



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - RF141501**

**PEMETAAN ZONA AMPLIFIKASI GEMPA WILAYAH  
SURABAYA BAGIAN BARAT BERDASARKAN NILAI  
GELOMBANG GESER (VS) MENGGUNAKAN METODE  
*MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE*  
(MASW)**

**MOH FANI FATKHUR ROHMAN**  
NRP 3714100030

Dosen Pembimbing  
Wien Lestari, S.T, M.T.  
NIP. 19811002 201212 2 003

Firman Syaifuddin, S.Si, M.T.  
NIP. 19840911 201404 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**



**TUGAS AKHIR - RF141501**

**PEMETAAN ZONA AMPLIFIKASI GEMPA WILAYAH  
SURABAYA BAGIAN BARAT BERDASARKAN NILAI  
GELOMBANG GESER (VS) MENGGUNAKAN METODE  
*MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE*  
(MASW)**

**MOH FANI FATKHUR ROHMAN  
NRP 3714100030**

**Dosen Pembimbing  
Wien Lestari, S.T, M.T.  
NIP. 19811002 201212 2 003**

**Firman Syaifuddin, S.Si, M.T.  
NIP. 19840911 201404 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**



**UNDERGRADUATE THESIS - RF141501**

**EARTHQUAKE AMPLIFICATION ZONE MAPPING IN  
WESTERN SURABAYA BASED ON SHEAR WAVES  
(VS) USING MULTICHANNEL ANALYSIS OF  
SURFACE WAVE METHOD (MASW)**

**MOH FANI FATKHUR ROHMAN  
NRP 3714100030**

**Advisors  
Wien Lestari, S.T, M.T.  
NIP. 19811002 201212 2 003**

**Firman Syaifuddin, S.Si, M.T.  
NIP. 19840911 201404 1 001**

**GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty Of Civil Environmental And Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

**PEMETAAN ZONA AMPLIFIKASI GEMPA WILAYAH  
SURABAYA BAGIAN BARAT BERDASARKAN NILAI  
GELOMBANG GESER (VS) MENGGUNAKAN METODE  
MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE (MASW)**

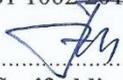
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

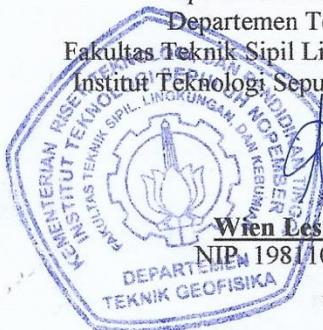
Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 12 Juli 2018

Menyetujui,

-   
.....
1. **Wien Lestari, S.T., M.T.** (Pembimbing I)  
NIP. 1981 1002 201212 2 003
-   
.....
2. **Firman Syaifuddin, S.Si., M.T.** (Pembimbing II)  
NIP. 1984 0901 201404 1 001
-   
.....
3. **Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.** (Penguji I)  
NIP. 1959 1010 198803 1 002
-   
.....
4. **M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M. Eng.** (Penguji II)  
NIP. 1989 0208 201804 1 001

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Petrofisika  
Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



**Wien Lestari, S.T., M.T.**  
NIP. 1981 1002 201212 2 003

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

# **PEMETAAN ZONA AMPLIFIKASI GEMPA WILAYAH SURABAYA BAGIAN BARAT BERDASARKAN NILAI GELOMBANG GESER (VS) MENGGUNAKAN METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE* (MASW)**

Nama Mahasiswa : Moh Fani Fatkhur Rohman  
NRP : 3714100030  
Departemen : Teknik Geofisika FTSLK-ITS  
Dosen Pembimbing : Wien Lestari, S.T, M.T  
Firman Syaifuddin, S.Si, M.T

## **Abstrak**

Secara geologi sebagian besar wilayah Surabaya tersusun atas endapan aluvial muda hasil endapan laut dan sungai, batulempung, batu pasir, dan sisanya merupakan perbukitan rendah yang dibentuk oleh tanah hasil pelapukan batuan yang berasal dari perbukitan rendah di Surabaya Bagian Barat. Wilayah seperti inilah yang rawan terhadap amplifikasi gelombang gempa. Ditambah adanya sesar Waru dan sesar Surabaya yang berhimpitan dengan antiklin Lidah dan Guyangan. Adanya ancaman bencana tersebut maka perlu adanya upaya mitigasi bencana gempa bumi di Surabaya Barat yang dilalui dua antiklin yang berasosiasi dengan adanya sesar antara lain melakukan pemetaan faktor gerakan tanah berupa nilai Vs30 dan amplifikasi menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW). MASW sendiri sangat cocok untuk mengidentifikasi faktor getaran pada tanah. Penelitian dengan metode MASW di Surabaya Bagian Barat dilakukan pada 23 titik yang tersebar di setiap formasi. Parameter akuisisi pada penelitian kali ini dengan panjang lintasan 102 meter, 24 receiver, 5 shot, sampling time 2 detik dan stacking 3 pukulan. Nilai Vs30 yang telah didapatkan dan dipetakan mendapatkan hasil bahwa nilai Vs30 Surabaya Bagian Barat berkisar antara 176-294 m/s dan dari perhitungan nilai amplifikasi Surabaya Bagian Barat berkisar antara 2,1-4,8. Dari penelitian didapatkan zona rawan adalah bagian Utara dengan nilai Vs30 176-188 m/s yang digolongkan sebagai tanah lunak sementara nilai amplifikasinya adalah 4,2-4,8. Meskipun nilai amplifikasinya masih berada pada zona sedang namun daerah Utara Surabaya merupakan daerah yang rawan. Nilai amplifikasi di daerah Utara penelitian adalah nilai amplifikasi relatif karena lapisan kerasnya tidak terjangkau dengan penelitian ini, sehingga beda impedansinya tidak maksimal. Sementara di daerah antiklin dan aluvium diantara antiklin berada pada kawasan yang relatif aman karena nilai Vs30 berada diatas 240 m/s dan nilai amplifikasi yang rendah yaitu dibawah 3.

*Kata kunci : Amplifikasi, Gempa Bumi, MASW, Surabaya Bagian Barat.*

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

# ***EARTHQUAKE AMPLIFICATION ZONE MAPPING IN WESTERN SURABAYA BASED ON SHEAR WAVES (VS) USING MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE METHOD (MASW)***

Student Name : Moh Fani Fatkhur Rohman  
NRP : 3714100030  
Departement : Teknik Geofisika FTSLK-ITS  
Supervisors : Wien Lestari, S.T, M.T  
Firman Syaifuddin, S.Si, M.T

## ***Abstract***

*Geologically, most of the Surabaya area consists of young alluvial deposits of marine and river sediments, claystone, sandstone, and the rest are low hills formed by tertiary rock weathering. Such areas are dangerous to the amplification of earthquake waves. The existence of the Waru and the Surabaya fault that coincide with the Lidah and Guyangan anticline increase the risk of disaster threat. Therefore, western Surabaya that has such conditions require an earthquake mitigation effort. A research has been conducted to map the Vs30 and Amplification of earthquakes in Western Surabaya using the MASW Method. MASW itself is perfect for identifying vibration factors on the ground. Research with MASW method in Western Surabaya was done with 23 points spread in every formation. Acquisition parameters in this study used 102 meters length of line, 24 receivers, 5 shots, 2 seconds sampling time and 3 stack count. The results of the mapping indicate that the value of Vs30 western Surabaya is between 176-294 m / s and from the calculation of the amplification value is between 2.1-4.8. From the research, it is found that the vulnerable zone is located in north part of Western Surabaya. The Vs30 value there is rated between 176-188 m / s which can be classified as soft soil while the amplification value is 4,2-4,8. Although the amplification values are still in the medium zone but in the north part of the study area are classified in vulnerable areas. The amplification value in the North part of the study area is relative because the bedrock is not covered by this study, so the difference of the impedance is not maximal. While in the anticline and aluvium areas between the anticlines are in a relatively safe area because Vs30 values are above 240 m / s and the amplification values are low below 3.*

*Wordkey : Ampilification, Earthquake, MASW, Western Surabaya.*

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

## Kata Pengantar

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena dengan rahmat dan ridho-Nya Sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “Pemetaan Zona Amplifikasi Gempa Berdasarkan Nilai Gelombang Geser ( $V_s30$ ) Menggunakan Metode *Multichannel Analysis Surface Wave* Wilayah Surabaya Bagian Barat” dapat terselesaikan.

Pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ayah, Ibu, Adik dan semua keluarga atas dukungan dan doa yang selalu ditujukan kepada penulis selama kuliah terutama selama menjalani Tugas Akhir ini.
2. Ibu Wien Lestari, S.T, M.T dan Bapak Firman Syaifuddin, S.Si, M.T selaku pembimbing.
3. Seluruh Tim MASW (Vien, Novritsa, Husnia, Anto) yang selalu menemani dan mendukung penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan pegawai administrasi Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
5. Teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2014 atas dukungannya.
6. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu oleh penulis, terima kasih banyak atas doa dan dukungannya.

Semoga Allah membalas semua kebaikan semua pihak. Penulis menyadari tentunya penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 30 Mei 2018



Moh Fani Fatkhur Rohman  
Nrp 3714100030

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

## Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan JUDUL “**PEMETAAN ZONA AMPLIFIKASI GEMPA WILAYAH SURABAYA BAGIAN BARAT BERDASARKAN NILAI GELOMBANG GESER (VS) MENGGUNAKAN METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS SURFACE WAVE(MASW)***” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

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

Surabaya, 30 Mei 2018



Moh Fani Fatkhur Rohman

Nrp 3714100030

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

## Daftar Isi

|   |           |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL .....                                   | i         |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                               | v         |
| Abstrak .....   | vii       |
| <i>Abstract</i> .....                                 | ix        |
| Kata Pengantar.....                                   | xi        |
| Pernyataan Keaslian Tugas Akhir.....                  | xiii      |
| Daftar Isi .....                                      | xv        |
| Daftar Gambar .....                                   | xvii      |
| Daftar Tabel.....                                     | xix       |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                         | <b>1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang .....                              | 1         |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                             | 3         |
| 1.3 Tujuan .....                                      | 3         |
| 1.4 Batasan Masalah.....                              | 3         |
| 1.5 Manfaat .....                                     | 3         |
| <b>BAB II DASAR TEORI .....</b>                       | <b>5</b>  |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya .....                       | 5         |
| 2.2 Geologi Surabaya .....                            | 6         |
| 2.3 Kegempaan Kota Surabaya .....                     | 9         |
| 2.4 <i>Multichannel Analysis Surface Wave</i> .....   | 9         |
| 2.4.1 <i>Dispersi Gelombang Rayleigh</i> .....        | 11        |
| 2.4.2 <i>Analisa Inversi Gelombang Rayleigh</i> ..... | 17        |
| 2.5 Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ ) .....         | 18        |
| 2.7 Amplifikasi Gempa .....                           | 19        |
| <b>BAB III METODOLOGI .....</b>                       | <b>23</b> |
| 3.1 Lokasi Penelitian .....                           | 23        |
| 3.2 Alur Penelitian .....                             | 26        |
| 3.3 Alat dan Bahan .....                              | 28        |
| 3.4 Akuisisi MASW .....                               | 28        |
| 3.5 Pengolahan Data MASW .....                        | 29        |
| 3.5.1 <i>Filtering Data MASW</i> .....                | 29        |
| 3.5.2 <i>Pengolahan Data MASW</i> .....               | 30        |
| 3.6 Pengolahan Refraksi.....                          | 34        |
| 3.7 Perhitungan Nilai Amplifikasi.....                | 36        |
| 3.8 Pemetaan $V_s30$ dan Amplifikasi .....            | 37        |
| <b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>            | <b>39</b> |
| 4.1 Analisa Data MASW dan Refraksi .....              | 39        |
| 4.2 $V_s30$ Surabaya Bagian Barat.....                | 40        |

|                      |  |    |
|----------------------|--|----|
| 4.2.1                | <i>Sebaran Vs30 Setiap Formasi Geologi</i> ..... | 40 |
| 4.2.2                | <i>Pemetaan Vs30 Surabaya Bagian Barat</i> ..... | 43 |
| 4.3                  | Amplifikasi Surabaya Bagian Barat.....           | 45 |
| BAB V PENUTUP.....   |  | 53 |
| 5.1                  | Kesimpulan.....                                  | 53 |
| 5.2                  | Saran.....                                       | 53 |
| Daftar Pustaka.....  |  | 55 |
| Lampiran.....        |  | 57 |
| Biodata Penulis..... |  | 61 |

## Daftar Gambar

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Peta Geologi Kota Surabaya (Sukardi dkk., 1992) .....  | 2  |
| Gambar 2. 1 Peta Vs30 Kota Surabaya dengan Metode Mikrotremor (Mufida dkk., 2013).....   | 5  |
| Gambar 2. 2 Peta Amplifikasi Surabaya Metode Mikrotremor (Rahmaningtyas dkk., 2017).....   | 6  |
| Gambar 2. 3 Peta Geologi Surabaya (Sukardi dkk., 1992).....  | 8  |
| Gambar 2. 4 Parameter Akuisisi Maksimum MASW.....  | 10 |
| Gambar 2. 5 Ilustrasi desain akuisisi MASW aktif (Park,dkk., 2007).....  | 11 |
| Gambar 2. 6 Pola gerakan partikel gelombang Rayleigh (Lowrie, 2007).....   | 12 |
| Gambar 2. 7 Grafik kecepatan sudut gelombang Rayleigh sebagai fungsi frekuensi (Lowrie, 2007) .....  | 16 |
| Gambar 2. 8 Model lapisan bumi dengan parameter kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ), kecepatan gelombang kompresional ( $v_p$ ), densitas ( $\rho$ ), dan ketebalan ( $h$ ). (Xia dkk., 1999)..... | 18 |
| Gambar 2. 9 Amplifikasi gelombang seismik, dicirikan oleh adanya batuan sedimen yang berada di atas basement dengan perbedaan densitas $\rho$ dan $V_s$ (Rošer dan Gosar, 2010).....               | 20 |
| Gambar 3. 1 Desain Akuisisi Tugas Akhir .....  | 23 |
| Gambar 3. 3 lokasi Akuisisi pada Lembar Geologi Surabaya .....   | 24 |
| Gambar 3. 4 Alur Kerja Penelitian .....  | 26 |
| Gambar 3. 5 Alur Akuisisi Data MASW .....  | 27 |
| Gambar 3. 6 Alur Pengolahan Data MASW.....   | 28 |
| Gambar 3. 7 Data Line 2B Shot 1.....   | 29 |
| Gambar 3. 8 <i>filtering</i> bandpass dengan seisee .....  | 29 |
| Gambar 3. 9 Gambar data line 2B shot 1 setelah <i>filtering</i> pada seisee .....  | 30 |
| Gambar 3. 10 Gambar data pada <i>Software</i> pengolahan inversi 1D MASW .....   | 30 |
| Gambar 3. 11 Gambar trace setelah dilakukan picking surface wave .....   | 31 |
| Gambar 3. 12 input parameter model formasi aluvium .....   | 32 |
| Gambar 3. 13 picking fundamental mode.....   | 32 |
| Gambar 3. 14 Gambar <i>picking fundamental mode</i> .....  | 33 |
| Gambar 3. 15 hasil inversi.....  | 33 |
| Gambar 3. 16 hasil nilai $V_s$ dan ketebalan masing-masing lapisan .....   | 34 |
| Gambar 3. 17 input geometri pada <i>Software</i> pengolahan inversi 2D refraksi .....  | 35 |
| Gambar 3. 18 Picking Firstbreak .....  | 36 |
| Gambar 3. 19 Hasil Inversi $V_p$ .....   | 36 |
| Gambar 4. 1 Perlapisan $V_s$ Line 12B Formasi Aluvium .....  | 42 |
| Gambar 4. 2 perlapisan $V_s$ line 4B formasi Qpk.....  | 42 |
| Gambar 4. 3 Peta Vs30 Surabaya bagian Barat .....  | 44 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4. 4 Peta Densitas Rata-rata Kedalaman 30 Meter .....           | 45 |
| Gambar 4. 5 Korelasi Data Densitas Bor dan Data Densitas Gardner ..... | 47 |
| Gambar 4. 6 Justifikasi Densitas Gardner Terhadap Data Bor .....       | 48 |
| Gambar 4. 7 persebaran nilai amplifikasi Surabaya Bagian Barat.....    | 50 |
| Gambar 4. 8 Persebaran Zona Amplifikasi Surabaya Bagian Barat .....    | 51 |

## Daftar Tabel

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Gempa bumi yang merusak di sekitar Surabaya (BMKG, 2012) .....                  | 9  |
| Tabel 2. 2 Klasifikasi nilai $V_s$ (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2012)<br>..... | 19 |
| Tabel 2. 3 Klasifikasi Nilai Amplifikasi Berdasarkan (Marijiyono, 2010).....               | 21 |
| Tabel 3. 1 Lokasi Pengukuran MASW .....  | 25 |
| Tabel 4. 1 Hasil $V_{s30}$ Pengukuran MASW Surabaya Bagian Barat .....                     | 40 |
| Tabel 4. 3 Nilai Amplifikasi Surabaya Bagian Barat.....                                    | 49 |

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

# BAB I PENDAHULUAN

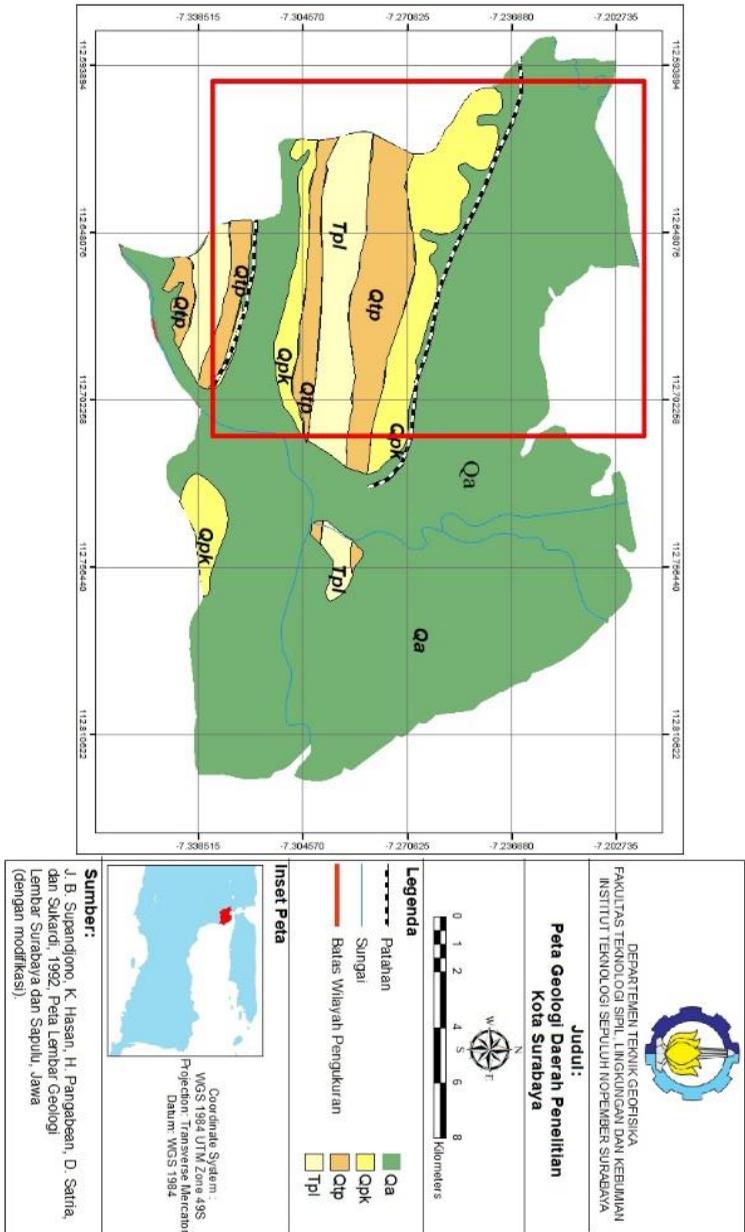
## 1.1 Latar Belakang

Secara geologi, Surabaya merupakan daerah yang berada di atas lapisan aluvium. Daerah Surabaya sebagian besar merupakan endapan aluvium yang sisanya berupa tanah perbukitan rendah hasil pelapukan perbukitan rendah yang berada di wilayah Surabaya Bagian Barat seperti pada Gambar 1.1. Wilayah Surabaya Bagian Barat merupakan wilayah yang dilintasi oleh antiklin dengan Formasi Lidah dan Formasi Pucangan yang didominasi batuan lempung dan pasir, berbeda dengan wilayah timur yang dominan endapan aluvium.

Berdasarkan sejarah gempa bumi destruktif yang terjadi di sekitar Surabaya mulai tahun 1800 sampai dengan 2011, rata-rata gempanya memiliki intensitas sebesar VII MMI. Dimana pada intensitas tersebut setiap orang diharuskan untuk lari ke luar dan dapat dirasakan di dalam kendaraan yang bergerak. Penelitian dengan memanfaatkan *Global Positioning System* menyimpulkan bahwa daerah Surabaya dan sekitarnya memiliki pergerakan sesar aktif Kendeng sebesar  $3.1 \pm 0.7$  mm/tahun. Tim Pusgen pada tahun 2017 juga menemukan 2 sesar aktif di bawah Kota Surabaya yaitu Sesar Surabaya dan Sesar Waru (Pusgen dan PUPR, 2017).

Keberadaan sesar aktif yang melintasi Kota Surabaya menimbulkan ancaman bagi kota yang sangat padat seperti Surabaya sehingga perlu adanya mitigasi terhadap dampak gempa berupa amplifikasi dan likuifaksi. Gempa bumi merupakan bencana alam yang tidak dapat diprediksi kapan waktu kejadiannya, namun dapat dilakukan pengurangan resiko ketika terjadi bencana gempa dengan melakukan studi geologi daerah sekitar yang memiliki potensi terjadi gempa bumi. Dari data BMKG ada beberapa kejadian gempa bumi yang terjadi di sekitar kota Surabaya yaitu 22 Maret 1836 di kota Mojokerto, 31 Agustus 1902 Sedayu di kota Gresik, 11 Agustus 1939 barat laut dari Laut Jawa, 19 Juni 1950 barat laut dari Laut Jawa, 19 Februari 1967 di daerah Malang, 14 Oktober 1972 daerah Trenggalek, dan 11 Oktober 2008 di daerah Ponorogo (BMKG, 2012). Dengan potensi gempa yang ada dan geologi Surabaya yang merupakan daerah sedimen lunak membuat Surabaya memiliki kerentanan terhadap amplifikasi gempa yang sangat membahayakan bagi penduduk dan perekonomian kota.

Surabaya memiliki penduduk berjumlah 2.848.583 jiwa pada tahun 2015 dengan luas wilayah 350,54 km<sup>2</sup> (Badan Pusat Statistik, 2015). Padatnya penduduk di Surabaya dan potensi bahaya gempa dan amplifikasi yang dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur maupun korban jiwa menjadi memerlukan tindak lanjut berupa penelitian yang dapat memberikan informasi daerah mana saja di Kota Surabaya yang rentan terhadap amplifikasi gempa saat terjadi gempa bumi di Surabaya.



Gambar 1. 1 Peta Geologi Kota Surabaya (Sukardi dkk., 1992)

Metode *Multichannel Analysis Surface Wave* (MASW) merupakan metode seismik aktif yang berfokus pada gelombang sekunder dan dapat lebih baik memetakan nilai  $V_s$  daripada metode mikrotremor. Nilai  $V_s$  yang didapat dari metode mikrotremor merupakan hasil turunan dari inversi Frekuensi natural dan Amplitudo natural. Metode MASW sangat efektif dilakukan di Surabaya karena hasilnya lebih akurat dari metode mikrotremor karena MASW adalah metode aktif sedangkan mikrotremor merupakan metode pasif dan sangat rentan terhadap *noise* dan juga lebih mudah proses akuisisi dan prosesingnya daripada metode seismik refleksi maupun refraksi (Park dkk., 1999).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah Bagaimana memetakan nilai  $V_{s30}$  dan amplifikasi daerah Surabaya Bagian Barat.

## **1.3 Tujuan**

Tugas Akhir ini memiliki tujuan untuk memetakan nilai  $V_{s30}$  dan Amplifikasi daerah Surabaya Bagian Barat.

## **1.4 Batasan Masalah**

Tugas akhir ini memiliki batasan pada wilayah pengukuran yaitu di Wilayah Surabaya Bagian Barat dengan batas berupa daerah dengan antiklin Lidah dan Guyangan, dengan parameter yang digunakan berupa  $V_s$ ,  $V_{s30}$  dan densitas.

## **1.5 Manfaat**

Tugas Akhir ini memiliki beberapa manfaat yaitu

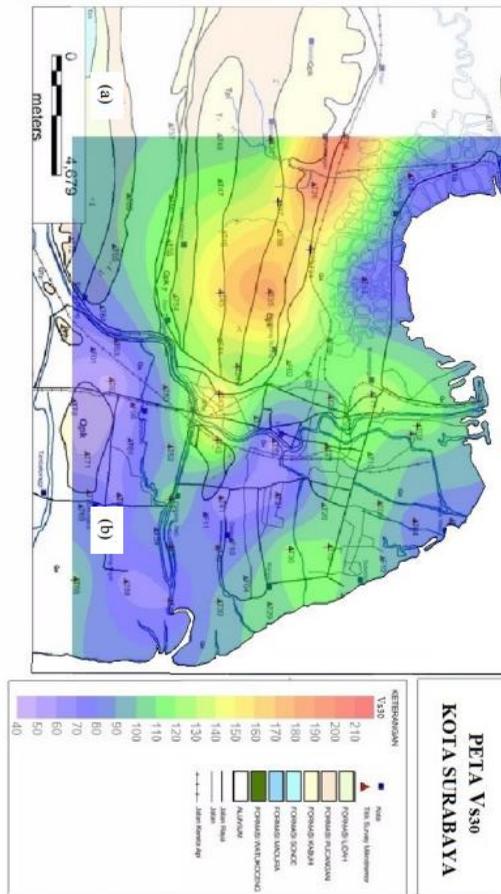
1. Memberikan informasi kepada Pemerintah Kota Surabaya maupun masyarakat Surabaya tentang keadaan lapisan tanah Surabaya dan ketahanannya dalam menghadapi gempa bumi.
2. Dapat menjadi acuan dalam upaya pengurangan resiko bencana gempa bumi di Kota Surabaya.

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

## BAB II DASAR TEORI

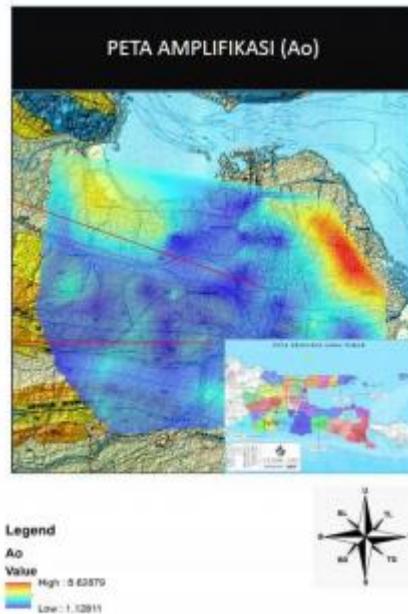
### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Salah satu cara mengetahui potensi amplifikasi gempa adalah dengan mengetahui  $V_s$  dari batuan tersebut menggunakan metode MASW. Pemetaan  $V_s30$  sendiri dapat dilakukan dengan metode lain seperti mikrotremor. Penelitian  $V_s30$  di Surabaya pernah dilakukan oleh Mufida,dkk pada tahun 2013 dengan hasil seperti Gambar 2.1 dan peta frekuensi natural Surabaya.



Gambar 2. 1 Peta Vs30 Kota Surabaya dengan Metode Mikrotremor (Mufida dkk., 2013).

Data mikrotremor dapat memetakan Vs30 namun dengan menggunakan metode MASW hasil yang lebih optimal dan resolusi yang lebih baik karena MASW memang fokus kepada dispersi gelombang yang mengindikasikan *surface wave* sementara Vs30 mikrotremor merupakan turunan dari frekuensi natural dan amplitudo natural yang didapatkan saat pengukuran metode mikrotremor.



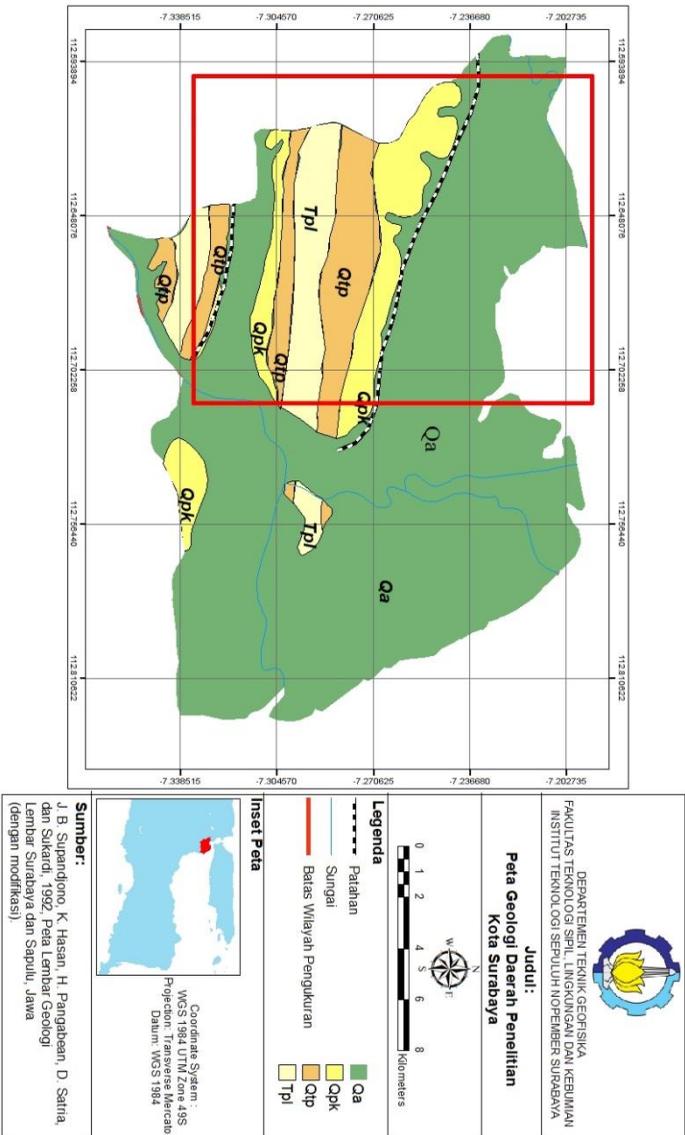
Gambar 2. 2 Peta Amplifikasi Surabaya Metode Mikrotremor (Rahmaningtyas dkk., 2017)

Penelitian lain yang telah dilakukan oleh Anindya putri dkk. Pada tahun 2017 dengan metode mikrotremor untuk mengidentifikasi PGA (*Peak Ground Acceleration*) dan kerentanan tanah Surabaya. Gambar 2.2 merupakan hasil penelitian berupa peta amplifikasi daerah Surabaya yang menunjukkan bahwa daerah utara Surabaya merupakan daerah dengan amplifikasi tinggi terutama di wilayah Surabaya Timur yang merupakan daerah endapan aluvium (Rahmaningtyas dkk., 2017).

## 2.2 Geologi Surabaya

Surabaya merupakan daerah yang didominasi oleh dataran rendah hasil endapan sedimen. Daerah Surabaya sebagian besar merupakan endapan aluvium yang sisanya berupa tanah perbukitan rendah hasil pelapukan batuan perbukitan rendah. Tanah endapan aluvium tersebut berupa sungai, rawa, delta, endapan

pantai, dan campuran dari endapan-endapan tersebut. Endapan sungai yang didominasi oleh endapan pasir dengan sedikit lanau dan lempung, endapan rawa yang didominasi oleh butiran lanau-lempung dengan sedikit bahan organik, dan endapan pantai yang didominasi oleh endapan berukuran pasir halus yang mengandung kerang. Endapan delta merupakan endapan percampuran antara endapan sungai, endapan rawa, endapan pantai sehingga lapisan tanah akan berselang-seling. Tanah hasil pelapukan batuan tua umumnya mempunyai potensi kembang-susut sangat tinggi. Secara geologi Surabaya terbentuk oleh batuan sedimen yang berumur *Miosen* sampai *Plistosen*. Batuan sedimennya adalah bagian dari lajur Kendeng dengan Formasi Sonde, Lidah, Pucangan, dan Formasi Kabuh. Batuan dasar untuk Surabaya merupakan Formasi Lidah yang berumur *Pliosen* (*pre-tertiary*). Formasi ini berada pada kedalaman 250 – 300 meter (Sukardi dkk., 1992).



Gambar 2. 3 Peta Geologi Surabaya (Sukardi dkk., 1992)

### 2.3 Kegempaan Kota Surabaya

Dari data tim Pusgen 2017 menemukan bahwa ada 2 sesar aktif yang berada di wilayah Kota Surabaya, yaitu Sesar Surabaya dan Sesar Waru. Dapat dilihat pada Gambar 2.5 bahwa kedua sesar tersebut mempunyai potensi gempa dengan Magnitudo 6.5 SR dan pergerakan sebesar 0.05 milimeter pertahun. Sesar Surabaya memanjang dari Keputih, Surabaya menuju Cerme, Gresik. Sesar Waru memanjang dari Rungkut, Surabaya hingga Kabupaten Jombang (Pusgen dan PUPR, 2017).

Dari catatan BMKG dari tahun 1836-2011 terdapat beberapa gempa bumi di sekitar kota Surabaya. Gempa yang terjadi di sekitar kota Surabaya memiliki skala MMI yang cukup tinggi yaitu berkisar antara skala VI sampai IX. Menandakan bahwa gempa yang kuat dan berpotensi menyebabkan runtuhnya gedung dan mengakibatkan jatuhnya korban jiwa (BMKG, 2012).

Tabel 2. 1 Gempa bumi yang merusak di sekitar Surabaya (BMKG, 2012)

| <b>Tanggal</b>   | <b>Episenter</b> | <b>Jarak episenter dari Kota Surabaya</b> | <b>Intensitas (MMI)</b> |
|------------------|------------------|---|-------------------------|
| 22 Maret 1836    | Mojokerto        | 60 km                                     | VII-VIII                |
| 31 Agustus 1902  | Sedayu Gresik    | 40 km                                     | VI                      |
| 11 Agustus 1939  | Laut Jawa        | 60 km                                     | VII                     |
| 19 Juni 1950     | Laut Jawa        | 110 km                                    | VII                     |
| 20 Nopember 1958 | Malang           | 95 km                                     | VII-VIII                |
| 19 Februari 1967 | Malang           | 98 km                                     | VII-IX                  |
| 14 Oktober 1972  | Trenggalek       | 190 km                                    | V-VI                    |
| 13 Oktober 2011  | Nusa Dua Bali    | 440 km                                    | III-IV                  |

### 2.4 *Multichannel Analysis Surface Wave*

Metode geofisika selalu berkembang untuk berbagai macam kepentingan investigasi lapisan atau struktur tanah. Salah satunya adalah untuk investigasi dekat permukaan. Investigasi dekat permukaan mengalami perkembangan yang sangat pesat karena banyak sekali dibutuhkan untuk kepentingan geoteknik.

*Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) adalah metode dekat permukaan yang cukup terkenal dan berkembang akhir-akhir ini. Metode ini sangat digemari karena bisa memberikan informasi kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) guna investigasi struktur dekat permukaan secara efektif, murah, efisien dan mudah dalam pengolahannya. MASW memberikan informasi tentang kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) 1D. Biasanya untuk pengambilan data digunakan frekuensi sumber 3-30 Hz dan menggunakan *multichannel* perekam (*geophone*) yang disusun memanjang. Perekam yang digunakan bisa sejumlah 12 atau 24 dengan jarak antar perekam sama (Park dkk., 1999).

**Data Acquisition Parameters++ for Active MASW Survey (in meters)**

**\*\*Most Recommended Values**

| Depth<br>( $Z_{max}$ ) <sup>1</sup><br>(m) | Source (S) <sup>2</sup><br>(lb) | Receiver (R) <sup>3</sup><br>(Hz) | Receiver Spread (RS) (m)   |   |          |                       | SR Move <sup>6</sup> (dx) |                                 |      | Recording <sup>8</sup> |                         |                          |                              |      |  |
|--|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---|----------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|------|------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|------|--|
|  |                                 |                                   | Length <sup>4</sup><br>(D) | Source<br>Offset <sup>5</sup> (X <sub>i</sub> ) |          | Receiver Spacing (dk) |                           | Lateral Resolution <sup>7</sup> |      |                        | dt <sup>9</sup><br>(ms) | T <sup>10</sup><br>(sec) | Vertical Stack <sup>11</sup> |      |  |
|  |                                 |                                   |                            | 24-ch*  | 48-ch    | High                  | Medium                    | Low                             | C    | N                      |                         |                          | VN                           |      |  |
| ≤ 1.0                                      | ≤ 1                             | 4.5-100                           | 1-3                        | 0.2-3.0   | 0.05-0.1 | 0.02-0.05             | 1-2                       | 2-4                             | 4-12 | 0.5-1.0                | 0.5-1.0                 | 1-3                      | 3-5                          | 5-10 |  |
|  | (1)**                           | (40)                              | (2.0)                      | (0.4)   | (0.1)    | (0.05)                | (1)                       | (2)                             | (4)  | (0.5)                  | (0.5)                   | (3)                      | (5)                          | (10) |  |
| 1-5  | 1-5                             | 4.5-40                            | 1-15                       | 0.2-15  | 0.05-0.6 | 0.02-0.3              | 1-2                       | 2-4                             | 4-12 | 0.5-1.0                | 0.5-1.0                 | 1-3                      | 3-5                          | 5-10 |  |
|  | (5)                             | (10)                              | (10)                       | (2)   | (0.5)    | (0.25)                | (1)                       | (2)                             | (4)  | (0.5)                  | (0.5)                   | (3)                      | (5)                          | (10) |  |
| 5-10                                       | 5-10                            | ≤ 10                              | 5-30                       | 1-30  | 0.2-1.2  | 0.1-0.6               | 1-2                       | 2-4                             | 4-12 | 0.5-1.0                | 0.5-1.0                 | 1-3                      | 3-5                          | 5-10 |  |
|  | (10)                            | (4.5)                             | (20)                       | (4)   | (1.0)    | (0.5)                 | (1)                       | (2)                             | (4)  | (0.5)                  | (1.0)                   | (3)                      | (5)                          | (10) |  |
| 10-20                                      | ≥ 10                            | ≤ 10                              | 10-60                      | 2-60  | 0.4-2.5  | 0.2-1.2               | 1-2                       | 2-4                             | 4-12 | 0.5-1.0                | 1.0-2.0                 | 1-3                      | 3-5                          | 5-10 |  |
|  | (20)                            | (4.5)                             | (30)                       | (10)  | (1.5)    | (1.0)                 | (1)                       | (2)                             | (4)  | (0.5)                  | (1.0)                   | (3)                      | (5)                          | (10) |  |
| 20-30                                      | ≥ 10                            | ≤ 4.5                             | 20-90                      | 4-90  | 0.8-3.8  | 0.4-1.9               | 1-2                       | 2-4                             | 4-12 | 0.5-1.0                | 1.0-2.0                 | 1-3                      | 3-5                          | 5-10 |  |
|  | (20)                            | (4.5)                             | (50)                       | (10)  | (2.0)    | (1.5)                 | (1)                       | (2)                             | (4)  | (1.0)                  | (1.0)                   | (3)                      | (5)                          | (10) |  |
| 30-50                                      | ≥ 10 (20)                       | ≤ 4.5                             | 30-150                     | 6-150   | 1.2-6.0  | 0.6-3.0               | 1-2                       | 2-4                             | 4-12 | 0.5-1.0                | 1.0-3.0                 | 1-3                      | 3-5                          | 5-10 |  |
|  | or passive                      | (4.5)                             | (70)                       | (15)  | (3.0)    | (2.0)                 | (1)                       | (2)                             | (4)  | (1.0)                  | (1.0)                   | (3)                      | (5)                          | (10) |  |
| > 50                                       | ≥ 10 (20)                       | ≤ 4.5                             | > 50                       | > 10  | > 2.0    | > 1.0                 | 1-2                       | 2-4                             | 4-12 | 0.5-1.0                | ≥ 1.0                   | 1-3                      | 3-5                          | 5-10 |  |
|  | or passive                      | (4.5)                             | (150)                      | (30)  | (6.0)    | (4.0)                 | (1)                       | (2)                             | (4)  | (1.0)                  | (2.0)                   | (3)                      | (5)                          | (10) |  |

**Gambar 2. 4 Parameter Akuisisi Maksimum MASW**

Dari Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa untuk kedalaman diatas 30 meter parameter optimumnya adalah dengan palu (*source*) lebih dari atau samadengan 10 lb. *Receiver*nya memiliki frekuensi lebih kecil atau sama dengan 4.5 hm panjang bentangan 30-150 meter *offset* 6-150 meter spasi receiver lebih dari 2m.

Metode MASW sangat populer dalam identifikasi zona-zona rawan guncangan gempabumi, dan diklasifikasi berdasarkan *site class* yang mengacu pada nilai kecepatan gelombang shear ( $V_s30$ ) oleh *National Earthquake Hazard Reduction Program*. Menurut (Park dkk., 1999) MASW dapat dilakukan dalam 3 tahap yaitu (1) akuisisi; (2) ekstraksi kurva dispersi; (3) inversi kurva dispersi. Metode ini menghasilkan profil kecepatan gelombang geser 1D. untuk desain akuisisi MASW aktif dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah ini.

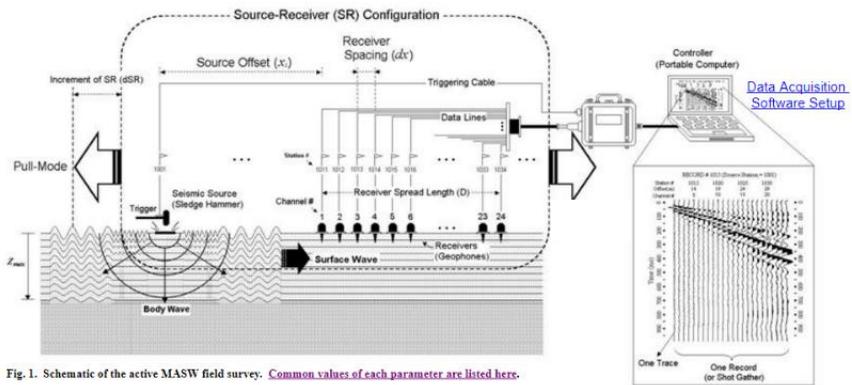


Fig. 1. Schematic of the active MASW field survey. [Common values of each parameter are listed here.](#)

Gambar 2. 5 Ilustrasi desain akuisisi MASW aktif (Park,dkk., 2007)

Bergantung pada cara gelombang permukaan dihasilkan, terdapat 2 tipe MASW : aktif yaitu rencana yang ditetapkan dengan sumber yang berdampak tepat seperti palu godam, *weight drop*, sedangkan pasif dihasilkan oleh kultural dan alam yang tidak berhubungan dengan survei seperti lalu lintas dan gerakan tidal. Metode aktif MASW yang pertama dikenalkan merupakan model survei konvensional, mengumpulkan data pada sepanjang lintasan menggunakan sumber seismik aktif dan susunan receiver lurus. Metode pasif menggunakan gelombang permukaan yg dihasilkan oleh kultural dan alam seperti : *thunder*, *tidal motion*, *atmospheric pressure change*, dan lain-lain. Metode MASW pasif dapat dibedakan menjadi dua yaitu metode *remote pasif* dan metode *roadside*. (Park dkk., 1999)

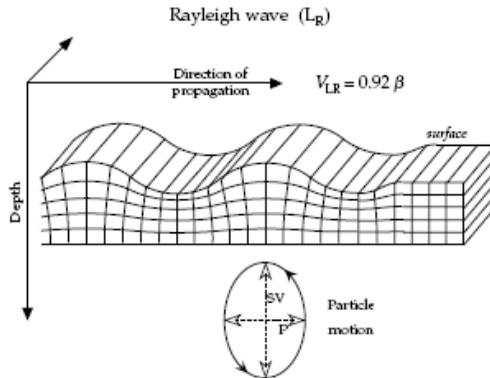
*Remote pasif* metode menggunakan susunan receiver 2D seperti silang atau melingkar untuk merekam gelombang permukaan pasif. Hasil evaluasi Vs nya paling akurat tapi operasi lapangan lebih intensif dan membutuhkan spasi yang luas pada susunannya. Ini pilihan terbaik jika dibutuhkan profiling Vs 1D. Metode roadside pasif-MASW mengadaptasi susunan receiver lurus dan mencoba untuk menggunakan gelombang permukaan yg dihasilkan dari lalu lintas lokal. Ini mencoba untuk mengatasi keterbatasan dengan metode remote pasif. (Park dkk., 1999)

#### 2.4.1 Dispersi Gelombang Rayleigh

Gelombang seismik merambat secara mekanik ke dalam medium lapisan bumi yang merupakan gelombang elastis atau mekanik yang ditimbulkan akibat regangan medium elastis. Berdasarkan sistem penjalarnya, gelombang seismik dibagi menjadi dua bagian, yaitu: gelombang badan dan permukaan. Energi gelombang seismik 67 % berupa energi gelombang permukaan. Gelombang permukaan ini, digunakan untuk estimasi kecepatan gelombang geser sebagai fungsi kedalaman. Selanjutnya, nilai gelombang geser ini, dapat digunakan untuk

mengetahui sifat (porositas, densitas, saturasi air dan jenis batuan) struktur bawah permukaan. (Lowrie, 2007)

Gelombang Rayleigh adalah jenis gelombang permukaan yang terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif. Gerakan partikel pada *wavefront* gelombang Rayleigh terdiri atas kombinasi gelombang P dan SV pada bidang vertikal dengan pola gerakan partikel secara *ellipse retrograde* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 (Lowrie, 2007)



Gambar 2. 6 Pola gerakan partikel gelombang Rayleigh (Lowrie, 2007)

Dalam ruang setengah homogen, kecepatan gelombang Rayleigh tidak bergantung pada frekuensi, yaitu gelombang Rayleigh tidak menyebar dalam media homogen. Namun, gelombang Rayleigh tersebar dalam media berlapis; komponen gelombang dengan panjang gelombang yang berbeda (dan karena itu frekuensi yang berbeda) memiliki kedalaman penetrasi yang berbeda dan menyebar pada kecepatan yang berbeda. Kecepatan perambatan komponen frekuensi individu disebut sebagai kecepatan fase ( $V_R$ ) (Everett, 2013; Park dkk., 1999). Kecepatan kelompok ( $V_g$ ) gelombang adalah kecepatan di mana amplop paket gelombang menyebar melalui medium (Everett, 2013).

Metode gelombang permukaan pada tahun 1950 dan 60-an menggunakan vibrator monotonik yang menarik pada frekuensi tunggal ( $f$ ) pada suatu waktu, jarak ( $L_f$ ) antara dua amplitudo maxima berturut-turut diukur dengan memindai permukaan tanah dengan sensor. Kemudian, kecepatan fase yang sesuai ( $C_f$ ) dihitung sebagai  $C_f = L_f * f$ . Pengukuran ini kemudian diulang untuk frekuensi yang berbeda untuk membuat kurva dispersi. Asumsi yang

mendasari pendekatan ini adalah dominasi gelombang-permukaan M0 di lapangan.

Pendekatan ini diperbesar pada awal tahun 1908 berupa metode analisis spektral gelombang permukaan (SASW) agar lebih efisien. Alih-alih mencoba mengukur jarak Lf, ia mencoba untuk mengukur perbedaan fasa ( $\Delta\phi$ ) untuk frekuensi ( $f$ ) antara dua receiver jarak yang diketahui terpisah dari hubungan:  $C_f = 2 * \pi * f / \Delta\phi$  ( $\pi = 3.14159265$ ). Kemudian, diulang untuk frekuensi yang berbeda untuk membuat kurva dispersi. Asumsi yang sama dari dominasi gelombang M0 dari gelombang permukaan seperti yang digunakan pada masa lalu diadopsi dalam proses inversi berikutnya selama tahap awal metode SASW. Konsep kurva dispersi yang jelas, kemudian diperkenalkan pada awal tahun 1990an, metode MASW yang mencoba memperhitungkan kemungkinan pengaruh multi-modal selama proses inversi. Cara kurva dispersi dibangun, bagaimanapun, pada dasarnya tetap tidak berubah.

Pendekatan *multichannel* tidak mencoba menghitung kecepatan fase individual lebih dulu, namun membangun ruang gambar dimana tren dispersi diidentifikasi dari pola energi yang terkumpul pada ruang ini. Kemudian, kurva dispersi yang diperlukan diekstraksi dengan mengikuti tren gambar. Semua tipe gelombang seismik di gambar merambat secara horizontal jika mereka mengambil energi signifikan yang terlihat dari intensitas relatif gambar. Pada proses penggambaran, rekaman *multichannel* pada domain waktu dan ruang ditransformasikan kedalam domain frekuensi-jumlah gelombang atau frekuensi-fase kecepatan. *Metode fk* bentuk pertama, sedangkan transformasi pi-omega dan metode *phase-shift* adalah dua contoh tipe terakhir. Umumnya diketahui bahwa *metode fk* menghasilkan resolusi gambar terendah, sedangkan metode *phase-shift* mencapai resolusi yang lebih tinggi daripada metode pi-omega.

Dasar dari metode analisis gelombang permukaan yang paling banyak adalah penentuan yang akurat dari kecepatan fase yang bergantung pada frekuensi dari mode dasar gelombang Rayleigh. Selain sebagai fungsi frekuensi, kecepatan fase gelombang Rayleigh berhubungan dengan beberapa sifat Bumi, yang terpenting adalah kecepatan gelombang geser lapisan tanah individu. Dengan demikian, dengan inversi kecepatan fase dispersi gelombang Rayleigh yang direkam, profil kecepatan gelombang geser untuk lokasi pengujian dapat diperoleh (Xia dkk., 1999).

Pembuatan kurva dispersi gelombang Rayleigh dilakukan untuk mengekstrak kurva dispersi dari data gelombang permukaan *multichannel* yang telah tercatat. Beberapa metode untuk ekstrasinya adalah : (Park dkk., 1999)

1. Analisis *multichannel* menggunakan pendekatan frekuensi swept
2. Metode *phase shift* (juga dikenal sebagai metode transformasi wavefield).

Metode *phase shift* (juga dikenal sebagai metode transformasi gelombang) pertama kali dijelaskan oleh Park, dkk. pada tahun 1998. Metode ini adalah teknik transformasi gelombang untuk mendapatkan spektra kecepatan fase (citra dispersi) berdasarkan shot gather impulsif multichannel (Park dkk., 1999).

Dengan menggunakan metode *phase shift*, sifat dispersi dari semua jenis gelombang (gelombang tubuh dan permukaan) yang terdapat dalam data yang terekam divisualisasikan dalam domain frekuensi-kecepatan fase-transformasi energi (jumlah amplitudo gelombang). Berbagai mode gelombang permukaan dikenali oleh konten frekuensinya dan karakterisasi kecepatan fase pada setiap frekuensi. Sumber *noise*, yaitu gelombang tubuh dan gelombang refleksi, juga dikenali dengan konten frekuensinya dan perpindahan mereka melintasi susunan penerima. Kurva dispersi gelombang Rayleigh yang dibutuhkan diekstraksi dari citra dispersi untuk analisis lebih lanjut. Noise biasanya secara otomatis dihapus dalam proses ini (Park dkk., 1999)

Penguraian yang efisien dari data yang direkam ke dalam mode gelombang permukaan yang berbeda dan berbagai sumber noise merupakan keuntungan besar dari metode *phase shift*. Terlepas dari penghilangan noise secara otomatis, menjadi mungkin untuk mengamati karakteristik dispersi gelombang multi-modal permukaan, asalkan mode yang lebih tinggi sangat diminati selama perolehan data (Park dkk., 1999; Xia dkk., 1999).

Metode *phase-shift* dapat dibagi menjadi tiga tahap:

1. Transformasi Fourier dan Normalisasi Amplitudo.
2. Pencitraan dispersi.
3. Ekstraksi kurva dispersi.

Berikut ini merupakan langkah-langkah pengolahan menggunakan metode *phase shift* ( Park dkk 1998):

1. Transformasi Fourier Cepat (FFT) diterapkan pada n-channel impulsif *shot gather* ( $U_j(t); j = 1; 2; \dots; n$ ), untuk menguraikan rekaman menjadi komponen frekuensi individu ( $\sim \bar{U}_j(\omega) ; j = 1; 2; \dots; n$ ).

$$U_j(t) \xrightarrow{FFT} \bar{U}_j(\omega) \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

- Amplitudo setiap jejak rekam (dalam domain frekuensi) dinormalisasi untuk mendapatkan  $\bar{U}_{j,norm}(\omega)$ . Sebagai spektrum fase sinyal ( $P_j(\omega)$ ) Berisi semua informasi tentang sifat dispersinya, tidak ada informasi penting yang hilang.

$$\bar{U}_{j,norm}(\omega) = \frac{\bar{U}_j(\omega)}{|\bar{U}_j(\omega)|} = p_j(\omega) \quad (2)$$

- Rentang kecepatan fase untuk pengujian telah ditetapkan.

$V_{R,t}$  : *Pengujian kecepatan gelombang rayleigh*

$$V_{R,t \min} \leq V_{R,t} \leq V_{R,t \max}$$

- Untuk kecepatan fase pengujian tertentu dan frekuensi yang diberikan, jumlah pergeseran fasa yang diperlukan untuk mengimbangi waktu tunda sesuai dengan offset spesifik ditentukan.

$\Phi\chi_j$  : *Pergeseran fasa sesuai dengan  $\omega$  dan  $V_{R,t}$  yang diberikan*

$$\Phi\chi_j = \frac{\omega\chi_j}{V_{R,t}} = \frac{\omega(\chi_1 + (j-1)dx)}{V_{R,t}} \quad (3)$$

- Pergeseran fasa (ditentukan pada langkah 4 untuk kecepatan fase pengujian yang diberikan) diterapkan pada jejak yang berbeda dari *shot gather* yang ditransformasikan yang kemudian ditambahkan untuk mendapatkan amplitudo *slant-stack* (penjumlahan) yang sesuai dengan setiap rangkaian  $\square$  dan  $V_{R,t}$ .

$A_\alpha(\omega, V_{R,t})$ : *Penjumlahan amplitudo untuk  $\square$  dan  $V_{R,t}$  yang diberikan*

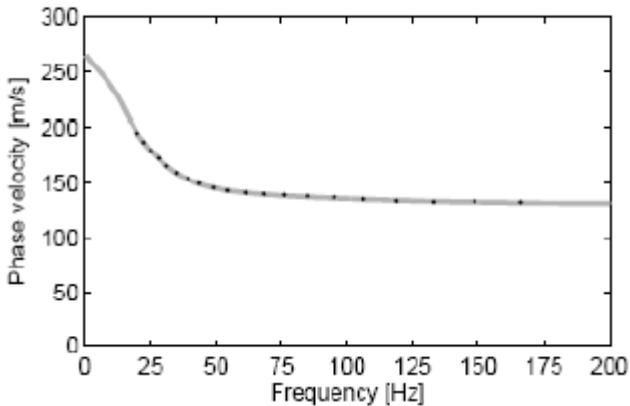
$$A_\alpha(\omega, V_{R,t}) = e^{-i\phi\chi_1}\bar{U}_{1,norm}(\omega) + \dots + e^{-i\phi\chi_n}\bar{U}_{n,norm}(\omega) \quad (4)$$

- Langkah 4 dan 5 diulang untuk semua komponen frekuensi yang berbeda dari transmisi *shot gather* yang dikumpulkan dengan cara pemindaian menggunakan berbagai kecepatan fase pengujian, misal mengubah  $V_{R,T}$  dengan penambahan kecil dalam kisaran yang ditentukan sebelumnya.

*Ulangi langkah 4 dan 5 untuk berbagai  $\omega$  dan  $V_{R,t}$*

- Spektrum kecepatan fasa (citra dispersi) diperoleh dengan merencanakan penjumlahan amplitudo di frekuensi - kecepatan fasa - energi transformasi transformasi (jumlah amplitudo gelombang), baik dalam dua atau tiga dimensi. Nilai puncak (high-amplitudo band) diamati menampilkan karakteristik dispersi dari gelombang permukaan yang tercatat.

$A_a(\omega, V_{R,t}) \xrightarrow{\text{ekstraksi nilai puncak}} \text{Kurva dispersi gelombang Rayleigh}$



Gambar 2. 7 Grafik kecepatan sudut gelombang Rayleigh sebagai fungsi frekuensi (Lowrie, 2007)

#### **2.4.2            *Analisa Inversi Gelombang Rayleigh***

Tujuan utama dari kegiatan eksplorasi geofisika adalah untuk membuat model bawah permukaan bumi dengan menggunakan data lapangan yang diukur pada permukaan bumi. Dari model bawah permukaan yang diperoleh, menggambarkan sifat fisis dari batuan yang diteliti. Sehingga pada akhirnya kita dapat mengkarakterisasi kondisi geologi bawah permukaan. Model yang kita dapat adalah representasi dari keadaan geologi bawah permukaan yang memiliki besaran fisis dan geometri tertentu (Grandis, 2009). Pemodelan inversi adalah pencarian parameter fisis bumi berdasarkan “data” yang kita peroleh dari akuisisi. Pemodelan inversi biasa juga disebut sebagai tahapan data fitting karena dalam prosesnya kita mencari nilai parameter yang terbaik dan cocok dengan data pengamatan (data observasi).

Karakteristik dispersi dari model tanah berlapis bergantung pada beberapa kelompok sifat tanah, seperti jumlah dan ketebalan lapisan tanah dan sifat elastis setiap lapisan. Gambar 2.10 menunjukkan contoh umum dari model tanah berlapis. Sifat elastis setiap lapisan umumnya ditunjukkan oleh sifat fisik yang mudah diukur, yaitu kecepatan gelombang kompresional ( $V_p$ ), kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan densitas ( $\rho$ ) (Xia dkk., 1999). Sifat-sifat di dalam setiap lapisan diambil sebagai konstan dan lapisan terakhir diasumsikan setengah ruang (Xia dkk., 1999). Untuk model tanah berlapis, profil kecepatan gelombang geser memiliki efek dominan pada kurva dispersi mode fundamental, diikuti oleh ketebalan lapisan sehingga merupakan parameter yang signifikan (Xia dkk., 1999).

Free surface

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| $v_{s1}$ | $v_{p1}$ | $\rho_1$ | $h_1$    |
| $v_{s2}$ | $v_{p2}$ | $\rho_2$ | $h_2$    |
| .        | .        | .        | .        |
| $v_{si}$ | $v_{pi}$ | $\rho_i$ | $h_i$    |
| .        | .        | .        | .        |
| $v_{sn}$ | $v_{pn}$ | $\rho_n$ | infinite |

Gambar 2. 8 Model lapisan bumi dengan parameter kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ), kecepatan gelombang kompresional ( $v_p$ ), densitas ( $\rho$ ), dan ketebalan ( $h$ ). (Xia dkk., 1999)

Model matematis untuk material elastis berlapis digunakan untuk menentukan kurva dispersi teoritis berdasarkan seperangkat parameter masukan yang diberikan. Set parameter yang berbeda dimasukkan ke dalam model dengan cara yang iteratif untuk mencari kurva dispersi teoritis yang paling sesuai dengan karakteristik dispersi yang diamati. Dengan demikian, masalah memperoleh profil kecepatan gelombang geser yang dapat diterima dapat diidentifikasi sebagai masalah optimasi multi parameter dimana tujuannya adalah untuk meminimalkan perbedaan antara kurva dispersi eksperimental dan teoritis. Kesalahan akar-mean-kuadrat antara dua kumpulan data biasanya digunakan sebagai indikator perbedaan antara kurva penyebaran teoritis dan eksperimental.

Berbagai algoritma telah dikembangkan dan digunakan untuk inversi data gelombang permukaan eksperimental. Prosedur inversi yang mungkin dapat dibagi menjadi dua kategori; pencarian lokal dan prosedur pencarian global. Pembagian ini didasarkan pada bagaimana parameter model diperbarui antara iterasi selama pencarian parameter set yang paling mungkin.

## 2.5 Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ )

Karakteristik dinamik tanah seperti mengestimasi nilai  $V_S$  untuk kedalaman tanah dalam multi dimensi secara konvensional digunakan metode geofisika borehole untuk dilakukan mikrozonasi seismik (Mufida dkk.,

2013).Estimasi nilai Vs dan estimasi distribusi kerusakan akibat gempabumi sebagaimana diungkapkan oleh (Roşer dan Gosar, 2010)dapat dipergunakan untuk mitigasi gempabumi dan penentuan standard bangunan tahan gempa.

Kecepatan gelombang S adalah salah satu konstanta dan dekat hubungannya dengan modulus young karena definisi yang paling kopehensif dan akurat untuk kekakuan meliputi modulus young dan modulus geser. Dua moduli ini bisa didefinisikan sebagai massa jenis bahan dan 2 kecepatan seismik (poisson rasio) Vp dan Vs. (Sheriff dan Geldart, 1995).

Tabel 2. 2 Klasifikasi nilai Vs (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2012)

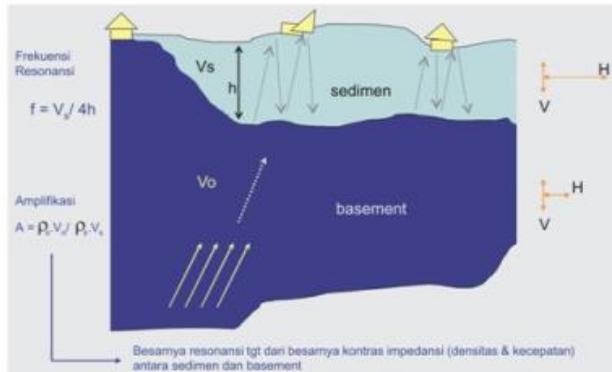
| <b>Kelas situs</b>  | <b>Vs (m/detik)</b>  | <b>N atau Nch</b> | <b>kPa</b> |
|---|--|-------------------|------------|
| SA (batuan keras)   | >1500  | N/A               | N/A        |
| SB (batuan)   | 750-1500   | N/A               | N/A        |
| SC ( tanah keras, sangat padat)   | 350-750  | >50               | ≥100       |
| SD ( tanah sedang)  | 175-350  | 15-50             | 50-100     |
| SE (tanah lunak)  | <175   | <15               | <50        |
|   | <p>Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math></li> <li>2. Kadar air, <math>\geq 40\%</math></li> <li>3. Kuat geser niralir <math>&lt; 25\text{kPa}</math></li> </ol> |                   |            |
| SF (tanah khusus membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti) |  |                   |            |

## 2.7 Amplifikasi Gempa

Kerusakan struktur bangunan akibat gempa dan intensitas guncangan tanah selama gempa secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi geologi dan

kondisi tanah setempat. Batuan sedimen yang lunak diketahui memperkuat gerakan tanah selama gempa dan karena itu rata-rata kerusakan yang diakibatkan lebih parah dari pada lapisan keras (Tuladhar dkk., 2004). Artinya batuan sedimen merupakan faktor amplifikasi amplitudo gelombang gempa. Kota modern yang dibangun di atas sedimen lunak akan mudah mengalami kerusakan akibat amplifikasi gelombang gempa.

Terdapat dua sebab terjadinya amplifikasi gelombang gempa yang dapat mengakibatkan kerusakan bangunan. Pertama, adanya gelombang yang terjebak di lapisan lunak (Tsutomu Sato, 2004), sehingga gelombang tersebut terjadi superposisi antar gelombang, jika gelombang tersebut mempunyai frekuensi yang relatif sama, maka terjadi proses resonansi gelombang gempa. Akibat proses resonansi ini, gelombang tersebut saling menguatkan. Kedua, adanya kesamaan frekuensi natural antara geologi setempat dengan bangunan (Rošer dan Gosar, 2010). Ini akan menimbulkan resonansi pada bangunan dan tanah setempat yang berakibat getaran tanah pada bangunan lebih kuat.



Gambar 2. 9 Amplifikasi gelombang seismik, dicirikan oleh adanya batuan sedimen yang berada di atas basement dengan perbedaan densitas  $\rho$  dan  $V_s$  (Rošer dan Gosar, 2010)

Besaran amplifikasi dapat diestimasi dari kontras impedansi antara bedrock dan sedimen permukaan (Rošer dan Gosar, 2010). Dengan kata lain, kontras parameter perambatan gelombang (densitas dan kecepatan) pada *bedrock* dan sedimen permukaan. Semakin besar perbedaan parameter tersebut, semakin besar pula nilai amplifikasi perambatan gelombangnya. Lebih lanjut, (Oliviera dkk., 2006) berpendapat bahwa nilai amplifikasi dipengaruhi oleh variasi formasi geologi, ketebalan dan sifat-sifat fisika lapisan tanah dan

batuan, kedalaman *bedrock* dan permukaan air bawah tanah dan permukaan struktur bawah permukaan. Faktor amplifikasi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$A_0 = \{\rho_b v_b / \rho_s v_s\} \quad (5)$$

Dimana  $V_b$  adalah kecepatan gelombang geser pada batuan *basement* dan  $V_s$  adalah kecepatan gelombang geser pada batuan sedimen lunak. Sedangkan  $\rho_b$  dan  $\rho_s$  berturut turut adalah densitas batuan keras (*basement*) dan densitas batuan sedimen lunak.

Menurut (Gardner dkk., 1974) perhitungan densitas dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\rho = 0.3 V_p^{1/4} \quad (6)$$

Dimana  $V_p$  adalah cepat rambat gelombang primer di batuan. Persamaan diatas optimal jika diaplikasikan untuk menghitung densitas dari batuan sedimen klastik terutama batuan Lempung dan Pasir.

Dalam klasifikasi Amplifikasi Menurut (Marijijono, 2010). Menyatakan bahwa, amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikalnya (H/V). Nilai amplifikasi bisa bertambah, jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan atau pesesaran) yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut. Pusat Survei Geologi dalam hal ini membagi zona amplifikasi tanah.

Tabel 2. 3 Klasifikasi Nilai Amplifikasi Berdasarkan (Marijijono, 2010)

| Besar amplifikasi | Keterangan risiko |
|-------------------|-------------------|
| < 3               | Rendah            |
| 3-6               | Sedang            |
| 6-9               | Tinggi            |
| >9                | Sangat tinggi     |

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

## BAB III METODOLOGI

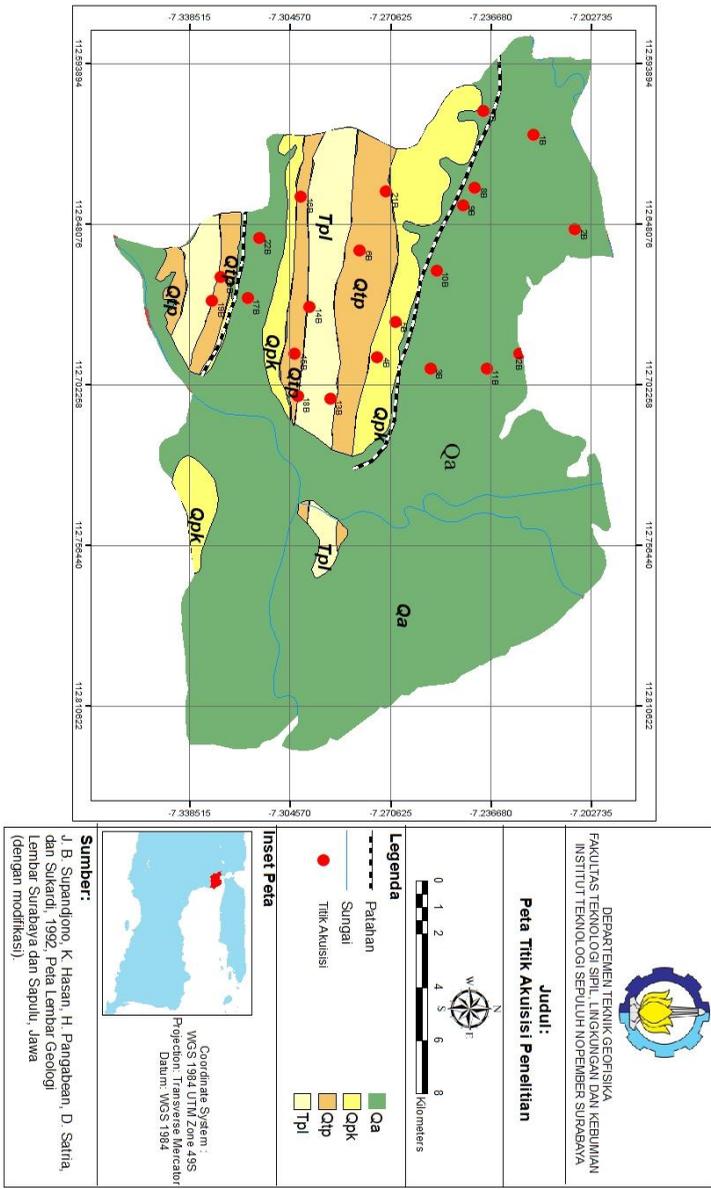
### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di wilayah Surabaya Bagian Barat yang dilintasi oleh Antiklin Lidah dan Antiklin Guyangan. Dimana pada kedua antiklin tersebut diindikasikan terdapat sesar yang melintasi Kota Surabaya yaitu Sesar Surabaya dan Sesar Waru.



Gambar 3. 1 Desain Akuisisi Tugas Akhir

Gambar 3.1 merupakan desain akuisisi penelitian dengan panjang bentangan 102 meter, *shot* 5 di meter ke 0,37,53,69 dan 102 meter. Memakai 24 *receiver*, waktu perekaman 2 detik dan *stacking shot* 3x.



Gambar 3. 2 lokasi Akuisisi pada Lembar Geologi Surabaya

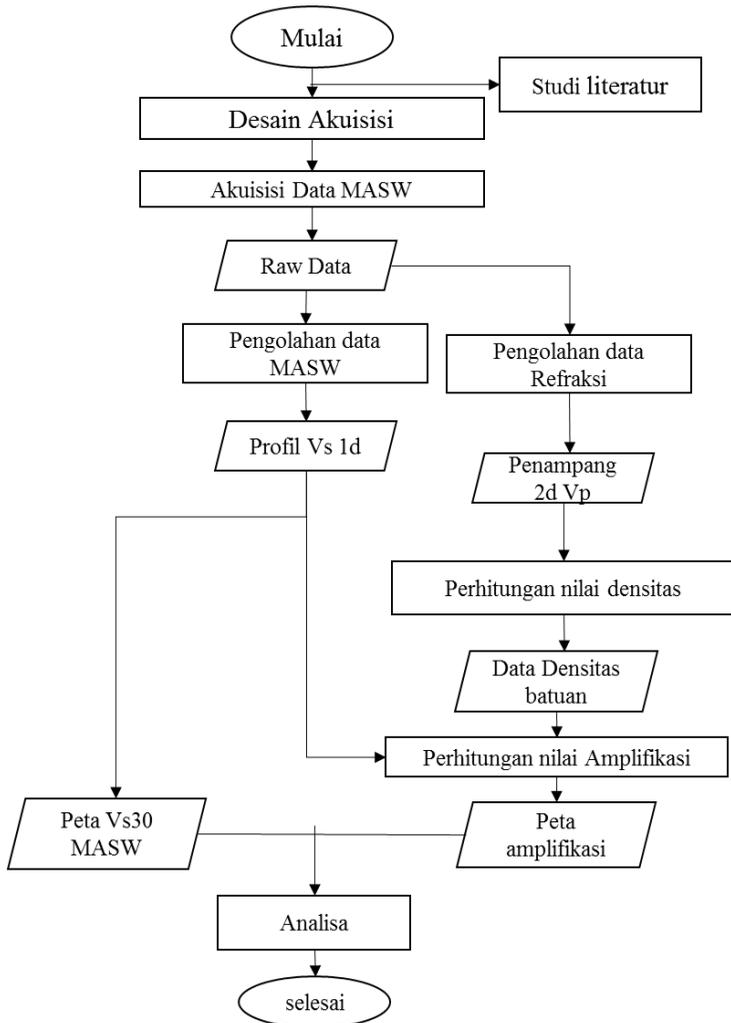
Gambar 3.2 merupakan titik pengukuran MASW di Surabaya Bagian Barat pada lembar geologi Surabaya Sapuluh. Terdapat 23 titik pengukuran yang secara lengkapnya di jabarkan di tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3. 1 Lokasi Pengukuran MASW

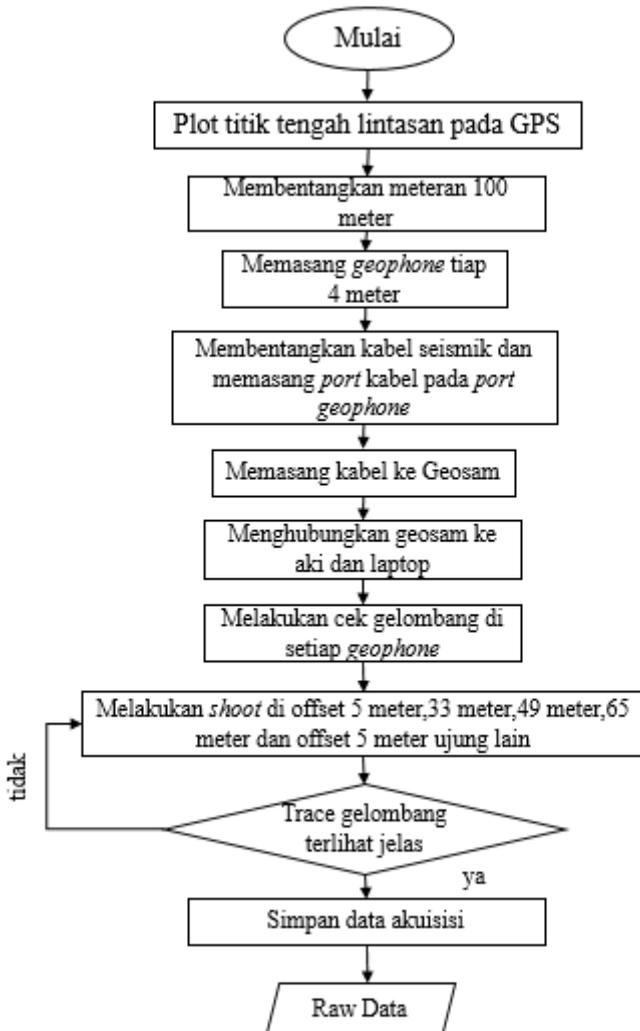
| Line     | Lintang     | Bujur         |
|----------|-------------|---------------|
| Line 1B  | 7° 13.339'S | 112° 37.085'E |
| Line 2B  | 7° 12.478'S | 112° 39.028'E |
| Line 3B  | 7°15.406'S  | 112°41.832'E  |
| Line 4B  | 7° 16.517'S | 112° 41.569'E |
| Line 5B  | 7° 16.161'S | 112° 40.851'E |
| Line 6B  | 7°16.869'S  | 112°39.410'E  |
| Line 7B  | 7° 14.366'S | 112° 36.577'E |
| Line 8B  | 7° 14.534'S | 112° 38.150'E |
| Line 9B  | 7°14.783'S  | 112°38.550'E  |
| Line 10B | 7°15.300'S  | 112°39.866'E  |
| Line 11B | 7°14.279'S  | 112°41.817'E  |
| Line 12B | 7° 13.724'S | 112° 41.494'E |
| Line 13B | 7°17.452'S  | 112°42.426'E  |
| Line 14B | 7°17.862'S  | 112°40.586'E  |
| Line 15B | 7°18.177'S  | 112°41.532'E  |
| Line 16B | 7°18.035'S  | 112°38.353'E  |
| Line 17B | 7°19.170'S  | 112°40.409'E  |
| Line 18B | 7°18.147'S  | 112°42.349'E  |
| Line 19B | 7°19.884'S  | 112°40.458'E  |
| Line 20B | 7°19.699'S  | 112°39.963'E  |
| Line 21B | 7°16.326'S  | 112°38.194'E  |
| Line 22B | 7°18.914'S  | 112°39.150'E  |
| Line 23B | 7°19.314'S  | 112°37.979'E  |

### 3.2 Alur Penelitian

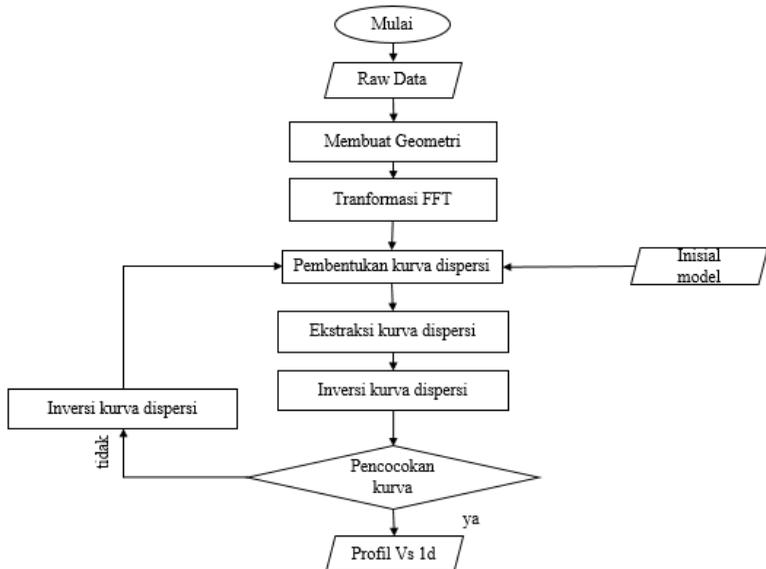
Berikut adalah alur penelitian untuk Tugas Akhir



Gambar 3. 3 Alur Kerja Penelitian



Gambar 3. 4 Alur Akuisisi Data MASW



Gambar 3. 5 Alur Pengolahan Data MASW

### 3.3 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini membutuhkan beberapa alat yaitu:

1. Satu set alat seismik
2. Laptop
3. *Software* Seisee
4. *Software Software* pengolahan inversi 1D MASW
5. *Software Software* pengolahan inversi 2D refraksi
6. *Software* Arcgis
7. *Software* Google Earth pro

### 3.4 Akuisisi MASW

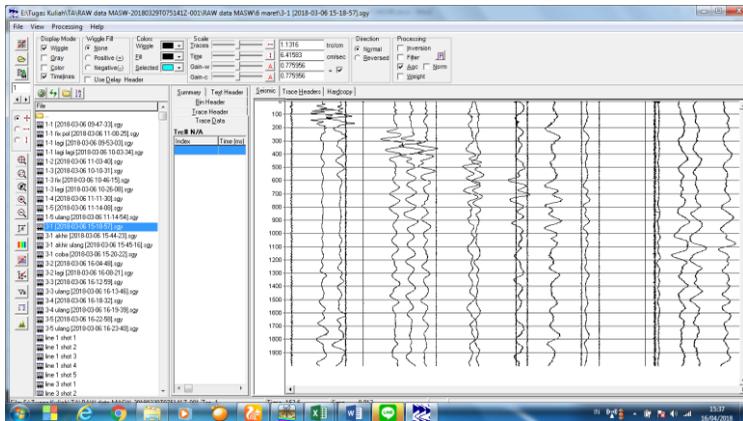
Dalam pengambilan data yang dilakukan di 23 titik yang tersebar di wilayah Surabaya Bagian Barat memakai desain akuisisi MASW dengan panjang lintasan 102 meter. Spasi *geophone* 4 meter dengan jumlah *geophone* 24 buah. Offset masing-masing 5 meter dari *geophone* paling ujung. Akuisisi dilakukan dengan 5 *shot*, 2 di offset, 1 dititik tengah dan 2 lainnya di *geophone* ke 8 dan 16 atau *shot* ada di meter ke 0 m, 33 m, 49 m, 65 m dan 102 m. Pengukuran

dilakukan dengan durasi pengukuran 2 s dan stacking shot 3x. Semua parameter diatas bertujuan untuk mendapatkan target kedalaman 30-50 meter.

### 3.5 Pengolahan Data MASW

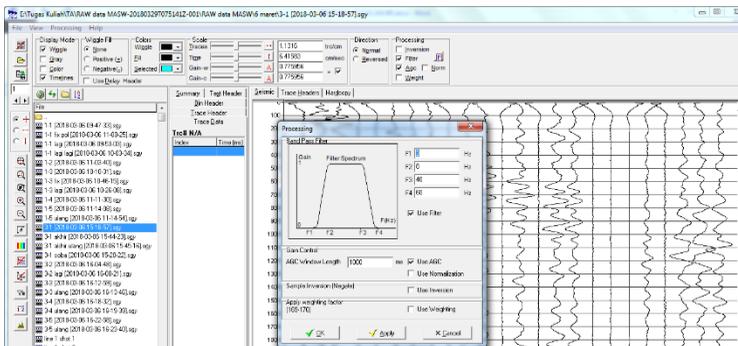
#### 3.5.1 Filtering Data MASW

Dari pengukuran data lapangan yang telah dilakukan pada tanggal 21 Februari 2018-23 Maret 2018 mendapatkan hasil seperti pada Gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3. 6 Data Line 2B Shot 1

Dari data diatas kemudian dilakukan *filtering* menggunakan *filter bandpass* pada *Software seissee* dengan  $f_1=4\text{hz}$ ,  $f_2=8\text{hz}$ ,  $f_3=40\text{hz}$  dan  $f_4=60\text{hz}$ .

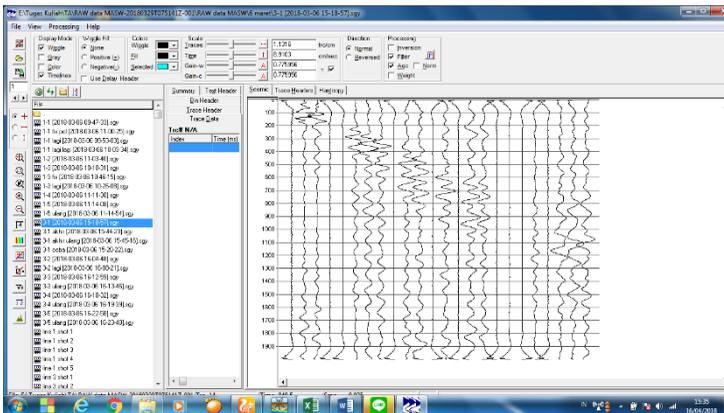


Gambar 3. 7 *filtering* bandpass dengan seissee

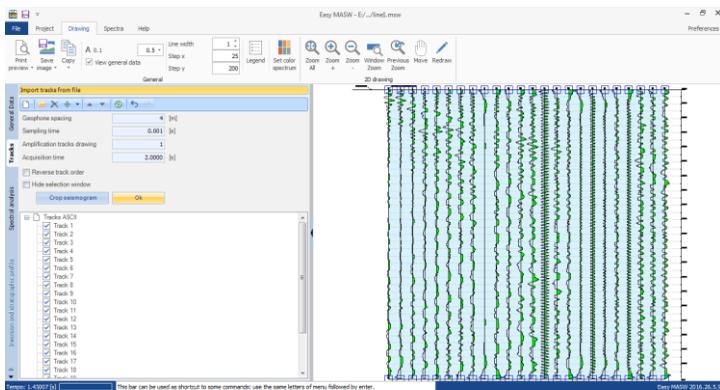
Gambar 3.6 merupakan Gambar pemfilteran gelombang menggunakan *bandpass* pada *seisec* dan hasilnya bisa dilihat pada Gambar 3.7. Gambar 3.7 merupakan hasil *trace* gelombang pada titik 1 *shot* pertama setelah melalui proses *filtering bandpass* dan siap dimasukkan ke *Software* pengolahan inversi 1D MASW.

### 3.5.2 Pengolahan Data MASW

Setelah data difilter kemudian data dimasukkan ke *Software* pengolahan inversi 1D MASW dan dilakukan pengolahan untuk melihat profil Vs di Surabaya bagian Barat.

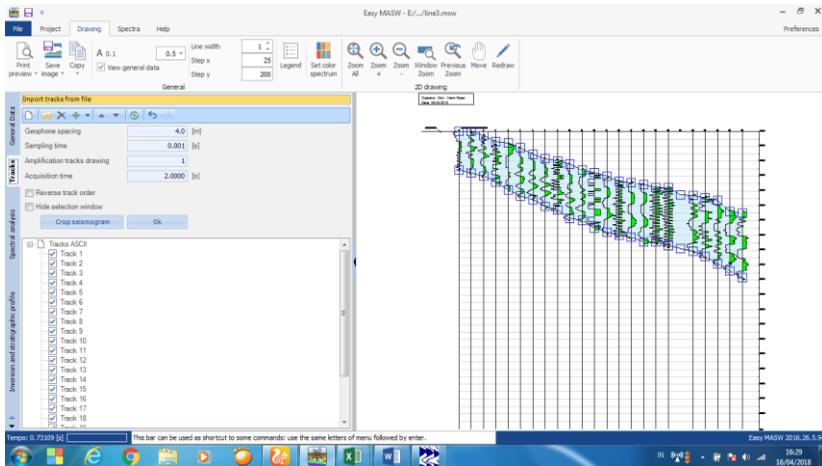


Gambar 3. 8 Gambar data line 2B shot 1 setelah *filtering* pada *seisec*



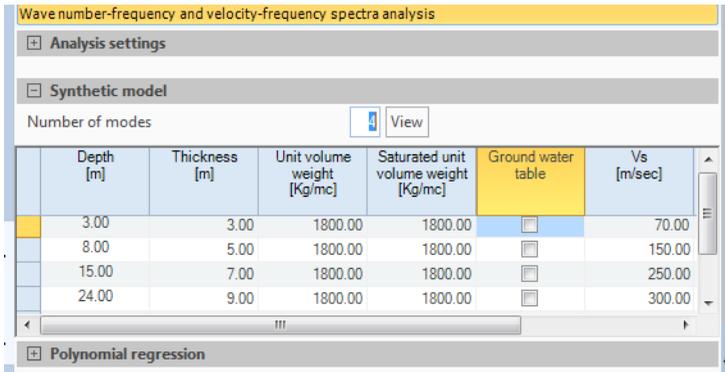
Gambar 3. 9 Gambar data pada *Software* pengolahan inversi 1D MASW

Gambar 3.9 merupakan Gambar trace gelombang setelah dibuka di *Software* pengolahan inversi 1D MASW dengan penyesuaian spasi *geophone* dan lama akuisisi.



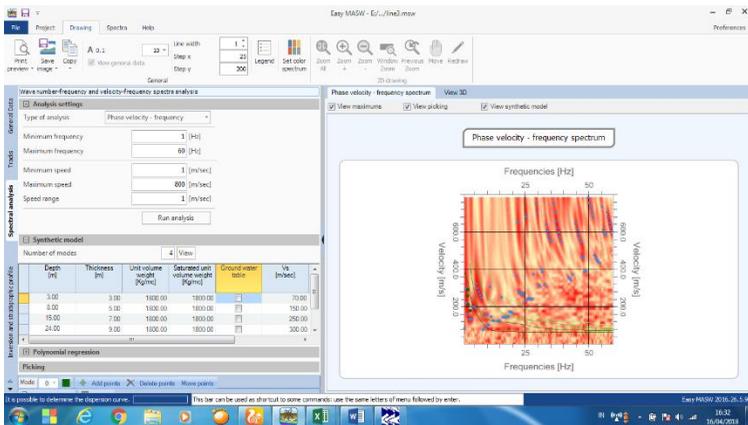
Gambar 3. 10 Gambar trace setelah dilakukan picking surface wave

Gambar 3.10 merupakan hasil *picking surface wave* line 2B *shot* pertama. Setelah dilakukan *picking surface wave* kemudian masuk ke menu *spectral analysis* dengan memasukkan parameter berupa ketebalan lapisan dengan model 6 lapisan pada lapisan pertama ketebalannya 3 meter, lapisan kedua 5 meter, lapisan ketiga 7 meter, lapisan keempat 9 meter lapisan kelima dan keenam 11 meter. Kemudian memasukkan Vs model dengan formasi aluvium lapisan pertama 70 m/s, lapisan kedua 150 m/s, lapisan ketiga 250 m/s, lapisan keempat 300 m/s, lapisan kelima 350m/s dan lapisan keenam 400m/s. Sementara untuk lapisan qpk,tpl dan qtp Vs model lapisan pertama 100 m/s, lapisan kedua 200 m/s, lapisan ketiga 300 m/s, lapisan keempat 350 m/s, lapisan kelima 400m/s dan lapisan keenam 450m/s.

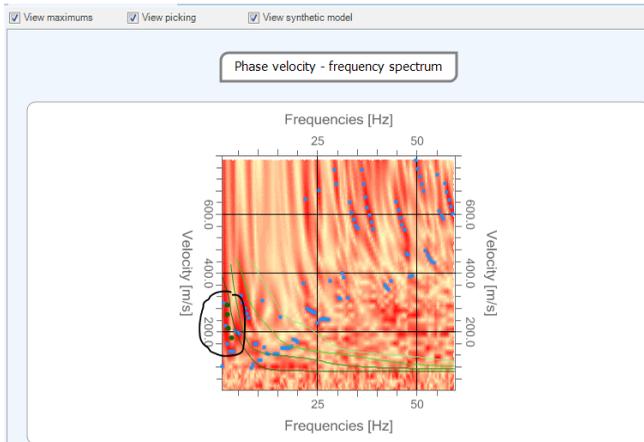


Gambar 3. 11 input parameter model formasi aluvium

Gambar 3.11 merupakan contoh *input* parameter model line 2B yang merupakan daerah aluvium.

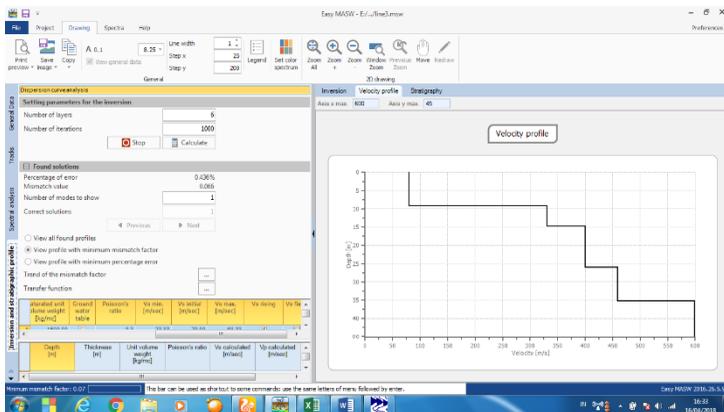


Gambar 3. 12 picking fundamental mode



Gambar 3. 13 Gambar *picking fundamental mode*

Gambar 3.12 dan 3.13 diatas adalah hasil *picking fundamental mode* kurva dispersi. Bagian yang dipicking adalah kurva yang menunjukkan garis yang jelas dan menerus dan karakteristik surface wave berada pada frekuensi 1-25 hz. Gambar 3.13 lebih jelas menunjukkan *picking fundamental mode* di kisaran frekuensi 1-5 hz.



Gambar 3. 14 hasil inversi

Gambar 3.14 adalah Gambar hasil *inversi Software pengolahan inversi 1D MASW* dengan lapisan yang ditentukan berjumlah 6 lapisan dengan iterasi sebesar 1000 menghasilkan data seperti pada Gambar 3.15 dibawah dengan rincian ketebalan dan vs yang menunjukkan bahwa di titik 3 merupakan zona

Vs30 rendah dengan besar 177 m/s dan termasuk kategori D dalam kategori VS30.

The screenshot shows the Easy MASW software interface. The main window displays a soil profile with columns for Depth [m], Thickness [m], Vs [m/s], Vp [m/s], Density [kg/m³], Poisson's ratio, and Qp [m/s²]. The data is as follows:

| Depth [m] | Thickness [m] | Vs [m/s] | Vp [m/s] | Density [kg/m³] | Poisson's ratio | Qp [m/s²] |
|-----------|---------------|----------|----------|-----------------|-----------------|-----------|
| 0         | 0.98          | 5.69     | 78.16    | 148.00          | 0.30            | 11.20     |
| 1         | 1.94          | 6.76     | 78.23    | 148.40          | 0.30            | 11.20     |
| 2         | 14.76         | 5.62     | 220.20   | 143.40          | 0.30            | 29.67     |
| 4         | 28.48         | 11.52    | 259.60   | 152.20          | 0.30            | 382.41    |
| 7         | 35.21         | 8.35     | 458.20   | 187.50          | 0.30            | 218.15    |
| 8         | 80            | 80       | 558.16   | 1520.00         | 0.30            | 448.80    |

The right-hand pane shows a table of soil categories with descriptions, Vs30 [m/s], and Vp30 [m/s].

| Category | Description  | Vs30 [m/s] | Vp30 [m/s] |
|----------|--|------------|------------|
| A        | Subsoils to be used on very soft soils characterized by Vs30 superior to 180 m/s, essentially included in the surface an alteration layer, with a maximum thickness of 3 m.  | 180        | -          |
| B        | Soft soils and deposits of very dense coarse grain soils or very dense fine grain soils with thickness superior to 20 m, characterized by gradual improvement of the mechanical properties with depth and Vs30 values between 90 m/s and 180 m/s, (or NSP > 20 in coarse grain soils and NSP > 250 kPa in fine grain soils). | 90         | 180        |
| C        | Deposits of medium dense coarse grain soils or medium dense fine grain soils with thickness superior to 20 m, characterized by gradual improvement of the mechanical properties with depth and Vs30 values between 60 m/s and 90 m/s, (or NSP > 60 in coarse grain soils and 70 < NSP < 250 kPa in fine grain soils).        | 180        | 90         |
| D        | Deposits of poorly to medium compacted soils or poorly consolidated fine grain soils with thickness superior to 20 m, characterized by gradual improvement of the mechanical properties with depth and Vs30 inferior to 180 m/s (or NPS < 60 in coarse grain soils and NPS < 70 kPa in fine grain soils).                    | -          | 180        |
| E        | Selected materials of soil types with thickness not superior to 20 m, bearing on the reference substratum (with Vs > 180 m/s).   | -          | -          |

Gambar 3. 15 hasil nilai Vs dan ketebalan masing-masing lapisan

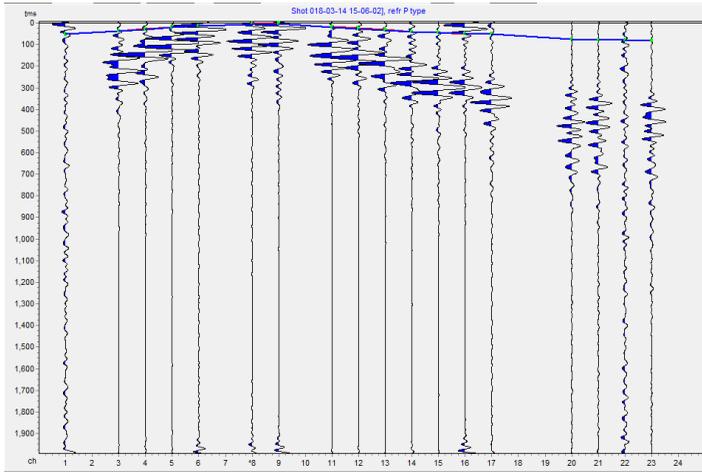
### 3.6 Pengolahan Refraksi

Dari data akuisisi juga dapat diolah refraksi menggunakan *Software Software* pengolahan inversi 2D refraksi. Dengan pengolahan refraksi didapatkan nilai Vp yang kemudian akan digunakan untuk menghitung nilai densitas batuan.

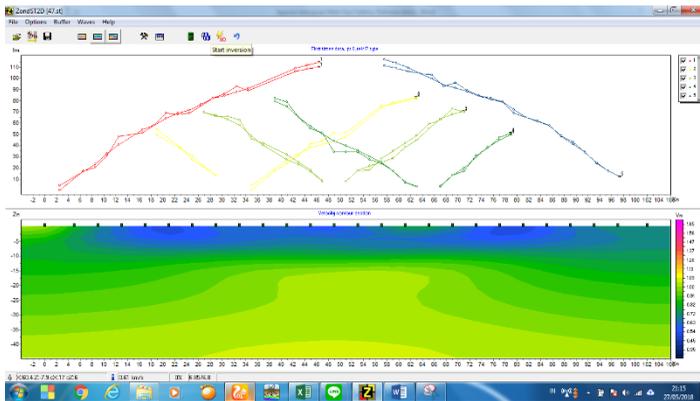
| N  | V                                   | Rx | Rz | Gain | Dead                     | tms   |
|----|-------------------------------------|----|----|------|--------------------------|-------|
| 1  | <input checked="" type="checkbox"/> | 5  | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 54.4  |
| 2  | <input type="checkbox"/>            | 9  | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | *     |
| 3  | <input checked="" type="checkbox"/> | 13 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 37.7  |
| 4  | <input checked="" type="checkbox"/> | 17 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 27.4  |
| 5  | <input checked="" type="checkbox"/> | 21 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 20.5  |
| 6  | <input checked="" type="checkbox"/> | 25 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 13.7  |
| 7  | <input type="checkbox"/>            | 29 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | *     |
| 8  | <input checked="" type="checkbox"/> | 33 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 3.4   |
| 9  | <input checked="" type="checkbox"/> | 37 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | -0.04 |
| 10 | <input type="checkbox"/>            | 41 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | *     |
| 11 | <input checked="" type="checkbox"/> | 45 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 17.1  |
| 12 | <input checked="" type="checkbox"/> | 49 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 24.0  |
| 13 | <input checked="" type="checkbox"/> | 53 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 30.8  |
| 14 | <input checked="" type="checkbox"/> | 57 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 41.1  |
| 15 | <input checked="" type="checkbox"/> | 61 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 44.5  |
| 16 | <input checked="" type="checkbox"/> | 65 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 51.4  |
| 17 | <input checked="" type="checkbox"/> | 69 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 51.4  |
| 18 | <input type="checkbox"/>            | 73 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | *     |
| 19 | <input type="checkbox"/>            | 77 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | *     |
| 20 | <input checked="" type="checkbox"/> | 81 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 75.4  |
| 21 | <input checked="" type="checkbox"/> | 85 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 77.3  |
| 22 | <input checked="" type="checkbox"/> | 89 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 79.3  |
| 23 | <input checked="" type="checkbox"/> | 93 | 0  | 0.09 | <input type="checkbox"/> | 82.3  |

Gambar 3. 16 input geometri pada *Software* pengolahan inversi 2D refraksi

Gambar 3.16 merupakan proses input geometri berupa input jarak shot dan jarak receiver. Setelah input geometri data akan di filter menggunakan filter bandpas dengan  $f_1=3$  hz  $f_2=8$  hz  $f_3=15$  hz dan  $f_4=20$  hz. Setelah proses pemfilteran kemudian dilakukan proses picking firstbreak dan inversi sehingga diperoleh penampang 2d  $V_p$ .



Gambar 3. 17 Picking Firstbreak



Gambar 3. 18 Hasil Inversi Vp

Gambar 3.17 dan 3.18 merupakan step pengolahan dengan *Software Software* pengolahan inversi 2D refraksi. Gambar 3.17 merupakan proses picking firstbreak gelombang Vp sebagai dasar inversi yang dilakukan pada Gambar 3.18 yang menampilkan hasil 2d vp pada line 21B.

### 3.7 Perhitungan Nilai Amplifikasi

Setelah memperoleh nilai Vs dan Vp maka langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah menghitung nilai amplifikasi. Langkah pertama adalah

memilih lapisan dengan nilai  $V_s$  yang kontras sebagai indikasi lapisan lunak dan lapisan keras di titik masing-masing. Setelah itu  $V_p$  yang diperoleh dari inversi refraksi dikonversi menjadi nilai densitas dengan persamaan gardner. Pengambilan nilai  $V_p$  sesuai dengan kedalaman yang ada pada perlapisan  $V_s$ .

### **3.8 Pemetaan Vs30 dan Amplifikasi**

Dari nilai Vs30 dan amplifikasi yang telah didapatkan dari *Software* pengolahan inversi 1D MASW dan perhitungan nilai amplifikasi kemudian dipetakan menggunakan *Software* arcgis dengan data pendukung berupa peta kecamatan di Surabaya sebagai batas peta dan koordinat titik ukur. Kemudian setelah semua data di inputkan ke arcgis lalu dilakukan perhitungan *geostatistical analysis* dengan data Vs30 dan Amplifikasi, untuk peta amplifikasi dijadikan 2 peta yaitu peta persebaran nilai dan peta zona amplifikasi berdasarkan klasifikasi yang dibuat oleh Marjiyono pada tahun 2010. Peta Vs30, peta nilai Amplifikasi dan peta zona Amplifikasi kemudian dilengkapi dengan unsur kartografi seperti arah mata angin, skala, legenda, judul dan nama pembuat beserta instansinya.

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data MASW dan Refraksi

Data yang telah diperoleh kemudian akan diolah untuk memperoleh nilai  $V_s$ ,  $V_{s30}$  dan  $V_p$  dari seluruh titik yang telah dilakukan pengukuran. Data yang akan diolah menjadi  $V_s$  sebelumnya akan difilter terlebih dahulu menggunakan *filter bandpass* pada *Software seisec* dengan  $f_1=4\text{hz}$   $f_2=8\text{hz}$   $f_3=40\text{hz}$   $f_4=60\text{hz}$ . *Fiter bandpass* tersebut dimaksudkan untuk menghilangkan *noise* frekuensi tinggi yang berasal dari *noise* kabel dan dapat memperjelas gelombang S sehingga memudahkan proses *picking* di *Software Software* pengolahan inversi 1D MASW. Sementara saat proses pengolahan MASW pada *Software* pengolahan inversi 1D MASW dilakukan input inisial model dengan parameter input berupa ketebalan dan  $V_s$  tiap kedalaman. Untuk input parameter ketebalan formasi  $Q_a$  dan 3 formasi yang ada di antiklin ( $Q_{Tp}$ ,  $T_{pl}$  dan  $Q_{pk}$ ) diseragamkan dengan 6 lapisan pada lapisan pertama ketebalannya 3 meter, lapisan kedua 5 meter, lapisan ketiga 7 meter, lapisan keempat 9 meter lapisan kelima dan keenam 11 meter. Kemudian memasukkan  $V_s$  model dengan formasi aluvium lapisan pertama 70 m/s, lapisan kedua 150 m/s, lapisan ketiga 250 m/s, lapisan keempat 300 m/s, lapisan kelima 350m/s dan lapisan keenam 400m/s. Sementara untuk lapisan  $q_{pk}$ ,  $t_{pl}$  dan  $q_{tp}$   $V_s$  model lapisan pertama 100 m/s, lapisan kedua 200 m/s, lapisan ketiga 300 m/s, lapisan keempat 350 m/s, lapisan kelima 400m/s dan lapisan keenam 450m/s. Perbedaan input  $V_s$  untuk model awal dimaksudkan untuk membedakan sesuai karakter formasi. Namun perbedaan sebenarnya hanya dilapisan pertama dan kedua saja yang perbedaannya juga tidak terlalu signifikan karena lapisan  $Q_a$  dan formasi penyusun antiklin sama-sama terdiri dari batuan sedimen.

Untuk data yang akan diolah dengan *Software* pengolahan inversi 2D refraksi sendiri juga dilakukan filter bandpass didalam *Software* pengolahan inversi 2D refraksi dengan  $f_1=3\text{hz}$   $F_2=8\text{hz}$   $F_3=15\text{hz}$  dan  $f_4=20\text{hz}$ . Filter tersebut dimaksudkan untuk menghilangkan *noise* dari frekuensi tinggi dan lebih memperjelas *first break* gelombang yang berada di frekuensi rendah sehingga bandpass dilakukan dengan rentan frekuensi yang pendek. Untuk inversi pada *Software* pengolahan inversi 2D refraksi tidak memakai model sehingga hasil inversi murni bergantung pada hasil *picking first break* gelombang. Hasil inversi *Software* pengolahan inversi 2D refraksi berupa penampang 2D akan dipilih 2 nilai  $V_p$  sesuai kedalaman lapisan yang kontras  $V_s$ -nya paling tinggi.

## 4.2 Vs30 Surabaya Bagian Barat

### 4.2.1 Sebaran Vs30 Setiap Formasi Geologi

Setelah dilakukan pengolahan dengan *Software* pengolahan inversi 1D MASW maka didapatkan persebaran nilai Vs30 Surabaya Bagian Barat seperti pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4. 1 Hasil Vs30 Pengukuran MASW Surabaya Bagian Barat

| Line     | Lintang     | Bujur         | Vs30 (m/s) | Formasi |
|----------|-------------|---------------|------------|---------|
| Line 1B  | 7° 13.339'S | 112° 37.085'E | 186,834    | QA      |
| Line 2B  | 7° 12.478'S | 112° 39.028'E | 176,492    | QA      |
| Line 3B  | 7°15.406'S  | 112°41.832'E  | 200,485    | QA      |
| Line 4B  | 7° 16.517'S | 112° 41.569'E | 238,606    | QPK     |
| Line 5B  | 7° 16.161'S | 112° 40.851'E | 242,062    | QPK     |
| Line 6B  | 7°16.869'S  | 112°39.410'E  | 239,296    | QTP     |
| Line 7B  | 7° 14.366'S | 112° 36.577'E | 251,466    | QTP     |
| Line 8B  | 7° 14.534'S | 112° 38.150'E | 185,522    | QA      |
| Line 9B  | 7°14.783'S  | 112°38.550'E  | 180,426    | QA      |
| Line 10B | 7°15.300'S  | 112°39.866'E  | 218,75     | QA      |
| Line 11B | 7°14.279'S  | 112°41.817'E  | 188,118    | QA      |
| Line 12B | 7° 13.724'S | 112° 41.494'E | 179,574    | QA      |
| Line 13B | 7°17.452'S  | 112°42.426'E  | 294,448    | TPL     |
| Line 14B | 7°17.862'S  | 112°40.586'E  | 254,976    | TPL     |
| Line 15B | 7°18.177'S  | 112°41.532'E  | 258,58     | QTP     |
| Line 16B | 7°18.035'S  | 112°38.353'E  | 270,948    | QTP     |
| Line 17B | 7°19.170'S  | 112°40.409'E  | 199,15     | QA      |
| Line 18B | 7°18.147'S  | 112°42.349'E  | 263,156    | QTP     |
| Line 19B | 7°19.884'S  | 112°40.458'E  | 252,654    | TPL     |
| Line 20B | 7°19.699'S  | 112°39.963'E  | 235,528    | QTP     |
| Line 21B | 7°16.326'S  | 112°38.194'E  | 266,758    | QTP     |
| Line 22B | 7°18.914'S  | 112°39.150'E  | 215,03     | QA      |
| Line 23B | 7°19.314'S  | 112°37.979'E  | 225,088    | QTP     |

Dari tabel 4.1 diatas dapat dilihat bahwa tiap formasi geologi memiliki rentan Vs30 masing-masing. Formasi Aluvium memiliki rentan Vs30 antara 176-218 m/s. Formasi Qtp (Pucangan) memiliki rentan nilai Vs30 antara 235-270. Formasi Qpk (Kabuh) memiliki nilai Vs30 antara 238-242 m/s dan formasi Tpl (Lidah) memiliki nilai Vs30 antara 252-294 m/s. Nilai Vs30 tersebut sudah merepresentasikan bahwa formasi di Surabaya yang paling muda adalah aluvium dengan nilai Vs paling rendah dibanding formasi lain. Formasi Kabuh (Qpk) memiliki Vs30 sedikit diatas aluvium menandakan formasi ini lebih tua dari Formasi Aluvium dan lebih muda dari formasi Lidah dan Pucangan. Formasi Pucangan merupakan formasi tertua kedua karena nilai Vs30 nya relatif lebih tinggi dibanding Formasi Aluvium dan Kabuh. Formasi lidah merupakan formasi tertua di Surabaya karena rentan nilai vs30nya merupakan nilai tertinggi di daerah pengukuran yaitu diatas 250 m/s sampai hampir 300 m/s.

Dilihat dari bentukan antiklin Lidah dapat terlihat bahwa nilai Vs30 hasil pengukuran MASW representatif untuk menggambarkan lapisan batuan kota Surabaya. Karena bentukan antiklin puncak antiklin merupakan bagian tertua dan dibuktikan lewat Vs30 puncak Antiklin Lidah yaitu Formasi Lidah sendiri yang memiliki nilai Vs30 paling tinggi disusul Formasi Pucangan lalu Formasi Kabuh dan terakhir Formasi Aluvium. Formasi yang paling tua seharusnya berada di paling bawah lapisan sehingga akan lebih kompak dari lapisan diatasnya namun karena adanya gaya dengan arah vertikal yang membuat lapisan tanah bergerak keatas dan membentuk antiklin. Maka lapisan paling tua akan berada di tengah dan lapisan paling muda akan berada di samping sehingga saat mengalami erosi lapisan paling tua akan berada di puncak antiklin. Hal tersebut membuat nilai Vs Formasi Lidah paling tinggi dibanding formasi lainnya dan semakin jauh dari Formasi Lidah nilai Vs30-nya semakin kecil. Formasi Aluvium memiliki nilai Vs30 yang rendah karena merupakan hasil endapan material yang belum terkonsolidasi.

| Bearing surface depth  | 0 [m]        |               |          |          |                 |                 |          |
|--|--------------|---------------|----------|----------|-----------------|-----------------|----------|
| Vs30   | 181.71 [m/s] |               |          |          |                 |                 |          |
| Soil category  | C            |               |          |          |                 |                 |          |
| <input type="checkbox"/> Site susceptible to liquefaction or consisting of sensitive clay. |              |               |          |          |                 |                 |          |
| <input type="checkbox"/> Probably soil of type E   |              |               |          |          |                 |                 |          |
|  | Depth [m]    | Thickness [m] | Vs [m/s] | Vp [m/s] | Density [kg/mc] | Poisson's ratio | G0 [MPa] |
| 1  | 5.94         | 5.94          | 93.33    | 174.61   | 1800.00         | 0.30            | 15.68    |
| 2  | 9.46         | 3.52          | 93.84    | 175.55   | 1800.00         | 0.30            | 15.85    |
| 3  | 12.96        | 3.50          | 229.86   | 430.02   | 1800.00         | 0.30            | 95.10    |
| 4  | 18.15        | 5.19          | 332.88   | 622.76   | 1800.00         | 0.30            | 199.46   |
| 5  | 32.82        | 14.67         | 357.80   | 669.38   | 1800.00         | 0.30            | 230.43   |
| 6  | oo           | oo            | 532.26   | 995.76   | 1800.00         | 0.30            | 509.93   |

Gambar 4. 1 Perlapisan Vs Line 12B Formasi Aluvium

Gambar 4.1 merupakan perlapisan di titik 12B yang merupakan lapisan aluvium. Dapat dilihat bahwa nilai Vs nya berkisar antara 93-357 m/s menunjukkan bahwa penyusunnya merupakan pasir,lempung dan kerikil.Sementara untuk formasi Qpk dan Qtp yang tersusun atas batu pasir dan formasi Tpl yang dominan batu lempung, formasi ini memiliki nilai Vs diatas 350 m/s-700 m/s.

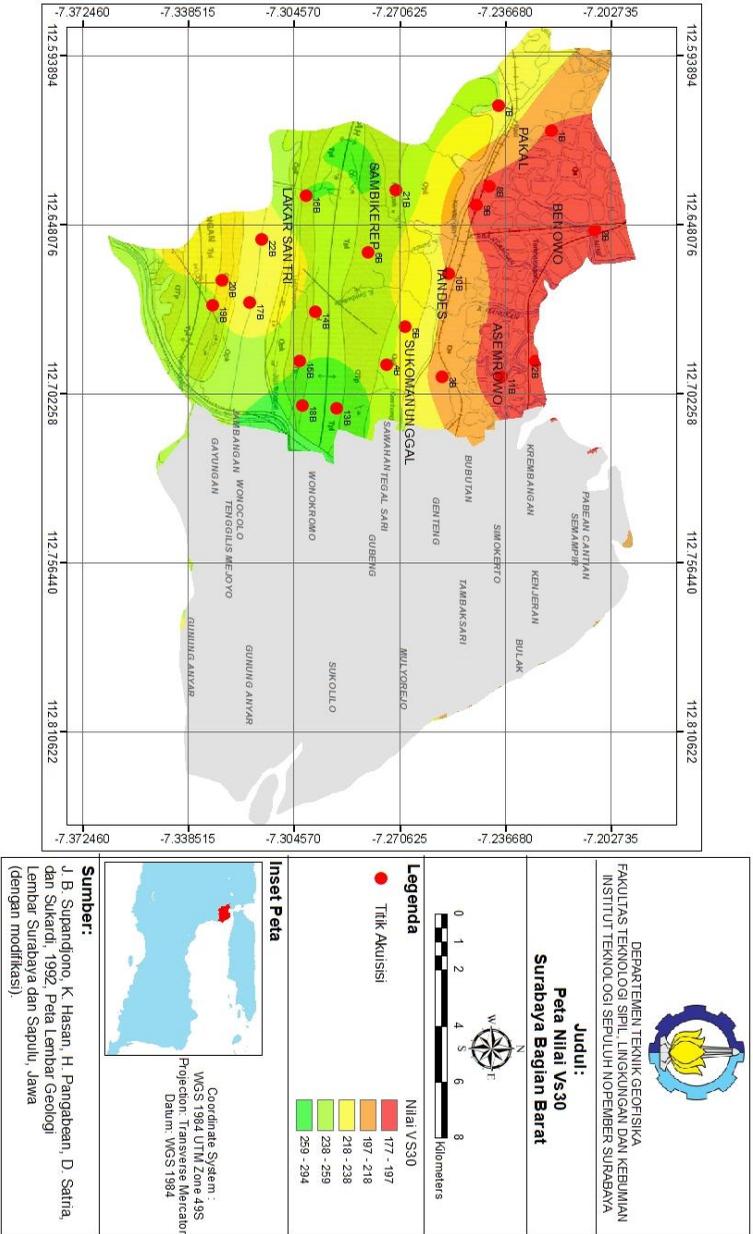
| Bearing surface depth  | 0 [m]        |               |          |          |                 |                 |          |
|--|--------------|---------------|----------|----------|-----------------|-----------------|----------|
| Vs30   | 234.35 [m/s] |               |          |          |                 |                 |          |
| Soil category  | C            |               |          |          |                 |                 |          |
| <input type="checkbox"/> Site susceptible to liquefaction or consisting of sensitive clay. |              |               |          |          |                 |                 |          |
| <input type="checkbox"/> Probably soil of type E   |              |               |          |          |                 |                 |          |
|  | Depth [m]    | Thickness [m] | Vs [m/s] | Vp [m/s] | Density [kg/mc] | Poisson's ratio | G0 [MPa] |
| 1  | 3.26         | 3.26          | 133.33   | 249.44   | 1800.00         | 0.30            | 32.00    |
| 2  | 13.18        | 9.92          | 149.97   | 280.57   | 1800.00         | 0.30            | 40.48    |
| 3  | 17.07        | 3.89          | 333.33   | 623.61   | 1800.00         | 0.30            | 200.00   |
| 4  | 21.77        | 4.70          | 456.02   | 853.14   | 1800.00         | 0.30            | 374.32   |
| 5  | 43.77        | 22.00         | 533.33   | 997.78   | 1800.00         | 0.30            | 512.00   |
| 6  | oo           | oo            | 554.62   | 1037.60  | 1800.00         | 0.30            | 553.68   |

Gambar 4. 2 perlapisan Vs line 4B formasi Qpk

Gambar 4.2 merupakan Vs dari line 4B dapat dilihat adanya lapisan dengan Vs 456 m/s pada kedalaman 17 meter merupakan batuan pasir karena memiliki Vs antara 350-700 m/s.

#### **4.2.2 Pemetaan Vs30 Surabaya Bagian Barat**

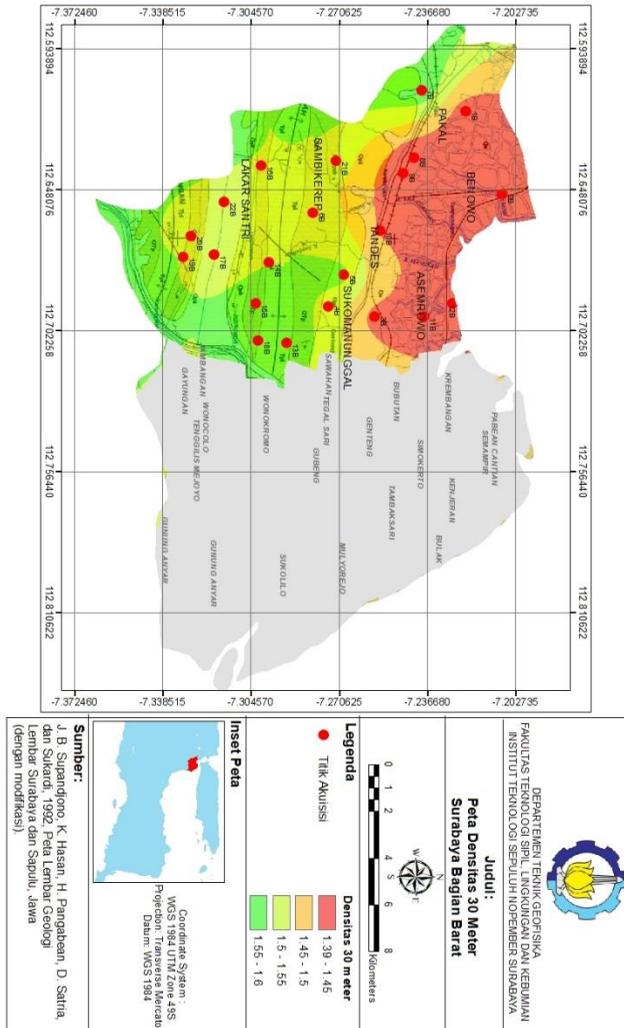
Dari hasil inversi Vs dengan *Software* pengolahan inversi 1D MASW yang ada pada tabel 4.1 kemudian data dimasukkan ke *Software* arcgis untuk selanjutnya dipetakan seperti Gambar 4.3. Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa di bagian barat Surabaya terdapat kontras Vs30 antara bagian formasi aluvium dan formasi-formasi yang berada di antiklin Lidah maupun Guyangan. Bagian utara Surabaya bagian barat memiliki nilai vs30 yang relatif rendah yaitu dibawah 188 m/s yang dapat dibilang bahwa tanah dibagian utara merupakan tanah lunak yang jika terjadi getaran pada daerah tersebut maka dampaknya akan sangat terasa karena gelombang berjalan dengan lambat membuat getaran semakin lama terasa pada daerah utara Surabaya Bagian Barat. Sementara bagian tengah antiklin memiliki Vs30 yang relatif tinggi dibanding daerah utara namun masih kategori tanah sedang yaitu memiliki Vs30 lebih dari 230 m/s. Kontras Vs30 tersebut dikarenakan bagian utara merupakan deposit laut yang belum terlalu kompak dan bagian antiklin merupakan batuan yang sudah kompak. Dibagian tengah antar dua antiklin yang diwakili titik 17B dan 22B memiliki nilai Vs30 yang menengah diantara yang lain disebabkan pada bagian tersebut adalah tekukan 2 antiklin yang membuat batuan keras dari 2 titik tersebut letaknya tidak terlalu dalam. Dari peta Vs30 terlihat Vs30 yang mewakili antiklin lidah dan Vs30 antiklin guyangan seperti bersambung di daerah timur disebabkan kurangnya titik pengukuran di daerah aluvium antara kedua antiklin.



Gambar 4. 3 Peta Vs30 Surabaya bagian Barat

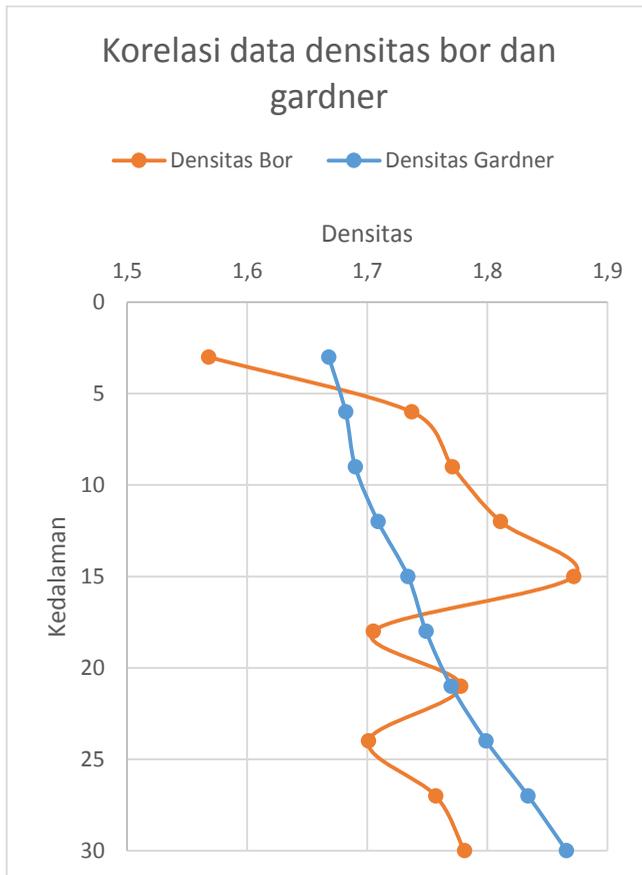
### 4.3 Amplifikasi Surabaya Bagian Barat

Nilai amplifikasi diperoleh dari perbandingan nilai Vs30 dan densitas batuan keras dibandingkan dengan batuan sedimen lunaknya. Untuk nilai densitas Surabaya Bagian merupakan hasil perhitungan dari Vp dengan menggunakan persamaan gardner.



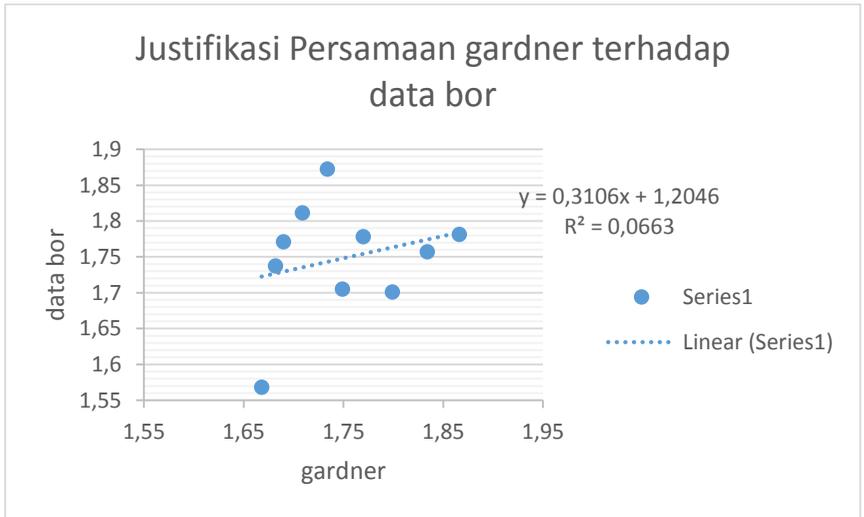
Gambar 4. 4 Peta Densitas Rata-rata Kedalaman 30 Meter

Gambar 4.4 merupakan sebaran nilai densitas dari permukaan sampai kedalaman 30 meter di Surabaya Bagian Barat yang memperlihatkan bahwa daerah aluvium di Utara Surabaya memiliki densitas yang relatif rendah dan semakin ke Selatan densitas batuan semakin tinggi. Dengan rentang nilai densitas 1,36-1,6 dapat diinterpretasikan bahwa Surabaya di 30 meter dari permukaan tersusun atas pasir, kerikil dan lempung dimana Material-material tersebut belum terkonsolidasi sehingga menghasilkan nilai densitas yang rendah. Sebagai justifikasi terhadap hasil perhitungan densitas dari persamaan Gardner dilakukan korelasi antara 1 titik MASW dan 1 bor dalam yang didapat dari data bor dalam Surabaya pada proyek IMB Kota Surabaya dengan kode b 121 yang berdekatan dengan titik MASW 13B dan didapatkan hasil.



Gambar 4. 5 Korelasi Data Densitas Bor dan Data Densitas Gardner

Dari grafik 4.5 diatas dapat dilihat bahwa grafik gardner relatif meningkat terhadap kedalaman dan karena acuan yang digunakan adalah  $V_p$  hasil refraksi yang semakin dalam semakin tinggi maka hasil densitas juga semakin dalam semakin tinggi dan tidak menghiraukan penurunan nilai  $V_p$ . Sementara untuk data bor terdapat penurunan nilai densitas di meter ke 18 dan 24 sebagai indikasi perubahan litologi batuan. Kenaikan nilai densitas pada data persamaan Gardner relatif konstan. Dengan hasil tersebut densitas Gardner cukup baik untuk mengetahui nilai densitas batuan namun karena  $V_p$  yang dipakai adalah  $V_p$  dari pengolahan refraksi maka penurunan nilai  $V_p$  tidak terbaca sehingga mempengaruhi nilai densitas.



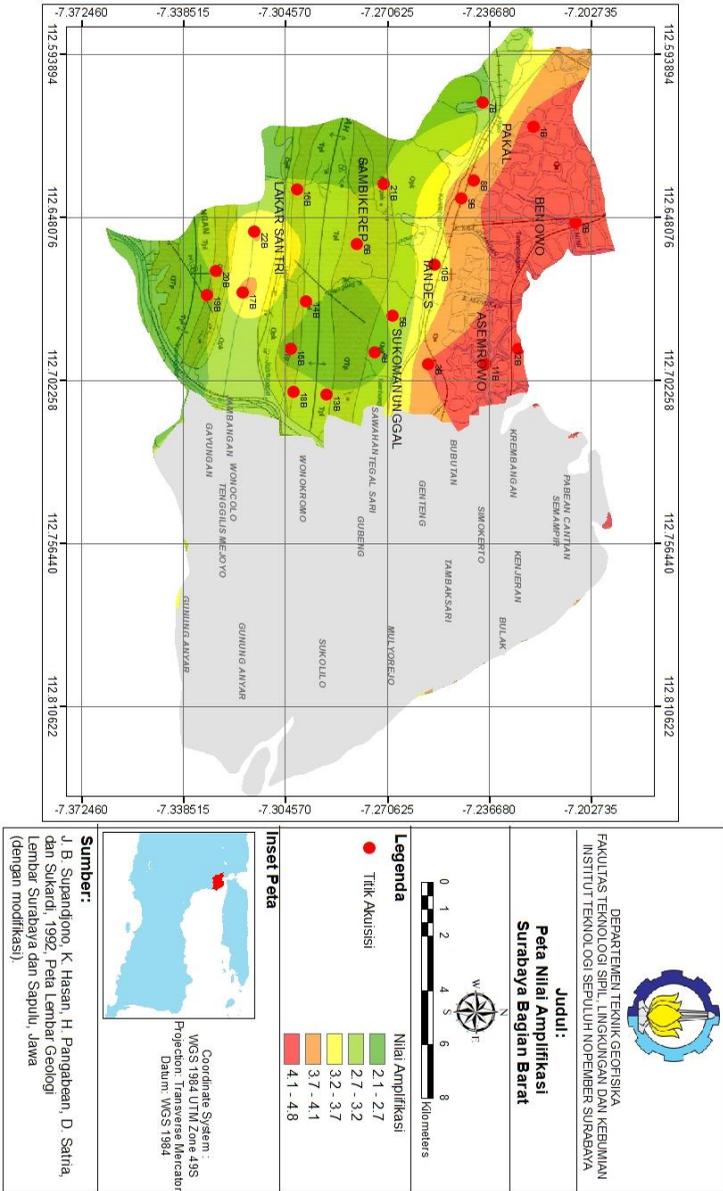
**Gambar 4. 6 Justifikasi Densitas Gardner Terhadap Data Bor**

Dari gambar 4.6 dapat dilihat adanya 3 tren data yang menunjukkan adanya 3 lapisan batuan, lapisan pertama dari meter 0-15, lapisan kedua dari 15-21 dan lapisan ketiga pada kedalaman 21-30 meter. Ditandai dengan penurunan nilai densitas di kedalaman 15 dan 21 meter. Dari hasil korelasi dan justifikasi dapat dihasilkan bahwa dengan persamaan gardner asumsi yang dipakai adalah semakin dalam densitas batuan selalu meningkat sehingga memiliki perbedaan dengan data bor yang dapat membaca penurunan densitas batuan.

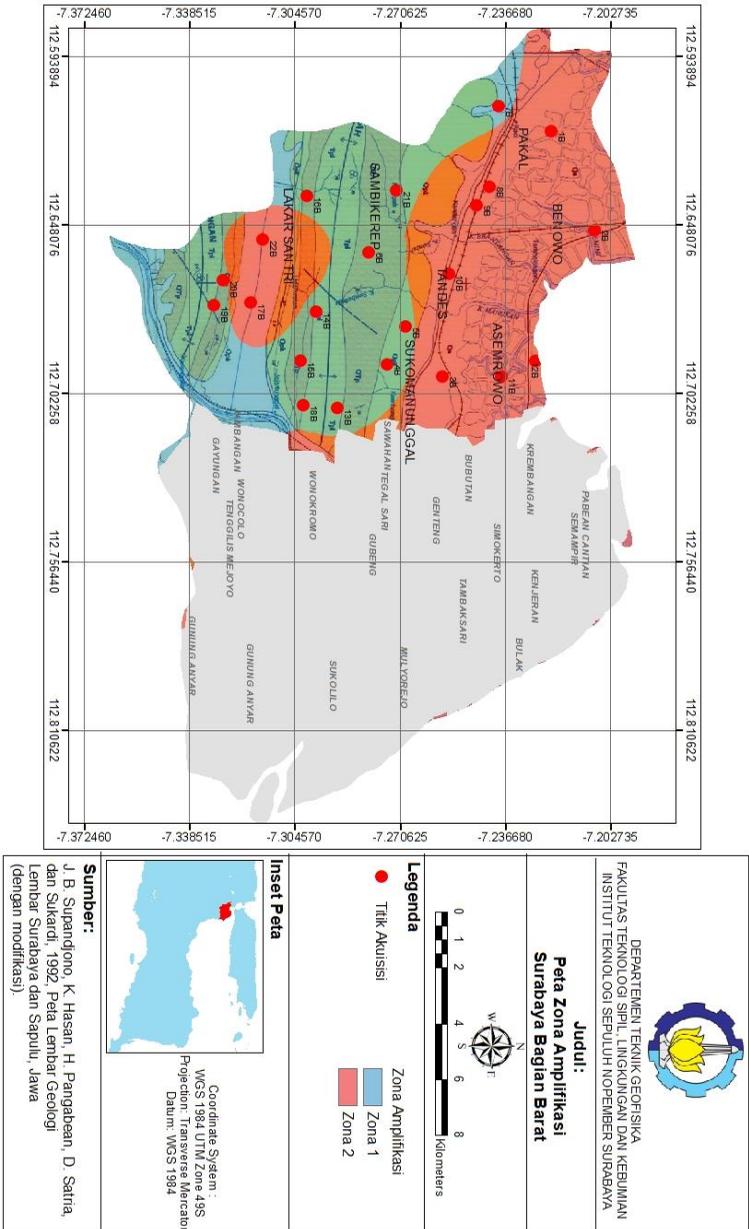
Setelah didapatkan nilai Vs30 dan densitas maka dapat dihasilkan nilai amplifikasi.

Tabel 4. 2 Nilai Amplifikasi Surabaya Bagian Barat

| <b>Line</b> | <b>Lintang</b> | <b>Bujur</b>  | <b>Amplifikasi</b> | <b>Formasi</b> |
|-------------|----------------|---------------|--------------------|----------------|
| Line 1B     | 7° 13.339'S    | 112° 37.085'E | 4,54               | QA             |
| Line 2B     | 7° 12.478'S    | 112° 39.028'E | 4,78               | QA             |
| Line 3B     | 7°15.406'S     | 112°41.832'E  | 4,22               | QA             |
| Line 4B     | 7° 16.517'S    | 112° 41.569'E | 2,16               | QPK            |
| Line 5B     | 7° 16.161'S    | 112° 40.851'E | 2,82               | QPK            |
| Line 6B     | 7°16.869'S     | 112°39.410'E  | 2,82               | QTP            |
| Line 7B     | 7° 14.366'S    | 112° 36.577'E | 2,52               | QTP            |
| Line 8B     | 7° 14.534'S    | 112° 38.150'E | 3,90               | QA             |
| Line 9B     | 7°14.783'S     | 112°38.550'E  | 3,97               | QA             |
| Line 10B    | 7°15.300'S     | 112°39.866'E  | 3,44               | QA             |
| Line 11B    | 7°14.279'S     | 112°41.817'E  | 4,45               | QA             |
| Line 12B    | 7° 13.724'S    | 112° 41.494'E | 4,24               | QA             |
| Line 13B    | 7°17.452'S     | 112°42.426'E  | 2,78               | TPL            |
| Line 14B    | 7°17.862'S     | 112°40.586'E  | 2,75               | TPL            |
| Line 15B    | 7°18.177'S     | 112°41.532'E  | 2,57               | QTP            |
| Line 16B    | 7°18.035'S     | 112°38.353'E  | 2,78               | QTP            |
| Line 17B    | 7°19.170'S     | 112°40.409'E  | 3,83               | QA             |
| Line 18B    | 7°18.147'S     | 112°42.349'E  | 2,97               | QTP            |
| Line 19B    | 7°19.884'S     | 112°40.458'E  | 2,47               | TPL            |
| Line 20B    | 7°19.699'S     | 112°39.963'E  | 2,81               | QTP            |
| Line 21B    | 7°16.326'S     | 112°38.194'E  | 2,72               | QTP            |
| Line 22B    | 7°18.914'S     | 112°39.150'E  | 3,71               | QA             |
| Line 23B    | 7°19.314'S     | 112°37.979'E  | 2,37               | QTP            |



Gambar 4. 7 persebaran nilai amplifikasi Surabaya Bagian Barat



Gambar 4. 8 Persebaran Zona Amplifikasi Surabaya Bagian Barat

Dari peta amplifikasi Surabaya Bagian Barat seperti pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai amplifikasi di Surabaya bagian barat rentannya tidak terlalu besar yaitu sekitar 2,1-4,8. Hampir sama seperti peta Vs30 Surabaya Bagian Barat daerah rentan terhadap amplifikasi adalah bagian utara yang memiliki nilai Vs30 rendah dan memiliki nilai amplifikasi tinggi. Pada Gambar 4.8 akan disajikan peta dengan zona amplifikasi.

Dari Gambar 4.6 terlihat bahwa di daerah Surabaya bagian barat terbagi menjadi 2 zona yaitu zona 1 dengan kategori aman yaitu amplifikasi dibawah 3 dan zona sedang yaitu zona dengan nilai amplifikasi 3-6 (Marijyono, 2010) . Namun untuk daerah utara Surabaya Bagian Barat nilai amplifikasinya adalah nilai amplifikasi relatif pada kedalaman 40 meter karena sampai kedalaman tersebut berdasarkan nilai  $V_p$  dan  $V_s$  belum terindikasikan adanya lapisan keras (*bedrock*) sehingga perhitungan nilai amplifikasi di daerah utara penelitian kurang maksimal dan bisa jadi nilai amplifikasi bagian utara akan lebih besar dari perhitungan diatas karena saat ditemukan lapisan kerasnya bisa jadi kontras  $V_s$  dan densitas antara lapisan lunak dan lapisan kerasnya berbeda sangat tinggi sehingga nilai amplifikasinya akan bertambah tinggi juga karena dengan densitas dan  $V_s$  permukaan saja nilainya sudah relatif tinggi. Daerah dengan nilai amplifikasi sedang dari Surabaya Bagian Barat meliputi Kecamatan Pakal, Benowo, Tandes dan Asemrowo. 4 kecamatan itu merupakan kecamatan dengan aktifitas ekonomi dan kepadatan penduduk yang relatif tinggi terbukti dengan banyaknya pabrik dan pergudangan di kawasan tersebut yang membuat bencana gempa yang didukung nilai amplifikasi relatif tinggi akan menjadi bencana yang sangat terasa dampaknya secara material terutama karena banyak pabrik dan pergudangan disana dan apabila tidak diantisipasi dengan baik dapat juga menimbulkan korban jiwa.

Surabaya Bagian Barat memiliki nilai amplifikasi yang rendah di formasi Qpk, Qtp dan Tpl karena beda  $V_s$  dan densitas antara lapisan lunaknya dan lapisan keras tidak terlalu jauh. Lapisan keras dan lunak di daerah antiklin Surabaya Bagian Barat merupakan batuan sedimen sehingga kontras impedansi diantara kedua lapisan tidak terlalu besar. Sehingga saat terjadi guncangan gempa wilayah antiklin Surabaya bagian barat relatif aman dari bahaya amplifikasi gempa dibanding daerah utara Surabaya Bagian Barat.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan di 23 titik pengukuran MASW Surabaya bagian barat dapat disimpulkan bahwa

1. Nilai Vs30 Surabaya Bagian Barat berkisar antara 178-290 m/s dengan daerah rawan berada di Utara yang memiliki nilai Vs30 antara 178-189 m/s
2. Sebaran nilai amplifikasi di Surabaya bagian barat terbagi menjadi 2 zona yaitu zona aman dan sedang. Zona aman berada di antiklin Lidah dan Guyangan sementara zona sedang berada di formasi aluvium. Khusus untuk aluvium bagian utara nilai amplifikasi sedang merupakan nilai amplifikasi relatif karena sampai kedalaman 40 meter lapisan keras tidak ditemukan.

### **5.2 Saran**

Untuk pengembangan penelitian ini penulis memberi saran

1. Perlunya korelasi dengan data N-SPT atau VES untuk dikombinasi sehingga memperkuat hasil penelitian
2. Adanya kolaborasi tindak lanjut bersama departemen Teknik Sipil atau Planologi untuk menentukan rancang bangun dan tata kota yang sesuai untuk Wilayah Surabaya Bagian Barat dengan kondisi tanah yang telah didapatkan dari penelitian kali ini

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

## Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional Indonesia (2012), "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)", *Sni 1726:2012*, hal. 149.
- Everett, M.E. (2013), *Near-surface applied geophysics*.
- Gardner, G.H., Gardner, L. dan Gregory, A.. (1974), *Formation Velocity and Density The Diagnostic Basics For Stratigraphic Traps*, Vol.39, No.6, hal. 770–780.
- Grandis, H. (2009), *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI).
- Lowrie, W. (2007), *Fundamentals of Geophysics*, 2nd Ed., Cambridge University.
- Marijijyono (2010), *Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah Dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung*, ITB.
- Mufida, A., Santosa, B.J. dan Warnana, D.D. (2013), *Profiling Kecepatan Gelombang Geser (  $V_s$  ) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor*, Vol.2, No.2.
- Oliviera, C. sousa, Roca, A. dan Goula, X. (2006), *Assessing and Managing Earthquake Risk*. <http://doi.org/10.1007/978-1-4020-3608-8>.
- Park, C., Park, C.B., Miller, R.D., Miller, R., Xia, J. dan Xia, J. (1999), "Multichannel analysis of surface waves", *Geophysics*, Vol.64, No.June, hal. 800–808. <http://doi.org/10.1190/1.1444590>.
- Pusgen dan PUPR, K. (2017), *PETA SUMBER DAN BAHAYA GEMPA INDONESIA TAHUN 2017*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Rahmaningtyas, A.P., Purwanto, M.S. dan Widodo, A. (2017), "Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan Kerentanan Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor Jalur Sesar Kendeng", *Jurnal Geosaintek*, Vol.3, No.2, hal. 107. <http://doi.org/10.12962/j25023659.v3i2.2966>.
- Rošer, J. dan Gosar, A. (2010), "Determination of  $V_{s30}$  for seismic ground classification in the ljubljana area, Slovenia", *Acta Geotechnica Slovenica*, Vol.7, No.1, hal. 61–76.

- Sheriff, R.. dan Geldart, L.. (1995), *exploration Seismology*, 2nd Ed., Cambridge University.
- Sukardi, Supandjono, J.., Hasan, K., Panggabean, H. dan Satria, D. (1992), *Geologi Lembar Surabaya dan Sapuluh*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Tsutomu Sato, Y.N. and J.S. (2004), "Evaluation of the Amplification Characteristics of Subsurface using Microtremor and Strong motion - the studies at Mexico city", *13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004 Paper No. 862*, No.862.
- Tuladhar, R., Yamazaki, F., Warnitchai, P. dan Saita, J. (2004), "Seismic microzonation of the greater Bangkok area using microtremor observations", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.33, No.2, hal. 211–225. <http://doi.org/10.1002/eqe.345>.
- Xia, J., Miller, R.D. dan Park, C.B. (1999), *Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves*, Vol.64, No.3, hal. 691–700.

## Lampiran



Gambar 1 Proses Akuisisi MASW

Tabel 1 Perhitungan Amplifikasi

| line | latitude   | longitude        | Vs a<br>(m/s) | Vs b<br>(m/s) | Vp a<br>(m/s) | Vp b<br>(m/s) | $\rho$ a<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\rho$ b<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | amp  |
|------|------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|------|
| 1B   | 7°13.339'S | 112°<br>37.085'E | 366,4         | 91,19         | 650           | 400           | 1,51                             | 1,34                             | 4,54 |
| 2B   | 7°12.478'S | 112°<br>39.028'E | 330,55        | 79,32         | 710           | 410           | 1,55                             | 1,35                             | 4,78 |
| 3B   | 7°15.406'S | 112°41.832'E     | 410,77        | 114,07        | 640           | 340           | 1,51                             | 1,29                             | 4,22 |
| 4B   | 7°16.517'S | 112°<br>41.569'E | 363,79        | 196,12        | 790           | 430           | 1,59                             | 1,37                             | 2,16 |
| 5B   | 7°16.161'S | 112°<br>40.851'E | 419,39        | 168,09        | 820           | 500           | 1,61                             | 1,42                             | 2,82 |
| 6B   | 7°16.869'S | 112°39.410'E     | 399,98        | 160           | 760           | 470           | 1,58                             | 1,40                             | 2,82 |
| 7B   | 7°14.366'S | 112°<br>36.577'E | 533,33        | 230           | 860           | 620           | 1,62                             | 1,50                             | 2,52 |
| 8B   | 7°14.534'S | 112°<br>38.150'E | 440,19        | 122,89        | 520           | 370           | 1,43                             | 1,32                             | 3,90 |
| 9B   | 7°14.783'S | 112°38.550'E     | 399,44        | 111,89        | 660           | 430           | 1,52                             | 1,37                             | 3,97 |
| 10B  | 7°15.300'S | 112°39.866'E     | 397,47        | 137,57        | 840           | 420           | 1,62                             | 1,36                             | 3,44 |
| 11B  | 7°14.279'S | 112°41.817'E     | 411,95        | 101,5         | 620           | 430           | 1,50                             | 1,37                             | 4,45 |
| 12B  | 7°13.724'S | 112°<br>41.494'E | 357,8         | 93,8          | 640           | 420           | 1,51                             | 1,36                             | 4,24 |
| 13B  | 7°17.452'S | 112°42.426'E     | 386,25        | 160           | 860           | 490           | 1,62                             | 1,41                             | 2,78 |
| 14B  | 7°17.862'S | 112°40.586'E     | 390,42        | 164,5         | 780           | 430           | 1,59                             | 1,37                             | 2,75 |
| 15B  | 7°18.177'S | 112°41.532'E     | 392,08        | 173,98        | 790           | 470           | 1,59                             | 1,40                             | 2,57 |
| 16B  | 7°18.035'S | 112°38.353'E     | 343,84        | 145,55        | 810           | 420           | 1,60                             | 1,36                             | 2,78 |
| 17B  | 7°19.170'S | 112°40.409'E     | 344,17        | 101,87        | 710           | 430           | 1,55                             | 1,37                             | 3,83 |
| 18B  | 7°18.147'S | 112°42.349'E     | 427,7         | 162,27        | 850           | 530           | 1,62                             | 1,44                             | 2,97 |
| 19B  | 7°19.884'S | 112°40.458'E     | 417,36        | 201,34        | 810           | 400           | 1,60                             | 1,34                             | 2,47 |
| 20B  | 7°19.699'S | 112°39.963'E     | 403,36        | 168,81        | 770           | 400           | 1,58                             | 1,34                             | 2,81 |
| 21B  | 7°16.326'S | 112°38.194'E     | 393,77        | 169,03        | 840           | 450           | 1,62                             | 1,38                             | 2,72 |
| 22B  | 7°18.914'S | 112°39.150'E     | 379,9         | 115,54        | 700           | 430           | 1,54                             | 1,37                             | 3,71 |
| 23B  | 7°19.314'S | 112°37.979'E     | 333,32        | 159,98        | 820           | 490           | 1,61                             | 1,41                             | 2,37 |

Tabel 2 Tabel Nilai Densitas Kedalaman 30 Meter

| Line     | Lintang     | Bujur         | densitas 30 |
|----------|-------------|---------------|-------------|
| Line 1B  | 7° 13.339'S | 112° 37.085'E | 1,414       |
| Line 2B  | 7° 12.478'S | 112° 39.028'E | 1,481       |
| Line 3B  | 7°15.406'S  | 112°41.832'E  | 1,430       |
| Line 4B  | 7° 16.517'S | 112° 41.569'E | 1,492       |
| Line 5B  | 7° 16.161'S | 112° 40.851'E | 1,565       |
| Line 6B  | 7°16.869'S  | 112°39.410'E  | 1,520       |
| Line 7B  | 7° 14.366'S | 112° 36.577'E | 1,373       |
| Line 8B  | 7° 14.534'S | 112° 38.150'E | 1,403       |
| Line 9B  | 7°14.783'S  | 112°38.550'E  | 1,589       |
| Line 10B | 7°15.300'S  | 112°39.866'E  | 1,475       |
| Line 11B | 7°14.279'S  | 112°41.817'E  | 1,475       |
| Line 12B | 7° 13.724'S | 112° 41.494'E | 1,444       |
| Line 13B | 7°17.452'S  | 112°42.426'E  | 1,444       |
| Line 14B | 7°17.862'S  | 112°40.586'E  | 1,415       |
| Line 15B | 7°18.177'S  | 112°41.532'E  | 1,584       |
| Line 16B | 7°18.035'S  | 112°38.353'E  | 1,600       |
| Line 17B | 7°19.170'S  | 112°40.409'E  | 1,607       |
| Line 18B | 7°18.147'S  | 112°42.349'E  | 1,616       |
| Line 19B | 7°19.884'S  | 112°40.458'E  | 1,549       |
| Line 20B | 7°19.699'S  | 112°39.963'E  | 1,431       |
| Line 21B | 7°16.326'S  | 112°38.194'E  | 1,527       |
| Line 22B | 7°18.914'S  | 112°39.150'E  | 1,574       |
| Line 23B | 7°19.314'S  | 112°37.979'E  | 1,601       |

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

## Biodata Penulis



Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Lahir di Gresik pada 24 November 1995, anak dari pasangan Ahmad Muhaimin dan Amiyah yang bertempat tinggal di RT 02 RW 02 Meluwur Glagah Lamongan. Menghabiskan pendidikan masa kecil di TKM darul Huda kemudian dilanjutkan di MI Darul Huda Meluwur Glagah Lamongan pada tahun 2002-2008 dan setelah lulus dari sekolah dasar melanjutkan pendidikannya di Kabupaten Gresik. Masa SMP penulis mengenyam pendidikan di MTs Assa'adah 1 pada tahun 2008-2011 dan SMA di SMA Assa'adah Bungah Gresik pada tahun 2011-2014. Untuk masa kuliah penulis menuntut pendidikan di Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Angkatan 2014. Selama kuliah penulis memiliki beberapa pengalaman dalam berorganisasi, dimulai dari Staff Departemen Dalam Negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS 2015-2016, kemudian menjadi Koordinator wilayah 4 Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia tahun 2016-2017, setelah itu penulis menjadi Badan Pengawas Himpunan Geofisika Indonesia 2017-2018. Beberapa kali mengikuti kepanitiaan diantaranya menjadi Ketua Pelaksana Kuliah Lapangan Geologi Karangasambung, Kebumen 2016 dan menjadi staff divisi Keamanan dan Perizinan Kuliah Lapangan Terpadu Teknik Geofisika ITS 2017.

Memiliki pengalaman kerja di BPPTKG Yogyakarta (2017) dengan Tema "Perhitungan Energi Kumulatif Gempa Vulkanotektonik Gunung Merapi Februari 2016 - Mei 2017 Menggunakan Seismic Analysis Code (SAC)". Penulis pernah mengikuti kuliah lapangan Geologi Formasi Kabuh di Jombang(2015) dan Karangasambung, Kebumen (2016). Selain itu pernah juga mengikuti Kuliah Lapangan Terpadu di Surabaya dengan menggunakan metode Gravity, Magnetik, Mikrotremor, Seismik Refraksi, Seismik Refleksi, VES dan Resistivitas (2017). Pernah juga mengikuti penelitian dosen di Bromo dengan metode Gravity, Magnetik dan Mikrotremor (2017).

Sebagai Penutup penulis berjanji setelah menjadi lulusan DTG akan bersedia (jika diundang) atau berinisiatif menjadi narasumber pada acara kuliah

tamu dengan bahasan terkait Teknik Geofisika di DTG dan menjadi bagian dari Ikatan Alumni Teknik Geofisika ITS. Jika ingin berdiskusi lebih jauh terkait Tugas Akhir atau ingin menghubungi penulis dapat melalui [fatkhur.rohman8@gmail.com](mailto:fatkhur.rohman8@gmail.com) , sekian dan terimakasih.