

TUGAS AKHIR

**ESTIMASI KECEPATAN GELOMBANG GESER DAN
KARAKTERISASI TANAH DI UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA MENGGUNAKAN METODE MULTICHANNEL
ANALYSIS OF SURFACE WAVE
(ESTIMATION OF SHEAR WAVE SPEED AND SOIL
CHARACTERIZATION IN ISLAMIC UNIVERSITY OF
INDONESIA USING THE MULTICHANNEL ANALYSIS OF
SURFACE WAVE METHOD)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



Muhammad Faizal Akbar

19511094

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2025

TUGAS AKHIR

ESTIMASI KECEPATAN GELOMBANG GESER DAN KARAKTERISASI TANAH DI UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA MENGGUNAKAN METODE MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE (ESTIMATION OF SHEAR WAVE SPEED AND SOIL CHARACTERIZATION IN ISLAMIC UNIVERSITY OF INDONESIA USING THE MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE METHOD)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Disusun oleh

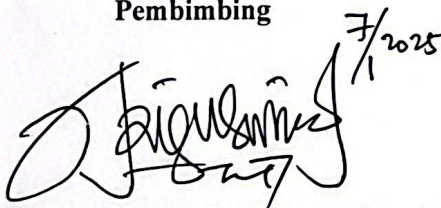
Muhammad Faizal Akbar
19511094

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Pada Tanggal

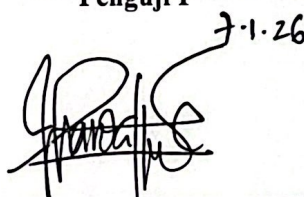
Oleh Dewan Penguji :

Pembimbing

 7/1/2025

Anggit Mas Arifudin S. T., M. T.
NIK : 185111304

Penguji I

 7-1-26

Astria Hardawati S.T., M.Eng.
NIK : 165111301

Penguji II

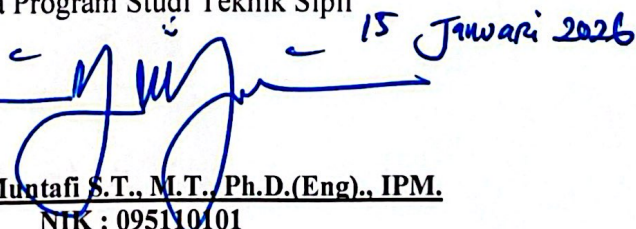
 09 Jan 2026

Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U.
NIK : 845110101

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



 15 Januari 2026

Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D.(Eng.), IPM.
NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 31 Desember 2025

Pembuat Pernyataan,



Muhammad Faizal Akbar

(19511094)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Estimasi Kecepatan Gelombang Geser dan Karakterisasi Tanah di Universitas Islam Indonesia Menggunakan Metode Multichannel Analysis of Surface Waves”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penulis menyadari banyak pihak yang memberikan dukungan dan bantuan selama menyelesaikan studi dan tugas akhir ini. Oleh karena itu, sudah sepantasnya penulis dengan penuh hormat mengucapkan terimakasih dan mendoakan semoga Allah memberikan balasan terbaik kepada :

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Anggit Mas Arifudin S. T., M. T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing selama penyusunan tugas akhir ini,
3. Bapak dan ibu selaku dosen penguji. Terimakasih atas masukan yang telah diberikan kepada penulis,
4. Kedua orang tua yang selalu mendoakan, mendidik dan selalu memotivasi dengan penuh kesabaran serta kasih sayang kepada penulis,
5. Teman - teman seperjuangan yang senantiasa membantu penulis,
6. Segenap staf dan karyawan Laboratorium Pemetaan & GIS Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, terimakasih atas bantuannya selama di laboratorium dan di lapangan,
7. Semua pihak yang telah mendukung dan membantu menyelesaikan Tugas Akhir.

Akhir kata penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat menjadi referensi penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, 31 Desember 2025

Penulis,



Muhammad Faizal Akbar
(19511094)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Perbedaan Penelitian	9
2.3 Keaslian Penelitian	15
BAB III	16
3.1 Gelombang Seismik	16

3.1.1	Gelombang Badan (<i>Body Wave</i>)	17
3.1.2	Gelombang Permukaan	18
3.2	Dispersi Gelombang <i>Rayleigh</i>	22
3.3	Pengaruh Efek Lokal Terhadap Gempa	24
3.4	MASW (<i>Multichannel Analysis Surface Wave</i>)	24
3.5	Konsep Kecepatan Gelombang Geser (<i>Vs</i>)	29
3.6	USGS (<i>United States Geological Survey</i>)	29
3.7	<i>Software</i> Analisis WinMASW	32
3.8	Likuifaksi	34
BAB IV		38
4.1	Tinjauan Umum	38
4.2	Lokasi	38
4.3	Waktu Penelitian	39
4.4	Alat	39
4.5	Tahapan Penelitian	40
4.6	Diagram Alir	44
BAB V		45
5.1	Tinjauan Umum	45
5.2	Pengambilan Data	45
5.3	Analisis Data Menggunakan Geopsy dan Dinver	46
5.1.1	Aplikasi Geopsy	46
5.1.2	Aplikasi Dinver	48
5.5	Peta Mikrozonasi	55
5.6	Perbandingan Nilai VS30 Menggunakan Metode MASW dan USGS	57
5.7	Karakteristik Tanah	59

5.8	Potensi Likuifaksi di Universitas Islam Indonesia	62
BAB VI		65
6.1	Kesimpulan	65
6.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN		70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	10
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Vs30	52
Tabel 5. 2 Pengujian Vs30 Menggunakan MASW	58
Tabel 5. 3 Karakteristik Tanah di UII	61
Tabel 5. 4 Potensi Likuifaksi di UII	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Gelombang Kompresi atau Gelombang P	17
Gambar 3.2 Gelombang Longitudinal atau Gelombang S	18
Gambar 3.3 Amplitudo Gelombang <i>Rayleigh</i> Berkurang Terhadap Kedalaman	19
Gambar 3.4 Pola Gerakan Partikel Gelombang <i>Rayleigh</i>	20
Gambar 3.5 Sifat Penetrasi Partikel Gelombang <i>Rayleigh</i>	21
Gambar 3.6 Gelombang <i>Love</i>	21
Gambar 3.7 Grafik Kecepatan Sudut Gelombang <i>Rayleigh</i> Sebagai Fungsi Frekuensi	23
Gambar 3.8 Ilustrasi Dalam Penangkapan Gelombang MASW	27
Gambar 3.9 Grafik Hasil Penangkapan Data MASW	28
Gambar 3.10 Kurva Dispersi	28
Gambar 3.11 Logo Aplikasi Geopsy	34
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian	39
Gambar 4.2 Alat Pengujian MASW	40
Gambar 4.3 Skema Pengambilan Data MASW di Lapangan	43
Gambar 5. 1 Pengambilan Data MASW FIAI	46
Gambar 5. 2 Konversi Format Data FIAI	47
Gambar 5. 3 <i>Picking</i> Kurva Dispersi Data FIAI	47
Gambar 5. 4 Menentukan Parameter Tanah Data FIAI	48
Gambar 5. 5 Data Bor-Log Fakultas Hukum UII	49
Gambar 5. 6 Kurva V_s (m/s) vs Depth (m) di FIAI	50
Gambar 5. 7 Peta V_s30 Menggunakan Data Lapangan	56

Gambar 5. 8	Peta Vs30 Menggunakan Data USGS	57
Gambar 5. 9	Grafik Vs30 MASW vs Vs30 USGS	59
Gambar 5. 10	Tabel Klasifikasi Situs SNI 1726-2019	61
Gambar 5. 11	Peta Potensi Likuifaksi di UII	64
Gambar L 1.1	Konversi Format Data GOR	71
Gambar L 1.2	Konversi Format Data FTI	71
Gambar L 1.3	Konversi Format Data FTSP	72
Gambar L 1.4	Konversi Format Data FMIPA	72
Gambar L 1.5	Konversi Format Data Lab Terpadu	73
Gambar L 1.6	Konversi Format Data Lab FK	73
Gambar L 1.7	Konversi Format Data Lab BKT	74
Gambar L 1.8	Konversi Format Data FPSB	74
Gambar L 1.9	Konversi Format Data Masjid Ulil	75
Gambar L 1.10	Konversi Format Data Lapangan UTG	75
Gambar L 1.11	Konversi Format Data Rusunawa Putra	76
Gambar L 2. 1	<i>Picking</i> Kurva Dispersi Data GOR	77
Gambar L 2. 2	<i>Picking</i> Kurva Dispersi Data FTI	77
Gambar L 2. 3	<i>Picking</i> Kurva Dispersi Data FTSP	78
Gambar L 2. 4	<i>Picking</i> Kurva Dispersi Data FMIPA	78
Gambar L 2. 5	<i>Picking</i> Kurva Dispersi Data Lab. FMIPA	79
Gambar L 2. 6	<i>Picking</i> Kurva Dispersi Data Lab. FK	79
Gambar L 2. 7	<i>Picking</i> Kurva Dispersi Data Lab BKT	80
Gambar L 2. 8	<i>Picking</i> Kurva Dispersi Data FPSB	80
Gambar L 2. 9	<i>Picking</i> Kurva Dispersi Data Masjid Ulil	81
Gambar L 2. 10	<i>Picking</i> Kurva Dispersi Data Lapangan Bola	81

Gambar L 2. 11 <i>Picking</i> Kurva Dispersi Data Rusunawa Putra	82
Gambar L 3. 1 Dokumentasi GOR	83
Gambar L 3. 2 Dokumentasi FTI	83
Gambar L 3. 3 Dokumentasi FMIPA	84
Gambar L 3. 4 Dokumentasi Lab Terpadu	84
Gambar L 3. 5 Dokumentasi Lab FK	85
Gambar L 3. 6 Dokumentasi Lab BKT	85
Gambar L 3. 7 Dokumentasi FPSB	86
Gambar L 3. 8 Dokumentasi Masjid Ulil	86
Gambar L 3. 9 Dokumentasi FIAI	87
Gambar L 3. 10 Dokumentasi Lapangan UTG	87
Gambar L 3. 11 Dokumentasi Rusunawa Putra	88
Gambar L 4. 1 Meteran	89
Gambar L 4. 2 Pelat Dasar/ <i>Base Plate</i>	89
Gambar L 4. 3 <i>Geophone</i>	90
Gambar L 4. 4 Kabel <i>Geophone</i>	90
Gambar L 4. 5 Kabel <i>Trigger</i>	91
Gambar L 4. 6 Pelat Pemukul/ <i>Strike Plate</i>	91
Gambar L 4. 7 Palu/ <i>Sledgehammer</i>	92
Gambar L 4. 8 Seismograf PASI	92
Gambar L 5. 1 Surat Pengantar Pengujian MASW	93

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

MASW	= <i>Multichannel Analysis of Surface Wave</i>
USGS	= <i>United States Geological Survey</i>
NEHRP	= <i>National Earthquake Hazards Reduction Program</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
IDW	= <i>Inverse Distance Weighted</i>
HVSR	= <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>
CPT	= <i>Cone Penetration Test</i>
SPT	= <i>Standard Penetration Test</i>
AI	= <i>Artificial Intelligence</i>
V_{s30}	= Kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter (m/s)
V_{si}	= Kecepatan gelombang geser i (m/s)
h_i	= Kedalaman/Ketebalan Tanah i (m)
KPa	= Kilopascal
V_p	= Kecepatan gelombang P (m/s)
K	= Modulus bulk (inkompresibilitas)
μ	= Modulus geser
ρ	= Densitas
D	= Jarak antar <i>geophone</i> (m)
CSR	= <i>Cyclic Stress Ratio</i>
CRR	= <i>Cyclic Resistance Ratio</i>
$t(f)$	= Waktu penjalaran gelombang <i>Rayleigh</i> pada frekuensi f (s)
$VR(f)$	= Kecepatan sudut gelombang <i>Rayleigh</i> pada frekuensi f (m/s)
A_m	= Amplifikasi
ρ_0	= Densitas <i>basement</i>
V_0	= Kecepatan gelombang (m/s)
ρ_s	= Densitas sedimen

F_n	= Frekuensi resonansi
P_a	= Tekanan atmosfer (KPa)
σ'_v	= Tegangan vertikal efektif (KPa)
σ_v	= Tegangan vertikal total (KPa)
u	= Tegangan air pori
a_{max}	= Percepatan maksimum gempa (g)
g	= Percepatan gravitasi bumi
γ_d	= Koefisien peredaman tegangan
FS	= Faktor keamanan terhadap likuifaksi
MSF	= <i>Magnitude Scaling Factor</i>

ABSTRAK

Indonesia merupakan wilayah dengan aktivitas seismik tinggi sehingga kajian karakteristik tanah sangat penting, khususnya di Universitas Islam Indonesia (UII) yang berdekatan dengan Sesar Opak. Kondisi geologi kampus yang bervariasi menuntut analisis parameter dinamis tanah seperti kecepatan gelombang geser (V_s) untuk memahami respons tanah terhadap beban seismik dan mendukung mitigasi risiko kegempaan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi nilai V_{s30} , mengetahui karakteristik tanah, membandingkan hasil MASW dengan data USGS, serta menilai potensi likuifaksi dan membuat peta mikrozonasi di kawasan UII. Pengambilan data dilakukan pada 12 titik menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW). Data kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Geopsy, Dinver, dan QGIS untuk memperoleh profil V_s serta distribusi spasial parameter seismik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa klasifikasi tanah di UII didominasi oleh kelas SC–SD. Nilai V_{s30} tertinggi berada di Fakultas Psikologi dan Sosial Budaya sebesar 363,6 m/s, sedangkan nilai V_{s30} terendah berada di Laboratorium Fakultas Kedokteran sebesar 218,8 m/s. Potensi likuifaksi di kawasan kampus berkategori sedang hingga tinggi, dipengaruhi oleh kondisi litologi dan variasi lapisan tanah. Peta mikrozonasi yang dihasilkan memberikan informasi penting bagi perencanaan dan pengembangan infrastruktur yang lebih aman terhadap gempa.

Kata kunci: MASW, V_{s30} , Karakterisasi Tanah, Mikrozonasi, Likuifaksi

ABSTRACT

Indonesia lies in a highly seismic region, making soil characterization essential, particularly at the Islamic University of Indonesia (UII), which is located near the Opak Fault. The geological variability across the campus requires an evaluation of dynamic soil properties such as shear wave velocity (V_s) to better understand site response during seismic loading.

This study aims to estimate V_{s30} values, identify soil characteristics, compare MASW-derived values with USGS data, and assess liquefaction potential and microzonation within UII. Field measurements were conducted at 12 survey points using the Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) method. The collected seismic data were processed using Geopsy, Dinver, and QGIS to produce shear wave velocity profiles and spatial zonation maps.

The results indicate that soil classification across UII is predominantly SC–SD. The highest V_{s30} value was identified at the Faculty of Psychology and Cultural Studies, reaching approximately 363.6 m/s, while the lowest V_{s30} value occurred at the Faculty of Medicine Laboratory with approximately 218.8 m/s. Liquefaction susceptibility ranges from moderate to high, influenced by local subsurface variability. The resulting microzonation map provides essential spatial information for earthquake-resistant infrastructure planning on the campus.

Keywords: MASW, V_{s30} , Soil Characterization, Microzonation, Liquefaction

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia karena terletak di kawasan Cincin Api Pasifik, tempat bertemunya tiga lempeng tektonik utama yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Posisi tektonik ini menyebabkan Indonesia rentan terhadap gempa bumi yang sering kali mengakibatkan kerusakan besar pada infrastruktur dan kehilangan nyawa (Putra dkk., 2020). Oleh karena itu, penelitian mengenai karakteristik tanah dan struktur bawah permukaan menjadi penting untuk mengurangi dampak dari bencana gempa bumi.

Salah satu peristiwa gempa besar yang mencatatkan dampak signifikan di Indonesia adalah gempa Yogyakarta pada tahun 2006 dengan magnitudo 6,3. Gempa ini menewaskan lebih dari 6.000 orang dan menyebabkan kerusakan infrastruktur yang luas, terutama di wilayah Bantul dan Sleman. Wilayah ini berada dekat dengan jalur Sesar Opak, sebuah sesar aktif yang berperan penting dalam aktivitas seismik lokal di Yogyakarta (Syahbana dkk., 2022). Peristiwa ini menegaskan pentingnya memahami kondisi geologi dan karakteristik tanah untuk mitigasi risiko bencana gempa di kawasan tersebut.

Universitas Islam Indonesia (UII), yang terletak di Sleman, Yogyakarta, berada di kawasan yang rentan terhadap dampak gempa bumi. Posisi geografisnya yang dekat dengan Sesar Opak meningkatkan risiko kerusakan struktural akibat gempa. Penelitian geoteknik dan geofisika yang mempelajari karakteristik tanah di sekitar kampus UII sangat penting untuk memberikan informasi yang relevan bagi pengembangan kawasan dan perencanaan bangunan tahan gempa di wilayah tersebut (Pradipta dkk., 2023).

Dalam konteks mitigasi risiko bencana, metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) telah menjadi alat yang andal untuk mengkaji struktur bawah permukaan. MASW adalah metode geofisika non-invasif yang memanfaatkan analisis gelombang permukaan untuk menentukan kecepatan gelombang geser (*shear wave velocity/V_s*) dari lapisan tanah (Wang dkk., 2021). Kecepatan gelombang geser merupakan parameter penting dalam menentukan sifat dinamis tanah, seperti daya dukung tanah dan potensi likuifaksi, yang relevan untuk menilai kerentanan terhadap gempa bumi.

Keunggulan MASW terletak pada kemampuannya untuk menghasilkan profil kecepatan gelombang geser hingga kedalaman tertentu tanpa memerlukan pengeboran, sehingga lebih ekonomis dibandingkan metode konvensional. Selain itu, metode ini cocok untuk diterapkan di berbagai jenis lingkungan geologi, termasuk kawasan dengan aktivitas tektonik tinggi seperti Yogyakarta (Wijaya & Anindita, 2021).

Dalam penelitian ini, metode MASW digunakan untuk mengestimasi kecepatan gelombang geser dan menganalisis karakteristik tanah di kawasan Universitas Islam Indonesia. Studi ini tidak hanya bertujuan untuk memahami sifat mekanis tanah, tetapi juga untuk memberikan rekomendasi dalam pengelolaan risiko gempa bumi di kawasan kampus dan sekitarnya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi profil bawah permukaan tanah di Universitas Islam Indonesia dengan mengestimasi kecepatan gelombang geser menggunakan metode MASW. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar untuk perencanaan bangunan yang lebih aman dan tahan terhadap gempa di kawasan yang terletak di dekat jalur sesar aktif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang didapat adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana nilai kecepatan rambat gelombang geser V_{s30} dan karakteristik tanah di daerah Universitas Islam Indonesia?

2. Bagaimana perbandingan nilai V_{s30} menggunakan metode MASW dan USGS?
3. Bagaimana potensi likuifaksi di daerah Universitas Islam Indonesia?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas, maka tujuan penelitian yang didapatkan adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui nilai V_{s30} dan karakteristik tanah di daerah Universitas Islam Indonesia.
2. Untuk mengetahui perbandingan nilai V_{s30} menggunakan metode MASW dan USGS.
3. Untuk mengetahui potensi likuifaksi di daerah Universitas Islam Indonesia

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan rekomendasi yang dapat digunakan oleh pemerintah daerah dan pemangku kepentingan lainnya untuk perencanaan tata ruang yang lebih aman di wilayah rawan gempa.
2. Membantu pengelola Universitas Islam Indonesia dalam pengambilan keputusan terkait pembangunan dan renovasi fasilitas kampus yang sesuai dengan standar keamanan terhadap gempa.
3. Berkontribusi pada pengembangan metode MASW untuk analisis tanah di kawasan dengan aktivitas tektonik tinggi.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat terarah dan sesuai dengan tujuannya, maka pada penelitian ini menggunakan anggapan dan batasan masalah sebagai berikut :

1. Alat yang digunakan berupa seperangkat alat MASW, terdiri dari :
 - a. *Sledgehammer* (Palu Besar)
 - b. *Geophone* (Penerima Gelombang)
 - c. Kabel *Geophone*
 - d. Kabel *Trigger*

- e. Pelat Dasar (*Base Plate*)
 - f. *Strike Plate* (Pelat Pemukul)
 - g. Laptop
 - h. Meteran
 - i. Seismograf PASI
2. Pengujian ini dilakukan pada 12 titik di wilayah Universitas Islam Indonesia yaitu :
- a. Gedung Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 - b. Gedung Fakultas Teknik Industri
 - c. Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
 - d. Gedung Fakultas Psikologi dan Sosial Budaya
 - e. Gedung Fakultas Ilmu Agama Islam
 - f. Gelanggang Olahraga
 - g. Lapangan Bola
 - h. Masjid Ulil Albab
 - i. Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
 - j. Laboratorium Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 - k. Laboratorium Fakultas Kedokteran
 - l. Rusunawa (Laki-laki)
3. Penelitian ini dianalisis menggunakan *software* Geopsy, Dinver, dan Excel serta untuk pemetaannya menggunakan *software* QGIS
4. Penelitian ini tidak menggunakan Muka Air Tanah (MAT)
5. Penelitian ini hanya menggunakan gelombang geser (Vs) dan tidak menggunakan parameter *Compression Wave Velocity* (Vp), *Poissons Ratio*, dan juga Densitas pada penentuan parameter di *software* Dinver

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada Bab ini dijelaskan mengenai referensi dari penelitian-penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini. Penelitian terdahulu yang tertera pada Bab ini memiliki keterkaitan terhadap penelitian yang akan dilakukan. Berikut adalah penelitian terdahulu yang digunakan peneliti sebagai referensi.

2.1.1 Perbandingan Metode Multichannel Analysis of Surface Wave dan Metode Cone Penetration Test Terhadap Analisis Lapisan Tanah

Atika Hasya dkk, (2021) pada penelitiannya mencoba membandingkan hasil dari metode MASW dengan metode konvensional Cone Penetration Test (CPT). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk membandingkan hasil analisis lapisan tanah menggunakan metode MASW dan CPT, mengevaluasi keunggulan dan keterbatasan masing-masing metode berdasarkan profil tanah yang dihasilkan, dan memberikan rekomendasi penggunaan metode yang sesuai berdasarkan kebutuhan spesifik proyek konstruksi. Penelitian ini dilakukan di TPI (Tempat Pendaratan Ikan) Lampulo, Kecamatan Kuta Alam.

Hasil dari penelitian ini yaitu didapat nilai V_s minimum sebesar 70 m/s dan nilai V_s maksimum sebesar 130 m/s. Berdasarkan SNI 1726-2012, tanah pada lokasi penelitian terbagi ke dalam satu kategori yaitu Tanah Lunak (SE). Data CPT yang telah dikorelasikan menggunakan persamaan empiris menjadi nilai V_s menunjukkan hasil yang relatif sama dan terbagi pada satu jenis tanah yaitu Tanah Lunak (SE). Dengan melihat hasil dari data CPT dan data MASW, maka jenis pondasi yang sesuai diterapkan pada lokasi penelitian adalah pondasi tiang karena letak tanah keras berada pada kedalaman lebih dari 10 meter dibawah permukaan tanah. Pada penelitian yang telah dilakukan membuktikan bahwa data MASW relatif

sesuai dengan data CPT untuk analisis lapisan tanah berdasarkan nilai korelasi dari persamaan-persamaan yang telah dilakukan. Maka dari itu, metode MASW bisa digunakan untuk *preliminary test*.

Maka dari itu metode MASW lebih ideal untuk survei awal karena sifatnya non-destruktif dan ekonomis, tetapi hasilnya perlu divalidasi untuk kondisi lapisan tanah yang tipis. Sedangkan metode CPT lebih disarankan untuk lokasi dengan kebutuhan detail yang tinggi terutama pada area dengan lapisan tanah yang kompleks. Kombinasi kedua metode ini memberikan pendekatan terbaik untuk menghasilkan analisis lapisan tanah yang akurat dan efisien.

2.1.2 Studi Gelombang Rayleigh untuk Prediksi Daya Dukung Tanah dengan Menggunakan Metode Seismik Multi-Channel Analysis of Surface Wave (MASW)

Norlaila dkk. (2023) pada penelitiannya mencoba memprediksi daya dukung tanah dengan menggunakan metode seismik MASW. Tujuannya adalah untuk menentukan litologi bawah permukaan dan daya dukung tanah di area studi. Hal ini dicapai melalui analisis gelombang geser menggunakan metode seismik. Studi ini secara khusus berfokus pada daerah di sepanjang jalan Poros Samarinda-Tenggarong di Kalimantan Timur, Indonesia.

Penelitian ini kemungkinan berfokus pada pemanfaatan gelombang Rayleigh dan metode MASW untuk menilai daya dukung tanah. Dengan metode ini, peneliti dapat memperoleh informasi yang lebih akurat dan lebih cepat mengenai sifat mekanik tanah tanpa perlu melakukan pengujian yang merusak. Hasil penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan teknik geofisika untuk aplikasi teknik sipil, khususnya dalam evaluasi daya dukung tanah dan perencanaan fondasi bangunan.

Pada lokasi penelitian litologi batuan yang terdapat di poros samarinda – tenggarong yaitu dari hasil interpretasi lintasan satu hingga tiga yaitu pada lapisan atas terdapat batu pasir (tidak tersaturasi) hingga batuan lempung dengan jenis tanah lunak dan tanah sedang, hal ini sesuai dengan informasi geologi yaitu daerah tersebut berada di daerah formasi Balikpapan. Berdasarkan hasil analisis dan

interpretasi gelombang geser didapatkan hasil nilai daya dukung tanah dengan nilai rata-rata tiap lintasan 74,46 -79,33 KPa jika dihubungkan dengan nilai kuat geser maka nilai tersebut melebihi nilai 50 KPa dimana berada di jenis tanah sedang.

2.1.3 Pemanfaatan Citra Satelit Dan Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) Untuk Mitigasi Bencana Abrasi Desa Urai, Bengkulu

Shafira Rahmawati dkk. (2024) pada penelitiannya mencoba memanfaatkan citra satelit dan metode MASW untuk mitigasi bencana abrasi di Desa Urai, Bengkulu. Desa Urai, Bengkulu, merupakan wilayah pesisir yang rentan terhadap abrasi akibat aktivitas gelombang laut dan perubahan iklim. Abrasi menyebabkan kerusakan lingkungan, hilangnya lahan, dan ancaman terhadap pemukiman penduduk. Penelitian ini bertujuan menggunakan citra satelit untuk menganalisis perubahan garis pantai akibat abrasi dan menggunakan metode MASW untuk mengidentifikasi karakteristik kekuatan tanah pesisir, serta memberikan rekomendasi mitigasi abrasi berdasarkan hasil dari penelitian tersebut.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ditemukan perubahan garis pantai rata rata ± 8 meter/tahun. Pada hasil analisis data menggunakan MASW dan citra satelit menunjukkan pola yang sama dimana abrasi paling parah terjadi pada titik 1, 2, 4, 6, dan 8 yang berkisar $\pm 3,4-8$ meter/tahun. Pada hasil analisis data titik 3 dan 7 menunjukkan abrasi paling rendah yang berkisar $\pm 0,1-0,5$ meter/tahun. Jenis struktur batuan yang ditemukan pada penelitian ini yaitu, soil, clay, dan limestone pada kedalaman ± 30 meter bawah permukaan, dimana lapisan limestone pada titik yang terkena abrasi paling parah memiliki struktur yang tidak dalam, sedangkan pada titik yang terkena abrasi paling rendah memiliki lapisan limestone yang cukup dalam sehingga dapat menahan getaran gelombang yang dinamis. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi data dalam kajian kebijakan mitigasi terjadinya abrasi di Desa Urai, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu.

2.1.4 Estimating Shear Wave Velocity and Site Characterization of Western Riyadh City, Saudi Arabia Based on Multichannel Analysis of Surface Waves

Abdelrahman dkk. (2024) pada penelitiannya mencoba meneliti karakteristik tanah di Kota Riyadh yang terletak di wilayah tengah Arab Saudi dan mengalami urbanisasi yang pesat sehingga kebutuhan akan penilaian sifat tanah menjadi prioritas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat tanah di wilayah barat Kota Riyadh menggunakan MASW untuk mendukung desain bangunan yang tahan gempa.

Hasil dari penelitian ini menggunakan metode MASW terbukti efektif untuk menentukan profil Vs dan klasifikasi tanah di wilayah barat Kota Riyadh dengan akurasi tinggi dan efisiensi biaya. Tanah di wilayah barat Kota Riyadh mayoritas memiliki kekakuan sedang hingga tinggi dengan potensi amplifikasi seismik yang relatif rendah. Informasi karakterisasi tanah ini penting untuk mendukung desain struktur tahan gempa dan mengurangi risiko kegagalan pondasi. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mencakup area yang lebih luas dan mengintegrasikan hasil MASW dengan metode geoteknik lainnya.

2.1.5 Assess the Effectiveness of Multichannel Analysis of Surface Waves Method in Mapping Ancient Structures in Ultrashallow Aquatic Environments: The Case of Agioi Theodoroi, Greece

Kritikakis dkk. (2024) pada penelitiannya mencoba menyelidiki penggunaan metode analisis gelombang permukaan multichannel (MASW) untuk memetakan struktur kuno yang terendam dalam lingkungan akuatik ultrashallow. Studi ini berpusat pada situs prasejarah Agioi Theodoroi, yang terletak sekitar 10 km sebelah timur Heraklion, Kreta, Yunani. Daerah ini penting untuk warisan arkeologisnya, dan penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi teknik geofisika inovatif untuk mengungkap sisa-sisanya yang terendam. Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai efektivitas metode MASW dalam mendeteksi dan memetakan struktur batu kuno yang terendam. Studi ini berusaha untuk menunjukkan bagaimana teknik seismik konvensional dapat diadaptasi untuk penyelidikan arkeologi bawah air, sehingga meningkatkan pemahaman kita tentang dinamika budaya di situs lepas pantai dangkal.

Hasil penelitian ini mengungkapkan korelasi yang signifikan antara model kecepatan MASW dan data ERT (*Electrical Resistivity Tomography*), terutama di daerah dengan anomali resistivitas tinggi. Namun, penelitian mencatat bahwa struktur batu yang terendam tampak lebih dangkal dan lebih lebar di bagian MASW daripada dimensi sebenarnya karena keterbatasan metode dalam resolusi vertikal dan horizontal. Kehadiran gelombang Scholte, yang bergerak melalui sedimen dasar laut dengan kecepatan rendah, juga disorot sebagai bermanfaat untuk mendeteksi struktur bawah air yang lebih besar

2.2 Perbedaan Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka yang peneliti gunakan sebagai referensi di atas, maka dapat dilihat perbedaan pada setiap penelitian pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

				Penelitian yang dirujuk		Penelitian yang telah dilakukan
Penulis	Atika Hasya dkk. (2021)	Norlaila dkk. (2023)	Shafira Rahmawati dkk. (2024)	Abdelrahman dkk. (2024)	Kritikakis dkk. (2024)	Muhammad Faizal Akbar (2025)
Judul	Perbandingan Metode Multichannel Analysis of Surface Wave dan Metode Cone Penetration Test Terhadap Analisis Lapisan Tanah	Studi Gelombang Rayleigh untuk Prediksi Daya Dukung Tanah dengan Menggunakan Metode Seismik Multi-Channel Analysis of Surface Wave (MASW)	Pemanfaatan Citra Satelit Dan Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) Untuk Mitigasi Bencana Abrasi Desa Urai, Bengkulu	Estimating shear wave velocity and site characterization of western Riyadh City, Saudi Arabia based on multichannel analysis of surface waves	Assess the Effectiveness of Multichannel Analysis of Surface Waves Method in Mapping Ancient Structures in Ultrashallow Aquatic Environments: The Case of Agioi Theodoroi, Greece	Estimasi Kecepatan Gelombang Geser dan Karakterisasi Tanah di Universitas Islam Indonesia Menggunakan Metode Multichannel Analysis of Surface Waves
Tujuan	Tujuan penelitian ini untuk memperoleh profil kecepatan gelombang geser (<i>shear wave velocity, Vs</i>) pada berbagai kedalaman di bawah permukaan tanah dengan membandingkan metode MASW dan CPT. Data pada pengujian ini digunakan untuk menganalisis lapisan tanah secara lebih mendetail, khususnya di kedalaman yang terbatas pada area pengujian.	Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan litologi bawah permukaan dan daya dukung tanah di area studi. Hal ini dicapai melalui analisis gelombang geser menggunakan metode seismik Multi-Channel Analysis of Surface Wave (MASW). Studi ini secara khusus berfokus pada daerah di sepanjang jalan Poros Samarinda-Tenggarong di Kalimantan Timur, Indonesia	Tujuan penelitian ini yaitu untuk memberikan informasi yang lebih akurat mengenai keadaan geoteknik dan karakteristik pantai di Desa Urai untuk perencanaan mitigasi yang lebih baik. Penelitian ini memanfaatkan citra satelit untuk memantau perubahan garis pantai dan menganalisis dampak abrasi terhadap kawasan pesisir, sedangkan metode MASW digunakan untuk menganalisis sifat mekanik tanah di bawah permukaan guna menilai stabilitas tanah yang berpotensi terpengaruh abrasi.	Mengkarakterisasi geologi bawah permukaan dan kekakuan material di Kota Riyadh barat, Arab Saudi, untuk mendukung struktur teknik dan pekerjaan tanah. Secara khusus, penelitian berusaha memperkirakan kecepatan gelombang geser dan mengidentifikasi zona lemah potensial di bawah permukaan, yang sangat penting untuk desain pondasi yang tepat	Mengevaluasi efektivitas metode MASW dalam memetakan struktur kuno yang terletak di lingkungan perairan ultrashallow, khususnya di situs prasejarah terendam Agioi Theodoroi di Yunani. Studi ini berusaha untuk menunjukkan bagaimana MASW dapat diterapkan untuk mendeteksi sisa-sisa arkeologi bawah air dan meningkatkan pemahaman dinamika budaya di daerah ini	Mengkarakterisasi geologi bawah permukaan dan kekakuan material di Universitas Islam Indonesia, untuk mendukung struktur teknik dan pekerjaan tanah. Secara khusus, penelitian berusaha memperkirakan kecepatan gelombang geser dan mengidentifikasi zona lemah potensial di bawah permukaan, yang sangat penting untuk desain pondasi yang tepat

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

				Penelitian yang dirujuk		Penelitian yang akan dilakukan
Penulis	Atika Hasya dkk. (2021)	Norlaila dkk. (2023)	Shafira Rahmawati dkk. (2024)	Abdelrahman dkk. (2024)	Kritikakis dkk. (2024)	Muhammad Faizal Akbar (2025)
Metode	<ul style="list-style-type: none"> • Metode MASW • Metode CPT 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran dengan MASW • Analisis Data Seismik • Verifikasi dengan Uji Laboratorium atau Pengujian Lain (Uji CPT dan SPT) 	<ul style="list-style-type: none"> • Citra satelit • Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran dengan MASW (Multi-Channel Analysis of Surface Waves) • Analisis Karakteristik Tanah • Verifikasi dengan Pengujian Lain 	<p>MASW</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tomografi Refraksi Seismik (TRS) Teknik ini melengkapi MASW dengan memberikan wawasan tambahan ke dalam struktur bawah permukaan. • Electrical Resistivity Tomography (ERT) ERT digunakan untuk mensurvei struktur resistivitas, yang kemudian dibandingkan dengan hasil MASW. • Studi ini berfokus pada korelasi antara variasi kecepatan gelombang S dan anomali resistivitas, menunjukkan adanya struktur batu yang terendam. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran dengan MASW (Multi-Channel Analysis of Surface Waves) • Analisis Karakteristik Tanah • Verifikasi dengan USGS

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

				Penelitian yang dirujuk		Penelitian yang akan dilakukan
Penulis	Atika Hasya dkk. (2021)	Norlaila dkk. (2023)	Shafira Rahmawati dkk. (2024)	Abdelrahman dkk. (2024)	Kritikakis dkk. (2024)	Muhammad Faizal Akbar (2025)
Hasil Penelitian	<ul style="list-style-type: none"> • Metode MASW lebih cocok untuk memberikan gambaran keseluruhan mengenai kekakuan dan struktur tanah di kedalaman yang lebih dalam, serta memberikan informasi tentang respons dinamis tanah terhadap beban atau getaran. • Metode CPT meskipun terbatas pada kedalaman pengujian yang lebih dangkal, memberikan data yang lebih langsung dan lebih rinci mengenai sifat mekanik tanah, seperti kepadatan, kohesi, dan ketahanan terhadap penetrasi, yang sangat penting dalam analisis geoteknik untuk desain fondasi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan gelombang Rayleigh dan metode MASW untuk menilai daya dukung tanah. Dengan metode ini, peneliti dapat memperoleh informasi yang lebih akurat dan lebih cepat mengenai sifat mekanik tanah tanpa perlu melakukan pengujian yang merusak. Hasil penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan teknik geofisika untuk aplikasi teknik sipil, khususnya dalam evaluasi daya dukung tanah dan perencanaan fondasi bangunan. 	<p>Pemanfaatan Citra Satelit dan Metode MASW terbukti efektif dalam mendukung mitigasi bencana abrasi di Desa Urai, Bengkulu. Citra satelit memberikan informasi terkait perubahan garis pantai, sedangkan MASW memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang karakteristik tanah di bawah permukaan yang terkena dampak abrasi. Hasil dari kedua teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang paling rentan terhadap abrasi, serta untuk merancang strategi mitigasi yang lebih tepat dan efektif seperti penanaman vegetasi pantai, pembangunan struktur pelindung pantai, dan pengelolaan penggunaan lahan di daerah pesisir.</p>	<p>Penelitian ini berhasil memberikan informasi penting tentang karakteristik tanah di wilayah barat Riyadh, Saudi Arabia, menggunakan metode MASW. Dengan memperkirakan kecepatan gelombang geser dan memahami sifat mekanik tanah, penelitian ini dapat berkontribusi pada perencanaan dan desain struktur yang lebih aman dan lebih efisien. Hasil penelitian ini juga sangat relevan untuk pengembangan infrastruktur di wilayah tersebut, serta memberikan data penting untuk mitigasi risiko yang terkait dengan kestabilan tanah dan potensi kegagalan struktural.</p>	<p>Penelitian ini menyimpulkan bahwa teknik seismik konvensional, khususnya MASW, memiliki potensi signifikan untuk memetakan situs arkeologi bawah air. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan penyesuaian yang tepat dalam metodologi, seperti menggunakan frekuensi yang lebih tinggi dan konfigurasi array yang dioptimalkan, MASW dapat meningkatkan deteksi dan penggambaran barang antik yang terendam, sehingga berkontribusi pada pemahaman dinamika budaya kuno di lingkungan lepas pantai yang dangkal.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Penelitian ini menghasilkan nilai kecepatan gelombang geser Vs30, klasifikasi tanah, dan juga potensi likuifaksi di UII, didapatkan nilai tertinggi terletak pada lokasi FPSB sebesar 363,606 m/s yang berkategori kelas situs SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak), sedangkan nilai terendah terletak pada lokasi Lab FK sebesar 218,812 m/s yang berkategori kelas situs SD (Tanah Sedang) berdasarkan klasifikasi dari SNI-1726-2019. Selain itu yang termasuk kedalam kelas SC yaitu terletak pada lokasi Lab Terpadu, FPSB, dan Rusunawa Putra. Sedangkan yang termasuk kedalam kelas SD yaitu terletak pada lokasi GOR, FTI, FTSP, FMIPA, Lab FK, Lab BKT, Masjid Ulil, FIAI, dan Lapangan Bola.

						<p>Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di UII berstatus “Sedang” berlokasi pada Lab Terpadu, FPSB, dan Rusunawa Putra. Sedangkan potensi likuifaksi berstatus “Tinggi” terletak pada lokasi GOR, FTI, FTSP, FMIPA, Lab FK, Lab BKT, Masjid Ulil, FIAI, dan Lapangan Bola. Potensi likuifaksi tertinggi terletak pada lokasi Lab FK, sedangkan potensi likuifaksi terendah terletak pada lokasi FPSB.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perbandingan nilai Vs30 menggunakan metode MASW dan USGS didapat nilai Vs30 menggunakan metode MASW tertinggi yaitu 363,606 m/s yang berada pada gedung FPSB dan nilai Vs30 terendah yaitu 218,812 m/s yang berada pada gedung Laboratorium FK. Sedangkan nilai Vs30 menggunakan metode USGS tertinggi yaitu 425 m/s yang berada pada gedung FTSP, Laboratorium BKT, FPSB,
--	--	--	--	--	--	--

						<p>dan Masjid Ulii. Sementara itu, nilai Vs30 terendah yaitu 414 m/s yang berada pada gedung Laboratorium Terpadu. Dari kedua data diatas dapat disimpulkan bahwa hasil dari pengujian Vs30 menggunakan metode MASW lebih beragam dari pengujian Vs30 menggunakan metode USGS dikarenakan metode USGS berasal dari model global dengan resolusi spasial yang lebih kasar (sekitar 1 km² atau lebih).</p>
--	--	--	--	--	--	---

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian ini memiliki perbedaan dari penelitian terdahulu. Perbedaan tersebut terletak pada lokasi yang digunakan. Pada penelitian yang dirujuk terletak pada kota Riyadh, Arab Saudi dan penelitian yang saya lakukan ini berlokasi di Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini menggunakan aplikasi Geo Explorer untuk mengambil data dan aplikasi Geopsy/Dinver untuk menganalisis karakteristik dan juga kekuatan tanah di daerah tersebut serta menggunakan aplikasi QGIS untuk memetakan kecepatan gelombang geser tanah dan juga potensi likuifaksinya. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah diperoleh nilai kecepatan rambat V_{s30} , karakteristik tanah dan juga potensi likuifaksi di daerah tersebut.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Gelombang Seismik

Secara umum gelombang adalah fenomena perambatan usikan atau gangguan sifat fisis dari suatu medium yang merambat pada medium di sekitarnya. Gangguan sifat fisis mula-mula terjadi secara lokal yang menyebabkan adanya osilasi (pergeseran) kedudukan partikel-partikel medium, osilasi tekanan maupun osilasi rapat massa. Karena adanya gangguan rambatan dari satu tempat ke tempat lain ini mengakibatkan adanya transportasi energi (Munadi, 2003).

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

Berdasarkan tempat penjalarnya gelombang seismik dibedakan menjadi dua, yaitu *body wave* (gelombang tubuh) dan *surface wave* (gelombang permukaan). Gelombang tubuh merupakan gelombang yang arah rambatnya masuk ke bawah permukaan bumi yang terdiri dari gelombang kompressional (gelombang longitudinal atau P-wave) dan gelombang geser (gelombang transversal atau S wave). Gelombang P sendiri memiliki ciri, dimana arah gerakan partikel dalam medium searah dengan arah perambatan gelombangnya sedangkan pada gelombang S arah perambatan gelombang tegak lurus dengan gerak partikel dalam mediumnya. Pada gelombang permukaan, arah rambatan gelombang hanya terjadi pada batas permukaan medium saja. Gelombang permukaan berdasarkan dari sifat gerakan partikel media elastik merupakan gelombang kompleks dengan amplitudo besar dan frekuensi rendah yang menjalar karena adanya efek *free surface* dan perbedaan sifat

elastik. Gelombang permukaan dibagi menjadi dua jenis yaitu gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love* (Telford dkk, 1976).

3.1.1 Gelombang Badan (*Body Wave*)

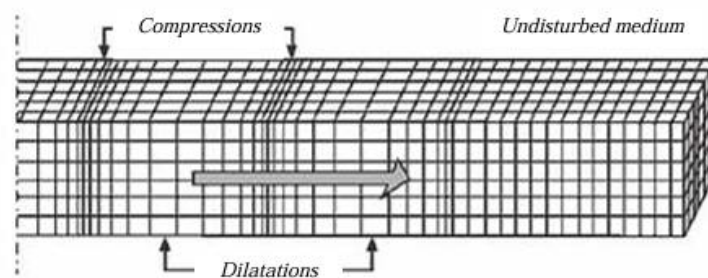
Gelombang badan atau *body wave* merupakan gelombang yang menjalar melalui bagian dalam bumi yang biasa disebut dengan *free wave* karena dapat menjalar ke segala arah di dalam bumi. Gelombang badan terdiri atas dua gelombang, yaitu gelombang primer atau longitudinal (*compressional wave*) dan gelombang transversal atau gelombang sekunder (*shear wave*).

1. Gelombang P

Gelombang yang disebut dengan gelombang kompresi (gelombang primer atau *primary wave* atau gelombang P) apabila pergerakan partikel gelombang sejajar dengan arah penjalaran gelombangnya (Brown, 2005). Gelombang tubuh dapat dilihat pada Gambar 3.1.

$$V_p = \sqrt{\frac{K+4/3\mu}{\rho}} \quad (1)$$

Dengan K adalah modulus bulk (inkompresibilitas), μ adalah modulus geser, dan ρ adalah densitas.



Gambar 3.1 Gelombang Kompresi atau Gelombang P

(Sumber : Elnashai dan Sarno, 2008)

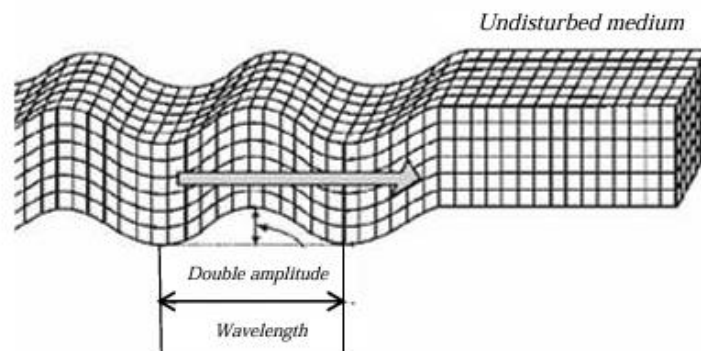
2. Gelombang S

Gelombang ini disebut dengan gelombang geser (gelombang sekunder atau *secondary wave* atau gelombang S) adalah gelombang yang pergerakan partikel

tegak lurus dengan arah penjalaran gelombangnya. Adapun dua komponen pada gelombang S, yaitu gelombang S untuk arah horizontal (*Shear Horizontal*) dan gelombang S untuk arah vertikal (*Shear Vertical*). Kedua arah dari gelombang S ini saling tegak lurus dengan kecepatan rambat gelombang S (V_s) adalah:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

Dengan V_s adalah kecepatan gelombang geser, μ adalah modulus geser dan ρ adalah densitas. Pada medium gas atau medium cair (seperti air) modulus gesernya adalah bernilai nol, sehingga gelombang S tidak akan bisa merambat pada medium tersebut. Adapun bentuk gelombang sekunder ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Gelombang Longitudinal atau Gelombang S

(Sumber : Elnashai dan Sarno, 2008)

3.1.2 Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan atau *surface wave* merupakan gelombang seismik yang merambat secara paralel ke arah permukaan bumi tanpa penyebaran energi ke dalam interior bumi, kemudian amplitudo gelombangnya akan berkurang secara eksponensial terhadap kedalaman, dan kebanyakan dari energinya merambat pada daerah dangkal setara dengan satu panjang gelombang (Ariestianty dkk, 2010).

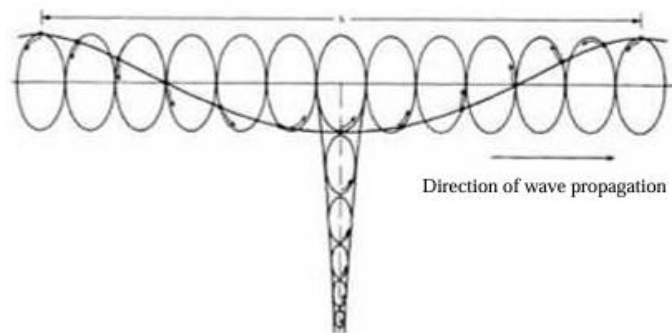
Perambatan gelombang permukaan dipengaruhi oleh sifat bagian lapisan yang terbatas. Seperti pada metode MASW, gelombang permukaan dimanfaatkan untuk

menentukan suatu profil kecepatan gelombang S pada tanah. Gelombang permukaan dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Gelombang *Rayleigh*

Gelombang *Rayleigh* atau dikenal *Groundroll* merupakan gelombang yang merambat di permukaan, dimana pergerakan partikel gelombangnya menyerupai elips dan bergerak mundur. Nilai kecepatan gelombang *Rayleigh* dalam suatu medium homogen akan lebih kecil apabila dibandingkan dengan kecepatan gelombang geser dan apabila terdapat variasi sifat elastik terhadap kedalaman, maka gelombang *Rayleigh* akan terdispersikan, dimana rambatan gelombang akan memiliki kecepatan berbeda karena panjang gelombang yang berbeda (Telford dkk, 1990). Berkurangnya amplitudo gelombang *Rayleigh* seiring dengan bertambahnya kedalaman ditunjukkan pada Gambar 3.3. Kecepatan gelombang *Rayleigh* dirumuskan sebagai berikut :

$$V_r = 0,92 \sqrt{V_s} \quad (3)$$

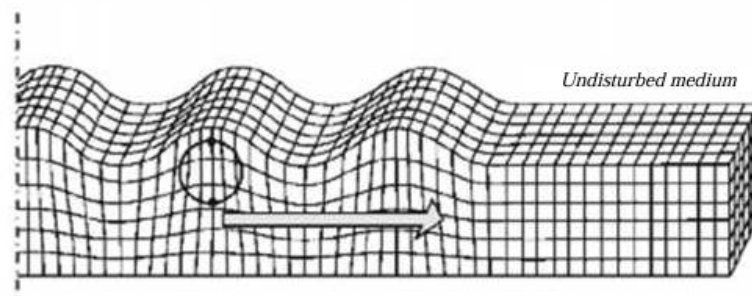


Gambar 3.3 Amplitudo Gelombang *Rayleigh* Berkurang Terhadap Kedalaman

(Sumber : *Hartantyo dan Suryanto, 2010*)

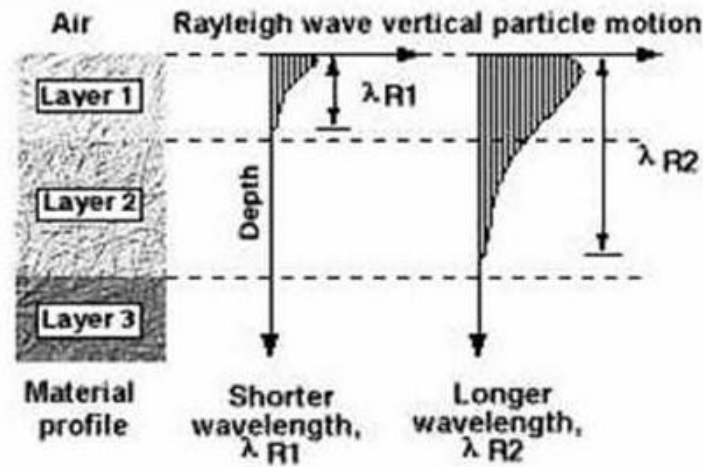
Gelombang *Rayleigh* dapat dibedakan dari amplitudo yang besar dengan frekuensi yang kecil. Perbedaan jenis dari gelombang dapat direkam dengan menggunakan susunan *multichannel* termasuk gelombang datang dan gelombang pantul, fundamental dan mode tinggi dari gelombang *Rayleigh*, gelombang udara, penghamburan, beserta *ambient noise*. Sifat dispersi dari jenis-jenis gelombangnya digambarkan melalui perubahan 2D gelombang saat di lapangan menjadi gambar

dispersi. Gangguan yang pasti terjadi dari gelombang saat di lapangan adalah seperti hamburan kembali gelombang permukaan dan beberapa jenis gelombang badan yang disaring selama perubahan ini. Dari gambar dispersi diperoleh, sebuah kurva dispersi dari modulus dasar gelombang *Rayleigh* dipilih yang kemudian diinversikan untuk mendapat profil 1D kecepatan gelombang S. Gelombang *Rayleigh* adalah jenis gelombang permukaan yang digunakan untuk mencitrakan struktur bawah permukaan dengan aplikasi yang lebih mudah pada karakterisasi geoteknik. Karena gelombang *Rayleigh* bersifat unik, yaitu setiap gelombang merambat melewati batas lapisan material bumi akan mengalami dispersi. Dan efek dari gelombang *Rayleigh* sangat besar, jadi apabila kekuatan sumber atau *source* diterapkan di permukaan tanah. Dan gelombang *Rayleigh* yang dihasilkan mencapai 67% dari total energi yang dihasilkan sumbernya (Hertantyo & Brotopuspito, 2010). Maka gelombang *Rayleigh* digunakan untuk mengidentifikasi masalah struktur tanah, karena pengurangan energi gelombang *Rayleigh* dalam perambatannya lebih rendah dari jenis gelombang seismik lain (Shearer, 2009). Adapun pola dari pergerakan gerakan gelombang *Rayleigh* pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pola Gerakan Partikel Gelombang *Rayleigh*

(Sumber : *Elnashai dan Sarno, 2008*)



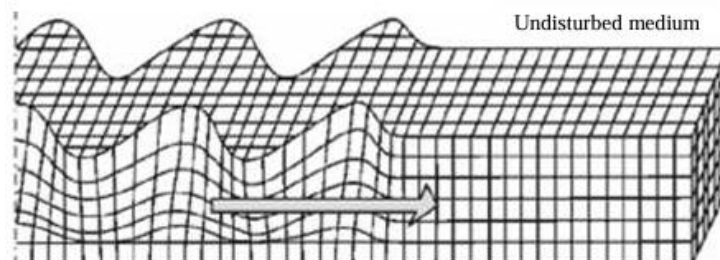
Gambar 3.5 Sifat Penetrasi Partikel Gelombang *Rayleigh*

(Sumber : Rosyidi, 2006)

Gambar 3.5 menjelaskan bahwa pada panjang gelombang pendek dengan frekuensi tinggi hanya merambat pada permukaan yang dangkal saja, sedangkan pada gelombang yang lebih panjang dengan frekuensi rendah akan merambat lebih dalam.

2. Gelombang *Love*

Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang terjadi pada kondisi stratigrafi khusus yang kecepatan geser pada lapisan teratasnya lebih kecil dari lapisan yang berada dibawahnya. Gelombang *Love* merupakan gelombang dari hasil polarisasi gelombang S yang arah penjalarannya paralel dengan permukaannya secara horizontal, seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Gelombang *Love*

(Sumber : Elnashai dan Sarno, 2008)

Pergerakan dari partikel gelombang memotong arah rambatnya dan paralel terhadap permukaan bebas. Gelombang tidak dapat terjadi pada medium homogen, dan pada media berlapis gelombang *Love* terdispersi, dimana kecepatannya cenderung kepada kecepatan geser pada lapisan bawah pada frekuensi rendah dan cenderung kepada kecepatan geser pada lapisan teratas pada frekuensi tinggi.

3.2 Dispersi Gelombang *Rayleigh*

Gelombang elastis atau mekanis yang ditimbulkan karena adanya regangan medium elastis merupakan gelombang seismik merambat secara mekanik ke dalam medium lapisan bumi. Gelombang seismik dibagi menjadi dua Berdasarkan sistem penjarangannya, yaitu gelombang badan dan permukaan. Energi gelombang seismik 67% adalah energi gelombang permukaan (Sholihan & Santosa, 2009).

Gelombang permukaan digunakan untuk mendapatkan kecepatan gelombang geser sebagai fungsi kedalaman. Selanjutnya, nilai kecepatan gelombang geser digunakan untuk mengetahui sifat struktur bawah permukaan, misalnya porositas, densitas, saturasi air dan jenis batuan. Sejak tahun 1980-an, gelombang permukaan dimanfaatkan untuk mencitrakan struktur bawah permukaan karena mudah dan diaplikasikan pada karakterisasi geoteknik, yaitu gelombang *Rayleigh*. Sebab gelombang *Rayleigh* mempunyai sifat yang unik, dimana gelombang akan mengalami disperse pada setiap perambatan gelombangnya yang melewati batas lapisan material bumi.

Kurva dispersi gelombang *Rayleigh* didapatkan dengan cara mengroskorelasikan gelombang *Rayleigh* pada fungsi frekuensi yang terdeteksi oleh geophon dengan jarak sebesar D meter.

$$G_{y_1y_2} = Y_1(f) * Y_2 \quad (4)$$

Dimana $*$ menandakan bilangan kompleks konjugat. Estimasi selanjutnya adalah perbedaan antara sudut $\theta(f)$ dan $t(f)$ waktu yang dibentuk oleh penjarangan kedua gelombang *Rayleigh* dengan pendekatan persamaan :

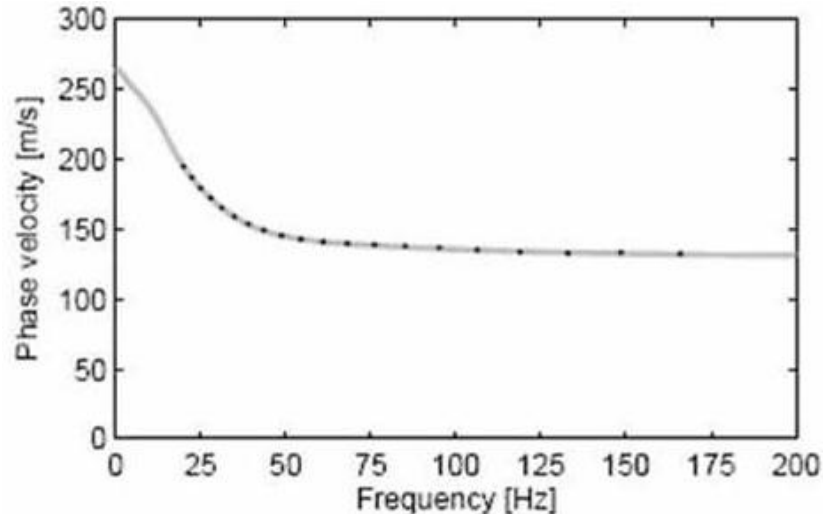
$$\theta_{y_1 y_2} = Y_1(f) * Y_2 \quad (5)$$

$$t(f) = \frac{\theta_{y_1 y_2}(f)}{2\pi f} \quad (6)$$

dimana $\theta_{y_1 y_2}(f)$ adalah perbedaan sudut dan $t(f)$ adalah waktu penjalaran gelombang. Selanjutnya di estimasi kecepatan sudut gelombang *Rayleigh* dengan menggunakan persamaan :

$$V_R(f) = \frac{D}{t(f)} \quad (7)$$

Dimana $V_R(f)$ adalah kecepatan sudut gelombang *Rayleigh*, D adalah jarak *geophone* dan $t(f)$ adalah waktu rambat gelombang. Kecepatan sudut suatu gelombang *Rayleigh* jika dibuat grafik sebagai fungsi dari frekuensi akan seperti pada Gambar 3.7, grafik tersebut disebut sebagai dispersi gelombang *Rayleigh* atau kurva dispersi.



Gambar 3.7 Grafik Kecepatan Sudut Gelombang *Rayleigh* Sebagai Fungsi Frekuensi

(Sumber : *Sholihan dan Santosa, 2009*)

Kecepatan gelombang *Rayleigh* yang terukur dalam pengukuran MASW sangat merepresentasi kecepatan gelombang geser, karena kecepatan fase gelombang *Rayleigh* sekitar 92% dari kecepatan gelombang geser. Perhitungan kecepatan

gelombang geser dilakukan dengan menganalisa sifat dispersi dari gelombang *Rayleigh* yang terdapat dalam data seismik yang direkam selama survey dilakukan (Stokoe dkk, 1994).

3.3 Pengaruh Efek Lokal Terhadap Gempa

Karakterisasi efek lokal dan getaran tanah diperlukan dalam mitigasi bencana gempabumi, karena kerusakan bangunan yang terjadi tergantung dari struktur bawah permukaannya. Gelombang gempa akan menjalar dari kecepatan tinggi (*basement*) ke kecepatan rendah (sedimen), dan multirefleksi terjadi pada sedimen, sehingga mengakibatkan amplifikasi gelombang. Amplifikasi gelombang menyebabkan kerusakan pada lapisan tanah, karena adanya gelombang yang terjebak pada lapisan lunak, apabila gelombang mempunyai frekuensi relatif sama, maka akan menimbulkan resonansi (penguatan gelombang gempa), sehingga memberikan efek kerusakan pada bangunan yang berdiri di atasnya. Faktor amplifikasi dipengaruhi oleh densitas batuan dan kecepatan gelombang geser (V_s):

$$Am = \frac{\rho_0 V_0}{\rho_s V_s} \quad (8)$$

Dimana Am adalah amplifikasi, ρ_0 adalah densitas basement, V_0 adalah kecepatan gelombang pada basemen, ρ_s adalah densitas sedimen dan V_s adalah kecepatan gelombang geser pada sedimen. Hubungan dari frekuensi resonansi dengan kecepatan gelombang geser dirumuskan sebagai berikut :

$$F_n = \frac{V_s}{4H} \quad (9)$$

dimana F_n adalah frekuensi resonansi, V_s adalah kecepatan gelombang S dan H adalah ketebalan sedimen.

3.4 MASW (*Multichannel Analysis Surface Wave*)

Kecepatan gelombang geser (V_s) merupakan parameter penting dalam berbagai studi geoteknik dan geofisika, terutama dalam analisis sifat mekanik tanah dan batuan. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengukur V_s adalah *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW). MASW adalah teknik seismik

berbasis gelombang permukaan yang memanfaatkan sifat dispersi gelombang *Rayleigh* untuk memperkirakan profil V_s sebagai fungsi kedalaman (Park dkk, 1999). Metode ini telah berkembang pesat dan menjadi standar dalam berbagai aplikasi, termasuk eksplorasi geologi, rekayasa seismik, dan mitigasi bencana.

1. Prinsip Dasar

MASW bekerja berdasarkan analisis gelombang permukaan yang dihasilkan oleh sumber getaran, seperti palu, *weight drop*, atau ledakan kecil. Gelombang permukaan ini merambat sepanjang permukaan tanah dan memiliki sifat dispersi, yaitu perubahan kecepatan propagasi sebagai fungsi frekuensi. MASW menggunakan beberapa *geophone* yang ditempatkan secara linear untuk merekam gelombang yang merambat, memungkinkan pemisahan mode gelombang dan analisis lebih lanjut untuk menentukan V_s bawah permukaan (Xia dkk, 1999).

2. Proses Akuisisi Data

Akuisisi data MASW melibatkan beberapa langkah utama, termasuk penempatan *geophone* dalam konfigurasi multikanal, pemilihan sumber gelombang, serta perekaman sinyal seismik. Jarak antar *geophone* dan frekuensi sumber sangat menentukan resolusi serta kedalaman penetrasi dari gelombang yang dihasilkan. Umumnya, konfigurasi dengan *geophone* yang lebih rapat dan sumber frekuensi tinggi digunakan untuk studi dangkal (< 30 m), sedangkan jarak *geophone* yang lebih besar dan sumber energi yang lebih kuat digunakan untuk investigasi yang lebih dalam (Foti dkk, 2018).

3. Transformasi dan Analisis Dispersi

Setelah data direkam, langkah berikutnya adalah mengonversi data gelombang permukaan ke dalam bentuk kurva dispersi. Kurva ini menggambarkan hubungan antara kecepatan fase gelombang dan frekuensinya. Transformasi yang umum digunakan dalam analisis MASW meliputi *Fourier Transform* dan *Frequency-Wavenumber (F-K) Transform*. Kurva dispersi kemudian diinvert menggunakan teknik optimasi numerik untuk memperoleh profil V_s terhadap kedalaman (Park dkk, 1999).

4. Keunggulan MASW

Dibandingkan dengan metode seismik lainnya, MASW memiliki beberapa keunggulan, antara lain:

1. Non-invasif: Tidak memerlukan pengeboran atau penggalian, sehingga lebih ekonomis dan praktis.
2. Resolusi tinggi: Dapat memberikan informasi Vs dengan resolusi tinggi hingga kedalaman tertentu.
3. Fleksibilitas: Dapat digunakan di berbagai kondisi tanah, termasuk daerah perkotaan yang bising.
4. Cepat dan efisien: Proses akuisisi dan pemrosesan data relatif lebih cepat dibandingkan metode lain seperti *Downhole* atau *Crosshole* (Yoon & Rix, 2009).

5. Keterbatasan MASW

Meskipun memiliki banyak keunggulan, MASW juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti:

1. Kedalaman terbatas: Resolusi metode ini menurun pada kedalaman yang lebih dalam karena redaman gelombang.
2. Ketergantungan pada kualitas sinyal: Data MASW sangat bergantung pada kondisi lapangan dan kualitas sumber gelombang.
3. Kesulitan dalam lapisan dengan kontras kecepatan rendah: Jika dua lapisan memiliki kecepatan gelombang yang mirip, metode ini mungkin kesulitan dalam mendeteksinya (Foti dkk, 2018).

6. Aplikasi MASW dalam Geoteknik

MASW banyak digunakan dalam berbagai aplikasi geoteknik, seperti:

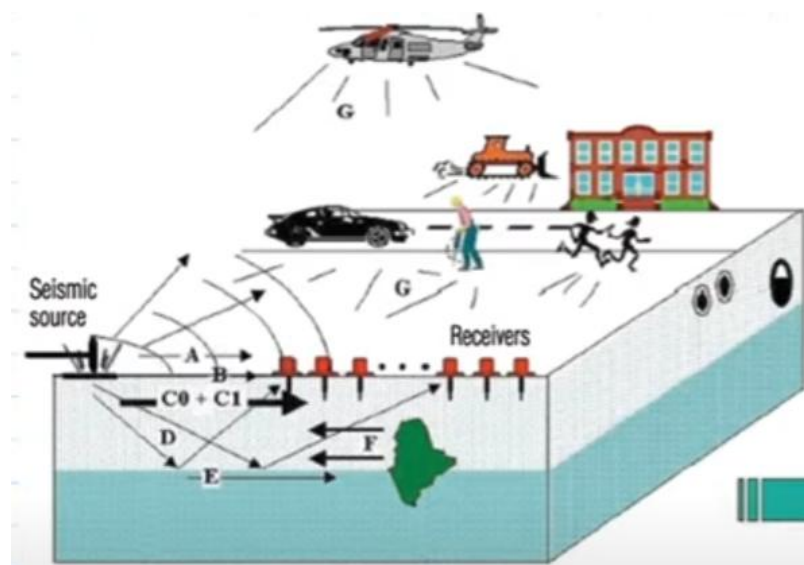
1. Klasifikasi tanah berdasarkan Vs30 : Digunakan dalam kode bangunan dan peraturan seismik seperti NEHRP dan SNI 1726-2019.
2. Evaluasi potensi likuifaksi : Digunakan untuk menilai kerentanan tanah terhadap likuifaksi akibat gempa bumi.
3. Studi stabilitas lereng : Digunakan untuk mengevaluasi sifat mekanik tanah dalam analisis kestabilan lereng.

7. Aplikasi MASW dalam Eksplorasi Geologi

Dalam eksplorasi geologi, MASW digunakan untuk mengidentifikasi batas lapisan batuan dan mengetahui perubahan litologi bawah permukaan. Teknik ini sangat berguna dalam eksplorasi air tanah, evaluasi kondisi pondasi, serta pemetaan zona lemah dalam formasi geologi tertentu (Xia dkk, 1999).

8. Perkembangan Terkini dalam MASW

Teknologi MASW terus berkembang, terutama dalam penggunaan metode inversi non-linear dan kecerdasan buatan (AI) dalam pemrosesan data. Perkembangan terbaru juga mencakup pengembangan perangkat lunak yang lebih canggih untuk analisis data MASW, serta peningkatan resolusi data menggunakan geofon dengan sensitivitas lebih tinggi (Xia dkk, 2019). Dibawah ini adalah skema penangkapan gelombang dan grafik-grafik data MASW.



Gambar 3.8 Ilustrasi Dalam Penangkapan Gelombang MASW

(Sumber : Park dkk, 1999)

Dimana :

A : *Air wave* / gelombang udara

B : *Direct wave* / gelombang langsung

C0 : *Surface wave (fundamental mode)* / gelombang permukaan dibagian dasar

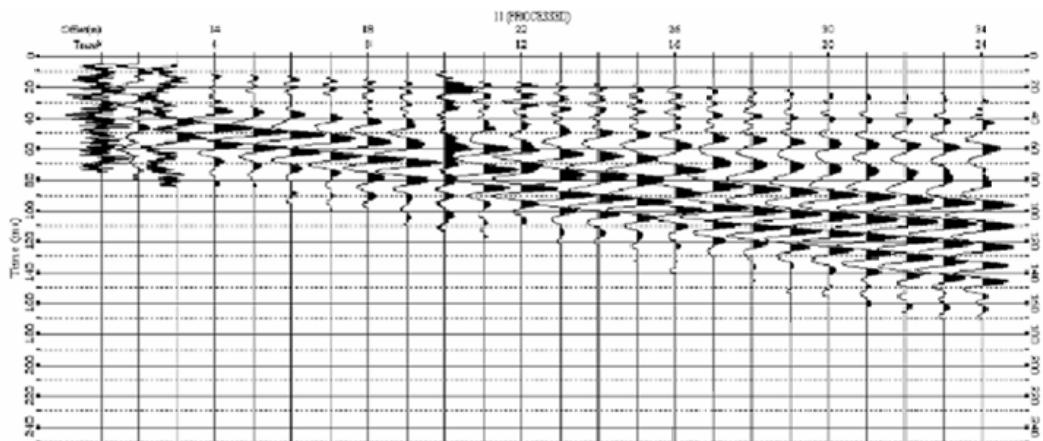
C1 : *Surface wave (higher modes)* / gelombang permukaan dibagian yang lebih dalam

D : *Reflection* / refleksi

E : *Refraction* / pembiasan

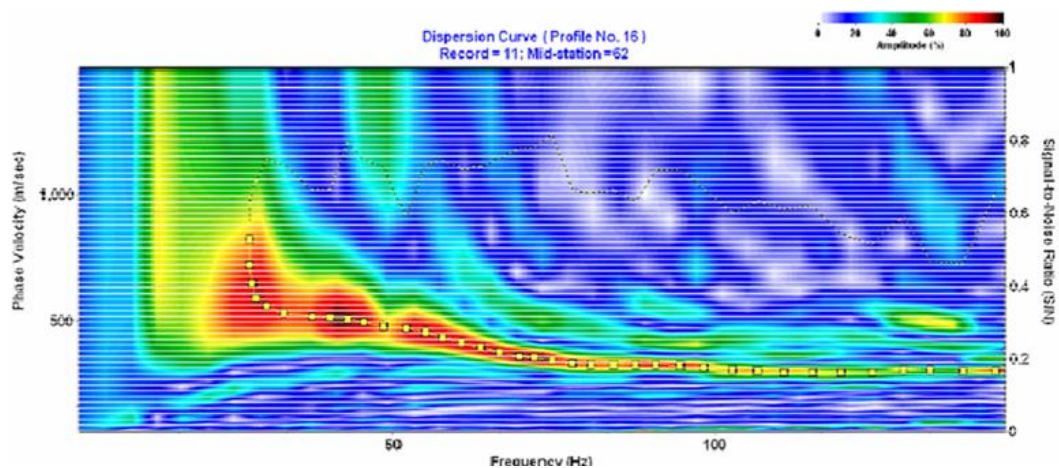
F : *Back scattering of surface wave* / gelombang pantulan

G : *Ambient cultural noise* / kebisingan disekitar



Gambar 3.9 Grafik Hasil Penangkapan Data MASW

(Sumber : *Abdelrahman dkk, 2024*)



Gambar 3.10 Kurva Dispersi

(Sumber : *Abdelrahman dkk, 2024*)

MASW merupakan metode yang sangat berguna dalam berbagai aplikasi geoteknik dan geofisika. Dengan keunggulannya dalam hal efisiensi dan

fleksibilitas, metode ini telah menjadi alat yang penting dalam eksplorasi tanah dan batuan. Meskipun memiliki beberapa keterbatasan, kombinasi MASW dengan metode lain dapat meningkatkan akurasi hasilnya. Dengan perkembangan teknologi, MASW terus mengalami inovasi, menjadikannya metode yang semakin andal untuk pemetaan V_s bawah permukaan.

3.5 Konsep Kecepatan Gelombang Geser (V_s)

Kecepatan gelombang geser mengukur laju perambatan gelombang geser (S) melalui tanah atau batuan. Nilai V_s bergantung pada sifat elastisitas material dan kerapatannya, yang dapat dihitung menggunakan rumus:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (10)$$

di mana G adalah modulus geser dan ρ adalah densitas material. Dalam konteks rekayasa seismik, nilai V_s sering digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan tingkat kekakuannya, dengan implikasi langsung terhadap amplifikasi getaran akibat gempa (Borcherdt, 1994).

3.6 USGS (*United States Geological Survey*)

Kecepatan gelombang geser (V_s) merupakan salah satu parameter utama dalam karakterisasi tanah dan batuan, terutama dalam kajian geoteknik dan seismologi. *United States Geological Survey* (USGS) adalah lembaga yang memiliki kontribusi besar dalam penelitian dan pengembangan metode untuk mengukur V_s guna memahami sifat mekanik tanah serta dampaknya terhadap propagasi gelombang seismik. USGS telah mengembangkan berbagai model dan basis data V_s untuk membantu evaluasi bahaya gempa bumi serta perencanaan infrastruktur yang tahan gempa.

1. Peran USGS dalam Studi V_s

USGS berperan penting dalam menyediakan data V_s secara luas, termasuk pengembangan model V_{s30} , yang merupakan rata-rata V_s hingga kedalaman 30 meter. Parameter ini digunakan secara luas dalam peraturan bangunan seismik,

seperti dalam klasifikasi tanah menurut *National Earthquake Hazards Reduction Program* (NEHRP) dan *International Building Code* (IBC) (Wills dkk, 2015).

2. Model Vs30 dan Signifikansinya

Model Vs30 yang dikembangkan oleh USGS digunakan untuk mengevaluasi potensi amplifikasi tanah akibat gempa bumi. Klasifikasi tanah berdasarkan Vs30 biasanya dibagi menjadi beberapa kategori:

- a. Kelas A: Batu sangat keras ($V_s > 1500$ m/s)
- b. Kelas B: Batu keras (750–1500 m/s)
- c. Kelas C: Tanah sangat padat (350–750 m/s)
- d. Kelas D: Tanah padat hingga sedang (175–350 m/s)
- e. Kelas E: Tanah lunak ($V_s < 175$ m/s)

Kategori ini digunakan dalam analisis bahaya gempa bumi untuk memperkirakan percepatan tanah maksimum *Peak Ground Acceleration* (PGA) di berbagai jenis tanah (Borcherdt, 1994).

3. Metode Penentuan Vs yang Digunakan oleh USGS

USGS menggunakan berbagai metode geofisika untuk mengukur Vs, termasuk:

- a. Metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW): Menggunakan gelombang *Rayleigh* untuk menentukan profil Vs bawah permukaan.
- b. Metode *Refraction Microtremor* (ReMi): Memanfaatkan gelombang seismik dari sumber alami untuk menentukan Vs.
- c. Metode *Downhole* dan *Crosshole*: Menggunakan sensor dalam sumur bor untuk mengukur kecepatan gelombang geser secara langsung.
- d. Metode Seismik *Ambient Noise*: Menggunakan gelombang seismik yang dihasilkan oleh aktivitas alami atau manusia untuk menilai karakteristik tanah (Yong dkk, 2012).

4. Aplikasi Vs dalam Pemetaan Bahaya Seismik

USGS menggunakan data Vs untuk menghasilkan peta zonasi seismik yang mencerminkan potensi amplifikasi tanah di berbagai wilayah. Peta ini sangat berguna bagi perencana kota dan insinyur sipil dalam mendesain bangunan yang lebih tahan terhadap gempa. Data Vs juga digunakan dalam analisis respons situs

untuk memahami bagaimana tanah di suatu lokasi akan berperilaku ketika terkena gelombang seismik (Wills dkk, 2015).

5. Studi Kasus Penggunaan Vs dalam Analisis Seismik

Salah satu studi kasus yang dilakukan oleh USGS adalah pemetaan Vs30 di wilayah California, yang memiliki sejarah aktivitas seismik tinggi. Data Vs30 digunakan untuk memperkirakan dampak potensial gempa bumi di berbagai jenis tanah, yang membantu dalam perencanaan tanggap darurat dan desain bangunan tahan gempa (Wills et al., 2015).

6. Keterbatasan dan Tantangan dalam Pengukuran Vs

Meskipun metode yang digunakan oleh USGS cukup canggih, terdapat beberapa tantangan dalam pengukuran Vs, seperti:

- a. Ketidakpastian dalam interpretasi data: Variasi lateral dalam tanah dapat menyebabkan ketidakpastian dalam hasil.
- b. Kedalaman terbatas: Beberapa metode, seperti MASW dan ReMi, memiliki keterbatasan dalam resolusi pada kedalaman yang lebih dalam.
- c. Variabilitas alami tanah: Faktor seperti kadar air dan komposisi tanah dapat mempengaruhi nilai Vs secara signifikan (Yong dkk, 2012).

7. Perkembangan Terkini dalam Studi Vs oleh USGS

Seiring dengan kemajuan teknologi, USGS kini menggunakan pendekatan berbasis kecerdasan buatan AI (*Artificial Intelligence*) untuk meningkatkan akurasi pemodelan Vs. Teknologi ini memungkinkan analisis big data dari berbagai sumber, termasuk data seismik regional dan global, untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang karakteristik tanah (Yong dkk, 2012).

8. Implikasi Hasil Studi Vs terhadap Kode Bangunan

Hasil penelitian USGS tentang Vs telah digunakan dalam perumusan berbagai kode bangunan dan standar seismik. Misalnya, hasil pemetaan Vs30 digunakan dalam revisi kode bangunan Amerika Serikat untuk menentukan persyaratan desain struktur berdasarkan kategori tanah di suatu lokasi (Wills dkk, 2015).

9. Kombinasi Vs dengan Parameter Geoteknik Lain

Selain digunakan secara mandiri, nilai Vs sering dikombinasikan dengan parameter geoteknik lain, seperti resistivitas listrik dan modulus Young, untuk

memberikan karakterisasi tanah yang lebih komprehensif. Pendekatan ini membantu dalam desain fondasi bangunan serta mitigasi risiko bencana alam seperti likuifaksi dan longsor (Borcherdt, 1994).

USGS memainkan peran penting dalam penelitian dan aplikasi Vs dalam berbagai bidang, terutama dalam mitigasi bencana gempa bumi dan perencanaan infrastruktur. Dengan mengembangkan basis data Vs30, metode pengukuran yang canggih, serta model numerik yang lebih akurat, USGS telah membantu meningkatkan pemahaman tentang karakteristik tanah dan dampaknya terhadap seismologi. Tantangan dalam pengukuran Vs masih ada, namun perkembangan teknologi terus memungkinkan peningkatan akurasi dan efisiensi dalam analisis ini.

3.7 Software Analisis Geopsy

Geopsy adalah perangkat lunak *open-source* yang dikembangkan untuk analisis data seismik, terutama dalam studi gelombang permukaan dan mikrotremor. *Software* ini banyak digunakan dalam bidang geoteknik, seismologi, dan geofisika untuk mengolah sinyal seismik dari berbagai sumber, baik alami maupun buatan. Salah satu keunggulan Geopsy adalah kemampuannya untuk mengintegrasikan berbagai modul analisis yang dapat diaplikasikan dalam karakterisasi bawah permukaan tanah, termasuk penentuan kecepatan gelombang geser (Vs) melalui metode HVSR (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*) dan MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) (Wathelet, 2005).

Prinsip utama penggunaan Geopsy adalah analisis spektrum getaran tanah untuk mengidentifikasi sifat dinamis lapisan bawah permukaan. Pada metode HVSR, *software* ini digunakan untuk menganalisis rasio antara komponen horizontal dan vertikal dari gelombang mikrotremor guna memperkirakan frekuensi dominan tanah. Informasi ini sangat penting untuk menentukan potensi resonansi tanah yang dapat memperbesar dampak gempa pada struktur bangunan (Nakamura, 1989). Dengan demikian, Geopsy menjadi salah satu alat yang efektif dalam pemetaan bahaya seismik mikrozonasi.

Selain metode HVSR, Geopsy juga mendukung analisis MASW yang memungkinkan pengguna memperoleh profil kecepatan gelombang geser dari data

seismik multikanal. Proses ini melibatkan ekstraksi kurva dispersi dari data rekaman gelombang permukaan, kemudian dilakukan inversi untuk memperoleh model bawah permukaan. Hasilnya dapat digunakan dalam klasifikasi tanah, perencanaan pondasi, serta penilaian potensi likuifaksi (Asten & Boore, 2005). Fleksibilitas Geopsy dalam mengolah data MASW menjadikannya salah satu *software* yang populer dalam kalangan praktisi dan peneliti.

Geopsy juga memiliki antarmuka yang ramah pengguna dengan kemampuan visualisasi data yang interaktif. Pengguna dapat melakukan filtering sinyal, analisis spektrum, hingga pemodelan inversi secara langsung. Selain itu, Geopsy memungkinkan integrasi dengan perangkat lunak lain, seperti Dinver, yang digunakan untuk melakukan inversi non-linear terhadap data dispersi gelombang. Dengan kombinasi ini, pengguna dapat melakukan analisis yang lebih komprehensif dan akurat (Wathelet dkk, 2004).

Dalam bidang geoteknik, penggunaan Geopsy sangat bermanfaat untuk penentuan parameter tanah yang diperlukan dalam desain rekayasa, misalnya modulus geser dinamis, klasifikasi tanah berdasarkan Vs30, serta estimasi kedalaman lapisan lunak. Parameter-parameter tersebut penting dalam perencanaan struktur tahan gempa, sehingga *software* ini banyak digunakan dalam proyek pembangunan di daerah rawan gempa (Foti dkk, 2018). Dengan hasil yang akurat, Geopsy dapat membantu insinyur dalam mengurangi risiko kegagalan struktur akibat gempa bumi.

Selain aplikasi dalam geoteknik, Geopsy juga digunakan dalam penelitian lingkungan dan geofisika terapan. Misalnya, analisis mikrotremor dapat membantu mendeteksi variasi litologi bawah permukaan, memetakan sedimen, atau mengidentifikasi cekungan seismik. *Software* ini juga dapat digunakan dalam studi gunung berapi untuk memantau aktivitas seismik yang berhubungan dengan pergerakan magma (Bonney-Claudet dkk, 2006). Hal ini menunjukkan fleksibilitas Geopsy dalam berbagai aplikasi ilmiah.

Metode inversi dalam Geopsy, terutama melalui Dinver, menggunakan pendekatan non-linear untuk menemukan model bawah permukaan yang konsisten dengan data pengamatan. Proses inversi ini membutuhkan pengalaman pengguna

untuk memilih parameter awal yang tepat serta pemahaman mengenai sensitivitas data terhadap variasi parameter. Meskipun proses ini kompleks, hasil yang diperoleh dapat memberikan gambaran detail mengenai kondisi bawah permukaan (Wathelet, 2008).

Sebagai perangkat lunak *open-source*, Geopsy terus dikembangkan oleh komunitas ilmiah. Hal ini memungkinkan adanya pembaruan rutin, penambahan modul baru, dan peningkatan kinerja analisis. Ketersediaannya secara gratis juga menjadikannya alat yang mudah diakses oleh berbagai kalangan, baik peneliti, praktisi, maupun mahasiswa. Dengan demikian, Geopsy berperan penting dalam mendukung penelitian dan aplikasi praktis dalam bidang seismologi dan geoteknik.



Gambar 3.11 Logo Aplikasi Geopsy

3.8 Likuifaksi

Likuifaksi merupakan fenomena geoteknik yang terjadi ketika tanah yang jenuh air mengalami kehilangan kekuatan dan kekakuannya akibat peningkatan tekanan pori yang disebabkan oleh beban dinamis, seperti gempa bumi. Fenomena ini umumnya terjadi pada tanah berpasir lepas dengan kadar air tinggi, di mana butiran-butiran tanah kehilangan kontak satu sama lain dan berubah menjadi keadaan menyerupai cairan (Seed & Idriss, 1971). Akibat dari likuifaksi, tanah kehilangan kemampuannya untuk menopang beban, sehingga dapat menyebabkan kerusakan struktural yang signifikan pada bangunan dan infrastruktur.

Mekanisme terjadinya likuifaksi berkaitan erat dengan sifat tanah, tekanan air pori, dan gaya gempa yang bekerja. Saat gempa terjadi, getaran menyebabkan redistribusi tekanan air dalam pori-pori tanah, sehingga mengurangi gesekan antar butiran pasir (Youd dkk., 2001). Ketika tekanan pori meningkat hingga mencapai tekanan total tanah, efektif stress menjadi nol dan tanah mulai berperilaku seperti cairan. Proses ini dapat mengakibatkan tanah kehilangan stabilitasnya dan menimbulkan pergerakan tanah yang berbahaya.

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi potensi likuifaksi meliputi jenis tanah, kedalaman muka air tanah, intensitas gempa, serta durasi getaran seismik. Tanah yang paling rentan terhadap likuifaksi adalah pasir lepas dengan ukuran butiran seragam dan distribusi densitas yang rendah (Kramer, 1996). Selain itu, gempa dengan durasi getaran yang lama dan percepatan tanah yang tinggi memiliki kemungkinan lebih besar untuk menyebabkan likuifaksi.

Dampak dari likuifaksi dapat berupa penurunan permukaan tanah (*settlement*), retakan tanah, serta pergeseran horizontal yang mengakibatkan kerusakan struktural. Banyak kasus likuifaksi telah tercatat dalam sejarah, seperti gempa Niigata di Jepang tahun 1964 dan gempa Palu di Indonesia tahun 2018, yang menunjukkan dampak serius terhadap infrastruktur dan lingkungan (Ishihara, 1993). Oleh karena itu, pemahaman terhadap fenomena ini sangat penting dalam perencanaan pembangunan di daerah rawan gempa.

Untuk mengurangi risiko likuifaksi, berbagai metode mitigasi dapat diterapkan, seperti perbaikan tanah melalui pemadatan, penggunaan material geoteknik, serta desain struktur yang tahan terhadap pergerakan tanah. Teknik stabilisasi tanah dengan metode *vibroflotation* dan pemasangan drainase vertikal juga sering digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanah dan mengurangi tekanan pori berlebih (Mitchell & Tseng, 1990). Dengan demikian, upaya mitigasi yang tepat dapat membantu mengurangi dampak likuifaksi terhadap infrastruktur dan keselamatan masyarakat.

Penentuan potensi likuifaksi ini bisa ditentukan dengan menggunakan *screening* dari SNI 1726-2019 atau dari NEHRP (*National Earthquake Hazards Reduction Program*). Namun metode paling umum untuk mencari potensi likuifaksi

ini adalah pendekatan empirik yang dikembangkan oleh Andrus & Stokoe (2000), yang menggunakan V_s sebagai indikator ketahanan tanah terhadap likuifaksi. Tetapi metode ini mengharuskan menggunakan data a_{max} dan muka air tanah yang didapat dari data pendukung seperti pengujian sumur bor, SPT, CPT, dan sebagainya.

Langkah-langkah Menentukan Potensi Likuifaksi dengan V_s :

1. Identifikasi Lapisan Tanah dan Data V_s
 - a. Gunakan profil V_s dari hasil MASW atau metode lain.
 - b. Fokus pada lapisan pasir jenuh air (biasanya antara 0–20 meter kedalaman).
2. Koreksi V_s menjadi V_{s1}

V_{s1} adalah kecepatan gelombang geser yang dikoreksi untuk tegangan vertikal efektif:

$$v_{s1} = v_s \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^{0,25} \quad (11)$$

Dimana :

V_s = kecepatan gelombang geser (m/s)

P_a = tekanan atmosfer (biasanya 100 kPa)

σ'_v = tegangan vertikal efektif (kPa) = $\sigma_v - u$, dimana:

σ_v = tegangan vertikal total

u = tekanan air pori (biasanya $u = \gamma_w \cdot z$, dengan $\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$)

3. Menghitung CRR (*Cyclic Resistance Ratio*)

Gunakan rumus empiris :

$$CRR_{7,5} = 0,022 \times V_s^2 + 2,8 \times 10^{-7} \times V_{s1}^4 - 1,27 \quad (12)$$

Keterangan :

Berlaku untuk gempa dengan magnitudo 7,5.

Berlaku untuk pasir jenuh.

V_{s1} antara 150–215 m/s (di luar rentang ini, perlu hati-hati menggunakan rumus).

4. Menghitung CSR (*Cyclic Stress Ratio*)

$$CSR = 0,65 \times \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \times \gamma d \quad (13)$$

Dimana :

a_{max} = percepatan maksimum gempa (g)

g = percepatan gravitasi bumi

γd = koefisien peredaman tegangan (fungsi kedalaman, bisa diasumsikan 0,9–0,5 tergantung kedalaman)

5. Menghitung Faktor Keamanan (FS)

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \times MSF \quad (14)$$

Dimana :

MSF (*Magnitude Scaling Factor*) adalah faktor koreksi untuk magnitudo gempa selain 7,5 :

$$MSF = \left(\frac{M}{7,5}\right)^{-2,56} \quad (15)$$

Atau gunakan tabel empiris.

6. Interpretasi

FS < 1 → Potensi likuifaksi tinggi

FS antara 1 dan 1.2 → Potensi sedang

FS > 1.2 → Potensi rendah

BAB IV

METODE PENELITIAN

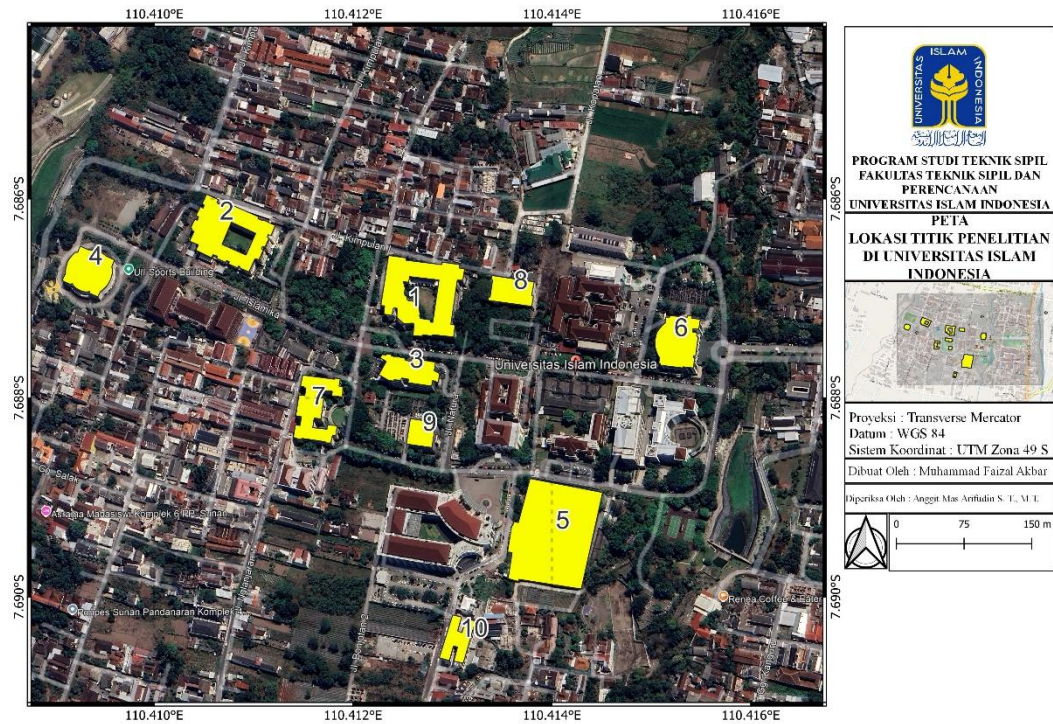
4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan langkah-langkah atau kegiatan yang sistematis guna mencapai tujuan penyelesaian tugas akhir. Metode penelitian berisi mengenai lokasi, waktu penelitian, alat, tahapan penelitian, dan diagram alir.

4.2 Lokasi

Penelitian ini dilakukan di 12 titik di Universitas Islam Indonesia (UII) yaitu:

1. Gedung Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
2. Gedung Fakultas Teknik Industri
3. Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
4. Gedung Fakultas Psikologi dan Sosial Budaya
5. Gedung Fakultas Ilmu Agama Islam
6. Gelanggang Olahraga
7. Lapangan Bola
8. Masjid Ulil Albab
9. Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
10. Laboratorium Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
11. Laboatorium Fakultas Kedokteran
12. Rusunawa (Laki-laki)



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

4.3 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2025, dengan judul “Estimasi Kecepatan Gelombang Geser dan Karakterisasi Tanah di Universitas Islam Indonesia Menggunakan Metode Multichannel Analysis of Surface Waves”.

4.4 Alat

Pada penelitian ini menggunakan seperangkat alat MASW berupa :

1. *Sledgehammer* (Palu Besar)
2. *Geophone* (Penerima Gelombang)
3. Kabel *Geophone*
4. Kabel *Trigger*
5. *Base Plate* (Pelat Dasar)
6. *Strike Plate* (Pelat Pemukul)
7. Laptop
8. Meteran
9. Seismograf PASI



Gambar 4.2 Alat Pengujian MASW

4.5 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan cara yang digunakan untuk mengolah data hingga mencapai hasil penelitian yang diinginkan. Data yang telah didapatkan kemudian dianalisis berdasarkan proses pengerjaannya. Dalam menyelesaikan penelitian ini ada beberapa tahapan dalam proses pengerjaannya. Proses pengerjaan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Tahap Persiapan

Tahap ini dilakukan pencarian atau mempelajari literatur yang berhubungan dengan tema penelitian dan melakukan observasi secara langsung di lapangan untuk menentukan konstruksi yang akan dianalisis.

2. Tahap Pelaksanaan

Pada tahap pelaksanaan ini dibagi menjadi dua tahapan lagi yaitu tahap akuisisi data dan tahap pengolahan data.

- a. Tahap Akuisisi Data

Proses akuisisi data dengan metode MASW ini menggunakan *geophone* sebanyak 24 buah (spasi antar *geophone* 2 meter). Masing-masing *geophone* dihubungkan dengan menggunakan kabel *take-out* yang kemudian dihubungkan pada seismograf, dan dengan menggunakan kabel *interface* seismograf dihubungkan ke laptop. Sumber gelombang yang digunakan dalam penelitian berasal dari palu atau *weighdrop*. Pada tahap akuisisi data, untuk memperoleh data yang baik dengan rasio S/N (*signal to noise*) yang baik, maka variasi konfigurasi dan alat akuisisi sangat penting dan perlu diperhatikan. Sumber yang digunakan berbeda-beda untuk mendapatkan data hingga kedalaman tertentu. Semakin dalam kedalaman yang ingin diperoleh, maka semakin besar juga energi dari sumber gelombang. Kedalaman maksimum yang dapat dicapai tergantung pada panjang gelombang. Jika jarak antar *geophone* kurang sesuai, maka hal ini dapat mengakibatkan data menjadi kurang serasi. Dan juga jika ingin dilakukan survei lebih dalam, beban yang diberikan harus semakin berat agar energi yang ditimbulkan semakin besar.

b. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data ini menggunakan aplikasi Geopsy dan dibagi menjadi beberapa tahap lagi yaitu tahap *preprocessing* data, transformasi ke domain frekuensi-gelombang, ekstraksi kurva dispersi, inversi untuk mendapatkan profil Vs, serta interpretasi dan validasi hasil.

1) *Import* dan *Preprocessing* Data Seismik

Langkah pertama dalam pengolahan data menggunakan Geopsy adalah mengimpor data seismik yang diperoleh dari pengukuran di lapangan. Data ini berasal dari seismograf multichannel dengan format umum seperti SEG-2 atau ASCII. Setelah data dimuat, peneliti dapat melakukan *preprocessing*, seperti normalisasi amplitudo, *filtering* untuk menghilangkan *noise*, dan pengaturan skala waktu agar sinyal lebih mudah dianalisis.

2) Transformasi Data ke Domain Frekuensi-Gelombang

Setelah *preprocessing*, data seismik kemudian dikonversi ke dalam domain frekuensi-gelombang menggunakan metode spektrum *frequency-wavenumber* (f-k) atau transformasi *Fourier* (*Fast Fourier Transform*, FFT). Proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola dispersi gelombang *Rayleigh* yang nantinya akan digunakan dalam proses inversi. Geopsy menyediakan visualisasi spektrum dispersi untuk memudahkan pengguna dalam memilih kurva dispersi fundamental.

3) Ekstraksi Kurva Dispersi

Pada tahap ini, peneliti dapat memilih dan mengekstrak kurva dispersi fundamental dari spektrum yang telah dihasilkan. Geopsy memungkinkan pemilihan manual maupun otomatis dengan algoritma pengenalan pola. Kurva dispersi ini menunjukkan hubungan antara kecepatan fase gelombang *Rayleigh* dengan frekuensi, yang menjadi dasar dalam proses inversi untuk mendapatkan profil Vs bawah permukaan.

4) Inversi Kurva Dispersi Menjadi Profil Vs

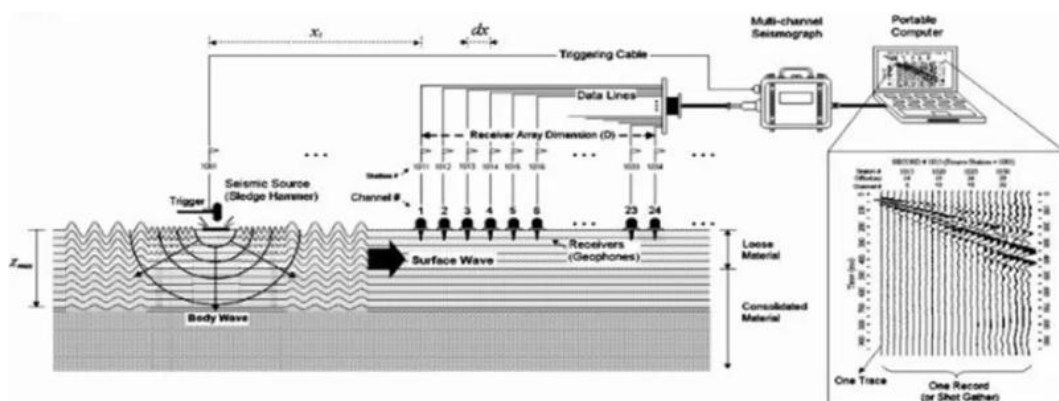
Pada tahap ini, peneliti menggunakan aplikasi Dinver yang merupakan aplikasi bawaan yang ada pada aplikasi Geopsy. Aplikasi Dinver ini bertujuan untuk mengubah data kurva dispersi sebelumnya menjadi profil Vs dengan mengatur parameter yang ada. Dinver melakukan iterasi pada data dengan cara stokastik (acak). Dengan begitu profil Vs yang dihasilkan akan berubah-ubah tergantung batasan pada parameter yang diberikan.

5) Interpretasi Hasil

Hasil akhir dari proses inversi adalah profil Vs yang menggambarkan karakteristik tanah bawah permukaan hingga kedalaman tertentu. Geopsy memungkinkan pengguna untuk membandingkan hasil ini dengan data geoteknik lain, seperti hasil uji bor atau metode geofisika lainnya seperti dengan USGS.

c. Tahap Validasi Data

Validasi data dilakukan dengan membandingkan nilai V_{s30} hasil pengukuran MASW dengan data V_{s30} dari USGS pada lokasi yang sama. Nilai V_{s30} MASW dihitung dari profil kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m, kemudian dibandingkan dengan nilai V_{s30} USGS untuk mengevaluasi kesesuaian karakteristik tanah. Validasi dinyatakan baik apabila nilai V_{s30} dan klasifikasi tanah menunjukkan kesesuaian atau perbedaan yang masih dapat diterima secara geoteknik. Jika terdapat perbedaan signifikan, maka parameter inversi MASW dapat disesuaikan agar lebih sesuai dengan kondisi sebenarnya. Jika hasil tidak sesuai dengan kondisi geologi yang diketahui dapat melakukan penyesuaian parameter inversi atau mengulangi proses ekstraksi kurva dispersi.



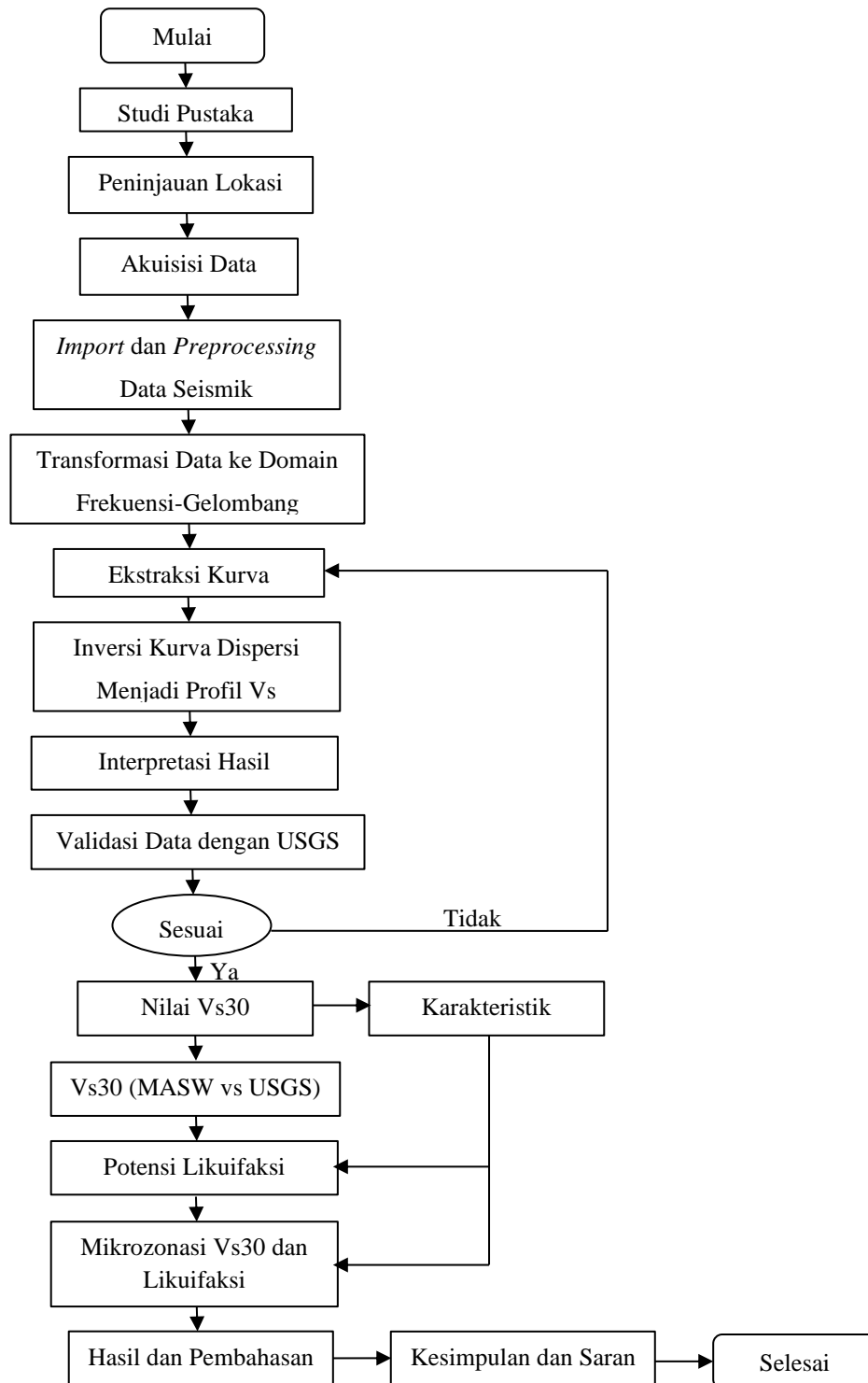
Gambar 4.3 Skema Pengambilan Data MASW di Lapangan

d. Potensi Likuifaksi

Pada tahap ini akan dilakukan analisis potensi likuifaksi dengan cara menghitung nilai V_{s30} dan menentukan batasan likuifaksi berdasarkan nilai V_{s30} . Tanah akan berpotensi likuifaksi jika $V_s < 175-350$ m/s. Kemudian menentukan kedalaman dan lokasi lapisan yang berpotensi likuifaksi sesuai dengan SNI 1726-2019. Setelah itu, membuat peta zonasi V_{s30} atau peta potensi likuifaksi.

4.6 Diagram Alir

Adapun diagram alir untuk penelitian atau *flowchart* penelitian ini dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

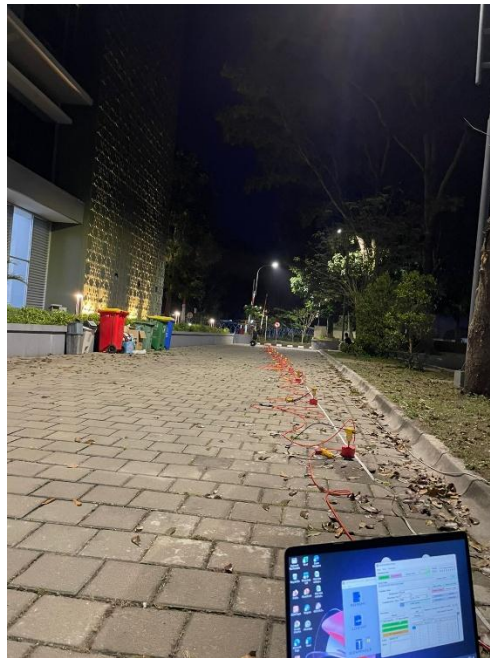
Bab ini berisi mengenai hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Perolehan data dari hasil penelitian akan dianalisis dan dilakukan pembahasan agar diperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan dari dilakukannya penelitian ini. Penelitian ini dilaksanakan di 12 titik lokasi di Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dimulai dari pengambilan data di lapangan, mengolah data yang telah diambil menggunakan Geopsy dan Dinver, memvisualisasikan data yang telah diolah menjadi bentuk peta, serta mencari potensi likuifaksi dari data Vs30 yang telah didapatkan. Berikut merupakan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan.

5.2 Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data di lapangan menggunakan seperangkat alat MASW seperti di Gambar 4.2. Berikut adalah Langkah-langkah dalam pengambilan data :

1. Pengambilan data dimulai dengan menggelar meteran sepanjang 50 meter,
2. Meletakkan *geophone* dan bantalan *geophone* di sepanjang meteran sebanyak 24 buah dan berjarak 2 meter,
3. Menggelar kabel *Geophone* dan kabel *Trigger* sepanjang meteran,
4. Meletakkan seismograf dan laptop diujung meteran,
5. Meletakkan palu dan pelat dasar diujung meteran sisi satunya,
6. Memasang *geophone* dengan kabel *geophone* serta menancapkan *geophone* dengan bantalan *geophone* agar berdiri,
7. Koneksikan laptop dengan seismograf dan membuka aplikasi *GeoExplorer* untuk merekam data getaran tanah,
8. Setelah semua terpasang lakukan pemukulan palu agar data dapat direkam di laptop.

Berikut adalah dokumentasi dalam melakukan pengambilan data.

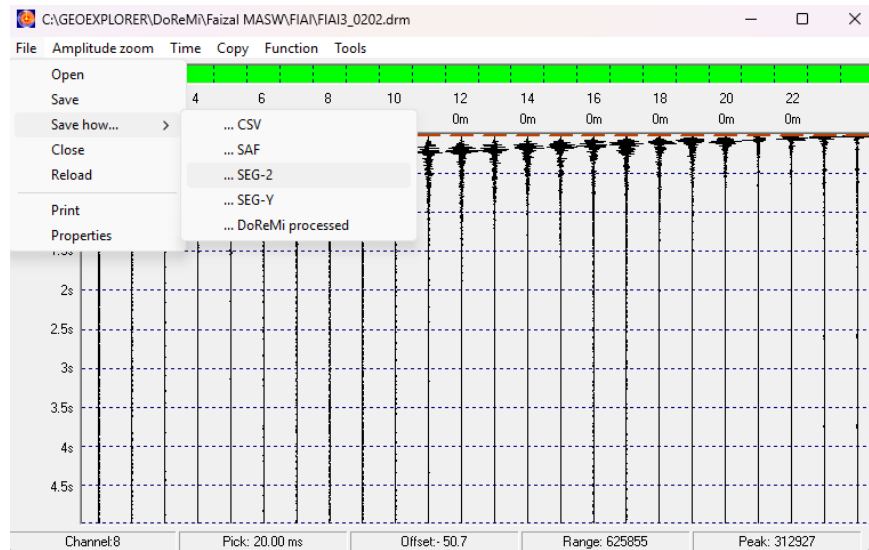


Gambar 5. 1 Pengambilan Data MASW FIAI

5.3 Analisis Data Menggunakan Geopsy dan Dinver

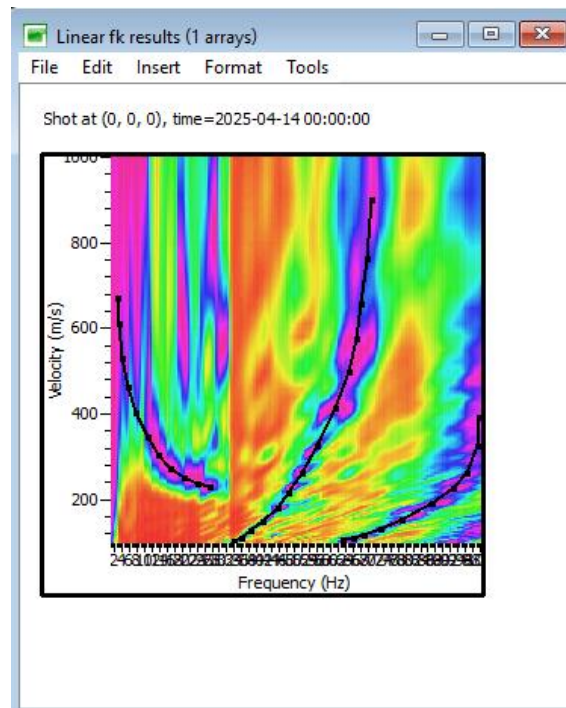
5.1.1 Aplikasi *Geopsy*

Aplikasi ini digunakan untuk menganalisis gelombang geser tanah yang telah diuji di lapangan. Data yang telah diuji di lapangan dengan format *.drm* diubah dahulu menjadi *.SEG-2* menggunakan aplikasi *GeoExplorer* kemudian masuk ke bagian DoReMi dan pilih di bagian seismograf. Setelah itu pilih di bagian File dan Save dengan format *.SEG-2* seperti pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5. 2 Konversi Format Data FIAI

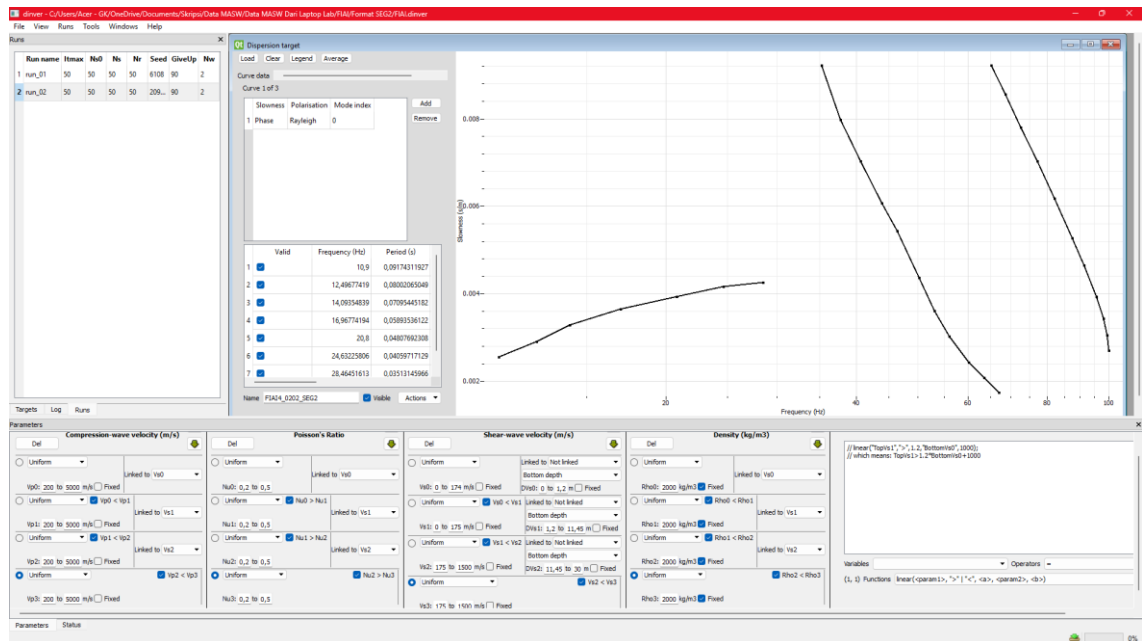
Kemudian di konversi ke dalam domain frekuensi-gelombang menggunakan metode spektrum *frequency-wavenumber* (f-k) dan data yang telah di konversi ke dalam domain frekuensi-gelombang diatur dibagian *Linear FK Toolbox* menyesuaikan amplitudo yang ada, lalu data di ekstrak manual menjadi kurva dispersi agar mendapatkan profil Vs seperti Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5. 3 Picking Kurva Dispersi Data FIAI

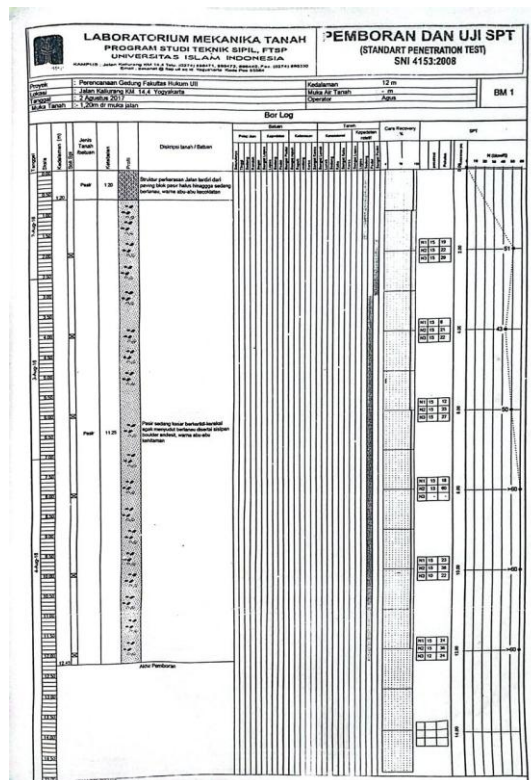
5.1.2 Aplikasi Dinver

Setelah kurva dispersi didapatkan dilanjut dengan menggunakan aplikasi Dinver untuk mendapatkan profil Vs. Aplikasi ini dapat mengubah kurva dispersi dengan cara memasukkan data dari aplikasi *Geopsy* dan menentukan parameter tanah sesuai lokasi yang ditinjau seperti Gambar 5.4 berikut.



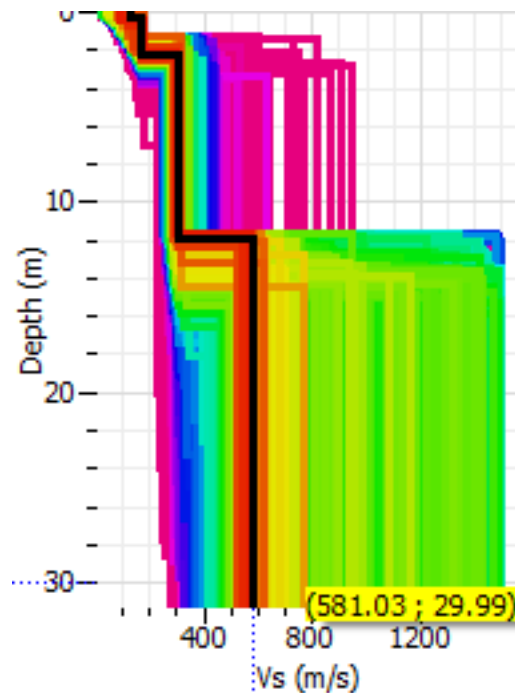
Gambar 5. 4 Menentukan Parameter Tanah Data FIAI

Parameter ini disesuaikan dengan data bor-log tanah di lokasi pengujian. Karena data bor-log di lokasi pengujian tidak ada, maka bisa dipakai data bor-log di lokasi terdekat seperti data bor-log pembangunan Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia. Data bor-log ini berfungsi untuk menyesuaikan data-data parameter tanah yang ada di lapangan secara riil. Berikut adalah data bor-log di Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia.



Gambar 5. 5 Data Bor-Log Fakultas Hukum UII

Setelah parameter pada Dinver disesuaikan *Add* pada menu *Runs* dan *Start* sampai proses *Running* selesai. Jika sudah selesai maka lihat status apakah minimum misfitnya dibawah 1 atau tidak, jika minimum misfitnya dibawah 1 maka data yang telah di proses mendekati dengan kondisi tanah sesuai di lapangan dan jika minimum misfitnya diatas 1 maka data yang telah di proses jauh dari kondisi tanah yang ada di lapangan dan harus diulang dari tahap *Picking Kurva Dispersi*. Jika minimum misfit kurang dari 1 lihat dibagian *Views* lalu *Ground Profiles* dan lihat kurva V_s (m/s). Setelah itu baca kurva dengan mengarahkan kursor ke bagian kurva V_s (m/s) vs *Depth* (m) dan catat hasilnya menggunakan aplikasi *Excel*. Berikut adalah gambar kurva menggunakan aplikasi *Dinver*.



Gambar 5. 6 Kurva Vs (m/s) vs Depth (m) di FIAI

5.4 Pengolahan Data Menggunakan Excel

Excel merupakan aplikasi untuk mengolah data kurva Vs(m/s) vs Depth (m) yang telah didapatkan dari aplikasi *Dinver*. Setelah data didapatkan maka catat nilai Vs dan *Depth* kedalam *Excel*. Cara mendapatkan nilai Vs30 yaitu dengan rumus:

$$Vs30 = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{hi}{Vsi}} \quad (1)$$

Keterangan :

Vs30 : Kecepatan gelombang geser rata-rata tanah di kedalaman 30 m

hi : Kedalaman Tanah/Ketebalan Tanah (m)

Vsi : Kecepatan rambat gelombang tanah di kedalaman *i* (m/s)

Berdasarkan rumus diatas, maka dapat dilakukan perhitungan nilai Vs30 seperti berikut ini.

Lokasi FIAI

Lapisan 1 :

hi = 0,28 m

Vsi = 128,7 m/s

$$\frac{h}{V_s} = 0,002$$

Lapisan 2 :

$$h_i = 2,24 \text{ m}$$

$$V_{si} = 168,03 \text{ m/s}$$

$$\frac{h}{V_s} = 0,013$$

Lapisan 3 :

$$h_i = 11,91 \text{ m}$$

$$V_{si} = 305,7 \text{ m/s}$$

$$\frac{h}{V_s} = 0,039$$

Lapisan 4 :

$$h_i = 30 \text{ m}$$

$$V_{si} = 581,03 \text{ m/s}$$

$$\frac{h}{V_s} = 0,052$$

$$\begin{aligned} \text{Total } \frac{h}{V_s} &= \frac{h}{V_s} \text{ Lapisan 1} + \frac{h}{V_s} \text{ Lapisan 2} + \frac{h}{V_s} \text{ Lapisan 3} + \frac{h}{V_s} \text{ Lapisan 4} \\ &= 0,106 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s30} &= \frac{30}{0,106} \\ &= 282,755 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Berikut merupakan hasil pengujian V_{s30} di daerah UII dapat dilihat pada Tabel 5.1

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Vs30

FIAI	Lapisan	Thickness (m)	Vs (m/s)	h/Vs	
	1	0,28	128,7	0,002	
	2	2,24	168,03	0,013	
	3	11,91	305,7	0,039	
	4	30	581,03	0,052	
	Total $\frac{h}{v_s}$				0,106
	Vs 30 (m/s)				282,755
FMIPA	Lapisan	Thickness (m)	Vs (m/s)	h/Vs	
	1	1,01	149,66	0,007	
	2	1,23	170,22	0,007	
	3	18,2	437,53	0,042	
	4	30	807,64	0,037	
	Total $\frac{h}{v_s}$				0,093
	Vs 30 (m/s)				323,565
FPSB	Lapisan	Thickness (m)	Vs (m/s)	h/Vs	
	1	0,45	102,92	0,004	
	2	4,42	172,1	0,026	
	3	15,63	571,8	0,027	
	4	30	1194,41	0,025	
	Total $\frac{h}{v_s}$				0,083
	Vs 30 (m/s)				363,606
FTI	Lapisan	Thickness (m)	Vs (m/s)	h/Vs	
	1	1,01	106,58	0,009	
	2	3,02	171,98	0,018	
	3	27,92	452,8	0,062	
	4	30	718,24	0,042	
	Total $\frac{h}{v_s}$				0,130
	Vs 30 (m/s)				229,945

Lanjutan Tabel 5.1 Hasil Pengujian Vs30

FTSP	Lapisan	Thickness (m)	Vs (m/s)	h/Vs
	1	1,11	147,83	0,008
	2	1,48	229,01	0,006
	3	21,87	553,71	0,039
	4	30	894,65	0,034
	Total $\frac{h}{v_s}$			0,087
	Vs 30 (m/s)			344,823
GOR	Lapisan	Thickness (m)	Vs (m/s)	h/Vs
	1	0,78	89,3	0,009
	2	2,23	158,54	0,014
	3	12,62	404,74	0,031
	4	30	820,21	0,037
	Total $\frac{h}{v_s}$			0,091
	Vs 30 (m/s)			331,283
Lab BKT	Lapisan	Thickness (m)	Vs (m/s)	h/Vs
	1	1,12	135,44	0,008
	2	2,12	156,1	0,014
	3	22	512,5	0,043
	4	30	920,54	0,033
	Total $\frac{h}{v_s}$			0,097
	Vs 30 (m/s)			308,113
Lab FK	Lapisan	Thickness (m)	Vs (m/s)	h/Vs
	1	1,11	103,21	0,011
	2	1,48	111,61	0,013
	3	28,92	426,66	0,068
	4	30	662,16	0,045
	Total $\frac{h}{v_s}$			0,137
	Vs 30 (m/s)			218,812

Lanjutan Tabel 5.1 Hasil Pengujian Vs30

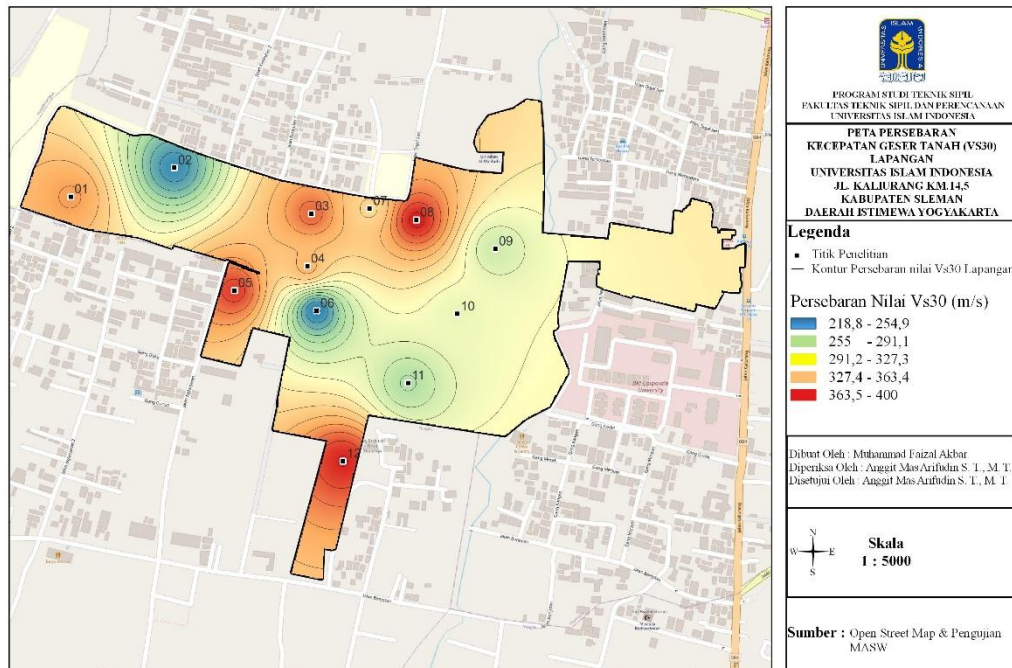
Lab Terpadu	Lapisan	Thickness (m)	Vs (m/s)	h/Vs
	1	0,37	127,77	0,003
	2	1,48	137,55	0,011
	3	17,43	473,39	0,037
	4	30	879,77	0,034
	Total $\frac{h}{v_s}$			0,085
	Vs 30 (m/s)			354,715
Lapangan UTG	Lapisan	Thickness (m)	Vs (m/s)	h/Vs
	1	0,37	143,41	0,003
	2	1,85	150,65	0,012
	3	28,93	450,22	0,064
	4	30	812,54	0,037
	Total $\frac{h}{v_s}$			0,116
	Vs 30 (m/s)			258,534
Masjid Ulil	Lapisan	Thickness (m)	Vs (m/s)	h/Vs
	1	0,37	141,47	0,003
	2	1,48	165,02	0,009
	3	28,55	499,12	0,057
	4	30	717,28	0,042
	Total $\frac{h}{v_s}$			0,111
	Vs 30 (m/s)			271,225
Rusunawa Putra	Lapisan	Thickness (m)	Vs (m/s)	h/Vs
	1	3,71	162,15	0,023
	2	10,75	528,01	0,020
	3	26,89	1085,75	0,025
	4	30	1975,52	0,015
	Total $\frac{h}{v_s}$			0,083
	Vs 30 (m/s)			360,613

Dari hasil pegujian nilai Vs30 diatas didapat nilai tertinggi di Universitas Islam Indonesia terletak pada lokasi FPSB sebesar 363,606 m/s, sedangkan nilai terendah terletak pada lokasi Lab FK sebesar 218,812 m/s.

5.5 Peta Mikrozonasi

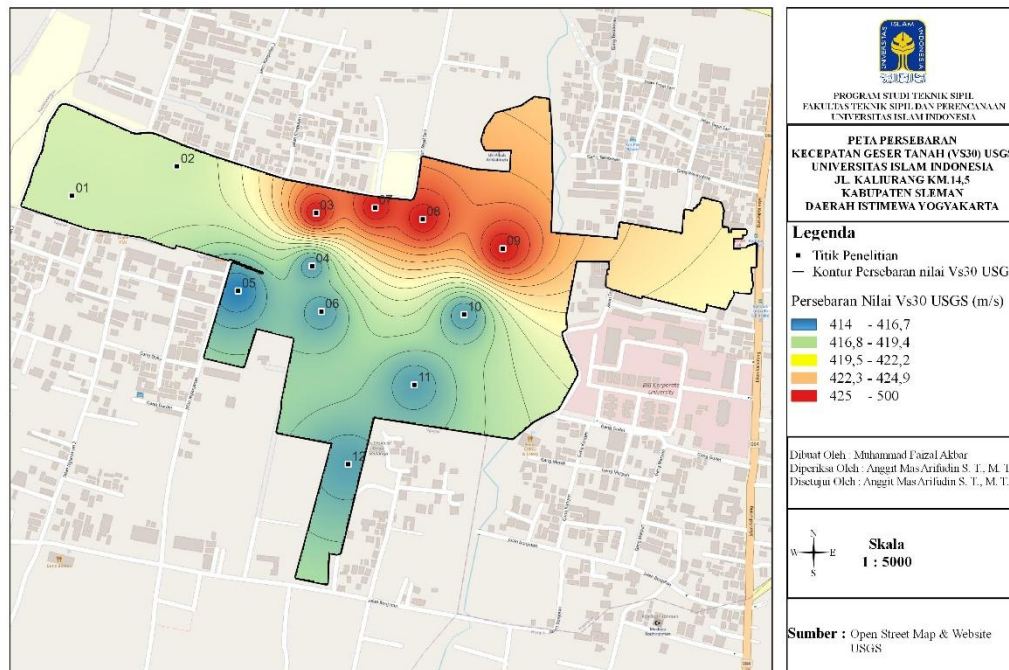
Pembuatan peta mikrozonasi merupakan tahap penting dalam analisis kerentanan seismik suatu wilayah, karena memberikan gambaran zonasi karakteristik tanah dan potensi dampaknya terhadap guncangan gempa. Dalam penelitian ini, proses pembuatan peta mikrozonasi dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS (*Quantum Geographic Information System*), yang merupakan aplikasi *open-source* berbasis sistem informasi geografis. QGIS memungkinkan pengolahan data geoteknik, geofisika, dan spasial untuk menghasilkan peta yang informatif dan akurat.

Langkah awal dalam pembuatan peta mikrozonasi adalah mengimpor data hasil pengolahan geofisika, seperti nilai VS30 (kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 meter) yang diperoleh dari hasil analisis MASW melalui *software Geopsy* dan *Dinver*. Data VS30 dimasukkan ke dalam QGIS dalam format tabel koordinat (CSV) yang berisi nilai X, Y, dan VS30. Selanjutnya, data tersebut diubah menjadi titik-titik lokasi (*point feature*) pada peta dasar menggunakan fungsi *Add Delimited Text Layer*. Setelah itu, dilakukan proses interpolasi menggunakan metode *Inverse Distance Weighted (IDW)* untuk mendapatkan distribusi spasial nilai VS30 di seluruh area penelitian. Berikut adalah peta mikrozonasi menggunakan data dari pengujian lapangan.



Gambar 5. 7 Peta Vs30 Menggunakan Data Lapangan

Selain menggunakan data hasil survei lapangan seperti MASW, pembuatan peta mikrozonasi juga dapat memanfaatkan data sekunder dari USGS. Proses awal pembuatan peta dimulai dengan mengunduh dan mengimpor data USGS ke dalam QGIS. Data DEM digunakan untuk menampilkan kontur topografi, yang kemudian dapat membantu mengidentifikasi variasi geometri permukaan yang berpengaruh terhadap amplifikasi gelombang gempa. Selanjutnya, data bahaya seismik USGS (Vs30 global model) dapat di *overlay* dengan data lokal hasil survei MASW. Tahapan ini dilakukan dengan menggunakan fungsi *Raster Calculator* atau *Spatial Join* di QGIS, untuk menghasilkan peta integrasi antara kondisi geoteknik lokal dan potensi bahaya gempa secara regional. Berikut merupakan peta mikrozonasi menggunakan data dari USGS.



Gambar 5. 8 Peta Vs30 Menggunakan Data USGS

Setelah semua data diolah, langkah berikutnya adalah klasifikasi mikrozonasi berdasarkan parameter kecepatan gelombang geser (V_{s30}). Klasifikasi tersebut disesuaikan dengan standar NEHRP (*National Earthquake Hazards Reduction*) Program atau SNI 1726:2019, yang membagi jenis tanah ke dalam beberapa kelas (A–E) berdasarkan rentang nilai V_{s30} . QGIS menyediakan fitur *Symbology* untuk memberikan warna yang berbeda pada setiap kelas tanah, sehingga menghasilkan peta mikrozonasi yang mudah dibaca. Peta akhir dilengkapi dengan elemen kartografis seperti legenda, skala, arah utara, dan judul peta. Dengan demikian, peta mikrozonasi ini dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan tata ruang, mitigasi risiko gempa, dan evaluasi desain bangunan di wilayah penelitian, khususnya di kawasan Universitas Islam Indonesia dan sekitarnya.

5.6 Perbandingan Nilai VS30 Menggunakan Metode MASW dan USGS

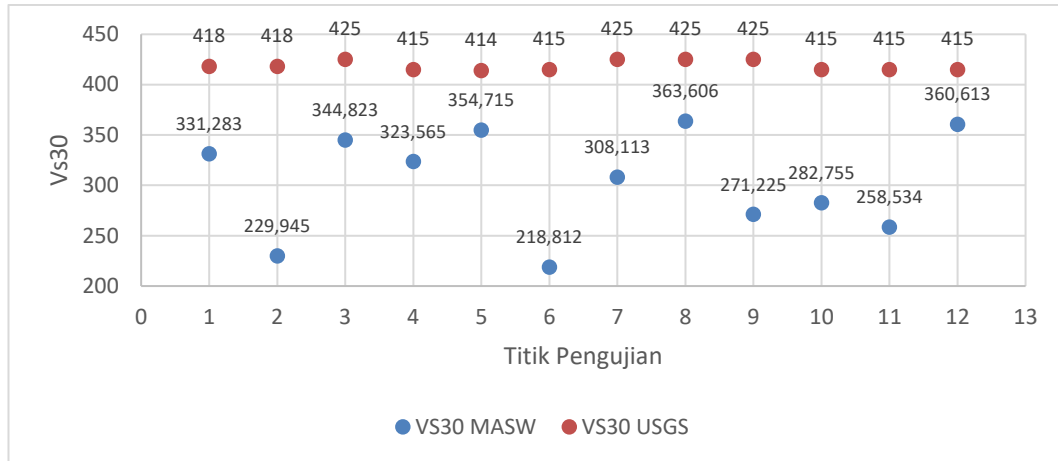
Perbandingan nilai V_{s30} antara hasil pengukuran langsung metode MASW dan dari metode USGS merupakan langkah penting dalam menilai keakuratan representasi kondisi bawah permukaan suatu wilayah. Metode MASW memberikan

data VS30 yang bersifat lokal dan terukur langsung di lapangan, sehingga merepresentasikan kondisi geoteknik yang sebenarnya di lokasi penelitian, seperti variasi lapisan tanah, tingkat kepadatan, serta material penyusun bawah permukaan. Sementara itu, data VS30 dari USGS diperoleh melalui pemodelan empiris dan korelasi global berdasarkan topografi dan litologi, sehingga lebih bersifat regional dan generalisasi spasial.

Pada penelitian di kawasan UII, perbandingan kedua sumber data ini menunjukkan bahwa nilai VS30 hasil MASW umumnya lebih bervariasi dibandingkan dengan data USGS. Hal ini disebabkan oleh tingkat resolusi data MASW yang tinggi dan kemampuan metode tersebut dalam mendeteksi perubahan kecil pada lapisan tanah dangkal. Sebaliknya, nilai VS30 dari USGS sering kali memberikan gambaran yang lebih homogen karena berasal dari model global dengan resolusi spasial yang lebih kasar (sekitar 1 km² atau lebih). Perbedaan ini dapat mencapai puluhan hingga ratusan meter per detik, tergantung pada kompleksitas geologi setempat. Dibawah ini merupakan data yang didapat dari pengujian Vs30 menggunakan MASW dan USGS.

Tabel 5. 2 Perbandingan Vs30 Menggunakan MASW dan USGS

Lokasi	Data Vs30 MASW (m/s)	Data Vs30 USGS (m/s)
GOR	331,283	418
FTI	229,945	418
FTSP	344,823	425
FMIPA	323,565	415
Lab Terpadu	354,715	414
Lab FK	218,812	415
Lab BKT	308,113	425
FPSB	363,606	425
Masjid Ulil	271,225	425
FIAI	282,755	415
Lapangan Bola	258,534	415
Rusunawa Putra	360,613	415



Gambar 5. 9 Grafik Vs30 MASW vs Vs30 USGS

Dari Tabel 5.2 diatas didapat nilai Vs30 menggunakan metode MASW tertinggi yaitu 363,606 m/s yang berada pada gedung FPSB dan nilai Vs30 terendah yaitu 218,812 m/s yang berada pada gedung Laboratorium FK. Sedangkan dari Tabel 5.2 diatas didapat nilai Vs30 menggunakan metode USGS tertinggi yaitu 425 m/s yang berada pada gedung FTSP, Laboratorium BKT, FPSB, dan Masjid Ulil sementara itu, nilai Vs30 terendah yaitu 414 m/s yang berada pada gedung Laboratorium Terpadu. Dari tabel dan juga gambar grafik diatas dapat disimpulkan bahwa hasil dari pengujian Vs30 menggunakan metode MASW lebih beragam dari pengujian Vs30 menggunakan metode USGS dikarenakan metode USGS berasal dari model global dengan resolusi spasial yang lebih kasar (sekitar 1 km² atau lebih).

5.7 Karakteristik Tanah

Kawasan UII yang terletak di Jl. Kaliurang Km 14,5, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, memiliki karakteristik geoteknik yang dipengaruhi oleh kondisi geologi Gunung Merapi. Secara umum, tanah di wilayah ini termasuk dalam zona lereng selatan Gunung Merapi, yang didominasi oleh endapan vulkanik muda hasil aktivitas erupsi gunung tersebut. Material penyusun utama berupa lapisan pasir vulkanik, abu vulkanik, tuf, dan breksi dengan ketebalan bervariasi. Lapisan tanah

bagian atas cenderung lepas dan berbutir kasar, sementara pada kedalaman tertentu dijumpai lapisan yang lebih padat dan kompak akibat proses pelapukan serta sementasi alami.

Hasil pengukuran kecepatan gelombang geser (V_s) menggunakan metode MASW menunjukkan bahwa nilai V_{s30} di kawasan UII umumnya berada pada kisaran 218,812–363,606 m/s, yang sesuai dengan kelas tanah C (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak) hingga D (Tanah Sedang hingga Agak Lunak) berdasarkan klasifikasi NEHRP. Nilai ini mengindikasikan bahwa tanah di area tersebut memiliki kemampuan peredaman guncangan sedang hingga tinggi dan berpotensi mengalami amplifikasi gelombang gempa, terutama pada lapisan lepas yang belum terkonsolidasi dengan baik. Hasil ini sedikit berbeda dengan data sekunder dari USGS, yang hanya menunjukkan zona dengan kecepatan gelombang geser sedang di wilayah lereng selatan Merapi.

Dari segi geoteknik, tanah di kawasan UII memiliki daya dukung yang relatif baik untuk pembangunan struktur ringan hingga menengah, namun perlu perhatian khusus terhadap kerentanan likuifaksi di area dengan kandungan pasir vulkanik jenuh air, terutama di musim hujan. Topografi kawasan yang bergelombang dengan elevasi sekitar 450–500 meter di atas permukaan laut juga berpengaruh terhadap distribusi ketebalan lapisan tanah dan potensi pergerakan massa tanah di lereng. Oleh karena itu, kajian karakteristik tanah di kawasan UII menjadi penting untuk mendukung perencanaan infrastruktur, mitigasi bahaya gempa, serta pengembangan kampus yang berkelanjutan dan aman secara geoteknik. Dibawah ini adalah tabel karakteristik tanah di 12 titik UII menggunakan metode MASW berdasarkan klasifikasi dari SNI-1726-2019.

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser nirair $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Gambar 5. 10 Tabel Klasifikasi Situs SNI 1726-2019

(Sumber : SNI 1726-2019)

Tabel 5. 3 Karakteristik Tanah di UII

Lokasi	Vs30 (m/detik)	Kelas Situs
GOR	331,283	SD (Tanah Sedang)
FTI	229,945	SD (Tanah Sedang)
FTSP	344,823	SD (Tanah Sedang)
FMIPA	323,565	SD (Tanah Sedang)
Lab Terpadu	354,715	SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)
Lab FK	218,812	SD (Tanah Sedang)
Lab BKT	308,113	SD (Tanah Sedang)
FPSB	363,606	SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)
Masjid Ulil	271,225	SD (Tanah Sedang)
FIAI	282,755	SD (Tanah Sedang)
Lapangan Bola	258,534	SD (Tanah Sedang)
Rusunawa Putra	360,613	SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)

Dari hasil penelitian diatas ditemukan bahwa karakteristik tanah di UII di kategorikan kedalam kelas situs SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak) pada lokasi Lab Terpadu, FPSB, dan Rusunawa Putra. Sedangkan kategori kelas situs SD (Tanah Sedang) pada lokasi GOR, FTI, FTSP, FMIPA, Lab FK, Lab BKT, Masjid Ulil, FIAI, dan Lapangan Bola.

5.8 Potensi Likuifaksi di Universitas Islam Indonesia

Potensi likuifaksi sangat erat kaitannya dengan klasifikasi tanah berdasarkan respon seismik, yang dapat ditentukan melalui parameter VS30. Dalam NEHRP, jenis tanah dikategorikan ke dalam beberapa kelas (A hingga E) berdasarkan nilai VS30. Tanah dengan nilai VS30 yang rendah umumnya menunjukkan tingkat kekompakan rendah dan butiran lepas, yang lebih rentan terhadap likuifaksi saat terjadi guncangan gempa. Secara umum, kelas tanah D dan E ($VS30 < 350$ m/s) dikategorikan memiliki potensi likuifaksi tinggi, terutama bila tersaturasi air dan mengandung material pasir lepas.

Berdasarkan SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, klasifikasi tanah di Indonesia juga mengacu pada parameter VS30 dengan prinsip serupa. SNI membagi tanah ke dalam kelas situs SA hingga SE, di mana kelas SD dan SE menggambarkan kondisi tanah sedang hingga sangat lunak, yang sangat berpotensi mengalami amplifikasi guncangan gempa dan likuifaksi jika jenuh air. Dalam SNI, tanah dengan $VS30 < 350$ m/s (SD–SE) harus dianalisis lebih lanjut terhadap potensi penurunan kekuatan akibat beban dinamis.

Berdasarkan hasil survei MASW di kawasan UII, nilai VS30 berada pada kisaran 218,812–363,616 m/s, sehingga tergolong kelas tanah D (NEHRP) atau kelas SD (SNI 1726-2019) dan C (NEHRP) atau kelas SC (SNI 1726-2019). Hal ini menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki tanah dengan konsistensi padat hingga sedang, sehingga masih memiliki potensi likuifaksi sedang hingga tinggi, terutama pada lapisan pasir vulkanik jenuh air. Potensi ini meningkat di daerah dengan muka air tanah dangkal dan lapisan pasir lepas, seperti yang umum

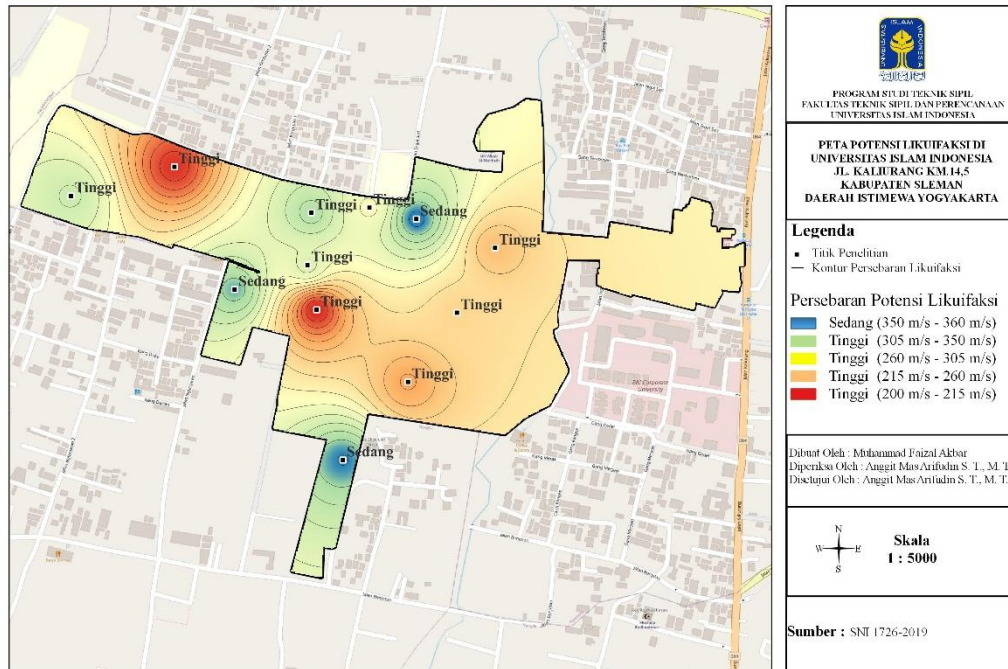
ditemukan di endapan vulkanik muda lereng selatan Gunung Merapi. Oleh karena itu, untuk keperluan rekayasa geoteknik dan mitigasi gempa, disarankan dilakukan analisis lanjutan seperti uji SPT, CPT, dan perhitungan CRR–CSR untuk memperkuat evaluasi risiko likuifaksi di kawasan tersebut. Berikut ini adalah tabel potensi likuifaksi di UII.

Tabel 5. 4 Potensi Likuifaksi di UII

Lokasi	Vs (m/detik)	Kelas Situs	Potensi Likuifaksi
GOR	331,283	SD (Tanah Sedang)	Tinggi
FTI	229,945	SD (Tanah Sedang)	Tinggi
FTSP	344,823	SD (Tanah Sedang)	Tinggi
FMIPA	323,565	SD (Tanah Sedang)	Tinggi
Lab Terpadu	354,715	SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)	Sedang
Lab FK	218,812	SD (Tanah Sedang)	Tinggi
Lab BKT	308,113	SD (Tanah Sedang)	Tinggi
FPSB	363,606	SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)	Sedang
Masjid Ulil	271,225	SD (Tanah Sedang)	Tinggi
FIAI	282,755	SD (Tanah Sedang)	Tinggi
Lapangan Bola	258,534	SD (Tanah Sedang)	Tinggi
Rusunawa Putra	360,613	SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)	Sedang

Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di UII berstatus “Sedang” berlokasi pada Lab Terpadu, FPSB, dan Rusunawa Putra. Sedangkan potensi likuifaksi berstatus “Tinggi” terletak pada lokasi GOR, FTI, FTSP, FMIPA, Lab FK, Lab BKT, Masjid Ulil, FIAI, dan Lapangan Bola. Potensi likuifaksi tertinggi terletak pada lokasi Lab FK, sedangkan potensi likuifaksi terendah terletak pada lokasi FPSB.

Berikut merupakan peta potensi likuifaksi di UII.



Gambar 5. 11 Peta Potensi Likuifaksi di UII

Dari Gambar 5.11 diatas diketahui hampir semua area di UII memiliki potensi likuifaksi “Tinggi” diawali dengan area yang berwarna merah (200-215 m/s) yaitu memiliki potensi likuifaksi tertinggi yang ada di UII, kemudian disusul area yang berwarna merah-jingga (215-260 m/s) yang berlokasi di Lab FK, FTI, dan Lapangan Bola, setelah itu area yang berwarna jingga-kuning (260-305 m/s) yang berlokasi di Masjid Ulil dan FIAI, dan terakhir yaitu area berwarna kuning-hijau (305-350 m/s) berada pada lokasi GOR, FTSP, FMIPA, dan Lab BKT. Sedangkan area yang memiliki potensi likuifaksi yang “Sedang” hanya area yang berwarna biru (350-360 m/s) yang berlokasi pada Lab Terpadu, FPSB, dan Rusunawa Putra.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai estimasi kecepatan gelombang geser dan karakterisasi tanah di Universitas Islam Indonesia menggunakan metode Multichannel Analysis of Surface Wave di lapangan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil penelitian nilai kecepatan gelombang geser Vs30 di UII didapatkan nilai tertinggi di UII terletak pada lokasi FPSB sebesar 363,606 m/s, sedangkan nilai terendah terletak pada lokasi Lab FK sebesar 218,812 m/s. Berdasarkan klasifikasi dari SNI-1726-2019 karakterisasi tanah di UII dikategorikan kedalam kelas situs SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak) pada lokasi Lab Terpadu, FPSB, dan Rusunawa Putra. Sedangkan kategori kelas situs SD (Tanah Sedang) pada lokasi GOR, FTI, FTSP, FMIPA, Lab FK, Lab BKT, Masjid Ulil, FIAI, dan Lapangan Bola.
2. Perbandingan nilai Vs30 menggunakan metode MASW dan USGS didapat nilai Vs30 menggunakan metode MASW tertinggi yaitu 363,606 m/s yang berada pada gedung FPSB dan nilai Vs30 terendah yaitu 218,812 m/s yang berada pada gedung Laboratorium FK. Sedangkan dari hasil pengujian didapat nilai Vs30 menggunakan metode USGS tertinggi yaitu 425 m/s yang berada pada gedung FTSP, Laboratorium BKT, FPSB, dan Masjid Ulil. Sementara itu, nilai Vs30 terendah yaitu 414 m/s yang berada pada gedung Laboratorium Terpadu. Dari kedua data tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil dari pengujian Vs30 menggunakan metode MASW lebih beragam dari pengujian Vs30 menggunakan metode USGS dikarenakan metode USGS berasal dari model global dengan resolusi spasial yang lebih kasar (sekitar 1 km² atau lebih).

3. Berdasarkan potensi likuifaksi di Universitas Islam Indonesia menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di UII berstatus “Sedang” berlokasi pada Lab Terpadu, FPSB, dan Rusunawa Putra. Sedangkan potensi likuifaksi berstatus “Tinggi” terletak pada lokasi GOR, FTI, FTSP, FMIPA, Lab FK, Lab BKT, Masjid Ulil, FIAI, dan Lapangan Bola. Potensi likuifaksi tertinggi terletak pada lokasi Lab FK, sedangkan potensi likuifaksi terendah terletak pada lokasi FPSB.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa saran penulis untuk penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut.

1. Peneliti selanjutnya diharapkan untuk mengambil data pada waktu tengah malam agar data yang diteliti tidak ada gangguan getaran dari lokasi sekitar.
2. Peneliti selanjutnya diharapkan menggunakan data bor-log sesuai dengan lokasi penelitian agar pengaturan parameter pada aplikasi *Dinver* dapat disesuaikan dengan data tanah secara riil sehingga minimum misfit akan semakin kecil dan hasilnya akan semakin akurat.
3. Peneliti selanjutnya disarankan menggunakan aplikasi winMASW dikarenakan aplikasi winMASW langsung mengeluarkan hasil Vs30 dan juga ketebalan lapisan tanahnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrahman, Khalid, Al-Amri, Abdullah, Fnais, Mohammed, & El-Hadidy, Salah. (2024). *Estimating shear wave velocity and site characterization of western Riyadh City, Saudi Arabia based on multichannel analysis of surface waves*. *Journal of Applied Geophysics*, 215, 105120.
- Ariestianty, Dian, Widiyantoro, Sri, & Nugraha, Adi D. (2010). Analisis gelombang permukaan untuk karakterisasi struktur bawah permukaan dangkal. *Jurnal Geofisika*, 8(2), 65–74.
- Atika Hasya, Alya, Pramudito, Arif, & Nugroho, Andi. (2021). Perbandingan metode multichannel analysis of surface wave (MASW) dan cone penetration test (CPT) terhadap analisis lapisan tanah. *Jurnal Teknik Sipil*, 28(3), 145–156.
- Brown, Gregory C. (2005). *Introduction to Seismology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Elnashai, Amr S., & Sarno, Luigi Di. (2008). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Foti, Sebastiano, Lai, Carlo G., Rix, Glenn J., & Strobbia, Claudio. (2018). *Surface Wave Methods for Near-Surface Site Characterization*. Boca Raton: CRC Press.
- Hartantyo, Eko, & Brotopuspito, Kurniawan Setiawan. (2010). Analisis dispersi gelombang Rayleigh untuk karakterisasi tanah dangkal. *Jurnal Geofisika Indonesia*, 5(1), 11–20.
- Kritikakis, George, Papadopoulos, Nikos, Vafidis, Antonios, & Soupios, Pantelis. (2024). Assess the effectiveness of multichannel analysis of surface waves

method in mapping ancient structures in ultrashallow aquatic environments: The case of Agioi Theodoroi, Greece. *Near Surface Geophysics*.

Munadi, Suryadi. (2003). *Gelombang dan Getaran*. Bandung: Institut Teknologi Bandung Press.

Norlaila, Norlaila, Saputra, Dedi, & Yuliana, Rina. (2023). Studi gelombang Rayleigh untuk prediksi daya dukung tanah menggunakan metode multichannel analysis of surface waves. *Jurnal Fisika Bumi*, 12(1), 23–34.

Park, Choon B., Miller, Richard D., & Xia, Jianghai. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3), 800–808.

Pradipta, Rizky, Santosa, Budi, & Nugroho, Heru. (2023). Kajian karakteristik tanah untuk mitigasi gempa di wilayah Sleman, Yogyakarta. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 25(2), 89–101.

Putra, Raka Aditya, Wijayanto, Eko, & Suryanto, Bambang. (2020). Analisis risiko gempa bumi di Indonesia berdasarkan kondisi tektonik. *Jurnal Geologi Indonesia*, 15(1), 1–12.

Rosyidi, Sri Atmaja P. (2006). *Rekayasa Gempa*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Shearer, Peter M. (2009). *Introduction to Seismology* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

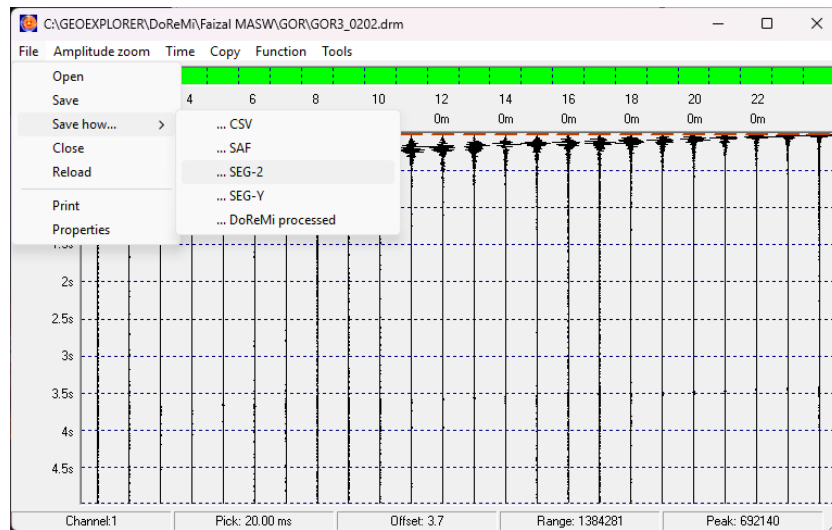
Shafira Rahmawati, Salsabila, Hidayat, Roni, & Prasetyo, Dimas. (2024). Pemanfaatan citra satelit dan MASW untuk mitigasi bencana abrasi Desa Urai, Bengkulu. *Jurnal Kebumihan*, 9(1), 33–45.

Sholihan, & Santosa, Bambang Jaya. (2009). Analisis dispersi gelombang Rayleigh untuk karakterisasi tanah dangkal. *Jurnal Geofisika*, 7(1), 21–29.

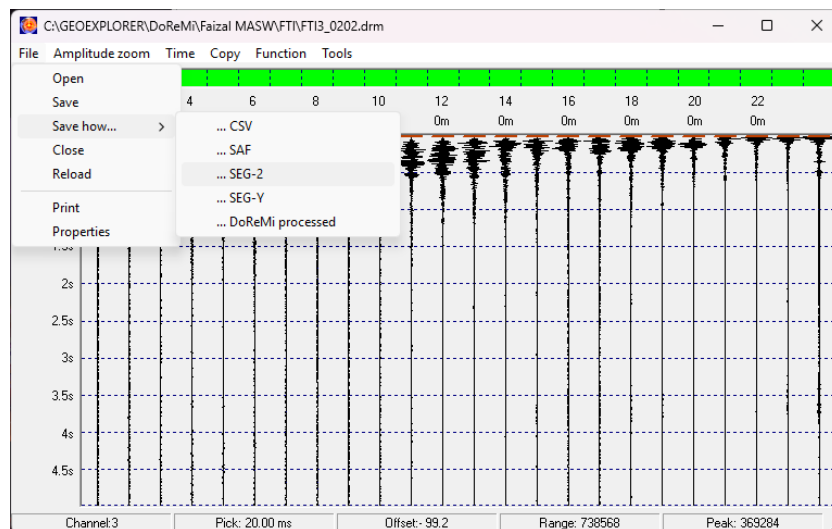
- Siswowidjoyo, Subagio, Santoso, Dwi, & Suharno. (1997). *Seismologi Teknik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung Press.
- Stokoe, Kenneth H., Wright, Stephen G., Bay, John A., & Roesset, José M. (1994). Characterization of geotechnical sites by SASW method. *Geotechnical Special Publication*, 40, 15–25.
- Syahbana, Agus Joko, Nugraha, Andi, & Widiyantoro, Sri. (2022). Aktivitas Sesar Opak dan implikasinya terhadap bahaya gempa Yogyakarta. *Jurnal Kebumihan*, 6(2), 77–88.
- Telford, William M., Geldart, Lawrence P., & Sheriff, Robert E. (1976). *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Telford, William M., Geldart, Lawrence P., & Sheriff, Robert E. (1990). *Applied Geophysics* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- United States Geological Survey. (2023). *Vs30 Global Model*. Earthquake Hazards Program.
- Wang, Jinhui, Xia, Jianghai, Miller, Richard D., & Park, Choon B. (2021). Multichannel analysis of surface waves: A review of theory and applications. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 141, 106491.
- Wijaya, Andika, & Anindita, Rina. (2021). Aplikasi metode multichannel analysis of surface waves untuk karakterisasi tanah di daerah rawan gempa. *Jurnal Geoteknik*, 18(2), 101–112.
- Xia, Jianghai, Miller, Richard D., & Park, Choon B. (1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. *Geophysics*, 64(3), 691–700.
- Xia, Jianghai, Park, Choon B., & Miller, Richard D. (2019). Advanced multichannel analysis of surface waves methods and applications. *Near Surface Geophysics*, 17(2), 125–142.

LAMPIRAN

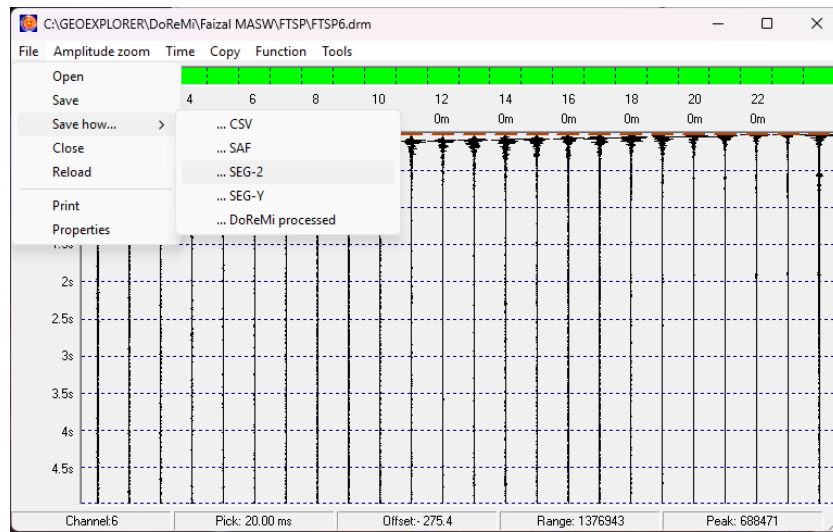
Lampiran 1 Gambar Konversi Format Data



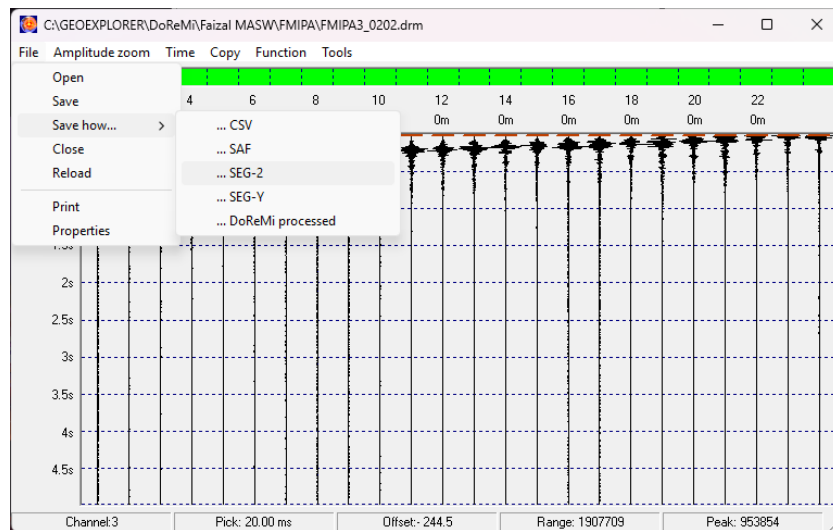
Gambar L 1.1 Konversi Format Data GOR



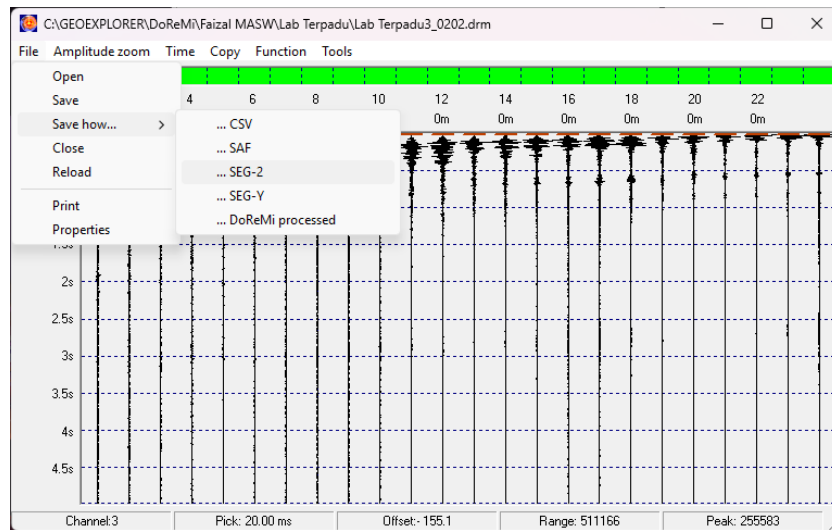
Gambar L 1.2 Konversi Format Data FTI



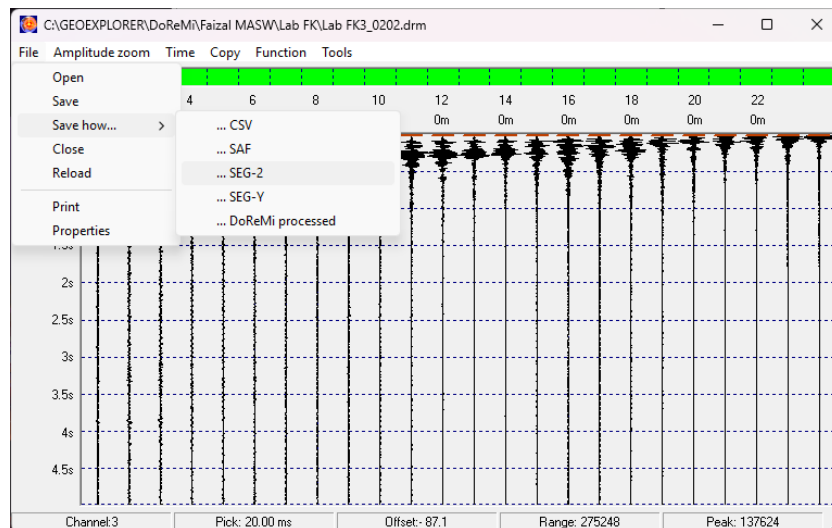
Gambar L 1.3 Konversi Format Data FTSP



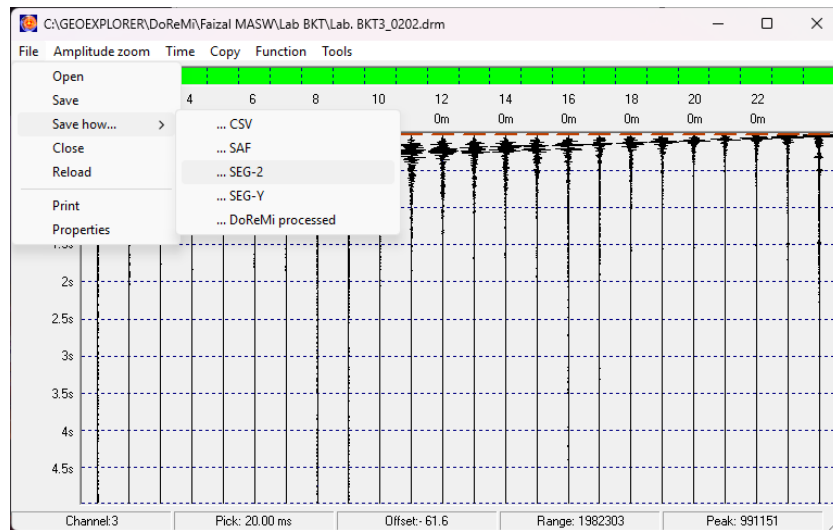
Gambar L 1.4 Konversi Format Data FMIPA



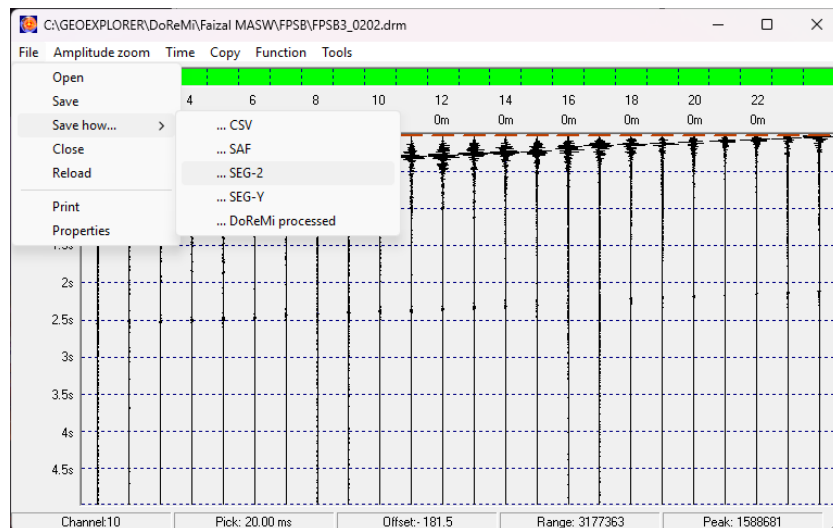
Gambar L 1.5 Konversi Format Data Lab Terpadu



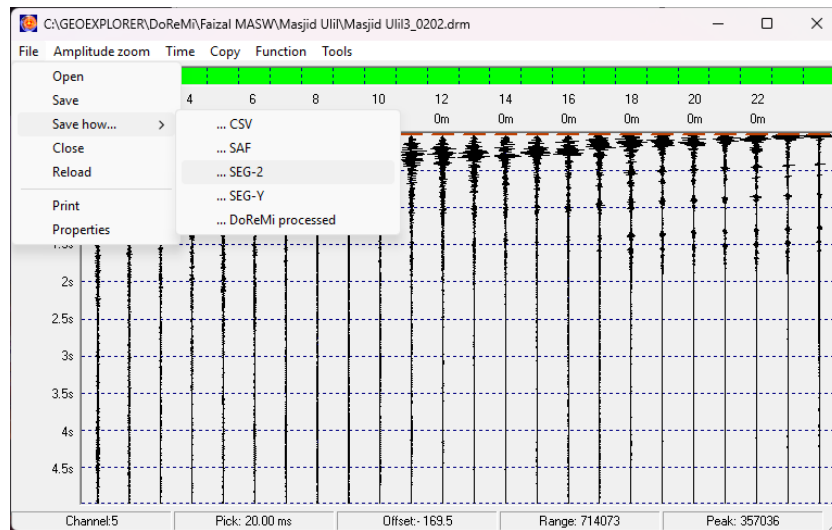
Gambar L 1.6 Konversi Format Data Lab FK



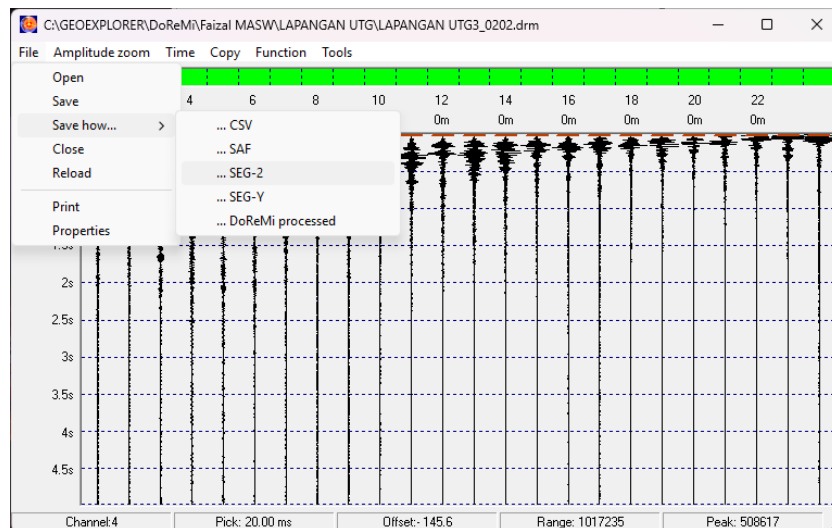
Gambar L 1.7 Konversi Format Data Lab BKT



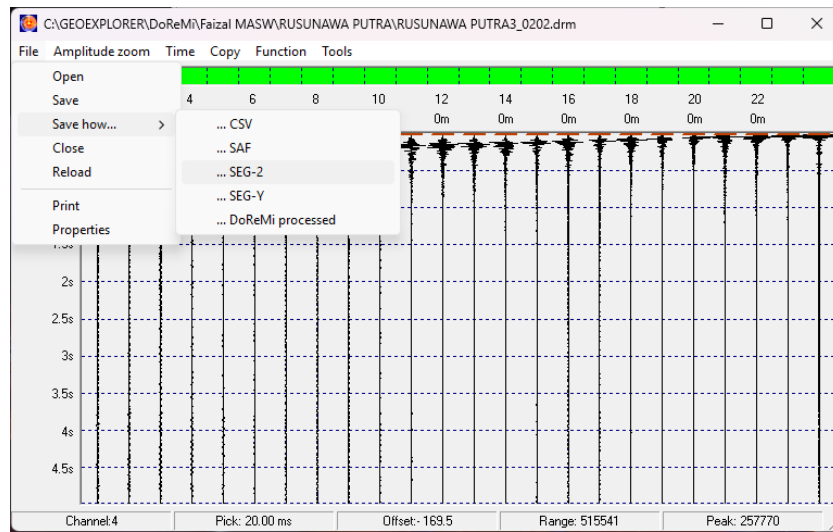
Gambar L 1.8 Konversi Format Data FPSB



Gambar L 1.9 Konversi Format Data Masjid Ulii

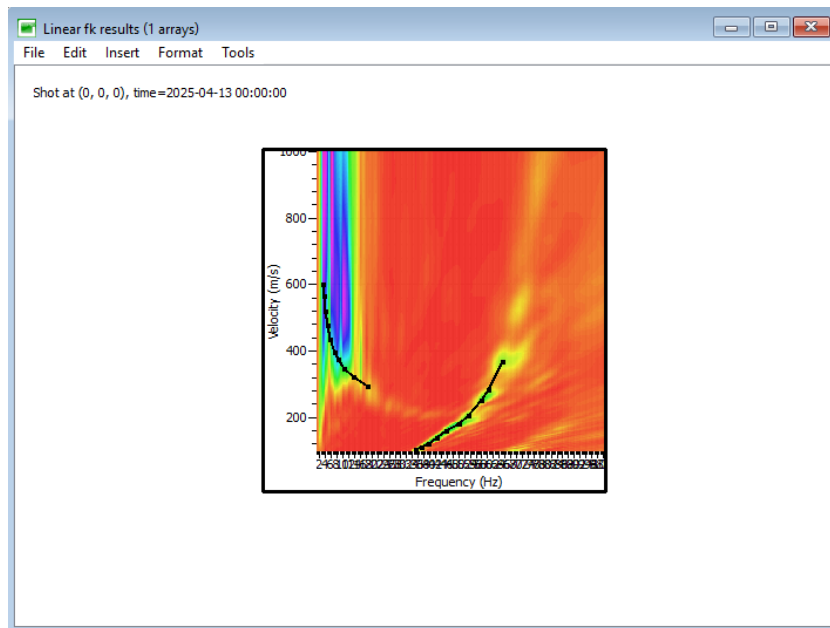


Gambar L 1.10 Konversi Format Data Lapangan UTG

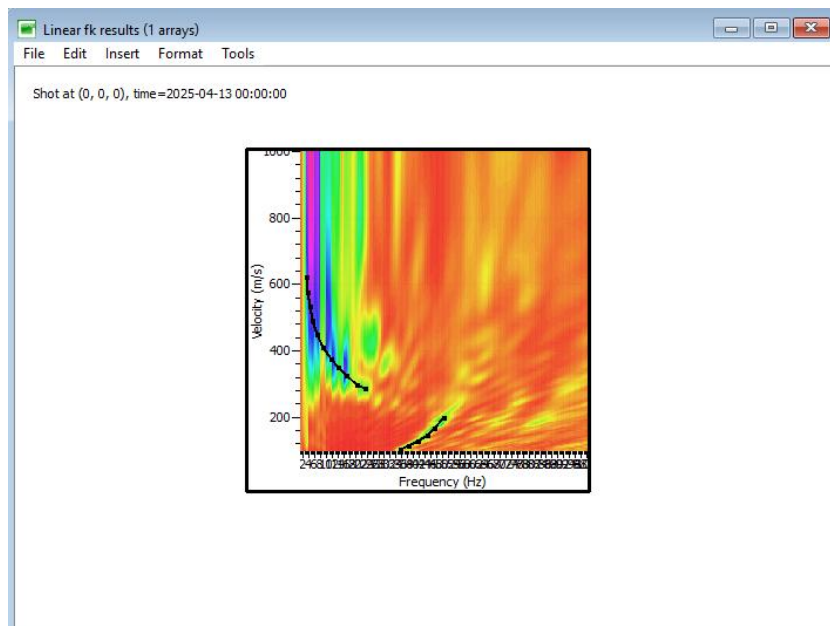


Gambar L 1.11 Konversi Format Data Rusunawa Putra

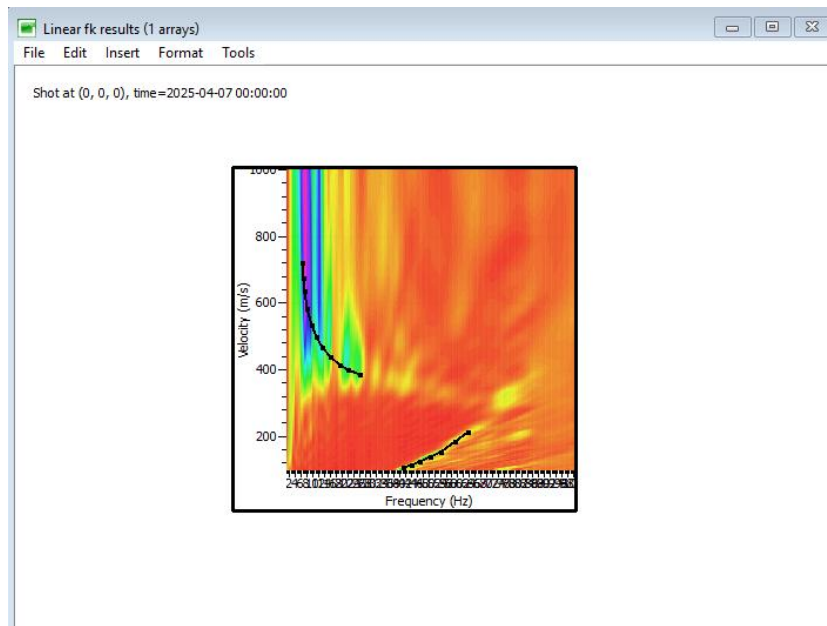
Lampiran 2 Picking Kurva Dispersi



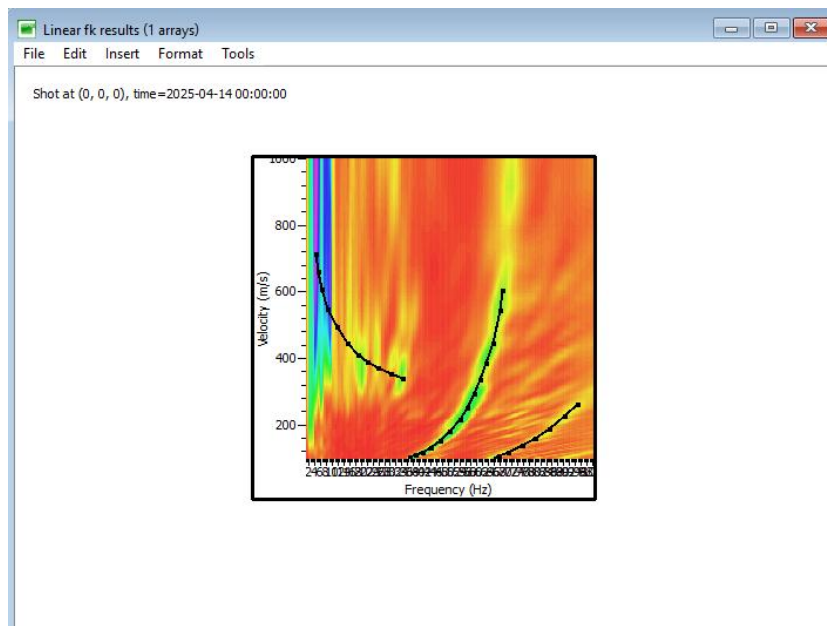
Gambar L 2. 1 *Picking* Kurva Dispersi Data GOR



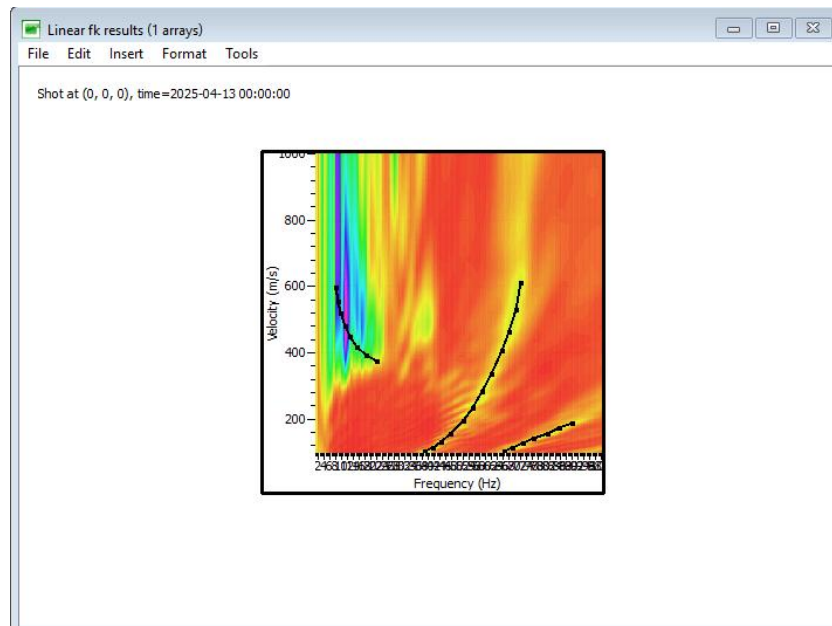
Gambar L 2. 2 *Picking* Kurva Dispersi Data FTI



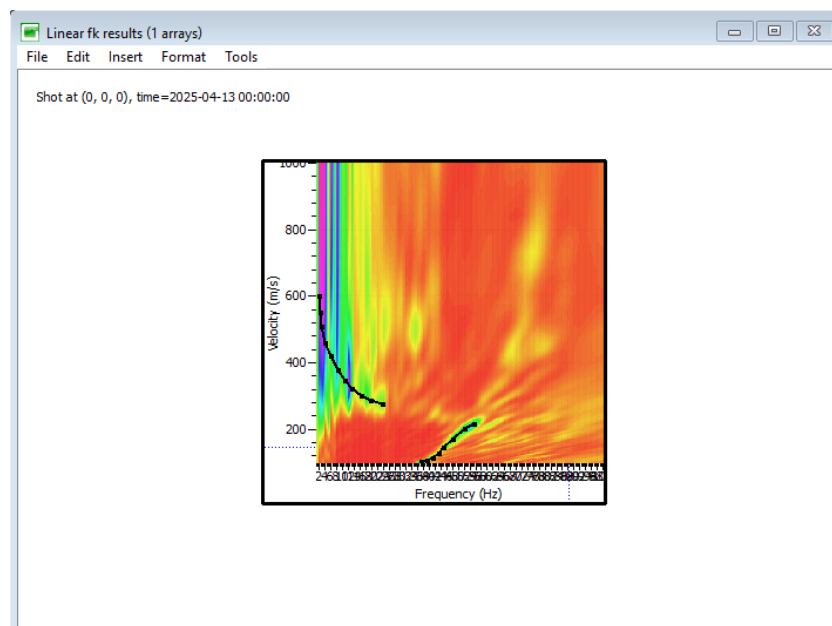
Gambar L 2. 3 Picking Kurva Dispersi Data FTSP



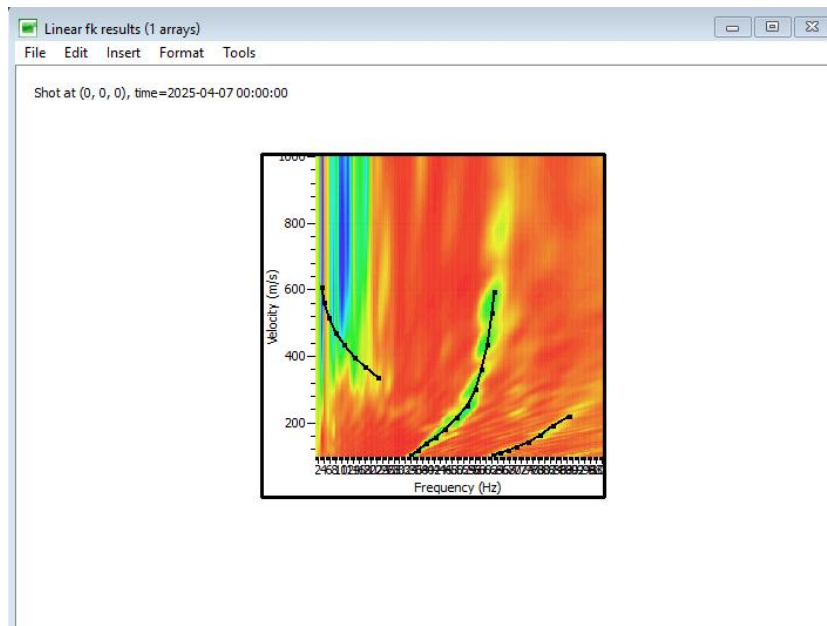
Gambar L 2. 4 Picking Kurva Dispersi Data FMIPA



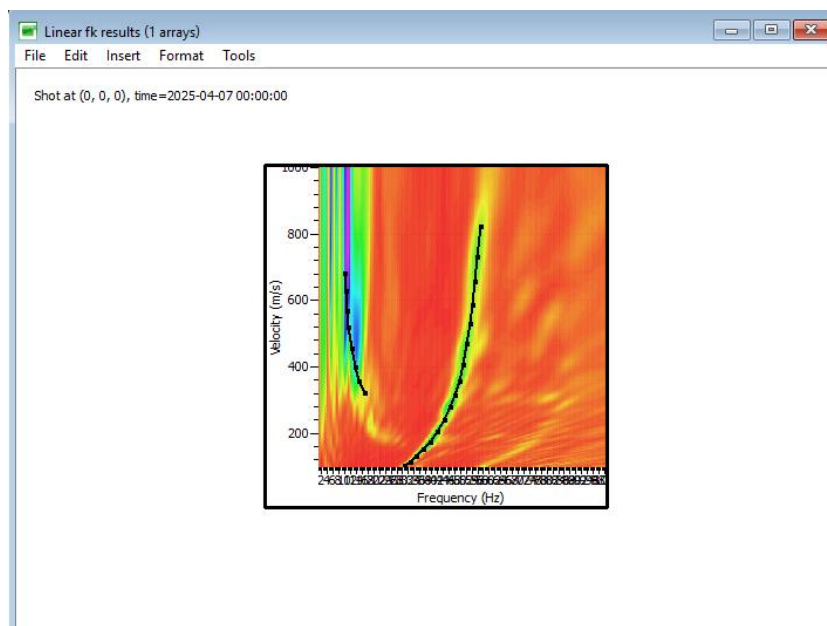
Gambar L 2. 5 *Picking Kurva Dispersi Data Lab. FMIPA*



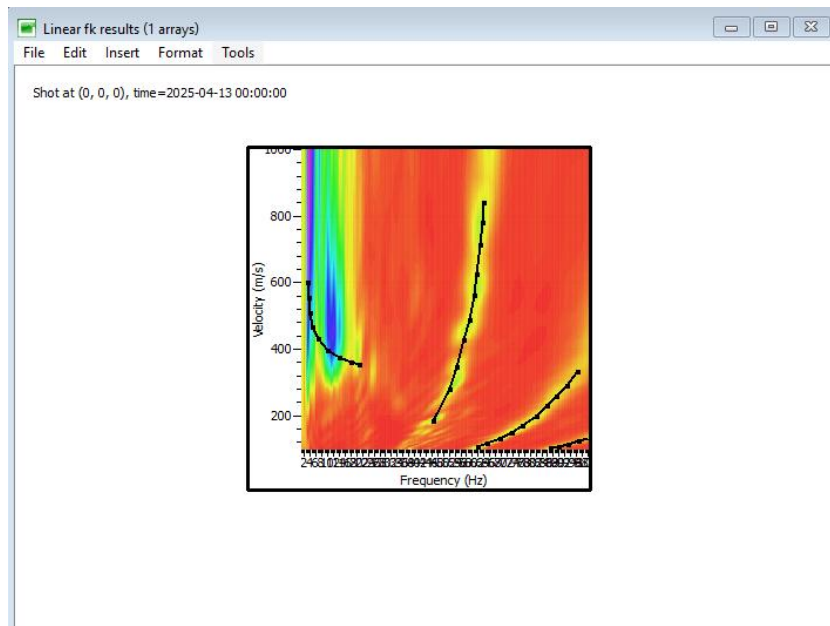
Gambar L 2. 6 *Picking Kurva Dispersi Data Lab. FK*



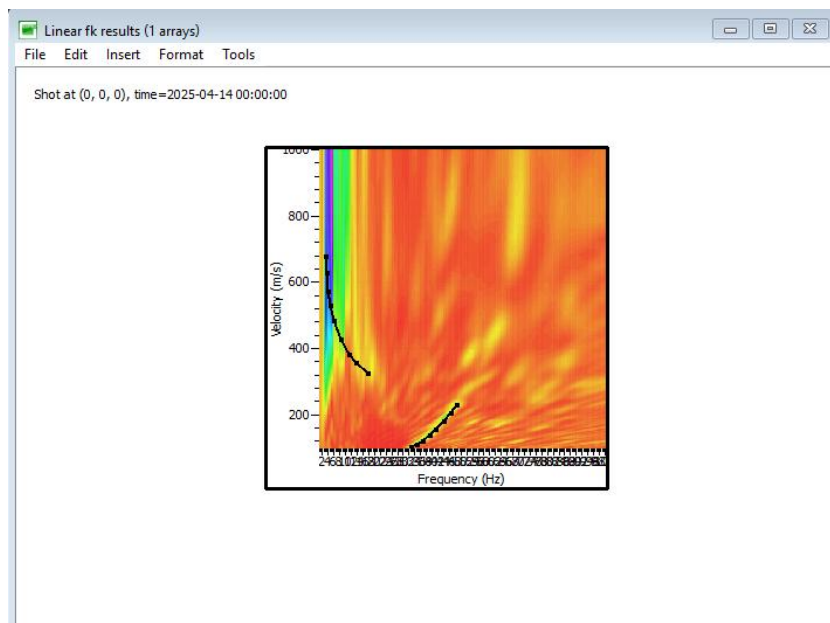
Gambar L 2. 7 Picking Kurva Dispersi Data Lab BKT



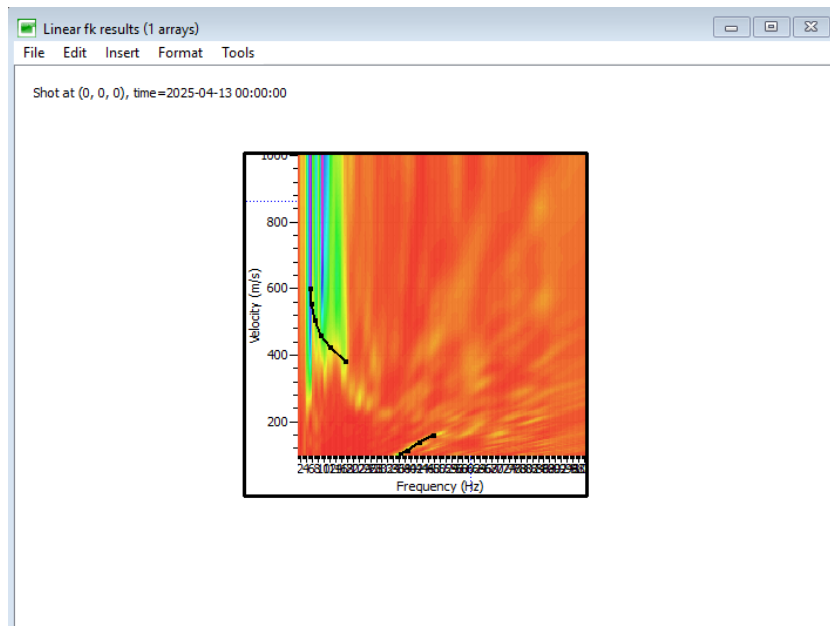
Gambar L 2. 8 Picking Kurva Dispersi Data FPSB



Gambar L 2. 9 *Picking* Kurva Dispersi Data Masjid Ulil



Gambar L 2. 10 *Picking* Kurva Dispersi Data Lapangan Bola



Gambar L 2. 11 *Picking Kurva Dispersi Data Rusunawa Putra*

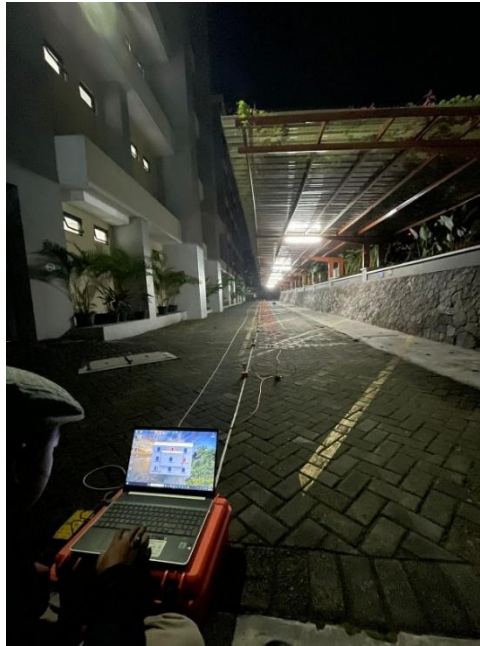
Lampiran 3 Dokumentasi Pada Saat Penelitian



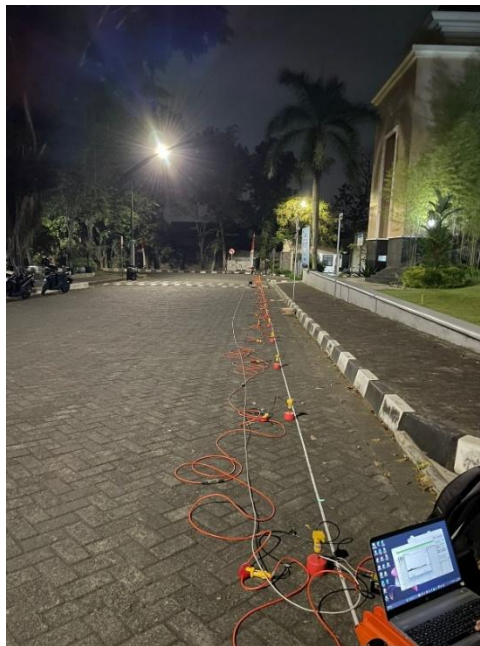
Gambar L 3. 1 Dokumentasi GOR



Gambar L 3. 2 Dokumentasi FTI



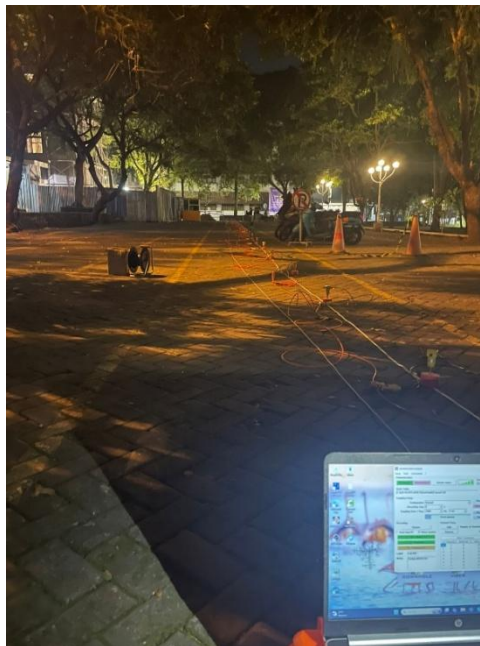
Gambar L 3. 3 Dokumentasi FMIPA



Gambar L 3. 4 Dokumentasi Lab Terpadu



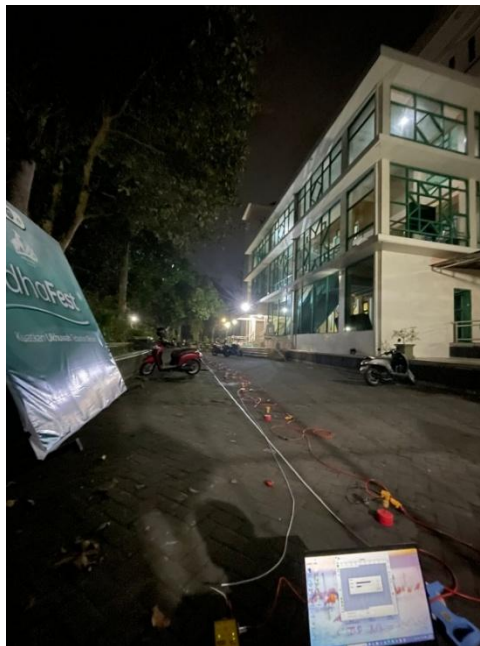
Gambar L 3. 5 Dokumentasi Lab FK



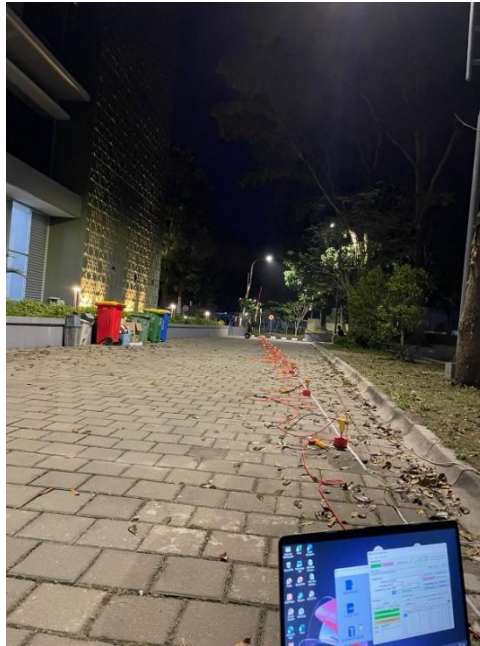
Gambar L 3. 6 Dokumentasi Lab BKT



Gambar L 3. 7 Dokumentasi FPSB



Gambar L 3. 8 Dokumentasi Masjid Ulil



Gambar L 3. 9 Dokumentasi FIAI



Gambar L 3. 10 Dokumentasi Lapangan UTG



Gambar L 3. 11 Dokumentasi Rusunawa Putra

Lampiran 4 Alat Pengujian MASW



Gambar L 4. 1 Meteran



Gambar L 4. 2 Pelat Dasar/*Base Plate*



Gambar L 4. 3 Geophone



Gambar L 4. 4 Kabel Geophone



Gambar L 4. 5 Kabel *Trigger*



Gambar L 4. 6 Pelat Pemukul/*Strike Plate*



Gambar L 4. 7 Palu/Sledgehammer



Gambar L 4. 8 Seismograf PASI

Lampiran 5 Surat Pengantar Pengujian MASW



Gambar L 5. 1 Surat Pengantar Pengujian MASW