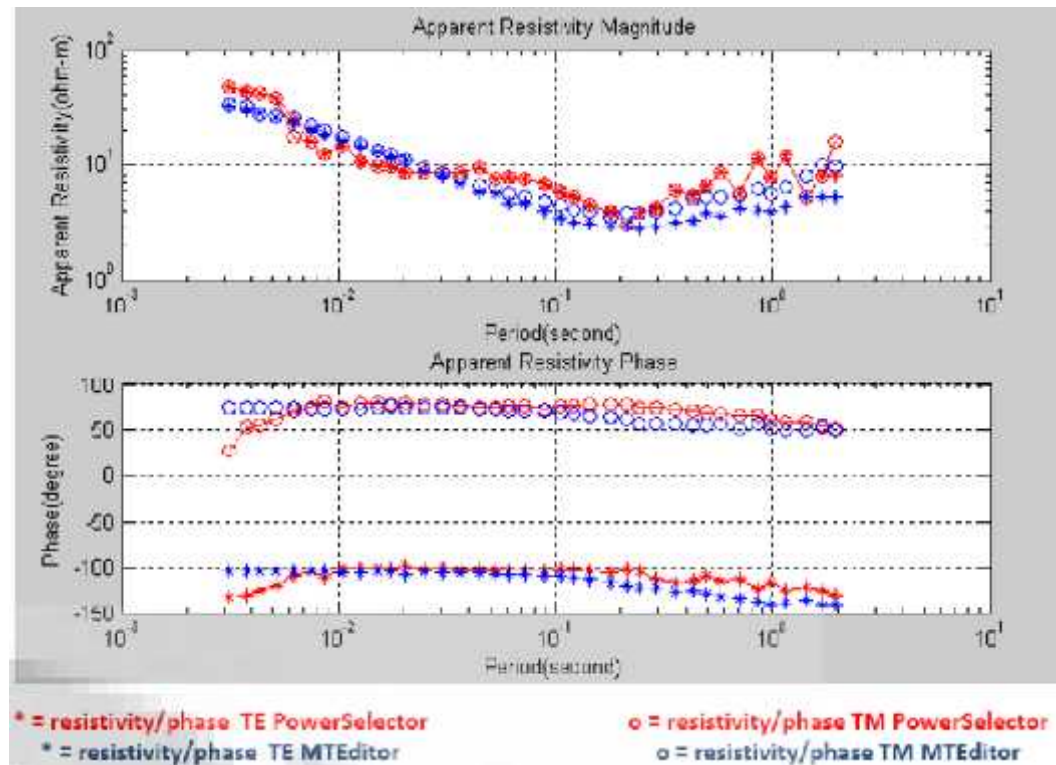


Gambar 2. Kurva resistivitas semu sebelum seleksi (Daud, dkk., 2013).



Gambar 3. Kurva resistivitas semu setelah seleksi (Daud, dkk., 2013).

Penelitian ini juga membandingkan hasil seleksi MTEditor dan PowerSelector dengan cara membuat grafik yang berisi kurva hasil pengolahan menggunakan PowerSelector dan MTEditor. Dengan demikian, jika terdapat perbedaan secara langsung akan diketahui dari hasil grafiknya. Pada (**Gambar 4**) terlihat bahwa tidak adanya perbedaan yang signifikan pada kurva hasil pengolahan antara MTEditor dan PowerSelektor. Kurva fase dari kedua pengolahan tersebut hampir berhimpit pada semua titik. Pada periode yang rendah, kurva fase hasil pengolahan PowerSelector lebih turun dan sesuai dengan kurva resistivitas semu yang cenderung naik.



Gambar 4. Perbandingan hasil pengolahan (Daud, dkk., 2013).

B. Analisis Data Geofisika Monitoring Gunungapi Berdasarkan Pengembangan Pemodelan Analitik dan Diskrit (Bagian III) Suatu Studi Konsep Mekanisme Sumber Gempa

Penerapan *software matlab* dapat juga digunakan untuk perhitungan *displacement* pada simulasi dengan sumber gempa *double couples*. Dalam kasus data seismik, yaitu sumber gempa berasal dari gempa gunungapi, fungsi $F(t)$ dapat dihubungkan dengan bentuk sinyal sumber gunungapi. Dinamika erupsi gunungapi diharapkan diperoleh dengan cara mengetahui variasi besar dan arah gaya maupun stress (momen tensor) dari sumber gempa gunungapi yang mengakibatkan erupsi. Pada pembahasan berikutnya akan diturunkan hubungan parameter-parameter sumber gempa dengan besarnya *displacement* (seismogram) yang terekam di permukaan secara analitik.

$$\mu \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}_p) - \nabla \times \nabla \times \mathbf{A}_s \quad (1)$$

Persamaan diferensial orde 2 potensial *displacement* di atas mempunyai solusi dalam bentuk integral konvolusi berikut (Lay dan Wallace, 1995).

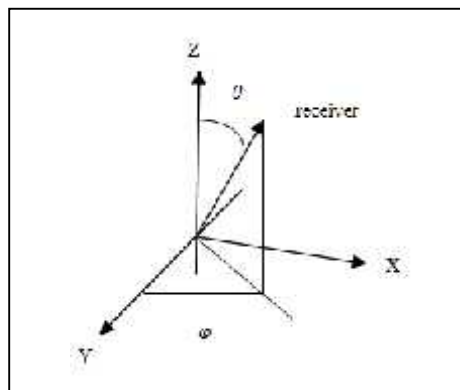
$$\mathbf{A}_p(x, y, z, t) = \frac{-1}{4\pi r} \int_0^{\infty} F(t - (r/\alpha) - \tau) \frac{\pi}{\tau} - \int_0^{\infty} F(t - \tau) \frac{\pi}{\tau} \quad (2)$$

$$\mathbf{A}_p(x, y, z, t) = \frac{-1}{4\pi r} \int_0^{\infty} F(t - (r/\beta) - \tau) \frac{\pi}{\tau} - \int_0^{\infty} F(t - \tau) \frac{\pi}{\tau} \quad (3)$$

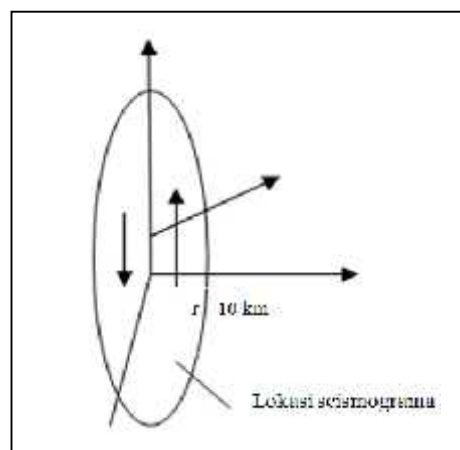
Dalam kasus data seismik, yaitu sumber gempa berasal dari gempa gunungapi, fungsi $F(t)$ dapat dihubungkan dengan bentuk sinyal sumber gunungapi.

Pada (**Gambar 5** dan **Gambar 6**) dibawah ini adalah ilustrasi hubungan antara geometri sesar suatu gempabumi dengan gaya ekuivalen suatu *double*

couples (Stein dan Wyssession, 2003). Berdasarkan teori sumber gempa (persamaan 2 dan 3), untuk lokasi sumber gempa *far-field*, yaitu suku ke dua pada persamaan 2 dan 3 (sebagai gambaran untuk frekuensi suatu sumber gempa 0,5 Hz dan kecepatan gelombang seismik 3500 m/s maka kedalaman sumber gempa dalam orde ratusan meter adalah dikatakan lokasi sumber *near-field* (Lokmer, 2008), maka *displacement* akibat gelombang seismik tipe P (kompresi), yaitu memasukan persamaan 2 dan 3 kedalam persamaan 1, dapat dinyatakan sebagai berikut (Stein dan Wyssession, 2003).



Gambar 5. Model *displacement* dalam sistem koordinat bola : u_r, u_θ, u_ϕ (Stein dan Wyssession, 2003).



Gambar 6. Kombinasi gaya sebagai sumber gempa (Stein dan Wyssession, 2003)

$$u^r = \frac{\partial M(t - r/\alpha)}{\partial t} \sin(2\theta) \cos(\varphi) c_p \quad (4)$$

Dimana c_p adalah $\frac{1}{4}\pi\rho\alpha^3r$, ρ adalah densitas medium (batuan), r adalah jarak antara sumber gempa dan stasiun perekaman gempa, α adalah kecepatan gelombang seismik kompresi, t adalah waktu, dan $\partial M/\partial t$ adalah *seismic moment rate function* atau *source time function*.

Untuk gelombang S (*shear wave*) *displacement* dinyatakan dalam u_θ dan u_φ (Persamaan 5 dan 6).

$$u_\theta = \frac{\partial M(t - r/\beta)}{\partial t} \cos(2\theta) \cos(\varphi) c_\theta \quad (5)$$

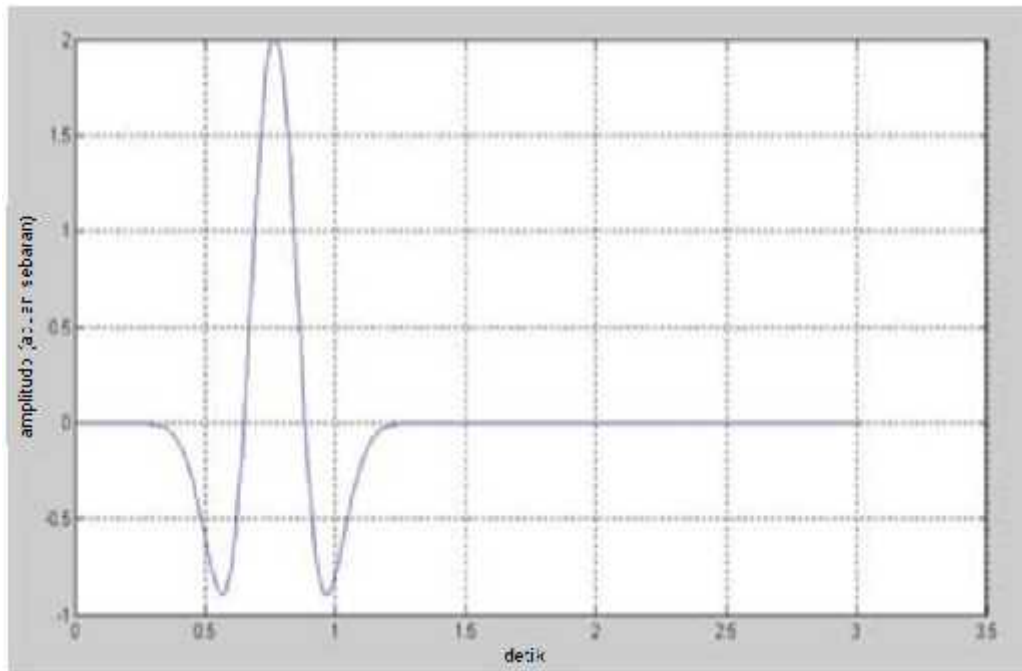
$$u_\varphi = \frac{\partial M(t - r/\beta)}{\partial t} - \cos(\theta) \sin(\varphi) c_\varphi \quad (6)$$

Dimana c_p adalah $\frac{1}{4}\pi\rho\beta^3r$, ρ adalah densitas medium (batuan), r adalah jarak antara sumber gempa dan stasiun perekaman gempa, α adalah kecepatan gelombang seismik kompresi, t adalah waktu, dan $\partial M/\partial t$ adalah *seismic moment rate function* atau *source time function*.

Perhitungan *displacement* dilakukan dengan simulasi berdasarkan pemrograman MATLAB yang sudah ada dengan beberapa bagian program telah dimodifikasi dan disesuaikan dengan pokok bahasan. Mengacu pada ilustrasi pada (**Gambar 5** dan **Gambar 6**), sumber gempa *double couples* disimulasikan pada bidang Y-Z dan *source time function* berupa fungsi Ricker dengan frekuensi sentral 2 Hz (**Gambar 6**). Parameter-parameter lainnya telah

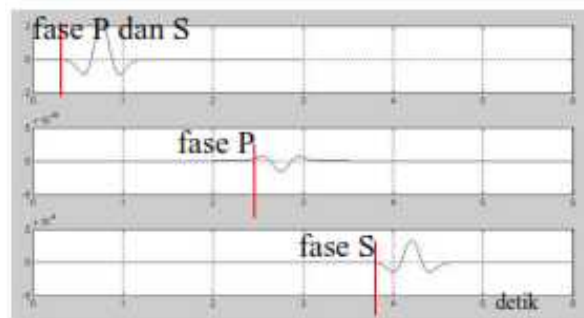
ditentukan sebagai berikut :

- $v_p=5$ km/s $\rightarrow P$ velocity
- $v_s=1,73$ km/s $\rightarrow S$ velocity
- $\rho = 2000$ kg/m³ \rightarrow density
- $[0 \ 0 \ 0]$ km \rightarrow Earthquake location (X-Y-Z direction)



Gambar 7. Bentuk sinyal *source time function* untuk sumber gempa *double couples* berupa fungsi Ricker dengan frekuensi sentral sebesar 2 Hz (Hendra, 2010).

Prinsip dasar program adalah persamaan 4, 5 dan 6 dimana momen seismik atau diasumsikan berharga 1 dan u/t merupakan fungsi Ricker (**Gambar 7**). Keluaran model *displacement* ditunjukkan pada Gambar 3 (komponen u_r , u , u). Untuk mendapat model *displacement* dalam komponen x, y dan z maka transformasi sistem koordinat harus dilakukan (Lay dan Wallace, 1995).



Gambar 8. Model displacement dari sumber (atas), gelombang P-komponen radial (tengah) dan S- komponen tangensial (bawah) pada receiver yang berjarak 10 km (lihat sketsa pada Gambar 7) (Hendra, 2010).

Salah satu contoh manfaat dari simulasi ini adalah untuk bidang seismologi. Bidang seismologi dengan berbasis simulasi merupakan suatu tahapan selangkah maju yang nantinya dapat diaplikasikan dalam seismologi gunungapi (Hendra, 2010).

C. Aplikasi Transformasi Hartley pada Analisa Kontinuasi Data Gravitasi dan Geomagnet

Penelitian ini akan melakukan pengolahan *algoritme DHT* dengan diolah menggunakan matlab. Implementasi DHT (*Transformasi Harley Diskrit*) pada filter kontinuasi *upward* dan *downward* untuk analisis data gravitasi dan magnetik ternyata memberikan beberapa keuntungan *processing* matematis.

Transformasi Harley Diskrit berbentuk:

$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cos(\omega x) dx \quad (7)$$

Sedangkan inversi transformasi Hartley berbentuk:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega) \cos(\omega x) d\omega \quad (8)$$

Dimana $\cos(\omega x) = \cos(\omega x) + \sin(\omega x)$

Untuk data diskrit maka bentuk transformasi Hartleynya adalah sebagai berikut:

1 bentuk transformasi Hartleynya adalah

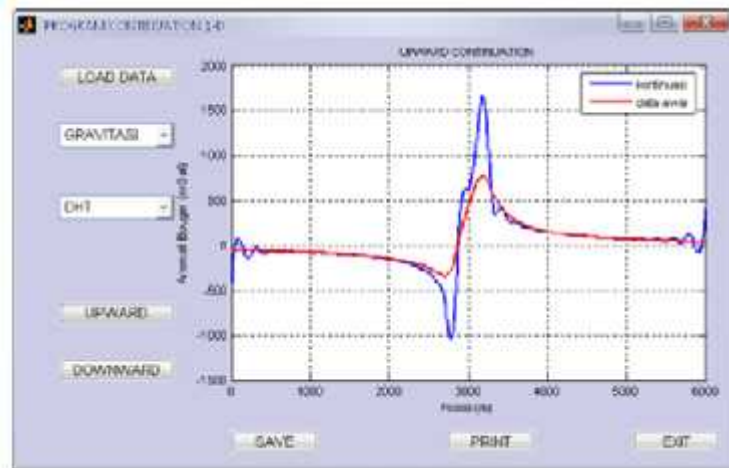
$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi}{N}nk\right) \quad (9)$$

Sedangkan inversi dari transformasi Hartley diskrit adalah

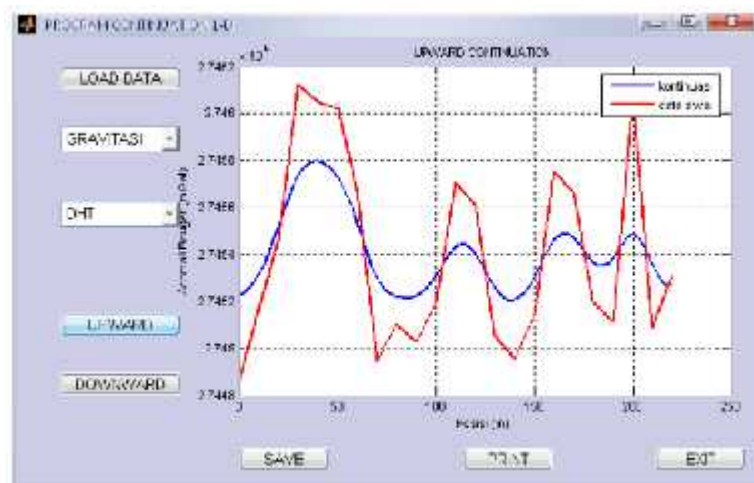
1 transformasi Hartley diskrit adalah

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \quad (10)$$

Dengan N jumlah data, $n=0,1,\dots,N-1$, $k=0,1,\dots,N-1$



(a)



(b)

Gambar 9. Hasil uji program untuk kontinuitas *upward* (a) sintetik data magnetik dan (b) sintetik data gravity (Syamsu dan Benny, 2012).

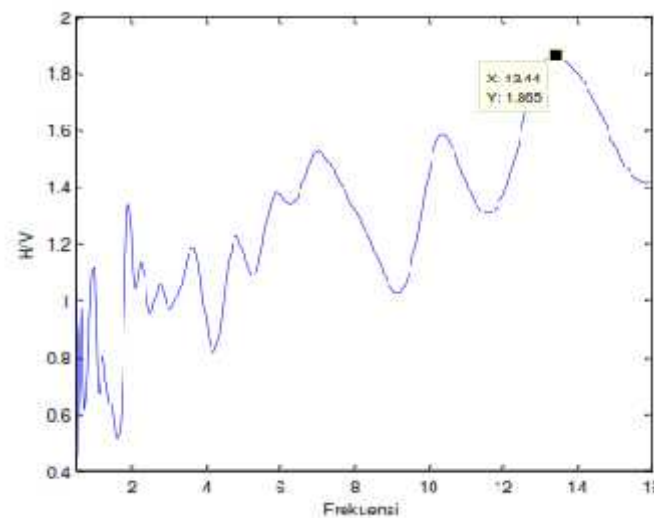
Pengolahan data magnetik dan gravity menggunakan spasi grid 30 meter dan dilakukan beberapa kali kontinuitas *upward* dengan perubahan ketinggian 10 m, 50 m, 100 m, 200 m, 500 m, dan 1000 m. kemudian melakukan *downward* dengan perubahan tinggi 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, dan 30 m (Syamsu dan Benny, 2012).

D. Analisis Mikrotremor Untuk Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Di Kawasan Jalur Sesar Sungai Oyo Yogyakarta

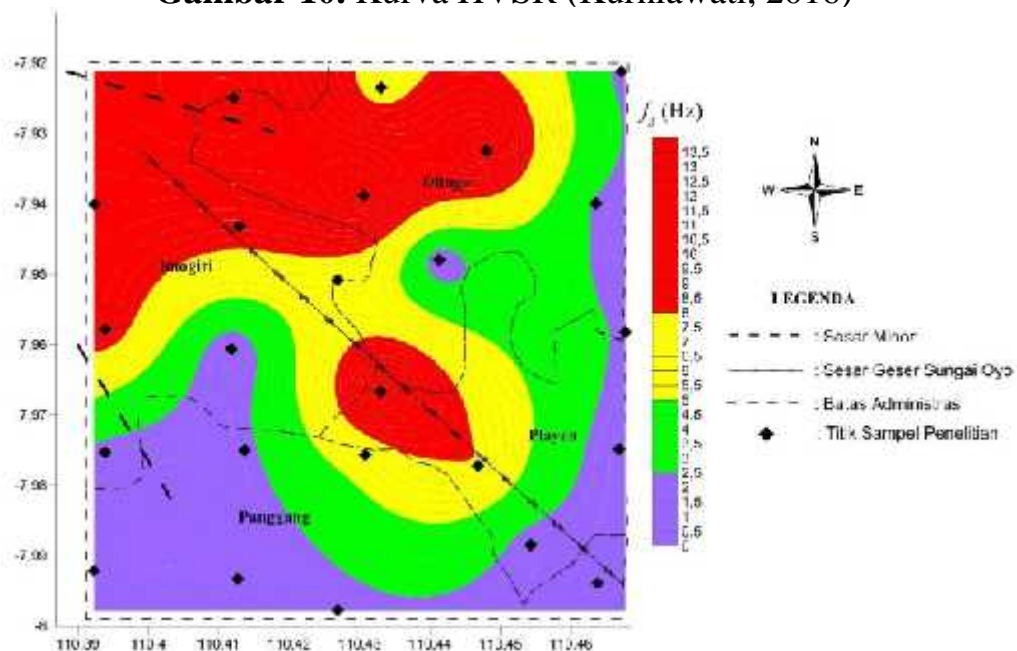
Penelitian ini menerapkan *software matlab* untuk pengolahan data mikrotremor. Selain itu penelitian ini tidak hanya menerapkan *software matlab* untuk pengolahan datanya, namun juga menggunakan *software geopsy* dan *Radix*. Penelitian ini menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectrum Ratio*). Metode ini didasarkan pada perbandingan spektrum horizontal terhadap spektrum vertikal yang mana akan menghasilkan nilai frekuensi dominan.

Pengolahan data yang dilakukan dengan tiga *software* yaitu *geopsy*, *matlab*, dan *radix*. Ketiga *software* tersebut memiliki fungsi penting pada penelitian ini yaitu *software geopsy* digunakan untuk *cutting* gelombang pada proses *windowing*, yang kemudian hasil tersebut diolah dengan menggunakan *software matlab* untuk menampilkan kurva HVSR yang selanjutnya akan dianalisis untuk mengetahui nilai frekuensi dominan dari kurva tersebut. Sedangkan *software radix* digunakan untuk proses FFT, penelitian ini melakukan proses FFT pada *software radix 64*.

Hasil dari penelitian ini yaitu menghasilkan kurva HVSR pada tiap titik pengukuran dan juga peta zona rawan bencana berdasarkan nilai frekuensi dominan, amplifikasi, kecepatan gelombang geser, ketebalan sedimen dan indeks keretakan seismik. Dibawah ini adalah hasil kurva dan nilai frekuensi dominan dari salah satu titik pengukuran. Serta peta zona rawan berdasarkan nilai frekuensi dominan (Kurniawati, 2016).



Gambar 10. Kurva HVSR (Kurniawati, 2016)



Gambar 11. Peta zonasi berdasarkan nilai frekuensi dominan (Kurniawati, 2016)

II. TEORI DASAR

A. Pemrograman Matlab

MATLAB merupakan bahasa pemrograman yang digunakan pada teknik-teknik komputasi, seperti penyelesaian matematik dan metode numerik, MATLAB menyediakan fasilitas-fasilitas untuk komputasi, visualisasi, pemrograman dan pengolahan database. Selain itu MATLAB memiliki fitur yang dikelompokkan berdasarkan aplikasi tertentu yang dikenal dengan nama *TOOL BOX*. Dengan toolbox ini pengguna diharapkan dapat mempelajari dan mengaplikasikan teknologi pada bidang kajian tertentu (Kusumadewi,2004).

MATLAB merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dikembangkan oleh MathWorks dan dikhususkan untuk komputasi numerik, visualisasi, dan pemrograman. Dengan memanfaatkan MATLAB, pengguna dapat melakukan analisis data, mengembangkan algoritma, dan membuat model maupun aplikasi. Bahasa, *tools*, dan fungsi-fungsi *built-in* akan memudahkan pengguna untuk mengeksplorasi berbagai pendekatan dan memperoleh solusi dengan lebih cepat dibandingkan apabila menggunakan *spreadsheets* atau bahasa pemrograman tradisional, seperti C/C++ atau Java. MATLAB menggunakan konsep array/matrik

sebagai standar variabel elemennya tanpa memerlukan pendeklarasian array seperti pada bahasa lainnya. Selain itu juga diintegrasikan dengan aplikasi dan bahasa pemrograman eksternal seperti C, Java, .NET, dan Microsoft Excel (Kodong, 2015).

B. Pengertian Matriks

Matriks adalah susunan elemen-elemen dari bilangan-bilangan yang berbentuk persegi panjang yang terdiri dari baris dan kolom dan dibatasi dengan tanda [] dan (). Bilangan-bilangan dalam susunan tersebut dinamakan entri dalam matriks. Jika A adalah sebuah matriks, maka akan menggunakan a_{ij} untuk menyatakan entri yang terdapat di dalam baris i dan kolom j dari matriks A . Secara umum matriks dituliskan sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Matriks di atas disebut matriks berukuran m kali n (dituliskan $m \times n$) karena memiliki m baris dan n kolom (Anton, 1988).

C. Regresi Linier

Jika suatu masalah inversi dapat direpresentasikan kedalam persamaan $d = Gm$, maka disebut linear. Menjalankan prosedur yang sederhana untuk memperoleh nilai m dari data observasi. Dan dalam kenyataannya, tidak semua data observasi berhimpit dengan satu garis lurus. Jika melakukan

fitting terhadap semua titik data observasi kepada satu garis, maka garis yang didapat disebut garis regresi. Misalnya, ada satu set data observasi yang ditulis sebagai $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$, garis regresi dinyatakan sebagai

$$y = a_0 + a_1 x \quad (11)$$

Dan setiap data memenuhi relasi berikut:

$$y_i = a_0 + a_1 x_i + e_i \quad (12)$$

dimana e_i disebut *error*, residual, atau sering juga disebut misfit atau kesalahan prediksi (*prediction error*). Garis regresi tidak akan berhimpit dengan setiap data observasi dan biasanya untuk kasus inversi seperti ini selalu *overdetermined* (Supriyanto, 2007).

D. Transformasi Fourier

Transformasi Fourier merupakan metode untuk analisis spektral dengan tujuan agar sinyal yang diperoleh dalam domain waktu diubah menjadi domain frekuensi. Hal ini dilakukan karena perhitungan lebih mudah dalam domain frekuensi dibandingkan dengan domain waktu. Selain itu, fenomena geofisika berkaitan erat dengan frekuensi, sehingga frekuensi menjadi parameter penting dalam menjelaskan fenomena-fenomena tersebut. Transformasi Fourier adalah dari sebuah fungsi $f(t)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (13)$$

dimana $\omega = 2\pi f$ (variabel frekuensi sudut dengan satuan radian per detik).

Invers dari transformasi Fourier dinyatakan sebagai:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{-i\omega t} d\omega \quad (14)$$

Kedua fungsi tersebut, $f(t)$ dan $F(\omega)$, merupakan pasangan transformasi Fourier yang dinyatakan dengan:

$$f(t) \rightleftharpoons F(\omega) \quad (15)$$

Secara umum spektral merupakan fungsi kompleks, dapat dinyatakan dalam dua bentuk berikut:

Penjumlahan bagian riil dan imajiner

$$e^{-i\omega t} = \cos \omega t + i \sin \omega t \quad (16)$$

Dimana $\omega = 2\pi f$, maka

$$e^{i2\pi f t} = \cos(2\pi f t) + i \sin(2\pi f t) \quad (17)$$

Sehingga,

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (18)$$

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cos(2\pi f t) dt - i \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \sin(2\pi f t) dt \quad (19)$$

ω pada kompleks spektrum atau kompleks densitas dari $F(t)$ adalah:

$$F(\omega) = \text{Re}[F(\omega)] + i \text{Im}[F(\omega)] \quad (20)$$

atau

$$F(\omega) = A(\omega) e^{i\phi(\omega)} \quad (21)$$

dimana:

$$A(\omega) = |F(\omega)| = \sqrt{\text{Re}[F(\omega)]^2 + \text{Im}[F(\omega)]^2}$$

$$\phi(\omega) = \tan^{-1} \frac{\text{Im}[F(\omega)]}{\text{Re}[F(\omega)]} \quad (22)$$

Kemudian dilakukan transformasi phi-omega untuk memperoleh kecepatan sebagai fungsi dari frekuensi.

$$F(\phi, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\phi x} \frac{F(\omega)}{|F(\omega)|} dx \quad (23)$$

dengan $F(\omega)$ adalah spektral, $Re(\omega)$ adalah variabel riil, $Im(\omega)$ adalah variabel imajiner, $A(\omega)$ adalah spektrum amplitudo, $\phi(\omega)$ adalah spektrum fase, ω adalah frekuensi sudut (rad/s), f adalah frekuensi (Hz). Maka akan menghasilkan spektrum kurva dispersi yang menunjukkan berbagai frekuensi dengan kecepatan fasa yang berbeda (Nasution, 2016).

E. Sampling

Sinyal analog $a(t)$ merupakan fungsi kontinyu dari variable waktu kontinyu t . Sinyal analog disampling dengan waktu interval yang sama dengan T akan menghasilkan sinyal digital

$$X(nT) = a(t) |_{t=nT} \quad -\infty < n < \infty \quad (24)$$

T merupakan kebalikan dari rasio sampling, F . Sampling sering direpresentasikan sebagai modulasi sinyal analog dengan jumlah unit impuls respon tertunda $m(t)$.

$$X(nT) = a(t) |_{t=nT} \quad (25)$$

$$M(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \quad (26)$$

Input sinyal merupakan fungsi pita terbatas $A(f)=0$ untuk $-f_h < f < f_h$. Spektrum sinyal modulasi juga merupakan kumpulan impuls dengan pengulangan F . Spektrum output sama dengan konvolusi spektrum sinyal analog dengan modulas spektrum sinyal.

$$X(f) = A(f) * M(f) \quad (27)$$

Spektrum sinyal modulasi merupakan kumpulan dan fungsi impuls yang dipisahkan dengan frekuensi F Hz.

$$M(f) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - kF) \quad (28)$$

Spektrum sinyal output dapat digambarkan sebagai pengulangan dari spektrum sinyal analog dengan interval F Hz (Wahab, dkk., 2002).

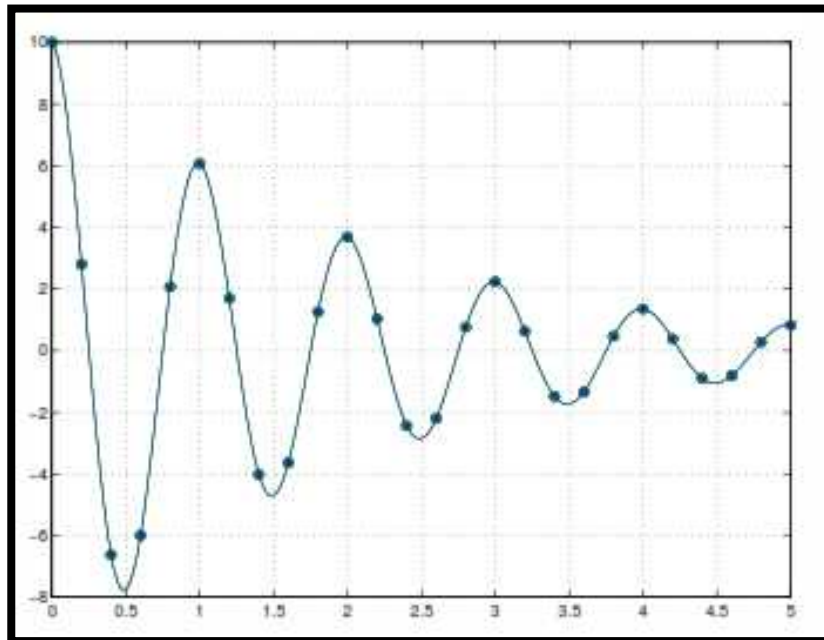
Sampling merupakan salah satu proses yang sangat penting. Untuk melakukan *sampling* terhadap sinyal informasi harus memperhatikan penggunaan frekuensi *sampling* yang akan digunakan. Frekuensi sinyal *sampling* sendiri menurut teorema *Nyquist* adalah harus dua kali lebih besar dari frekuensi informasi ($f_s > 2*f_i$) dengan f_s adalah frekuensi *sampling* dan f_i adalah frekuensi informasi. Hal ini karena agar dihasilkan proses *sampling* yang baik. Jika frekuensi *sampling* lebih kecil daripada frekuensi informasi akan mengakibatkan sinyal hasil *sampling* rusak. Untuk membuat dan melihat proses *sampling* dapat menggunakan *software* MATLAB.

F. Interpolasi dengan Spline

Interpolasi dengan polinomial sering memberikan hasil yang tak dapat diterima. Polinomial interpolasi yang dihasilkan dari sejumlah besar data titik biasanya berderajat tinggi. Polinomial berderajat tinggi biasanya bersifat osilatif

(grafiknya naik turun secara cepat). Akibatnya, perubahan data pada interval kecil dapat menyebabkan fluktuasi yang besar pada keseluruhan interval. Karena alasan ini, biasanya interpolasi hanya menggunakan polinomial berderajat rendah.

Dengan membatasi derajat polinomial interpolasi, diperoleh alternatif lain untuk mendapatkan sebuah kurva mulus yang melalui sejumlah titik. Hasilnya sebuah kurva yang terdiri atas potongan-potongan kurva polinomial yang berderajat sama. Pada (**Gambar 12**) menunjukkan sketsa interpolasi dengan spline. Setiap subinterval diinterpolasikan dengan menggunakan suatu polinomial.



Gambar 12. Spline interpolasi kubik untuk fungsi getaran terendam (Sahid, 2012)

Dengan $S_k(x) = a_kx + b_k, k = 1, 2, \dots, (n - 1)$. Oleh karena $S_k(x)$ linier, $S_k(x)$ sepotong-sepotong linier.

Misalkan $x_1 = a$ dan $x_n = b$, maka domain $S(x)$ adalah $[a, b]$. Selanjutnya menyaratkan bahwa $S(x)$ kontinu pada $[a, b]$. Jadi $S(x)$ harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. $S(x)$ sepotong-sepotong linier
2. $S(x)$ kontinu pada $[a \ b]$

Untuk tujuan ekstrapolasi maka diasumsikan

1. $S(x)$ didefinisikan sama dengan $S_1(x)$ untuk $x > a$
2. $S(x)$ didefinisikan sama dengan $S_{n-1}(x)$ untuk $x > a$

Konstanta-konstanta a_k dan b_k dipilih sedemikian hingga $S(x)$ kontinu pada $[a \ b]$. Syarat kekontinuan ini bersama dengan syarat interpolasi memberikan persamaan-persamaan:

$$S_k(x_k) = f_k \text{ atau } a_k x_k + b_k = f_k \text{ untuk } k = 1, 2, \dots, (n-1) \\ (n-1), \\ S_k(x) = f_k \frac{x-x_{k+1}}{x_k-x_{k+1}} + f_{k+1} \frac{x-x_k}{x_{k+1}-x_k}, x_k \leq x \leq x_{k+1} \quad (29)$$

(Sahid, 2012).

G. Mikrotremor

Mikrotremor merupakan suatu metode geofisika untuk identifikasi bawah permukaan yang memanfaatkan getaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia dan fenomena alam (aliran air, angin, variasi tekanan atmosfer, dan gelombang laut). Pengukuran mikrotremor pada umumnya sama seperti seismik, sinyal yang didapatkan dapat memberikan informasi seperti sumber gelombang, atenuasi gelombang, serta kondisi dari titik pengukuran. Misalnya untuk monitoring *unconventional reservoirs* seperti shale gas, mikrotremor sangat penting untuk melakukan karakteristik retakan dan untuk mengetahui potensi produksi sumur kedepannya (Zheng, dkk., 2016).

Mikrotremor dapat juga diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus menerus, terjebak di lapisan sedimen permukaan, terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya. Dalam kajian teknik kegempaan, litologi yang lebih lunak mempunyai resiko yang lebih tinggi bila digoncang gelombang gempa bumi dikarenakan mengalami penguatan (amplifikasi) gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak (Kanai, 1983).

Survei mikrotremor dapat dilakukan dengan dua cara yaitu 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. Pendekatan kedua diperkenalkan oleh Nakamura pada tahun 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*) (Nakamura 1989).

Secara umum perekaman mikrotremor tidak berbeda dengan perekaman gelombang seismik pada seismometer, alat yang digunakan pun merupakan seismometer. Untuk metode nakamura diperlukan 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. 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).

H. *HVSR (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio)*

Metode *HVSR* merupakan metode yang digunakan sebagai indikator struktur bawah permukaan tanah yang memperlihatkan hubungan antara perbandingan-perbandingan rasio spektrum fourier dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (Nakamura, 1989).

Metode *HVSR* merupakan metode membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor. Mikrotremor terdiri dari ragam dasar gelombang *Rayleigh*, periode puncak perbandingan *H/V*

mikrotremor memberikan dasar dari periode gelombang S (*S-wave*). Perbandingan *H/V* pada mikrotremor merupakan perbandingan dua komponen yang secara teoritis menghasilkan suatu nilai. Metode *HVSR* digunakan untuk menentukan nilai amplifikasi dan nilai periode dominan suatu lokasi yang dapat diperkirakan dari periode puncak perbandingan *H/V* mikrotremor (Nakamura, 2000).

Berdasarkan penelitian Sungkono dan Santoso (2011), untuk mengetahui karakter geologi yang dapat merusak bangunan akibat gempa bumi, maka perlu dilakukan kajian literatur dan karakterisasi *HVSR*. Hasilnya ialah, kerusakan bangunan akibat gempa bumi terjadi pada parameter *HVSR* amplifikasi tinggi dan frekuensi rendah. Amplifikasi berbanding lurus dengan kontras impedansi (kecepatan gelombang geser (V_s) dikalikan densitas) antara sedimen dan *bedrock*, kecepatan gelombang primer (V_p) dan faktor quasi gelombang geser (Q_s). Sedangkan frekuensi natural berbanding lurus dengan V_s rata-rata dan berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen permukaan. Dengan demikian, daerah rawan kerusakan bangunan akibat gempa bumi terjadi pada daerah sedimen lapuk (misalnya pasir, pasir lanauan, gambut) yang tebal dan atau sedimen lapuk yang terdapat diatas batuan yang keras. Metode *HVSR* didasari oleh terperangkapnya getaran gelombang geser (gelombang *shear*) pada medium sedimen di atas *bedrock*. Berdasarkan kondisi tersebut maka, Nakamura merumuskan sebuah fungsi transfer *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectrum Ratio*) mikrotremor, dimana efek penguatan gelombang pada komponen horizontal dapat dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$SE(w) = \frac{HS(w)}{HB(w)} \quad \text{oleh persamaan} \quad (30)$$

$HS(w)$ = 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, yaitu:

$$AS(w) = \frac{VS(w)}{VB(w)} \quad (31)$$

$VS(w)$ = 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 $AS(w)$ yaitu:

$$SM(w) = \frac{SE(w)}{AS(w)} = \frac{\left[\frac{VS(w)}{VB(w)} \right]}{\left[\frac{VS(w)}{VB(w)} \right]} \quad (32)$$

Dimana: $SM(w)$ = fungsi transfer untuk lapisan *soil*.

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

Maka:

$$SM(w) = \frac{HS(w)}{VS(w)} \quad (33)$$

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

$$SM(w) = \frac{[HSN(w)^2 + HWE(w)^2]^{1/2}}{VS} \quad (34)$$

Dimana: $HSN(w)$ = spektrum mikrotremor komponen horizontal utara–selatan.

$HWE(w)$ = spektrum mikrotremor komponen barat–timur

Dalam penggunaan metode ini, digunakan beberapa asumsi bahwa:

1. Mikrotremor sebagian besar terdiri dari gelombang geser
2. Komponen vertikal gelombang tidak mengalami amplifikasi lapisan sedimen dan hanya komponen horisontal yang teramplifikasi
3. Tidak ada amplitudo yang berlaku dengan arah yang spesifik pada *bedrock* dengan getaran ke segala arah
4. Gelombang *Rayleigh* diasumsikan sebagai noise mikrotremor dan diusulkan metode untuk mengeliminasi efek gelombang *Rayleigh*.

Nakamura (1989) mengidentifikasi bahwa jika diasumsikan gelombang geser dominan pada mikrotremor, maka rasio spektrum horisontal terhadap vertikal (*HVSR*) pada data mikrotremor suatu tempat sama dengan fungsi transfer gelombang geser yang bergetar antara permukaan dan batuan dasar di suatu tempat. Nakamura menduga bahwa mikrotremor berperiode pendek sebagian besar terdiri dari gelombang geser dan gelombang permukaan dianggap sebagai *noise*. Dari hasil analisis data gempa menunjukkan bahwa nilai maksimum rasio getaran horizontal dan vertikal dalam setiap pengamatan (H/V) ada kaitannya dengan kondisi tanah dan hampir setara dengan satu kekuatan tanah dengan beberapa getaran ke semua arah (Nakamura, 1989).

I. Frekuensi Dominan

Frekuensi didefinisikan secara sederhana sebagai kebalikan dari waktu. Sehingga waktu yang satuannya adalah detik (*second*) akan menjadi *Hertz*(*1-per second*) hanya akan memiliki tepat satu nilai spektrum. Yang dikenal dengan spektrum frekuensi. Pengertian frekuensi ini juga berlaku untuk gelombang

monokromatis. 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. Lachet dan Brad pada 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 (Lachet dan Brad, 1994). Frekuensi dominan dipengaruhi oleh besarnya kecepatan rata-rata dan ketebalan sedimen bawah permukaan.

Tabel 1. Klasifikasi tanah oleh Kanai berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor (modifikasi) (Kanai, 1983).

1981 (<i>Revised</i>)		1950	Kondisi Tanah
Klasifikasi	Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi	
Jenis 1	>5	Jenis 1	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> .
Jenis 2	1,33 – 5	Jenis 2	Sebagian besar lapisan diluvium atau lapisan aluvium dengan perbandingan ketebalan lapisan gravelpada area yang luas. Terdiri dari gravel, <i>sandy hard clay</i> dan <i>loam</i> .
		Jenis 3	Sebagian besar sangat didominasi oleh lapisan aluvium. Terdiri dari <i>sand, sandy clay</i> dan <i>clay</i> .
Jenis 3	<1,33	Jenis 4	Tanah yang sangat lunak yang terbentuk pada rawa dan lumpur. Terutama lapisan aluvium.

J. Analisis 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. Nilai periode dominan didapatkan berdasarkan perhitungan berikut (Arifin, dkk., 2013).

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (35)$$

Dimana: T_0 = periode dominan (s)

f_0 = frekuensi dominan (Hz)

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Kanai dan Omote - Nakajima (Kanai, 1983)

Klasifikasi Tanah		Periode (T) (sekon)	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote - Nakajima			
Jenis I	Jenis A	0,05 – 0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> , dll.	Keras
Jenis II		0,10 – 0,25	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari <i>sandy - gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Sedang
Jenis III	Jenis B	0,25 – 0,40	Batuan alluvial, dengan Ketebalan > 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel hard clay, loam</i> , dll.	Lunak
Jenis IV	Jenis C	> 0,40	Bahan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll.	Sangat Lunak

Periode dominan memiliki keterkaitan yang sangat dekat dengan ketebalan dan tingkat kekerasan lapisan sedimen lunak (*soft soil*). Daerah yang memiliki periode dominan tinggi umumnya memiliki kerentanan untuk mengalami kerusakan wilayah yang cukup tinggi jika terlanda gempabumi. Hal ini dikarenakan periode dominan berbanding lurus dengan nilai penguatan guncangan / amplifikasi.

K. Analisis 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. Nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Bila perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka nilai faktor penguatan juga tinggi, begitu pula sebaliknya (Nakamura, 2000).

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,

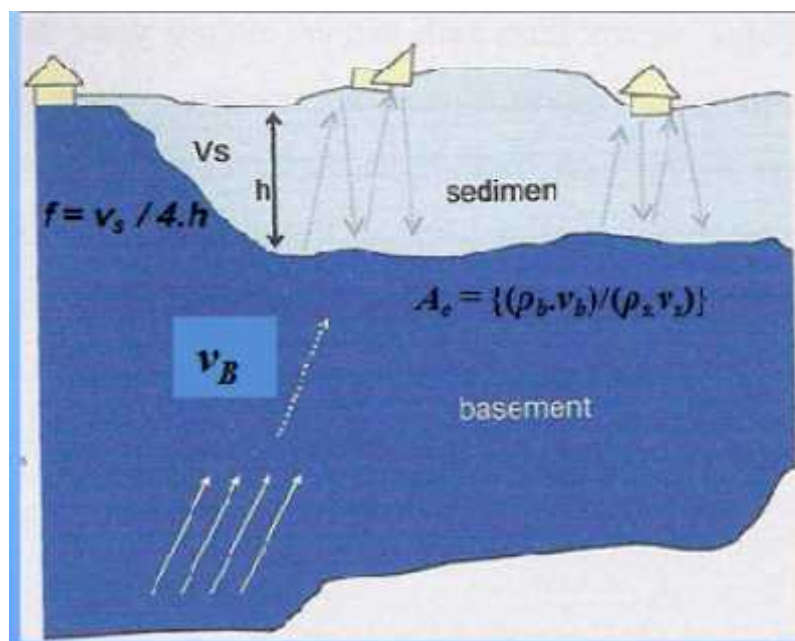
2010). Fujimoto dan Midorikawa (2006) menyarankan hubungan antara V_{s30} dan faktor amplifikasi ($ampv$) dengan persamaan sebagai berikut (Morikawa dkk, 2008):

$$\log (ampv) = 2,367 - 0,852 \cdot \log (Vs30) \quad (36)$$

Dimana: V_{s30} = Kecepatan gelombang shear pada kedalaman 30m (m/s)

$Ampv$ = Faktor Amplifikasi

Nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya (**Gambar 13**).



Gambar 13. Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik (Arifin, dkk., 2013).

Kerusakan struktur bangunan akibat gempa dan intensitas guncangan tanah selama gempa secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi geologi dan kondisi tanah setempat. Batuan sedimen yang lunak diketahui memperkuat gerakan tanah selama gempa dan karena itu rata-rata kerusakan yang diakibatkan lebih parah

dari pada lapisan keras. Artinya batuan sedimen merupakan faktor amplifikasi amplitudo gelombang gempa. Kota modern yang dibangun di atas sedimen lunak akan mudah mengalami kerusakan akibat amplifikasi gelombang gempa.

Terdapat dua sebab terjadinya amplifikasi gelombang gempa yang dapat mengakibatkan kerusakan bangunan. Pertama, adanya gelombang yang terjebak di lapisan lunak, sehingga gelombang tersebut terjadi superposisi antar gelombang, jika gelombang tersebut mempunyai frekuensi yang relatif sama, maka terjadi proses resonansi gelombang gempa. Akibat proses resonansi ini, gelombang tersebut saling menguatkan. Kedua, adanya kesamaan frekuensi natural antara geologi setempat dengan bangunan. Ini akan mengakibatkan resonansi antara bangunan dan tanah setempat. Akibatnya, getaran tanah pada bangunan lebih kuat (Nakamura, 2000).

L. Sumber Gempa Referensi

Dalam menentukan pergerakan tanah maksimum (PGA) setiap titik pengukuran diperlukan data gempabumi di daerah sekitarnya yang memiliki nilai magnitudo besar. Dalam hal ini yang digunakan sebagai gempa referensi adalah gempa Yogyakarta yang berkekuatan 6,3 SR tahun 2006 dengan pusat gempa berada di $7,962^{\circ}$ LS – $110,458^{\circ}$ BT pada kedalaman 12,5 Km. Struktur yang berkembang di daerah penelitian adalah sesar utama berarah barat daya - timur laut yang dikenal dengan nama Sesar Opak. Di sebelah timur Sesar Opak terdapat beberapa sesar berarah barat - timur. Daerah tersebut tersusun oleh batuan endapan Gunung Api Merapi Muda yang dilalui Sesar Opak, sedangkan di timur sesar tersebut tersusun oleh Formasi Semilir dan Formasi Nglanggran. Formasi

Semilir terdiri atas perselingan antara breksi-tuf, breksi-batuapung, tuf dasit, dan tuf andesit serta batu lempung. Sementara Formasi Nglanggran terdiri atas formasi gunung api, breksi aliran, lava, dan tufaan (Wartono, 1995).

M. *Peak Ground Acceleration (PGA)*

Percepatan gerak maksimum (PGA) merupakan parameter gerakan tanah akibat gempa yang paling sering digunakan. Percepatan puncak merupakan peningkatan paling besar pada rekaman kecepatan dari tiap stasiun yang terpisah selama terjadi gempabumi. Gerakan tanah yang terjadi pada lapisan bawah tanah atau batuan padat, karakteristiknya dijelaskan menggunakan parameter amplitudo yaitu percepatan tanah maksimum, kecepatan tanah maksimum dan pergeseran maksimum. Percepatan tanah maksimum merupakan parameter yang sering digunakan. Perambatan gelombang seismic yang menjadi akibat dari percepatan tanah maksimum.

PGA dinyatakan dalam satuan percepatan gravitasi (*Gravitational Acceleration* = gal) atau cm/s^2 . Nilai percepatan tanah maksimum yang dihasilkan menunjukkan tingkat resiko bencana yang terjadi. Nilainya dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan mitigasi bencana, desain struktur bangunan dan rencana tata ruang. Nilai percepatan maksimum dipetakan dalam skala besar pada suatu daerah, dengan periode ulang yang variatif. Perhitungan nilai percepatan tanah maksimum dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu: dengan alat pengukur *accelerograf* dan perhitungan dengan pendekatan empiris. Bila jaringan *accelerograf* tidak mendukung, maka pemanfaatan

perhitungan empiris menjadi alternatif. Pendekatan metode empiris tidak selalu benar, namun cukup memberikan gambaran umum tentang percepatan tanah maksimum (Ibrahim dan Subardjo, 2003).

Nilai PGA dapat dihitung melalui sejarah kejadian gempabumi yang pernah terjadi pada suatu daerah. Besar-kecilnya nilai bergantung pada jenis gempa, magnitudo gempa, episenter, dan jenis serta struktur batuan daerah setempat. PGA hanya memberikan informasi kekuatan puncak gempa. Percepatan tanah maksimum, respon spektra gempa dan riwayat waktu percepatan gempa (*time histories*) merupakan pilihan parameter pergerakan tanah yang sangat diperlukan untuk perhitungan dalam mendapatkan beban gempa rencana. Jika sedikit parameter yang digunakan maka analisisnya pun tidak semakin kompleks, dan sebaliknya.

Setiap gempa yang terjadi menimbulkan suatu pergerakan tanah, besarnya percepatan tanah sangat penting dalam kaitannya dengan perencanaan pembangunan. Semakin besar nilai PGA suatu tempat maka potensi kerusakan yang terjadi semakin parah jika terjadi gempabumi. Pengukuran nilai PGA secara empiris dapat dilakukan dengan pendekatan beberapa persamaan yang diturunkan dari magnitudo dan intensitas gempabumi. Salah satu perumusan nilai PGA dengan formula Kanai:

$$PGA = \frac{5}{\sqrt{T}} 10^{0.61M - P \log R + Q} \quad (37)$$

Dengan P dan Q berturut-turut adalah:

$$P = 1,66 + \frac{3,6}{R} \quad (38)$$

$$Q = 0,167 - \frac{1,83}{R} \quad (39)$$

Dimana: PGA = Percepatan getaran (gal)

T = Periode dominan (detik)

M = Magnitudo gelombang permukaan (SR)

R = Jarak Hiposenter (Km)

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian ini dilakukan pada 25 November 2016 di Laboratorium Geofisika, Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

B. Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan pengolahan data mikrotremor dengan berbasis matlab. Data pengukuran mikrotremor yang digunakan adalah data di Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah hasil penelitian Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta dan data tambahan dari *United States Geological Survey* (USGS) berupa data V_{s30} atau kecepatan gelombang *shear* di kedalaman 30 meter di wilayah Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah.

C. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam kerja praktek ini adalah sebagai berikut:

- Laptop
- *Software Matlab 2013*
- *Software Microsoft Word dan Microsoft Excel 2007*

D. Prosedur pembuatan *script matlab* untuk pengolahan data mikrotremor

Penelitian ini membuat *script matlab* untuk pengolahan data mikrotremor adapun tahapannya yaitu sebagai berikut:

a. Pembacaan data pengukuran

Pada proses ini dilakukan *loading* atau *read* data dengan menggunakan teori matriks. Data dari penelitian ini berupa data waktu, komponen x, komponen y, dan komponen z. Sehingga harus membuat *script* seperti pada gambar di bawah ini (**Gambar 14**). Hasil pembacaan data tersebut akan menghasilkan sinyal data pada setiap komponen dengan menggunakan proses *plotting*.

```
% Judul Skripsi: Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode UVSR dengan
% Menggunakan Matlab
% Created By : Winda Bayani Vullawati dan Ryamaurijal Basimang, S.Ti., M.Ti
% Fakultas Teknik Universitas Lampung 2017

data = load('data1.txt');
t = linspace(0,4,24000); %waktu pengukuran
X = data(:,3); %titik pengukuran x
Y = data(:,4); %titik pengukuran y
Z = data(:,5); %titik pengukuran z
figure(1)
plot(t,X)
xlabel('waktu pengukuran (menit)')
ylabel('komponen titik pengukuran X')
title('Grafik Hubungan waktu dan Komponen Pengukuran X')
```

Gambar 14. *Script* pembacaan data pengukuran

b. Proses penentuan nilai frekuensi dengan proses FFT

Pada proses ini penentuan nilai frekuensi menggunakan fungsi FFT (*Fast Fourier Transform*). FFT (*Fast Fourier Transform*) adalah salah satu fungsi perubahan dari data pengukuran yang merupakan domain waktu ke domain frekuensi dengan menggunakan (**Persamaan 14**). Sedangkan pada matlab penentuan nilai frekuensi pada fungsi FFT hanya menggunakan proses seperti pada *script* (**Gambar 15**).

```
% Judul Skripsi: Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR dengan
%               Menggunakan Matlab
% Created By   : Winda Soyani Yuliatwati dan Syamsurrijal Resimang, S.Si., M.Si
% Fakultas Teknik Universitas Lampung 2017

% & & Menentukan transformasi Fourier dari signal + noise.
fftX = fft(X);
fftY = fft(Y);
fftZ = fft(Z);
```

Gambar 15. *Script FFT*

c. Pengolahan nilai H/V dengan matlab

Proses perhitungan untuk mendapatkan nilai H/V dilakukan dengan beberapa tahap yaitu tahapan yang pertama adalah proses *Fast Fourier Transform (FFT)* , proses ini dilakukan untuk mengubah domain waktu pengukuran ke domain frekuensi dengan menggunakan (**Persamaan 14**). Proses ini dilakukan untuk semua komponen yaitu dua nilai spektrum horizontal (E-W dan S-N) dan spektrum vertikal. Selanjutnya tahap perhitungan nilai absolute, untuk persamaannya terdapat pada (**Persamaan 40**). Kemudian perhitungan nilai H/V , nilai H/V adalah perbandingan nilai spektrum horizontal dan spektrum vertikal. Nilai ini dengan perhitungan hasil proses absolute dari ketiga komponen yaitu dua nilai spektrum horizontal (E-W dan S-N) dibagi dengan spektrum vertikal

(**Persamaan 41**). Sehingga akan dihasilkan nilai H/V yang mana akan digunakan untuk analisis kurva $HVSR$ untuk mengetahui nilai frekuensi dominan. Gambar di bawah ini adalah *script* perhitungan nilai H/V dengan matlab (**Gambar 16**).

$$\begin{aligned} |f_{(xf)}| &= \sqrt{\text{Im}_{(xf)}^2 + \text{Real}_{(xf)}^2} \\ |f_{(yf)}| &= \sqrt{\text{Im}_{(yf)}^2 + \text{Real}_{(yf)}^2} \\ |f_{(zf)}| &= \sqrt{\text{Im}_{(zf)}^2 + \text{Real}_{(zf)}^2} \end{aligned} \quad (40)$$

Dimana Im adalah nilai imajiner, real adalah nilai real, xf adalah komponen x , yf adalah komponen y dan zf adalah komponen z .

$$\frac{H}{V} = \frac{\sqrt{Hx^2 + Hy^2}}{Hz} \quad (41)$$

Dimana Hx = rasio horizontal x

Hy = rasio horizontal y

H_z = rasio vertikal z

```
% Judul Skripsi: Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR dengan
% Menggunakan Matlab
% Created By : Winda Utami Juliswari dan Dyamsuningsih Masmaning, S.Ts., M.Ts
% Fakultas Teknik Universitas Lampung YUL

% Absolute Komponen X
AbsX = abs(fftX);

% Absolute Komponen Y
AbsY = abs(fftY);

% Absolute Komponen Z
AbsZ = abs(fftZ);

% Menghitung nilai H/V
HV=(sqrt((AbsX1.^2)+(AbsY1.^2)))/AbsZ1;
```

Gambar 16. *Script* perhitungan nilai H/V

d. *Plotting* kurva HVSR untuk penentuan nilai frekuensi dominan

Setelah menghitung nilai H/V , selanjutnya melakukan *plotting* kurva HVSR untuk mengetahui nilai frekuensi dominan. Nilai frekuensi dominan ditentukan dari analisis hasil kurva HVSR, yang mana nilai frekuensi dominan ditunjukkan dari puncak tertinggi kurva lalu ditarik garis lurus ke sumbu x maka hasilnya akan dapat diketahui. Namun, pada matlab kita dapat membuat *script* yang langsung menunjukkan nilai frekuensi dominan yaitu dengan cara menggunakan fungsi `MaxXValue` dan `Xindex`, seperti pada (**Gambar 17**). Sehingga akan dihasilkan nilai frekuensi dominannya. Setelah didapatkan nilai frekuensi tersebut maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai periode dominan dengan persamaan berikut:

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (42)$$

Dimana: T_0 = periode dominan (s)

f_0 = frekuensi dominan (Hz)

```

% Judul Script: Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR dengan
% Menggunakan Matlab
% Created By : Winda Silyani Yulihawati dan Syamsurrijal Rahimeng, B.Sc., M.Sc.
% Fakultas Teknik Universitas Lampung 2017

xxx = linspace(tau(1),tau(9),24000);
yy = fnval(sp, xxx);
figure(5)
plot(xxx, yy, 'k');
xlabel('Frekuensi (Hz)')
ylabel('H/V')
title('Kurva HVSR')
axis([tau(1) tau(9) 0 2]);

```

Gambar 17. *Script plotting* kurva HVSR dan penentuan nilai frekuensi dominan.

e. Pengolahan nilai amplifikasi dengan data V_{s30}

Nilai amplifikasi ini digunakan untuk mengetahui penguatan gelombang di daerah penelitian. Nilai amplifikasi ini didapatkan dari (**Persamaan 43**) dengan mengetahui nilai V_{s30} daerah penelitian. Data V_{s30} yang digunakan adalah data V_{s30} yang diambil dari USGS (*United States Geological Survey*). Perhitungan nilai amplifikasi ini menggunakan *software matlab* dari persamaan Fujimoto dan Midorikawa (2006) yaitu hubungan antara V_{s30} dan faktor amplifikasi ($ampv$) sebagai berikut:

$$\log(ampv) = 2,367 - 0,852 \cdot \log(V_{s30}) \quad (43)$$

Dimana: V_{s30} = Kecepatan gelombang *shear* pada kedalaman 30m (m/s)

$Ampv$ = Faktor Amplifikasi

Di bawah ini adalah *script* matlab untuk perhitungan data amplifikasi yang menggunakan persamaan diatas (**Gambar 18**).

```
% Judul Ekstraksi: Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVJR dengan
% Menggunakan Matlab
% Created By : Winda S.yani Yuliaswati dan Syamsurrijal Resineng, S.Si., M.Si
% Fakultas Teknik Universitas Lampung 2017
filenama= 'amplifikasi.xlsx';
data=load('vs30.dat'); %memanggil data vs30
vs30=data(:,1);
a = log10(vs30);
ampv= 10.^(2.367-(0.852*a)); %rumus mencari amplifikasi
A= max(ampv) %nilai amplifikasi maksimum
```

Gambar 18. Script perhitungan nilai amplifikasi

f. Pengolahan nilai PGA dengan persamaan Kanai 1966

Pengolahan nilai PGA ini dilakukan dengan beberapa analisis dan perhitungan, sebagai berikut:

- Dalam menentukan pergerakan tanah (PGA) setiap titik pengukuran

diperlukan data gempabumi di daerah sekitar yang memiliki magnitudo besar.

Dalam hal ini yang digunakan sebagai gempa referensi adalah gempa Yogyakarta berkekuatan 6.3 SR tahun 2006 dengan pusat gempa berada di $7,962^{\circ}$ LS – $110,458^{\circ}$ BT pada kedalaman 12,5 Km.

- b. Menentukan Episenter dan Hiposenter yang merupakan proyeksi dari titik pusat gempa bumi (hiposenter) ke permukaan bumi. Dalam menentukan nilai PGA yang diperlukan adalah jarak dari pusat gempa ke lokasi titik pengukuran (R).

Maka besarnya nilai R dapat ditentukan dengan persamaan:

$$R = \sqrt{(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2} \quad (44)$$

$$R = \frac{H}{\sin \theta} \quad (45)$$

dimana (x_p, y_p) adalah koordinat sumber gempabumi, (x, y) adalah koordinat titik pengamatan, dan H adalah kedalaman gempa.

- c. Menentukan parameter gerakan tanah pada lokasi pengamatan dengan menggunakan menggunakan persamaan Kanai.

$$PGA = \frac{5}{\sqrt{T}} 10^{0.61M - P \log R + Q} \quad (46)$$

Dengan P dan Q berturut-turut adalah:

$$P = 1,66 + \frac{3,6}{R} \quad (47)$$

$$Q = 0,167 - \frac{1,83}{R} \quad (48)$$

Dimana: PGA = Percepatan getaran (gal)

T = Periode dominan (detik)

M = Magnitudo gelombang permukaan (SR)

R = Jarak Hiposenter (Km)

Di bawah ini adalah *script* matlab untuk perhitungan nilai percepatan gerakan tanah maksimum yang menggunakan persamaan diatas (**Gambar 19**).

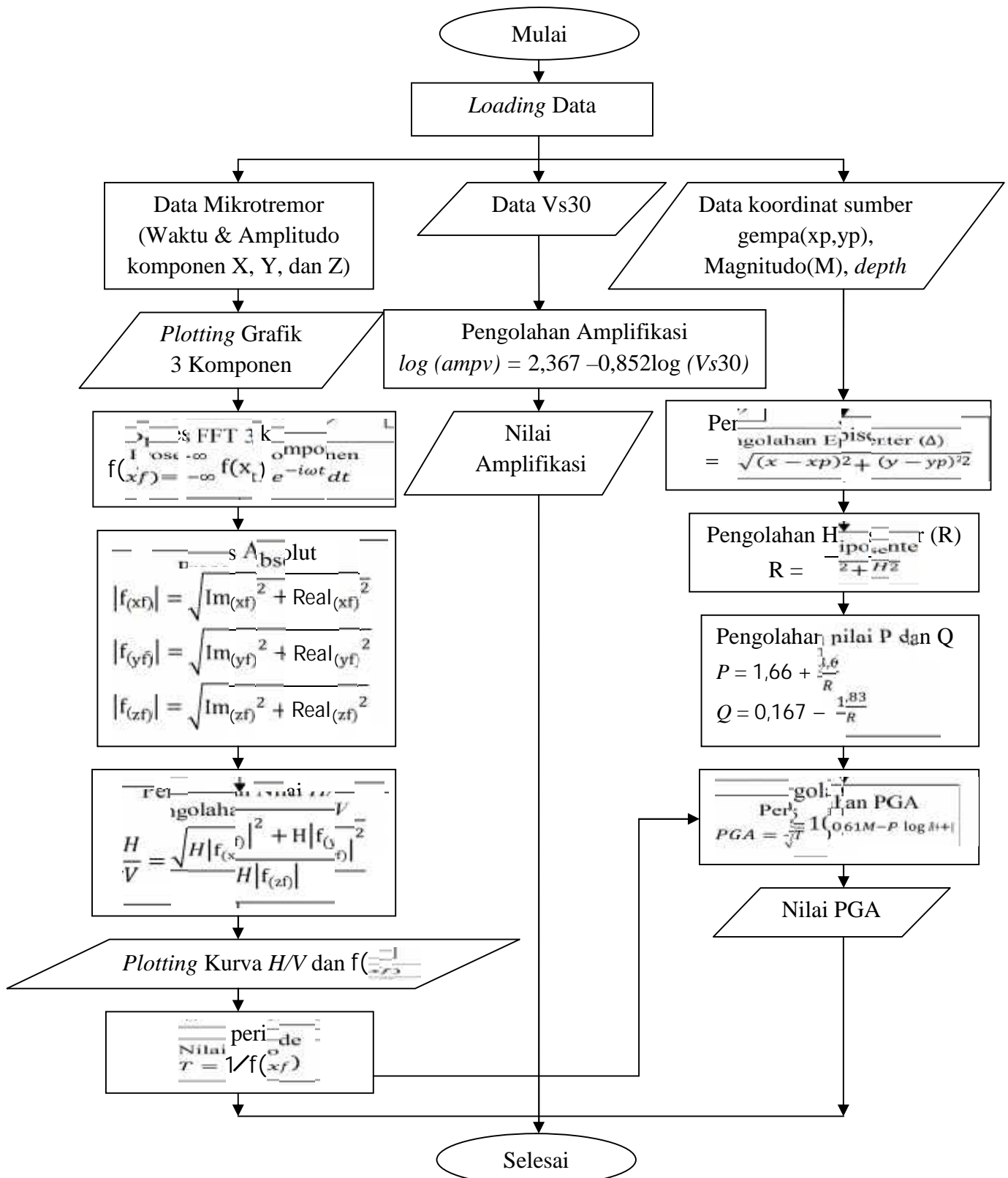
```
% Judul Skripsi: Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR dengan
% Menggunakan Matlab
% Created By : Winda Styani Yuliaswati dan Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si
% Fakultas Teknik Universitas Lampung 2017

% Perhitungan pga
filename='pga.xlsx';
data=load('periode.txt');
T=data(:,1); %nilai jarak hiposenter
data=load('jarakhiposenter.txt');
h=data(:,1); %nilai periode
M=6.3; %nilai magnitudo gempa
P=1.66+((3.6)./h); %nilai P
Q=0.167-((1.83)./h); %nilai Q
pangkat=((0.61.*M)-(P.*log10(h+Q)));
pga=((5./(T).^0.5).*10.^pangkat); %nilai percepatan gerak tanah
```

Gambar 19. *Script* perhitungan nilai PGA

E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dari penelitian ini adalah seperti pada (Gambar 20).



Gambar 20. Diagram Alir Penelitian

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengolahan data mikrotremor untuk analisis kegempaan dapat dilakukan dengan menggunakan *software matlab*.
2. Nilai yang dihasilkan pada pengolahan data mikrotremor dengan *software matlab* tidak jauh berbeda dengan pengolahan yang dilakukan dengan *software geopsy*.
3. Nilai frekuensi dominan yang dihasilkan oleh *software geopsy dan matlab* masuk ke dalam *site class* jenis 2 yaitu sebagian besar adalah aluvium. Sedangkan dari nilai periode dominan yang dihasilkan oleh *software geopsy dan matlab* masuk ke dalam *site class* jenis 1 dengan jenis lapisan tanah yang keras.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini perlu dibuatnya *script* matlab lanjutan yang dapat *running* seluruh file data pengukuran, karena penelitian ini hanya membuat *script* pengolahan untuk menjalankan satu titik pengukuran saja.

DAFTAR PUSTAKA

- Adler, J., Azhar, M., dan Supatmi, S., 2013, Identifikasi Suara dengan Matlab sebagai Aplikasi jaringan Syaraf Tiruan, *Telekontran*, Vol 1, No 1.
- Arifin, S., S., Mulyatno, B. S., Marjiyono, dan Setianegara, R, 2013, 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, Hal 34.
- Daud, Y., Dewi, R., Heditama, D. M., Rusbiyanto, A., dan Swastiko, D., 2013, Pemrosesan Data Magnetotellurik dengan Meperhitungkan *Crosspower* dengan menggunakan Matlab, *Departemen Fisika FMIPA*.
- Hadi, A. I., Fauzi, M., Refrizon, Irkhos, Farid, M., dan Krisbudianto, M., 2013, Mikrozonasi Tingkat Potensi Resiko Bencana Gempa Bumi Di Wilayah Pesisir Provinsi Bengkulu Untuk Mendukung Mitigasi Bencana (Bagian I), *seminar Nasional Sains dan Teknologi V*, Lembaga Penelitian Universitas Lampung.
- Hendra, 2010, Analisis Data Geofisika Monitoring Gunungapi Berdasarkan pengembangan Pemodelan Analitik dan Diskrit (Bagian III): Suatu Studi Konsep Mekanisme Sumber Gempa, *Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi*, Vol 5 No 1.
- Howard, A., 1987, *Aljabar Linier Elementer*, Edisi kelima, Erlangga, Jakarta.
- Ibrahim, G. dan Subardjo, 2003, *Pengetahuan Seismologi*, Badan Meteorologi dan Klimatologi, Manado, Indonesia.
- Kanai, K., 1983, *Seismology in Engineering*, Tokyo University, Japan.
- Kodong, F. R., 2015, Aplikasi *Autoreply* SMS Menggunakan Pemograman Matlab, *Jurnal Telematika*, Vol. 12, No. 01.
- Kurniawati, I., 2016, Analisis Mikrotremor Untuk Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Di Kawasan Jalur Sesar Sungai Oyo Yogyakarta, *Skripsi Studi Fisika-FMIPA*, Yogyakarta.

- Kusumadewi, S., 2004, *Membangun Jaringan Saraf Tiruan Menggunakan Matlab dan Excel Link*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- 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.
- Lay, T., dan Wallace, T. C., 1995, *Modern Global Seismology*, Academic Press, 521 pp.
- Lokmer, I., 2008, *Long Period Seismic Activity and Moment Tensor Inversion in Volcanic Environments: Application to Mount Etna*, Disertasi Doktoral, Universitas College Dublin-Ireland, 169pp.
- Morikawa, N., Senna, S., Hayakawa, Y., dan Fujiwara H., 2008, Application and Verification of The 'Recipe' to Strong-Motion Evaluation for The 2005 West Off Fukuoka Earthquake (Mw=6,6), *Beijing: The 14th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Nakamura, Y., 1989, *A Method For Dynamic Charateristics Estimation Of Subsurface Using Microtremor On The Ground Surface*, Tokyo: Quatrely Reports of the Railway Technical Research Institute, 30, 25-33.
- Nakamura, Y., 2000, *Clear Indentification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application*, Tokyo University, Japan.
- Nakamura, Y., 2008, On the H/V Spectrum, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing*.
- Nasution, A., H., 2016, *Pemetaan Kecepatan Gelombang Geser (V_{S30}) Menggunakan Metode MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) Kota Kalabahi Kabupaten Alor Nusa Tenggara Timur*, Skripsi, Universitas Lampung, Lampung.
- Sahid, 2012, *Pengantar Komputasi Numerik*, Universitas Negri Yogyakarta, HI 247-251.
- Stein, S.m dan Wyssession, M., 2003, An Introduction to Seismology, Earthquake, and Earth Structure, *Blackwell publishing*, 498 pp.
- Supriyanto, 2007, *Analisi data geofisika : memahami teori inversi*, Edisi 1, Departemen Fisika-Fmipa, Universitas Indonesia.
- Rosid S. dan Irawan, B., 2012, Aplikasi Transformasi Hartley pada Analisa Kontinuasi Data Gravity dan Geomagnet, *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng dan DIY*.

USGS-Earthquake, 2016, Situs Internet dari U.S, *Geological Survey Earthquake Hazard Program*, Alamat situs: (<http://earthquake.usgs.gov/hazards/apps/vs30/custom.php>), 14 September 2016, Pukul 15.25 WIB.

Wartono., R., 1995, *Peta Geologi Lembar Yogyakarta*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Zheng, Y., Wang, Y., dan Chang, X., 2016, Wave Equation Based Microseismic Source Location and Velocity Inversion, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*.