



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - RF141501**

**PEMETAAN KECEPATAN GELOMBANG GESER ( $V_s30$ )  
METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE  
WAVE* UNTUK ZONASI AMPLIFIKASI GEMPA WILAYAH  
SURABAYA BAGIAN TIMUR**

**ARDIANTO**  
NRP 3714100012

Dosen Pembimbing  
M. Singgih Purwanto, S.Si., MT.  
NIP. 19800916 200912 1 002  
Anik Hilyah, S.Si., MT.  
NIP. 19790813 200812 2 002

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





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - RF141501**

**PEMETAAN KECEPATAN GELOMBANG GESER ( $V_s30$ )  
*METODE MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE  
WAVE* UNTUK ZONASI AMPLIFIKASI GEMPA WILAYAH  
SURABAYA BAGIAN TIMUR**

**ARDIANTO**  
NRP 3714100012

Dosen Pembimbing  
M. Singgih Purwanto, S.Si., MT.  
NIP. 19800916 200912 1 002  
Anik Hilyah, S.Si., MT.  
NIP. 19790813 200812 2 002

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

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**UNDERGRADUATE THESIS - RF141501**

**SHEAR WAVES VELOCITY ( $V_{s30}$ ) MAPPING USING  
MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE  
METHOD FOR EARTH QUAKE AMPLIFICATION  
ZONATION IN EASTERN SURABAYA**

**ARDIANTO**  
NRP 3714100012

Supervisors  
M. Singgih Purwanto, S.Si., MT.  
NIP. 19800916 200912 1 002  
Anik Hilyah, S.Si., MT.  
NIP. 19790813 200812 2 002

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

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**PEMETAAN KECEPATAN GELOMBANG GESER ( $V_s30$ )  
METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE  
WAVE* UNTUK ZONASI AMPLIFIKASI GEMPA  
WILAYAH SURABAYA BAGIAN TIMUR**

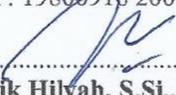
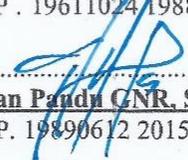
**TUGAS AKHIR**

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

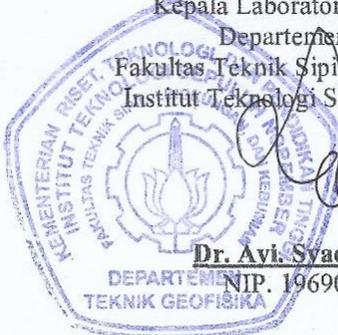
Surabaya, 25 Juli 2018

Menyetujui,

-   
.....  
1. **M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T.** (Pembimbing I)  
NIP. 19800916 200912 1 002
-   
.....  
2. **Anik Hilyah, S.Si., M.T.** (Pembimbing II)  
NIP. 19790813 200812 2 002
-   
.....  
3. **Dr. Widya Utama, DEA.** (Penguji I)  
NIP. 19611024 198803 1 001
-   
.....  
4. **Juan Pandu GNR, S.Si., M.T.** (Penguji II)  
NIP. 19890612 201504 1 003

Mengetahui,

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



**Dr. Avi Syaeful Bahri, S.Si., MT**  
NIP. 19690906 199702 1 001

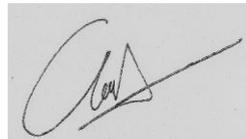
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Pemetaan Kecepatan Gelombang Geser (Vs30) Metode *Multichannel Analysis Of Surface Wave* Untuk Zonasi Amplifikasi Gempa Wilayah Surabaya Bagian Timur”** 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 Juli 2018



Ardianto  
Nrp .3714100012

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **PEMETAAN KECEPATAN GELOMBANG GESER (VS30) METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE* UNTUK ZONASI AMPLIFIKASI GEMPA WILAYAH SURABAYA BAGIAN TIMUR**

Nama Mahasiswa : Ardianto  
NRP : 3714100012  
Departemen : Teknik Geofisika FTSLK-ITS  
Dosen Pembimbing : M. Singgih Purwanto, S.Si,MT.  
Anik Hilyah, S.Si., MT.

## **ABSTRAK**

Surabaya merupakan daerah dengan kondisi geologi berupa cekungan endapan aluvium dan batu pasir, sehingga mempunyai potensi bahaya lebih besar terhadap efek intensitas getaran tanah akibat amplifikasi gempa bumi. Penelitian ini dilakukan untuk memetakan nilai amplifikasi dan Vs30 di wilayah Surabaya bagian timur dengan jumlah total 22 titik pengukuran. Metode *multichannel Analysis of Surface wave* (MASW) digunakan untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang geser (Vs) dan nilai densitas batuan didapat dari hasil konversi nilai kecepatan gelombang kompresi (Vp) menggunakan persamaan *gardner*. Nilai kecepatan gelombang geser hasil penelitian yaitu 183,61 m/s - 262,62 m/s yang tergolong tanah lunak (kelas D menurut UBC 97). Nilai Amplifikasi hasil penelitian yaitu 2,799 -7,928 yang memiliki kecenderungan membesar kearah timur. Zona amplifikasi Surabaya bagian timur terbagi menjadi rendah, sedang, dan tinggi. Zona amplifikasi Surabaya bagian timur didominasi oleh zona sedang di hampir seluruh wilayah, lalu zona tinggi di wilayah Kecamatan Bulak, Sukolilo dan Kenjeran serta sebagian kecil zona rendah di wilayah kecamatan Rungkut dan Gayungan. Hasil tugas akhir ini dapat menjadi rujukan bagi pemerintah kota Surabaya dalam upaya mitigasi bencana.

*Kata kunci : Amplifikasi, gelombang geser, impedansi, MASW*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **SHEAR WAVES VELOCITY (VS 30) MAPPING USING MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE METHOD FOR EARTHQUAKE AMPLIFICATION ZONATION IN EASTERN SURABAYA**

Student Name : Ardianto  
NRP : 3714100012  
Departement : Geophysical engineering FTSLK-ITS  
Supervisors : M. Singgih Purwanto, S.Si., MT.  
Anik Hilyah, S.Si., MT.

## **ABSTRACT**

Surabaya is an area with a geological condition in the form of alluvium sedimentary basin and sandstone, so it has a greater potential danger to the effects of ground vibration intensity due to earthquake amplification. This study was conducted to map the amplification and Vs30 values in eastern Surabaya with a total of 22 points of measurement. Multichannel analysis surface wave (MASW) method is used to obtain the value of shear wave velocity (Vs) and rock density value obtained from the conversion value of compression wave velocity (Vp) using Gardner equation. The value of shear wave velocity of the research results is 183.61 m/s - 262.62 m/s which is classified as soft soil (class D according to UBC 97). Amplification value of research results that is 2.799 - 7.928 which has a tendency to enlarge towards the east. East Surabaya amplification zone is divided into low, medium, and high. The amplification zone of eastern Surabaya is dominated by moderate zones across all regions, then high zones in Bulak, Sukolilo and Kenjeran sub-districts and a small fraction of low zones in Rungkut and Gayungan sub-districts. This result can be a reference for Surabaya city government in disaster mitigation efforts

*Word key : Amplification, shear wave, MASW*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena dengan rahmat dan ridho-Nya Sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “Pemetaan Kecepatan Gelombang Geser (Vs30) *Metode Multichannel Analysis Of Surface Wave* Untuk Zonasi Amplifikasi Gempa Wilayah Surabaya Bagian Timur” 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, Adek, Kakek, Bude dan semua keluarga atas dukungan dan doa yang selalu ditujukan kepada penulis selama kuliah terutama selama menjalani Tugas Akhir ini.
2. Bapak M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T dan Ibu Anik Hilyah, S.Si., MT. selaku pembimbing yang telah sabar dan penuh ketulusan dalam membimbing saya dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
3. Seluruh Tim MASW (Novien, Novritsa, Husnia, dan Fani) yang selalu menemani dan mendukung penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Teman-teman volunteer akuisisi data MASW yang telah banyak membantu, terkhusus Dwipa, Fadel dan Maudika yang banyak membantu secara tenaga maupun moril.
5. Teman-teman penghuni kontrakan PKC yang selama ini telah mendukung dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen dan pegawai administrasi Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
7. Teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2014 atas dukungannya.
8. 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 yang telah membantu. Karena tiada balasan bagi kebaikan kecuali kebaikan. 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 Juli 2018

Ardianto

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRCT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Geologi Surabaya .....	3
2.2 Kegempaan Kota Surabaya.....	4

2.3	Metode <i>Multichannel Analysis of Surface Wave</i> (MASW) .....	5
2.4	Gelombang <i>Rayleigh</i> .....	7
2.4.1	Dispersi Gelombang <i>Rayleigh</i> .....	8
2.5	Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ ) .....	10
2.6	Amplifikasi gelombang gempa .....	11
2.7	Penelitian Sebelumnya .....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		15
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	15
3.2	Alat dan Bahan .....	16
3.3	Diagram Alir Penelitian .....	16
3.4	Tahapan Penelitian .....	18
3.4.1.	Penentuan titik lokasi penelitian dan desain akuisisi .....	18
3.4.2.	Akuisisi data MASW .....	19
3.4.3	Pengolahan data MASW .....	19
3.4.4	Tahap Perolhan nilai densitas .....	26
3.4.5	Perhitungan nilai amplifikasi .....	26
3.4.6	Pemetaan Nilai $V_{s30}$ dan Amplifikasi .....	27

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Hasil Vs30 Surabaya bagian timur .....	29
4.2 Hasil nilai Vp dan densitas .....	32
4.3 Hasil Perhitungan Amplifikasi .....	34
4.4 Hasil pemetaan.....	35
4.4.1 Pemetaan Vs30 .....	36
4.4.2 Pemetaan Amplifikasi .....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	41
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN.....	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Surabaya bagian timur (Soekardi, 1992) .....	3
Gambar 2.2 Ilustrasi desain akuisisi MASW aktif (Park, dkk, 1999) .....	6
Gambar 2.3 Parameter Akuisisi Maksimum MASW (MASW.com) .....	6
Gambar 2.4 Perambatan gelombang <i>rayleigh</i> (Elnashai dkk,2008) .....	7
Gambar 2.5 Grafik kecepatan sudut gelombang <i>rayleigh</i> (Solihan dkk, 2009) ...	10
Gambar 2.6 Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik dan frekuensi resonansi di tanah permukaan (Nakamura, 1989) .....	12
Gambar 2.7 Peta Vs30 Kota Jakarta dengan Metode MASW Metode MASW (Juwita, dkk 2016).....	13
Gambar 2.8 Peta Amplifikasi Surabaya Metode Mikrotremor (Rahmaningtyas dkk,2017).....	14
Gambar 3.1 lokasi titik pengukuran .....	15
Gambar 3.2 Alur kerja secara umum.....	17
Gambar 3.3 Alur kerja pengolahan data MASW .....	18
Gambar 3.4 Ilustrasi akuisisi data MASW .....	19
Gambar 3.5 Tampilan gelombang seismik hasil pengukuran pada <i>seisee</i> .....	20
Gambar 3.6 Proses <i>filter bandpass</i> pada <i>seisee</i> .....	20
Gambar 3.7 Hasil dari <i>filter bandpass</i> pada <i>seisee</i> .....	21
Gambar 3.8 Tampilan awal setelah input data di easy MASW .....	21
Gambar 3.9 Gelombang <i>rayleigh</i> hasil <i>picking</i> .....	22
Gambar 3.10 Input parameter model sintetik .....	23
Gambar 3.11 Kurva dispersi dengan nilai maksimum amplitudo .....	23
Gambar 3.12 <i>Picking</i> fundamental mode pada kurva dispersi .....	24
Gambar 3.13 Nilai Error hasil inversi .....	25
Gambar 3.14 Profil kecepatan hasil inversi.....	25
Gambar 3.15 Nilai Vs30 dan kategori tanah .....	26
Gambar 4.1 <i>Picking</i> kurva dispersi .....	29
Gambar 4.2 Profil Vs <i>line 5</i> .....	30
Gambar 4.3 Profil Vs <i>line 21</i> .....	31
Gambar 4.4 Titik lokasi penelitian berdasarkan peta geologi .....	36
Gambar 4.5 Peta Vs 30 Surabaya bagian timur lokasi titik pengukuran .....	37
Gambar 4.6 Peta amplifikasi Surabaya bagian bagian timur.....	38
Gambar 4.7 Peta zona amplifikasi Surabaya bagian timur .....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Gempa bumi yang merusak di sekitar Surabaya .....	4
Tabel 2.2 Kasifikasi tanah berdasarkan nilai Vs30 menurut UBC97 .....	11
Tabel 2.3 Pembagian zona amplifikasi tanah.....	13
Tabel 3.1 Koordinat titik pengukuran .....	15
Tabel 4.1 Nilai Vs30 Surabaya bagian timur hasil pengolahan .....	32
Tabel 4.2 Nilai Vp dan Rho tiap titik pengukuran hasil pengolahan .....	33
Tabel 4.3 Nilai Vp beberapa batuan .....	34
Tabel 4.4 Nilai Amplifikasi tiap titik pengukuran hasil perhitungan.....	34



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar belakang

Kota Surabaya merupakan salah satu kota terpadat di Indonesia. Surabaya memiliki potensi gempa yang cukup besar. Dua sesar yang berpotensi menghasilkan gempa berkekuatan 6,5 SR adalah Sesar Waru dan Sesar Surabaya (Pusgen, 2017). Secara geologi Surabaya merupakan daerah dengan kondisi geologi berupa cekungan endapan aluvium dan batu pasir dengan sedimen berupa batu gamping dan lempung (Soekardi, 1992). Sedangkan suatu wilayah dengan kondisi geologi berupa endapan aluvium, tuff dan batu pasir mempunyai potensi bahaya lebih besar terhadap efek intensitas getaran tanah akibat amplifikasi dan interaksi getaran tanah terhadap bangunan karena gempa bumi (Nakamura, 2000).

Kecepatan gelombang geser merupakan suatu parameter yang sangat berpengaruh dalam gempa bumi dan ilmu rekayasa sipil (geoteknik) (Park dkk, 1998). Semakin besar nilai kecepatan gelombang geser maka akan semakin besar juga nilai kekakuan tanahnya yang berarti tanah semakin keras dan padat. Getaran yang disebabkan oleh gempa cenderung membesar pada tanah lunak dibanding tanah keras atau batuan (Wangsadinata, 2006).

$V_{s30}$  merupakan kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 meter dari permukaan. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa hanya lapisan-lapisan sampai kedalam 30 meter yang menentukan pembesaran gelombang gempa. Nilai  $V_{s30}$  digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempa bumi akibat efek lokal. Hadirnya perbedaan nilai  $V_s$  dan densitas pada dua lapisan menyebabkan gelombang gempa mengalami amplifikasi. Semakin kontras perbedaannya maka nilai amplifikasi semakin tinggi.

Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan dalam menentukan nilai  $V_{s30}$  adalah metode MASW. MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*) merupakan salah satu metode seismik yang dapat mengevaluasi elastisitas tanah. MASW merupakan metode seismik non-destruktif dan non-invasif yang dapat merekam perambatan gelombang *rayleigh* dalam menganalisis karakteristik fisis struktur bawah permukaan dan tingkat kekerasan batuan (Ariestiany, dkk, 2009).

Lokasi penelitian merupakan wilayah Surabaya bagian timur yang didominasi lapisan tanah alluvium (Rochman dkk., 2018), wilayah ini rawan mengalami amplifikasi pada tanahnya jika terjadi gempa bumi. Maka dari itu dirasa perlu dilakukan pemetaan zona amplifikasi gempa dan  $V_{s30}$  di wilayah Surabaya bagian timur menggunakan metode MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*). Agar dapat diketahui daerah mana saja yang nantinya akan

terkena dampak besar jika terjadi gempa selain itu dapat juga menjadi rujukan bagi sektor pemerintah Kota Surabaya dalam upaya mitigasi bencana.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendapatkan nilai Vs30 menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* wilayah Surabaya bagian timur ?
2. Bagaimana memetakan nilai Vs30 wilayah Surabaya bagian timur?
3. Bagaimana memetakan zona amplifikasi wilayah Surabaya bagian timur?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Metode MASW digunakan untuk mendapatkan nilai Vs dan Vs30.
2. Lokasi Penelitian ini merupakan wilayah Surabaya bagian timur.
3. Penelitian ini dilakukan pada 22 titik pengukuran.
4. *Software* yang digunakan untuk membuat peta adalah *software Arcgis*.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini antara lain :

1. Mendapatkan nilai persebaran Vs30 menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* di wilayah Surabaya bagian timur.
2. Membuat peta nilai Vs30 Surabaya bagian timur.
3. Membuat peta zona amplifikasi wilayah Surabaya bagian timur.

## 1.5 Manfaat Penelitian

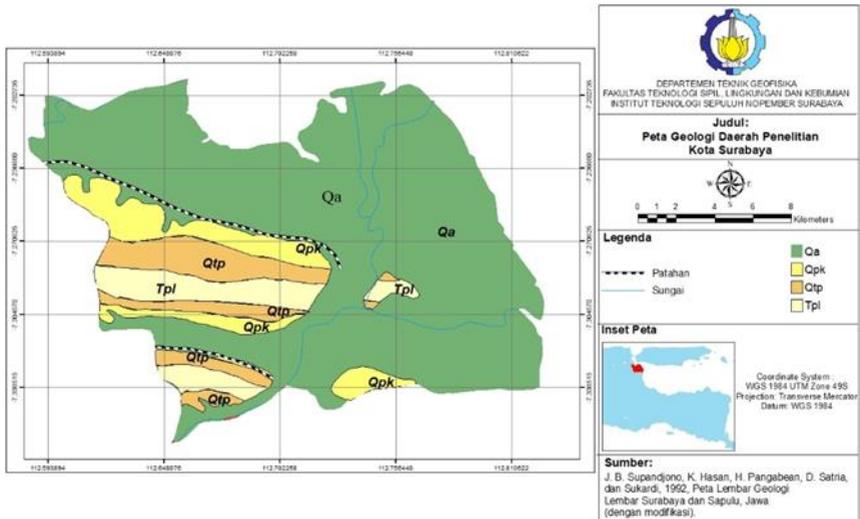
Manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai upaya mitigasi bencana.
2. Sebagai referensi bagi pemerintah Kota Surabaya dalam membuat kebijakan mengenai tata kelola wilayah Surabaya bagian timur.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Surabaya

Wilayah Kota Surabaya merupakan dominan daerah dataran rendah, yang berkisar 80% merupakan endapan aluvium dan sisanya merupakan perbukitan rendah yang dibentuk oleh tanah hasil pelapukan batuan tersier/tua. Dataran rendah meliputi wilayah Surabaya bagian timur, utara dan selatan memiliki kemiringan <3% dan terletak pada ketinggian <10m dari permukaan laut (Gultom dkk., 2018). Dataran rendah terbentuk dari endapan aluvium sungai dan endapan pantai. Bagian tengah Kota Surabaya terbentuk oleh endapan Sungai Brantas beserta cabang-cabang sungainya dan endapan Sungai Rowo. Endapan Sungai Brantas berasal dari letusan gunung-gunung berapi yang berada di hulu dan beberapa rombakan sebelumnya. Endapan ini biasanya berupa pasir (0,075 mm – 0,2 mm) dan kerikil (2 mm – 75 mm). (Soekardi, 1992)



Gambar 2.1 Peta geologi Surabaya (Soekardi, 1992). Wilayah Surabaya terdiri dari tiga formasi dan endapan aluvium, yang sebagian besar wilayahnya adalah endapan aluvium di sebelah timur.

Bagian timur dan utara sampai sepanjang Selat Madura dibentuk oleh endapan pantai yang masuk ke daratan sampai  $\pm 5$  km. Endapan pantainya terdiri dari lempung lanau dan lempung kelanauan, sisipan tipis tipis yang pada umumnya mengandung banyak kepingan kerang di beberapa tempat. Secara geologi kota Surabaya terbentuk oleh batuan sedimen yang berumur

Miosen sampai Plistosen. Batuan sedimennya adalah bagian dari lajur Kendeng dengan formasi Sonde (Tps), Lidah (Tpl), Pucangan (QTP), dan formasi Kabuh (Qpk) (Soekardi, 1992). Batuan dasar untuk kota Surabaya merupakan formasi Lidah yang berumur Pliosen (*pre-tertiary*). Formasi ini berada pada kedalaman 250 -300 meter. Selain itu daerah Surabaya berupa cekungan endapan aluvium muda hasil endapan laut dan sungai, tuf dan batu pasir (Soekardi, 1992). Gambar 2.1 merupakan peta geologi daerah penelitian yaitu wilayah Surabaya yang memiliki tiga formasi yaitu formasi Pucangan (Qtp), Kabuh (Qpk), dan Lidah (Tpl) serta endapan aluvium (Qa)

## 2.2 Kegempaan Kota Surabaya

Terdapat lima sesar yang bedekatan dan atau melintasi Surabaya dan sekitarnya; Patahan Lasem, *Early Tertiary Melange*, *Flores Backarc Thrust*, Sesar Kendeng, dan Patahan Watukosek. Tetapi hanya tiga sesar yang merupakan sumber gempa bumi aktif yang berpeluang memicu gempa bumi di Surabaya dan sekitarnya. Pertama, zona subduksi sepanjang selatan pulau Jawa, yang terletak sekitar 300 km selatan Surabaya. Kedua, sesar strike slip (Lasem *Fault*) yang terletak sekitar 75 km barat laut dari Surabaya yang ketiga Sesar Kendeng yang merupakan zona sesar yang memanjang mengarah barat timur dari Jawa Tengah hingga bagian barat Jawa Timur (Lestari dkk., 2018) . Sedangkan Patahan Watukosek yang memanjang dari Gunung panunggungan melewati Lumpur Sidoarjo (LUSI) menuju Gunung Anyar Surabaya hingga sampai ke Madura dulu didentifikasi sebagai patahan aktif, namun akhir-akhir ini Patahan tersebut tidak aktif lagi . Bukti keaktifan patahan ini dapat dilihat dari membelokan Sungai porong secara tiba-tiba. Tabel 2.1 merupakan gempa bumi destruktif yang terjadi di sekitar Surabaya mulai tahun 1800 sampai dengan 2001

Tabel 2.1 Gempa bumi yang merusak di sekitar Surabaya (Sunarjo dkk., 2012).

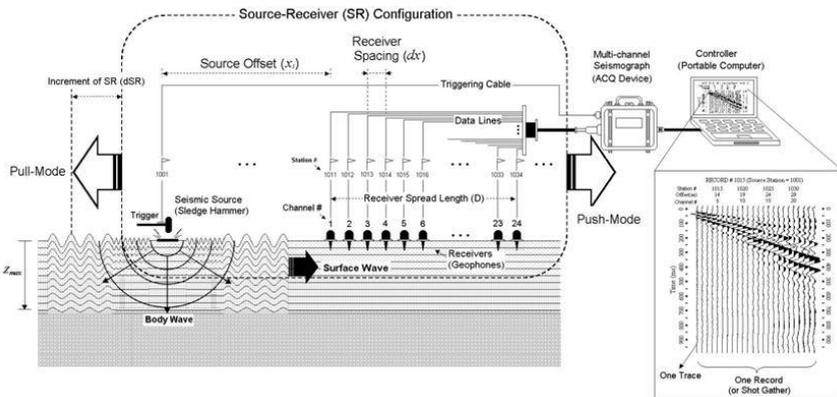
Tanggal	Episenter	Jarak episenter	Intensitas (MMI)
22 Maret 1836	Mojokerto	60 km barat daya	VII-VIII
31 Agustus 1902	Sedayu Gresik	40 km barat laut	VI
11 Agustus 1939	Laut Jawa	60 km barat laut	VII
19 Juni 1950	Laut Jawa	110 barat laut	VII
20 Nopember 1958	Malang	95 km	VII-VIII

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

Pada tahun 2017 telah dikeluarkan peta zona sesar di pulau Jawa oleh tim Pusgen. Terdapat dua Sesar yang melewati Kota Surabaya, yaitu Sesar Waru dan Sesar Surabaya. Kedua sesar ini berada di bagian barat Kota Surabaya. Sesar Waru memiliki potensi gempa sekitar 6,5 SR dengan pergerakan 0,05mm per tahun. Sesar Surabaya memiliki potensi gempa sekitar 6,5 SR dengan pergerakan 0,05mm per tahun. Setelah diketahui terdapat dua sesar tersebut maka Surabaya menjadi rawan diguncang gempa akibat aktifnya sesar (PusGen, 2017) untuk lebih jelasnya mengenai lokasi dan panjang sesar dapat dilihat pada gambar 2.1 dimana sesar Surabaya merupakan patahan yang berada di utara sedangkan sesar waru berada di wilayah selatan.

### 2.3 Metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW)

Metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) pertama kali diperkenalkan oleh Park dkk (1999). Metode ini merupakan metode survei seismik yang digunakan untuk mengidentifikasi karakter geoteknik dekat permukaan dengan memanfaatkan gelombang permukaan *rayleigh* sebagai sinyal utamanya (C B Park dkk., 1999). Gelombang permukaan *rayleigh* mempunyai sifat dispersi, kecepatan fase gelombangnya bergantung pada frekuensi gelombang. Sifat dispersif yang dimiliki gelombang permukaan *Rayleigh* memberikan manfaat untuk mengidentifikasi ketebalan lapisan yang bersesuaian dengan kecepatan gelombang geser sehingga dapat diperoleh profil Vs30 dalam 1-D, 2-D dan 3-D. Nilai Vs30 dapat dipergunakan untuk mengklasifikasikan tanah yang berguna untuk perencanaan bangunan tahan gempa bumi. Pada proses perencanaan ketahanan gempa bumi sangat dipengaruhi oleh lokasi serta kondisi tanah. Berdasarkan sumbernya, MASW dibagi menjadi dua jenis, MASW aktif dan MASW pasif. MASW aktif menggunakan sumber yang dapat dikontrol seperti palu dan *weight drop*. MASW aktif dapat menangkap informasi antara frekuensi 5-100 Hz, sehingga dapat memberikan profil Vs hingga kedalaman 30 meter di bawah permukaan. MASW pasif, atau dikenal juga sebagai metode ReMi (*Refraction Microtremors*) (Louie, 2001).



Gambar 2.2 Ilustrasi desain akuisisi MASW aktif (C B Park dkk., 1999). Arah panah hitam menunjukkan arah gerak gelombang *surface wave* yang merambat dari sumber yang kemudian ditangkap oleh *geophone*

Gambar 2.2 menjelaskan bahwa *shot* dari akuisisi MASW berada pada *offset* kemudian gelombang permukaan merambat melalui tanah dan ditangkap *geophone* yang kemudian menjadi data *trace* seismik. Metode MASW sangat populer dalam identifikasi zona-zona rawan guncangan gempa bumi, dan diklasifikasi berdasarkan site class yang mengacu pada nilai kecepatan gelombang shear ( $V_{s30}$ ) oleh *National Earthquake Hazard Reduction Program* (NEHRP, 2000) Menurut Park dkk, 2007 MASW dapat dilakukan dalam 3 tahap yaitu (1) akuisisi; (2) ekstraksi kurva dispersi; (3) inversi kurva dispersi. Metode

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

\*\*\*Most Recommended Values

Depth ( $Z_{max}$ ) <sup>1</sup> (m)	Source (S) <sup>2</sup> (lb)	Receiver (R) <sup>3</sup> (Hz)	Receiver Spread (RS) (m)				SR Move <sup>6</sup> (dx)			Recording <sup>8</sup>				
			Length <sup>4</sup> (D)	Source Offset <sup>5</sup> ( $X_1$ )	Receiver Spacing (dx)		Lateral Resolution <sup>7</sup>			$dt^9$ (ms)	$T^{10}$ (sec)	Vertical Stack <sup>11</sup>		
					24-ch <sup>*</sup>	48-ch	High	Medium	Low			C	N	VN
≤ 1.0	≤ 1 <b>[1]**</b>	4.5–100 <b>[40]</b>	1–3 <b>[2.0]</b>	0.2–3.0 <b>[0.4]</b>	0.05–0.1 <b>[0.05]</b>	0.02–0.05 <b>[0.05]</b>	1–2 <b>[1]</b>	2–4 <b>[2]</b>	4–12 <b>[4]</b>	0.5–1.0 <b>[0.5]</b>	0.5–1.0 <b>[0.5]</b>	1–3 <b>[3]</b>	3–5 <b>[5]</b>	5–10 <b>[10]</b>
1–5	1–5 <b>[5]</b>	4.5–40 <b>[10]</b>	1–15 <b>[10]</b>	0.2–15 <b>[2]</b>	0.05–0.6 <b>[0.5]</b>	0.02–0.3 <b>[0.25]</b>	1–2 <b>[1]</b>	2–4 <b>[2]</b>	4–12 <b>[4]</b>	0.5–1.0 <b>[0.5]</b>	0.5–1.0 <b>[0.5]</b>	1–3 <b>[3]</b>	3–5 <b>[5]</b>	5–10 <b>[10]</b>
5–10	5–10 <b>[10]</b>	≤ 10 <b>[4.5]</b>	5–30 <b>[20]</b>	1–30 <b>[4]</b>	0.2–1.2 <b>[1.0]</b>	0.1–0.6 <b>[0.5]</b>	1–2 <b>[1]</b>	2–4 <b>[2]</b>	4–12 <b>[4]</b>	0.5–1.0 <b>[0.5]</b>	0.5–1.0 <b>[1.0]</b>	1–3 <b>[3]</b>	3–5 <b>[5]</b>	5–10 <b>[10]</b>
10–20	≥ 10 <b>[20]</b>	≤ 10 <b>[4.5]</b>	10–60 <b>[30]</b>	2–60 <b>[10]</b>	0.4–2.5 <b>[1.5]</b>	0.2–1.2 <b>[1.0]</b>	1–2 <b>[1]</b>	2–4 <b>[2]</b>	4–12 <b>[4]</b>	0.5–1.0 <b>[0.5]</b>	1.0–2.0 <b>[1.0]</b>	1–3 <b>[3]</b>	3–5 <b>[5]</b>	5–10 <b>[10]</b>
20–30	≥ 10 <b>[20]</b>	≤ 4.5 <b>[4.5]</b>	20–90 <b>[50]</b>	4–90 <b>[10]</b>	0.8–3.8 <b>[2.0]</b>	0.4–1.9 <b>[1.5]</b>	1–2 <b>[1]</b>	2–4 <b>[2]</b>	4–12 <b>[4]</b>	0.5–1.0 <b>[1.0]</b>	1.0–2.0 <b>[1.0]</b>	1–3 <b>[3]</b>	3–5 <b>[5]</b>	5–10 <b>[10]</b>
30–50	≥ 10 or passive <b>[20]</b>	≤ 4.5 <b>[4.5]</b>	30–150 <b>[70]</b>	6–150 <b>[15]</b>	1.2–6.0 <b>[3.0]</b>	0.6–3.0 <b>[2.0]</b>	1–2 <b>[1]</b>	2–4 <b>[2]</b>	4–12 <b>[4]</b>	0.5–1.0 <b>[1.0]</b>	1.0–3.0 <b>[1.0]</b>	1–3 <b>[3]</b>	3–5 <b>[5]</b>	5–10 <b>[10]</b>
> 50	≥ 10 or passive <b>[20]</b>	≤ 4.5 <b>[4.5]</b>	> 50 <b>[150]</b>	> 10 <b>[30]</b>	> 2.0 <b>[6.0]</b>	> 1.0 <b>[4.0]</b>	1–2 <b>[1]</b>	2–4 <b>[2]</b>	4–12 <b>[4]</b>	0.5–1.0 <b>[1.0]</b>	≥ 1.0 <b>[2.0]</b>	1–3 <b>[3]</b>	3–5 <b>[5]</b>	5–10 <b>[10]</b>

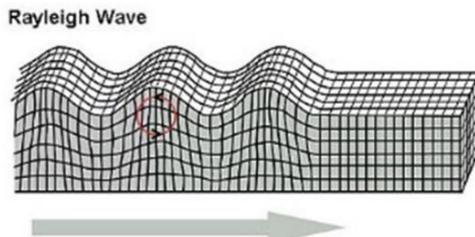
Gambar 2.3 Parameter Akuisisi Maksimum MASW (Choon B. Park dkk., 2007).

Gambar 2.3 menunjukkan bagaimana *set up* alat disesuaikan dengan kedalaman yang diinginkan. Kedalaman diatas 30 meter parameter optimumnya adalah dengan palu (*source*) lebih dari atau sama dengan 10 lb. *Receiver* dengan frekuensi lebih kecil atau sama dengan 4.5 hz panjang bentangan 30-150 meter *offset* 6-150 meter dan jarak antar *receiver* lebih dari 2m.

## 2.4 Gelombang Rayleigh

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 S pada bidang vertikal dengan pola gerakan partikel secara *ellipse retrograde* jenis gelombang permukaan yang merambat pada medium *half space*. Karakteristik lain dari gelombang *rayleigh* adalah amplitudonya menurun atau berkurang secara eksponensial terhadap kedalaman di bawah permukaan. Umumnya memiliki frekuensi rendah dengan spektrum yang tidak tajam.(Choon B. Park dkk., 2007)

Gelombang *rayleigh* merupakan jenis gelombang permukaan yang dapat mencitrakan struktur bawah permukaan dengan mudah yang diaplikasikan pada karakterisasi geoteknik. Sebab, gelombang *rayleigh* mempunyai sifat yang unik, yaitu setiap perambatan gelombang yang melewati batas lapisan material bumi akan mengalami dispersi. Selain itu efek dari gelombang *rayleigh* sangat besar, bila kekuatan pemicu (*exciting force*) diterapkan di permukaan tanah. Gelombang-gelombang *rayleigh* mencapai 67% dari energi total yang dihasilkan oleh pemicu. Oleh karena itu gelombang *rayleigh* sangat baik digunakan untuk mengidentifikasi masalah struktur tanah, karena pengurangan energi dalam perambatannya lebih rendah dari jenis gelombang seismik lainnya (Santosa, 2002).



Gambar 2.4 Perambatan gelombang *rayleigh* ( Elnashai dkk, 2008). Lingkaran merah dan panah menunjukkan arah gerak partikel sedangkan panah abu-abu menunjukkan arah rambat gelombang.

Gambar 2.4 menjelaskan perambatan gelombang *rayleigh* yang arah gerak partikelnya berbentuk elips atau melingkar beralwanaan arah jarum jam atau

searah dengan arah gerak gelombang. Gerak partikelnya juga memperlihatkan bahwa gelombang ini bergerak pada permukaan yang merupakan bagian dari gelombang permukaan.

#### 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. Sejak tahun 1980-an, gelombang permukaan dapat mencitrakan struktur bawah permukaan dengan mudah yang diaplikasikan pada karakterisasi geoteknik. Sebab, gelombang *rayleigh* mempunyai sifat yang unik, yakni setiap perambatan gelombang ini yang melewati batas lapisan material bumi mengalami disperse.

Pembuatan kurva dispersi gelombang *rayleigh* dilakukan untuk mengekstrak kurva dispersi dari data gelombang permukaan *multichannel* yang telah tercatat. Beberapa metode untuk ekstraksinya adalah : (Choon Byong Park dkk., 1998).

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* .

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 fasa-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 (Choon B. Park dkk., 2007).

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

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*:

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

$$U_j(t) \xrightarrow{FFT} \tilde{U}_j(\omega) \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.1)$$

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

$$\tilde{U}_{j, \text{norm}}(\omega) = \frac{\tilde{U}_j(\omega)}{|\tilde{U}_j(\omega)|} = p_j(\omega) \quad (2.2)$$

3. Rentang kecepatan fase untuk pengujian telah ditetapkan.

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

$$V_{R,t \text{ min}} \leq V_{R,t} \leq V_{R,t \text{ max}} \quad (2.3)$$

4. 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*

$$\Phi \chi_j = \frac{\omega \chi_j}{V_{R,t}} = \frac{\omega (\chi_1 + (j-1)dx)}{V_{R,t}} \quad (2.4)$$

5. 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  $\omega$  dan  $V_{R,t}$ .

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

$$A_a(\omega, V_{R,t}) = e^{-i\phi \chi_1} \tilde{U}_{1, \text{norm}}(\omega) + \dots + e^{-i\phi \chi_n} \tilde{U}_{n, \text{norm}}(\omega) \quad (2.5)$$

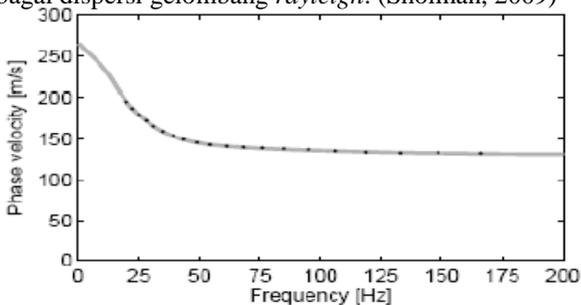
6. Langkah 4 dan 5 diulang untuk semua komponen frekuensi yang berbeda dari transmisi *shot gather* yang dikumpulkan dengan cara pemindaian menggunakan berbagai kecepatan fase pengujian, misal mengubah  $V_{R,t}$  dengan penambahan kecil dalam kisaran yang ditentukan sebelumnya.

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. (Ólafsdóttir, 2014)

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

Kecepatan sudut gelombang *rayleigh* jika dibuat grafik sebagai fungsi dari frekuensi, nampak seperti pada Gambar 2.5. Grafik yang demikian, sering kali disebut sebagai dispersi gelombang *rayleigh*. (Sholihan, 2009)



Gambar 2.5 Grafik kecepatan sudut gelombang *rayleigh* sebagai fungsi frekuensi (Sholihan, 2009). Kecepatan sudut berubah Pada 0-30 Hz selebihnya konstan.

Gambar 2.5 memperlihatkan kurva dispersi gelombang *rayleigh*. kurva yang terbentuk berbentuk eksponensial hal ini dikarenakan gelombang *rayleigh* berada pada rentang frekuensi 0-30 Hz sehingga mengalami konstan pada frekuensi setelahnya.

## 2.5 Kecepatan Gelombang Geser (Vs)

Karakteristik dinamik tanah seperti mengestimasi nilai Vs 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 gempa bumi dapat dipergunakan untuk mitigasi gempa bumi dan penentuan standar bangunan tahan gempa. Kecepatan gelombang S adalah salah satu konstanta dan dekat hubungannya dengan modulus young karena definisi yang paling korehensif dan akurat untuk kekakuan meliputi modulus young dan modulus geser (Roşer dan Gosar, 2010). Dua modulus ini bisa didefinisikan sebagai massa jenis bahan dan 2 kecepatan seismik (poisson rasio) Vp dan Vs. (Sheriff R.E., 1982). Sehingga informasi Vs dari bawah permukaan berhubungan langsung dengan properti

kekakuan bahan. Kekakuan bahan didefinisikan sebagai ukuran ketahanan terhadap deformasi dan pada akhirnya berhubungan dengan modulus elastik bahan yang digambarkan sebagai perilaku bahan dibawah tekanan.

Sebagian besar kerusakan akibat gempa terjadi karena adanya amplifikasi. Berdasarkan premis yang ditetapkan dari studi bahwa pengaruh paling dalam 30 m dan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) adalah indikator kekakuan terbaik, rata-rata  $V_s$  di 30 m atas (dilambangkan sebagai  $V_{s30m}$ ) digunakan sebagai kriteria penting.

UBC97 mengklasifikasikan 5 (lima) kelas tanah, yaitu batuan keras, batuan sedang, tanah keras batuan lunak, tanah sedang dan tanah lunak

Tabel 2.2 Kasifikasi tanah berdasarkan nilai  $V_{s30}$  (UBC, 1997)

Kelas Tanah	Deskripsi umum	$V_s$
A	Batuan Keras ( Granit, Gneis )	>1500
B	Batuan Sedang ( <i>Sandstone</i> , Schist )	760-1500
C	Tanah keras dan batuan lunak( <i>Moraine</i> )	360-760
D	Tanah Sedang ( <i>Sand</i> )	180-360
E	Tanah Lunak ( <i>Gravel</i> )	<180

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah menurut UBC97 Tanah keras yang bergetar akibat gempabumi, getarannya cenderung mempunyai kandungan frekuensi tinggi. Getaran frekuensi tinggi tersebut akan mempunyai panjang gelombang yang relatif pendek. Gelombang frekuensi tinggi relatif lebih mudah diserap energinya oleh media yang dilalui oleh gelombang gempa. Dengan demikian pada tanah keras, intensitas gempa akan beratenuasi lebih cepat atau amplifikasi spektrum semakin besar pada tanah yang lunak (Santoso, 2002). Jika mengacu pada peta geologi Surabaya, maka daerah penelitain merupakan daerah dengan formasi aluvium. Aluvium sendiri termasuk kedalam kelas tanah D dengan nilai  $V_s$  berkisar antara 180 m/s sampe 360 m/s.

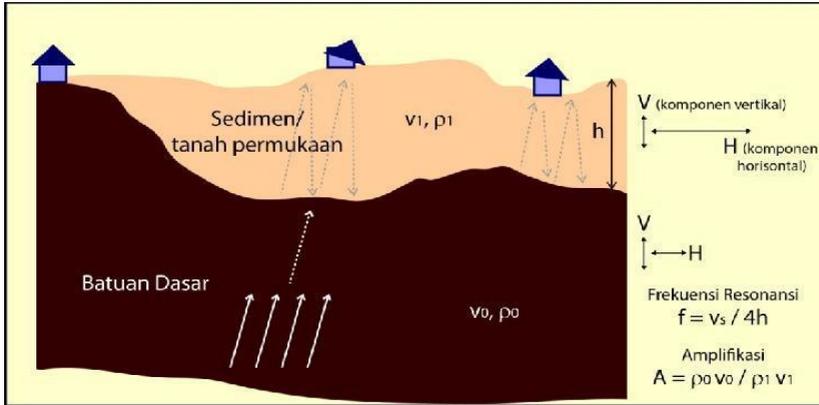
## 2.6 Amplifikasi gelombang gempa

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

Konsep dasar fenomena amplifikasi gelombang seismik (gambar 2.6) adalah keberadaan batuan sedimen/tanah permukaan (*soft soil*) di atas batuan dasar (*basement*) dengan perbedaan densitas ( $\rho$ ) dan cepat rambat gelombang

S ( $V_s$ ) yang mencolok di antara keduanya. Frekuensi resonansi banyak ditentukan oleh fisik dari lapisan sedimen yaitu ketebalan  $h$  dan kecepatan gelombang  $S$ .

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



Gambar 2.6 Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik dan frekuensi resonansi di tanah permukaan (Nakamura, 1989). Panah putih menunjukkan arah rambat gempa dari dalam bumi ketika melalui lapisan keras, dan panah abu-abu menunjukkan arah rambat gelombang gempa ketika di lapisan lunak dan gerakan memantul ketika mencapai permukaan dan kembali ke lapisan lunak.

Berdasarkan pengertian tersebut, maka amplifikasi dapat dituliskan pada persamaan 2.6 sebagai suatu fungsi perbandingan nilai kontras impedansi, yaitu:

$$A_o = \{(\rho_0 \cdot v_0) / (\rho_1 \cdot v_1)\} \tag{2.6}$$

$\rho_0$  = densitas batuan keras (gr/ml),

$\rho_1$  = densitas batuan lunak (gr/ml),

$v_0$  = kecepatan gelombang di batuan keras (m/s),

$v_1$  = kecepatan gelombang di batuan lunak (m/s).

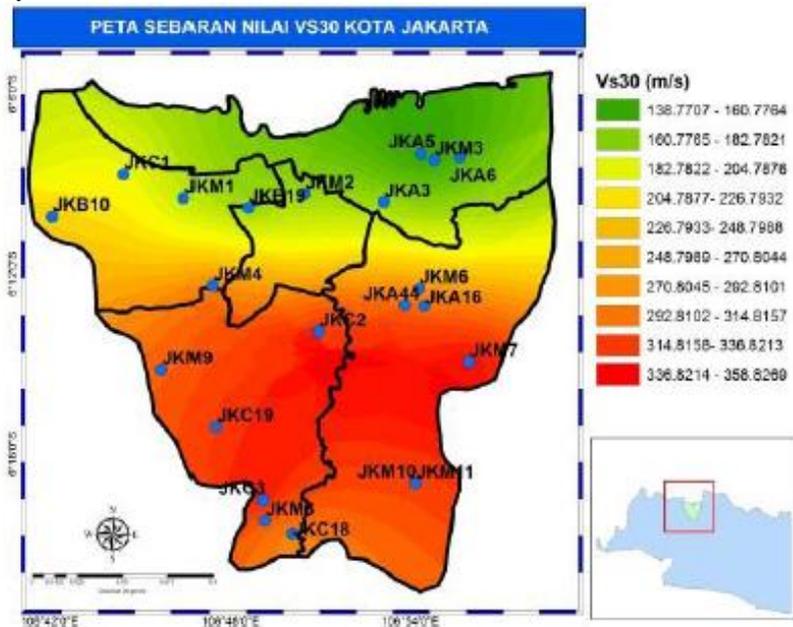
Pusat survey geologi dalam hal ini membagi zona amplifikasi tanah yang di tunjukkan pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Pembagian zona amplifikasi tanah (Marijiyono, 2010).

No	Nilai Amplifikasi tanah	Keterangan Resiko
1	0-3	Rendah
2	3-6	Sedang
3	6-9	Tinggi
4	lebih dari 9	Sangat Tinggi

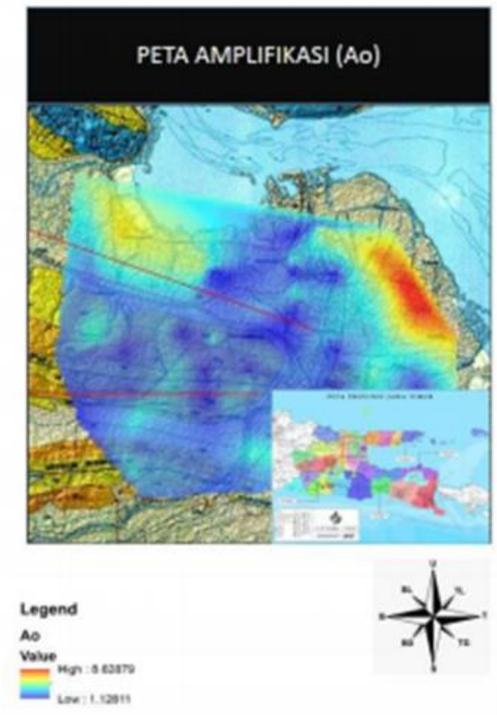
## 2.7 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sejenis yang pernah dilakukan adalah memetakan nilai  $V_{s30}$  di Kota Jakarta menggunakan metode MASW. Akuisisi dilakukan pada 21 titik yang menyebar di Jakarta. Didapat persebaran nilai  $V_{s30}$  antara 138 m/s-358 m/s (Pradita dkk., 2016). Untuk daerah seluas Kota Jakarta, penelitian tersebut dilakukan pada 21 titik, sedangkan penelitian yang akan saya lakukan adalah 22 titik untuk wilayah Surabaya bagian timur, yang hanya sekitar seperenam luas wilayah Jakarta.



Gambar 2.8 Peta  $V_{s30}$  Kota Jakarta dengan Metode MASW (Pradita dkk., 2016). Titik biru merupakan lokasi penelitian dan garis hitam adalah batas wilayah administrasi DKI Jakarta.

Selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Anindya Putri yang melakukan pemetaan amplifikasi wilayah Surabaya menggunakan metode mikrotremor, hasil yang didapat seperti gambar 2.9 berikut



Gambar 2.9 Peta Amplifikasi Surabaya Metode Mikrotremor (Rahmaningtyas dkk., 2017). Garis merah merupakan Patahan Surabaya ( di utara) dan Patahan Waru ( di selatan).

Gambar 2.9 merupakan hasil penelitian berupa peta amplifikasi daerah Surabaya yang menunjukkan bahwa daerah utara Surabaya terlebih khusus wilayah Surabaya timur bagian utara memiliki nilai amplifikasi yang tinggi yang merupakan daerah endapan aluvium.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Proses akuisisi data pada penelitian dilaksanakan pada bulan Februari 2018 hingga Maret 2018 dan bertempat di Surabaya bagian timur. Adapun susunan kegiatan penelitian terlampir pada lampiran. Sedangkan untuk lokasi penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Lokasi titik pengukuran, titik merah merupakan lokasi penelitian yang berjumlah 23 titik (google earth, 2018).

Tabel 3.2 Koordinat titik pengukuran

Nama titik	Koordinat		Lokasi Kecamatan
line 1	7°13.023'S	112°46.775'E	Bulak
line 2	7°14'39.73" S	112°47'1.70"E	Bulak
line 3	7°16.109'S	112°48.507'E	Sukolilo
line 4	7°16.837'S	112°47.882'E	Sukolilo
line 5	7°16.625'S	112°46.620'E	Mulyorejo
line 6	7°14.307'S	112°45.366'E	Simokerto
line 7	7°15.483'S	112°45.364'E	Tambaksari
line 8	7°17.654'S	112°48.876'E	sukolilo
line 9	7°18'9.04" S	112°47'58.95" E	Sukolilo
line 10	7°17.103'S	112°46.410'E	Sukolilo
line 11	7°17.351'S	112°43.929'E	Dukuh pakis

<i>line 12</i>	7° 19.721'S	112° 43.613'E	Gayungan
<i>line 13</i>	7°19.170'S	112°44.604'E	Wonocolo
<i>line 14</i>	7°19.260' S	112°46.650'E	Rungkut
<i>line 15</i>	7°19.056'S	112°48.599'E	Rungkut
<i>line 16</i>	7°19.602' S	112°47.034'E	Gunung anyar
<i>line 17</i>	7°19.704'S	112°45.513'E	Gayungan
<i>line 18</i>	7°20.565'S	112°43.247'E	Rungkut
<i>line 19</i>	7°19.979' S	112°48.114'E	Gunung anyar
<i>line 20</i>	7°20.841'S	112°47.158'E	Waru
<i>line 21</i>	7° 20.095'S	112° 45.349'E	Rungkut
<i>line 22</i>	7° 17.717'S	112° 46.205'E	Sukolilo

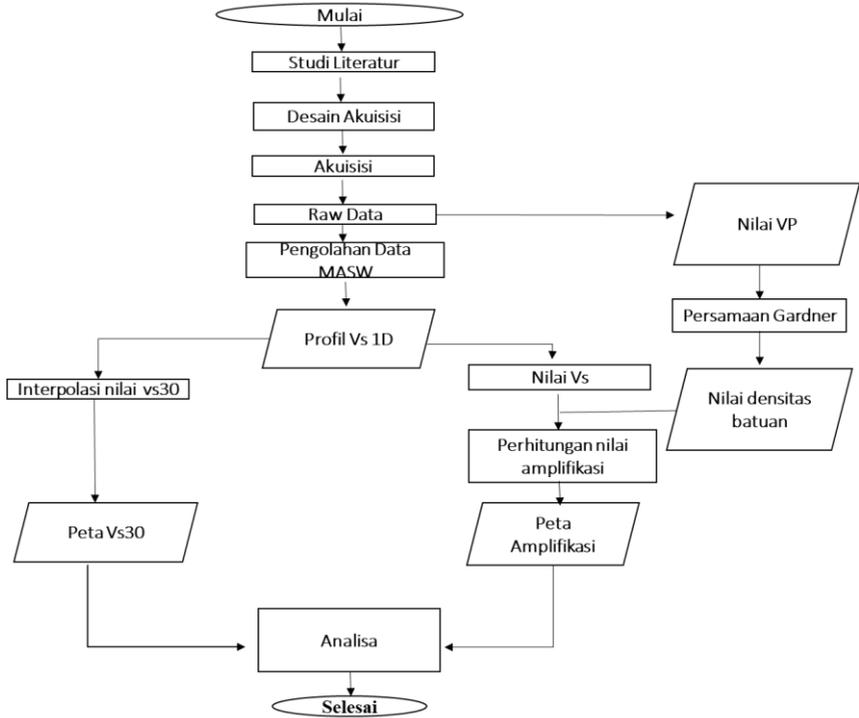
### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Satu set alat seismik refraksi.
2. Satu buah GPS dan Kompas
3. Satu buah Meteran 100 meter dan 1 buah metar 50 meter
4. Peta geologi Surabaya
5. Satu set komputer yang dilengkapi perangkat lunak seperti *Arcgis*, *Seisee*, *Easy MASW*, *Google earth*, dan *Microsof Office Excel 2010*.

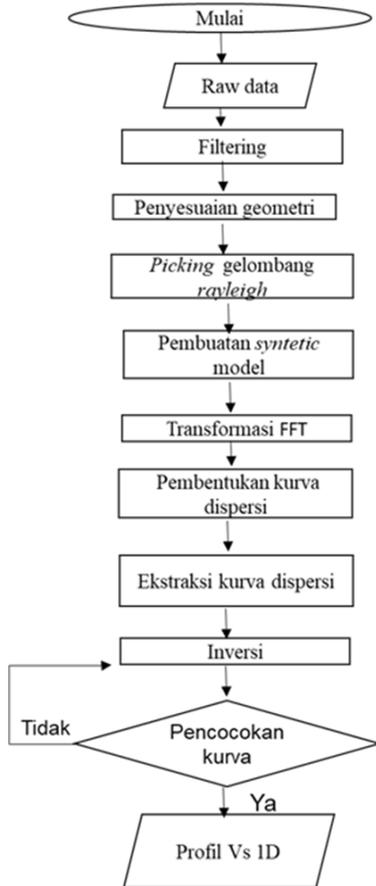
### 3.3 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat diagram alir dalam pengerjaannya, terdapat dua diagram alir yaitu diagram alir umum keseluruhan langkah kerja dan diagram alir yang menjeaskan proses pengolahan MASW. Berikut adalah diagram alir secara umum



Gambar 3.2 Alur kerja secara umum

Untuk penjelasan proses pengolahan MASW akan dijabarkan pada gambar alur 3.3



Gambar 3. 3 Alur kerja pengolahan data MASW

### 3.4 Tahapan Penelitian

Seperti yang telah dijelaskan pada diagram alir secara umum, berikut adalah penjelasan lebih detail tentang beberapa tahapan penelitian yang dilakukan:

#### 3.4.1. Penentuan titik lokasi penelitian dan desain akuisisi

Salah satu langkah awal yang harus dilakukan adalah membuat desain akuisisi, desain ini berguna dalam menentukan titik sampel pengukuran agar mendapatkan hasil yang paling representative nantinya. Namun tetap saja desain ini hanya bentuk ideal yang diinginkan pada kenyataannya terdapat beberapa titik

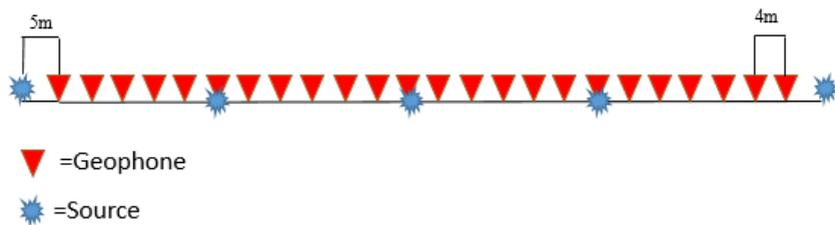
pengukuran yang harus di geser dikarenakan satu dan banyak hal, terutama masalah perizinan dan air yang menggenangi lokasi pengukuran

Desain akuisisi didasarkan pada sistem *grid* di daerah Surabaya bagian timur. Survei ini dilakukan di tanah kosong dengan panjang yang sesuai dengan panjang lintasan desain akuisisi.

### 3.4.2. Akuisisi data MASW

Setelah dilakukan desain akuisisi maka selanjutnya adalah menentukan target kedalaman yang akan berpengaruh kepada *set up* alat. Target kedalaman adalah 30-50 meter sedangkan referensi yang digunakan adalah gambar 2.3 yang bersumber dari MASW.com

Pengukuran dilakukan pada 22 titik di Surabaya bagian timur. Dengan panjang lintasan 92 meter. Pengukuran dilakukan dengan jarak *offset* 5 m di awal dan diujung *line*, *geophone* yang digunakan spasi antar *geophone* 4 m. Total source adalah 5 yaitu pada kedua *offset*, pada *geophone* ke 8, 12, dan 16. Berikut adalah ilustrasi desain akuisisi

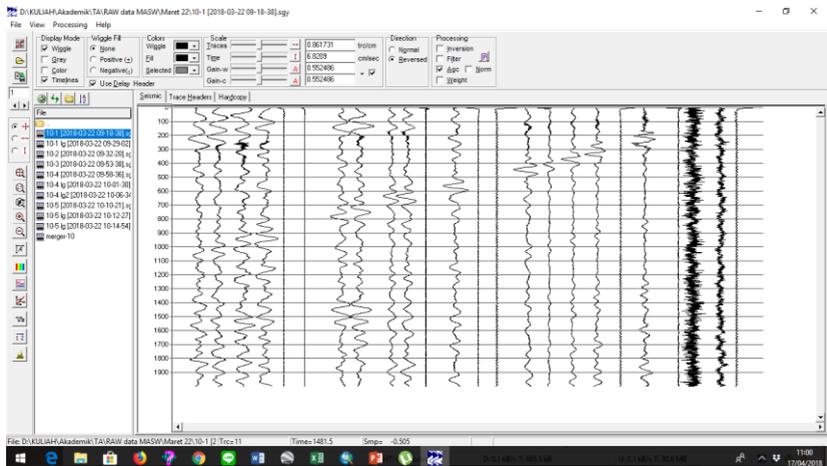


Gambar 3.4 Ilustrasi akuisisi data MASW

### 3.4.3 Pengolahan data MASW

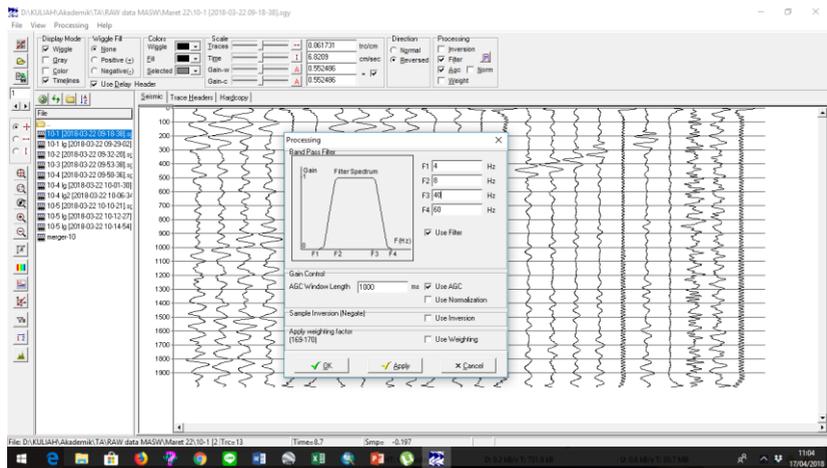
Setelah dilakukan akuisisi data, maka didapat raw data seismik berupa *trace* gelombang. Data tersebut kemudian diolah menggunakan *software seisee* dan *easy MASW* untuk mendapatkan nilai  $V_{s30}$  dan Profil  $V_s$  1 dimensi

Langkah pertama yang dilakukan dalam pengolahan data MASW adalah proses *filtering*. Proses *filtering* dilakukan agar *noise* yang tidak diperlukan tidak ikut dalam proses selanjutnya, karena pada data yang didapatkan sendiri terdapat dua sumber *noise* yang hampir pasti ditemukan, yaitu *noise* yang timbul pada kabel seismik itu sendiri dan juga dari getaran kendaraan yang melajau di sekitar lokasi pengukuran. *Filtering* dilakukan menggunakan *software seisee* seperti berikut



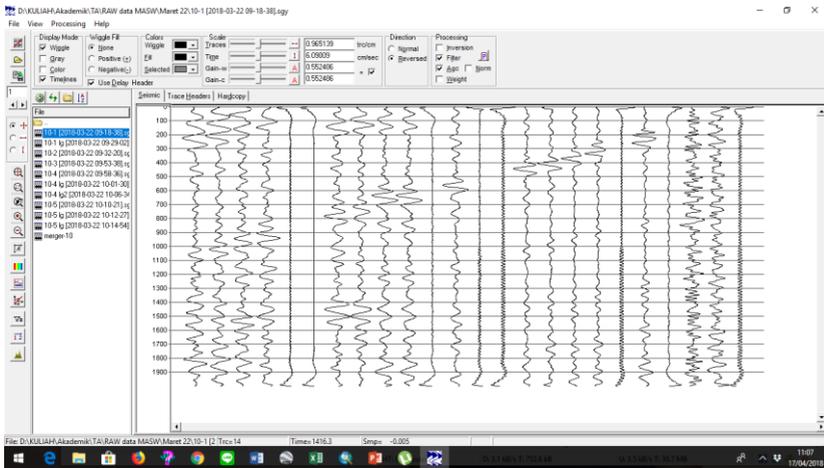
Gambar 3.5 tampilan gelombang seismik hasil pengukuran pada *seisec*

Kemudian dilakukan *filtering* pada data yang telah diinput, *filtering* menggunakan *filter bandpass* pada *software seisec* dengan batas  $f_1=4\text{hz}$ ,  $f_2=8\text{hz}$ ,  $f_3=40\text{hz}$  dan  $f_4=60\text{hz}$ . *Filter bandpass* dipilih karena dapat menghapus frekuensi *noise* yang rendah dan yang tinggi sehingga sesuai dengan yang dibutuhkan oleh pengolahan data MASW.



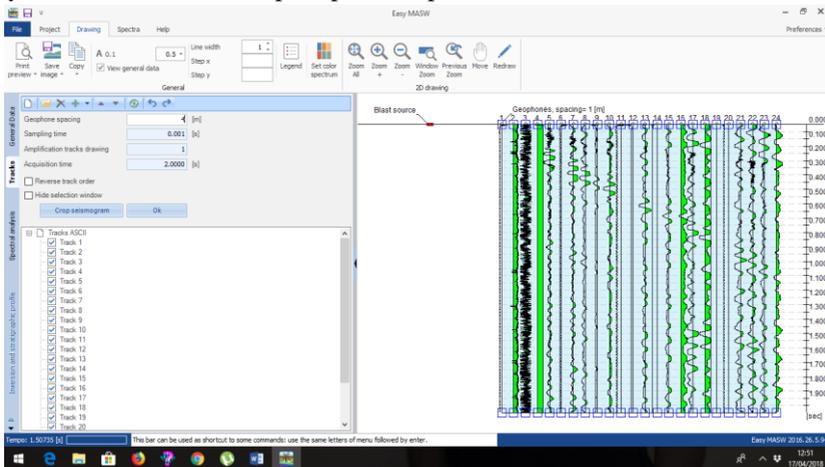
Gambar 3.6 proses *filter bandpass* pada *seisec*

Sehingga didapat hasil gelombang sebagai berikut:



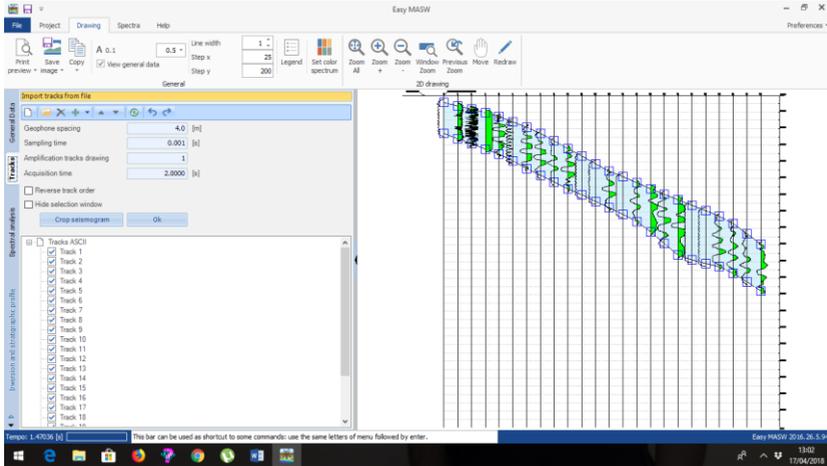
Gambar 3.7 hasil dari *filter bandpass* pada *seisee*

Pada gambar 3.7 terlihat jelas gelombang permukaannya, selain itu noise dengan frekuensi rendah dan tinggi pun berhasil dihilangkan sehingga akan menjadi lebih mudah untuk proses selanjutnya. Proses selanjutnya adalah menginput data yang telah *filter* kedalam *software easy MASW* untuk mendapatkan hasil nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ). Untuk langkah awal yaitu memasukan data seperti pada tampilan 3.8



Gambar 3.8 Tampilan awal setelah input data di *easy MASW*

Kemudian diatur dengan menggunakan parameter yang digunakan ketika akuisisi, yaitu spasi *geophone* sebesar 4 meter, *sampling time* 0,001s dan *acquisition time* menjadi 2 s. Kemudian dilakukan *picking* gelombang *rayleigh* dengan meng-*crop trace* yang ada, sehingga akan membuang sinyal gelombang yang tidak diperlukan. Hasilnya adalah sebagai berikut.



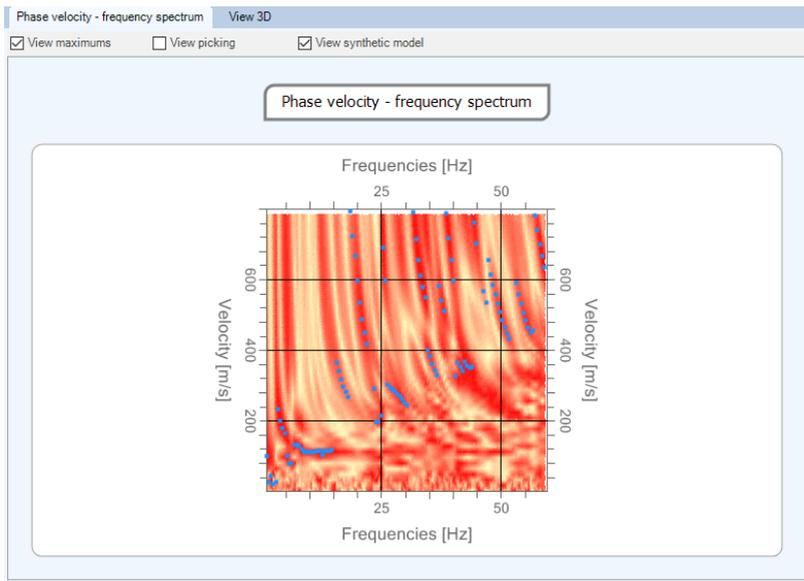
Gambar 3.9 Gelombang *rayleigh* hasil *picking*

Setelah dilakukan *picking* gelombang *rayleigh* selanjutnya dilakukan tahapan *spectral analysis* berupa pembuatan model sintetik atau inisial model daerah penelitian. Parameter yang dirubah adalah ketebalan lapisan serta kecepatan gelombang gesernya, untuk densitas dan parameter yang lainnya mengikuti *default* yang diberikan *software*. Pengukuran dilakukan pada batuan dengan formasi aluvim sehingga dibuat model sintetik 6 lapisan, dengan ketebalan 3 meter, 5 meter, 7 meter, 10 meter 15 meter dan 20 meter. Selanjutnya parameter yang diinput adalah nilai  $V_s$  dengan menyesuaikan lokasi pengukuran yaitu formasi alluvium. Lapisan pertama 70 m/s, lapisan kedua 120 m/s, lapisan ketiga 150 m/s, lapisan keempat 200 m/s, lapisan kelima 300 m/s dan lapisan keenam 400m/s. berikut adalah gambaran input parameter sintetik model pada *software easy MASW*

Synthetic model							
Number of modes						4	View
Depth [m]	Thickness [m]	Unit volume weight [Kg/mc]	Saturated unit volume weight [Kg/mc]	Ground water table	Vs [m/sec]		
15.00	7.00	1800.00	1800.00	<input type="checkbox"/>	150.00		
25.00	10.00	1800.00	1800.00	<input type="checkbox"/>	200.00		
40.00	15.00	1800.00	1800.00	<input type="checkbox"/>	300.00		
∞	20.00	1800.00	1800.00	<input type="checkbox"/>	400.00		

Gambar 3.10 input parameter model sintetik

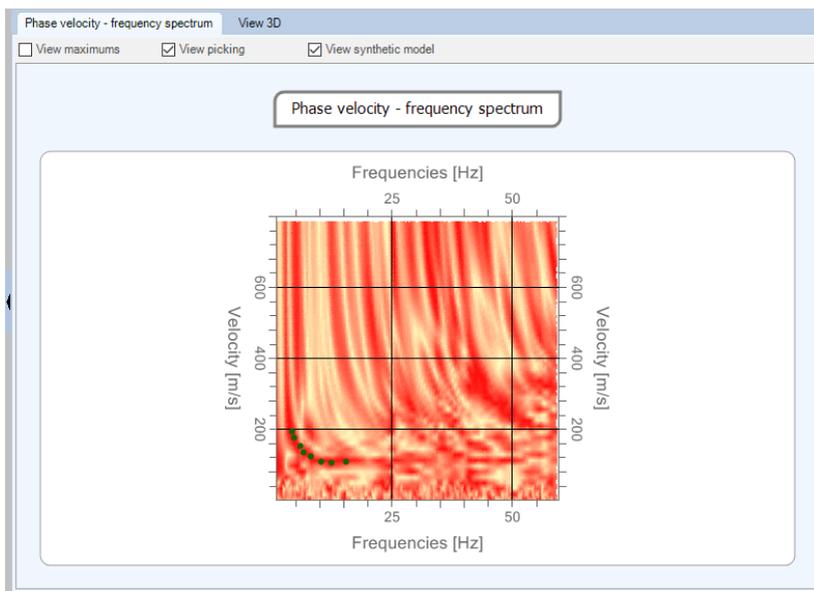
Kemudian dilakukan *run analysis* untuk mengekstraksi kurva dispersi sehingga menghasilkan kurva dispersi antara kecepatan dan frekuensi seperti gambar 3.11 Ekstraksi kurva disperse *memanfaatkan Fast Fourier Transform*, dimana merubah domain waktu menjadi domain frekuensi. Berikut adalah hasil yang didapatkan



Gambar 3.11 kurva dispersi dengan nilai maksimum amplitude. Titik biru merupakan nilai maksimum amplitudo yang otomatis ditunjukkan oleh *software*.

Titik biru pada kurva adalah sebagai nilai maksimum amplitudo yang dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan *picking fundamental mode*. *picking fundamental mode* dapat dilihat pada gambar 3.12.

Kemudian dilakukan tahap inversi dengan memasukan parameter jumlah lapisan dan iterasi terlebih dahulu, dalam hal ini dibuat sebanyak 6 lapisan menyesuaikan model sintetik yang telah dibuat sebelumnya, iterasi juga dilakukan sebanyak 1000 mengikuti *default* yang ada pada *software*. Kemudian akan muncul hasil seperti gambar 3.13. Semakin kecil nilai *error* maka nilai  $V_s$  yang didapat semakin dapat merepresentasikan kondisi *real* bawah permukaan. Hasil dari inversi ini adalah *velocity* profil ID, nilai  $V_s$  30 dan *soil category*. Hasil dapat dilihat pada gambar 3.14 dan 3.15



Gambar 3.12 *Picking* fundamental mode pada kurva dispersi. Titik hijau merupakan titik *picking* fundamental mode yang merupakan bagian yang terdispersi dari kurva tersebut.

**Dispersion curve analysis**

**Setting parameters for the inversion**

Number of layers: 6

Number of iterations: 1000

**Found solutions**

Percentage of error: 0.031%

Mismatch value: 0.017

Number of modes to show: 1

Correct solutions: 1

View all found profiles

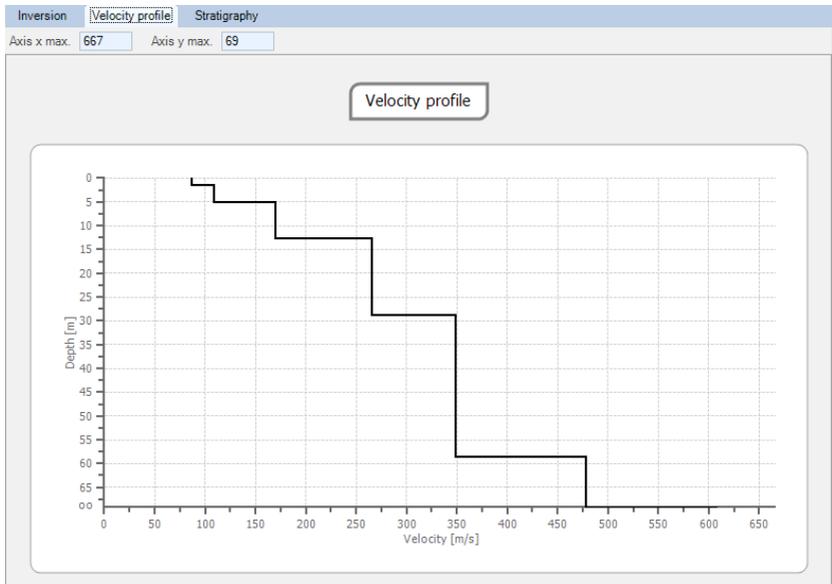
View profile with minimum mismatch factor

View profile with minimum percentage error

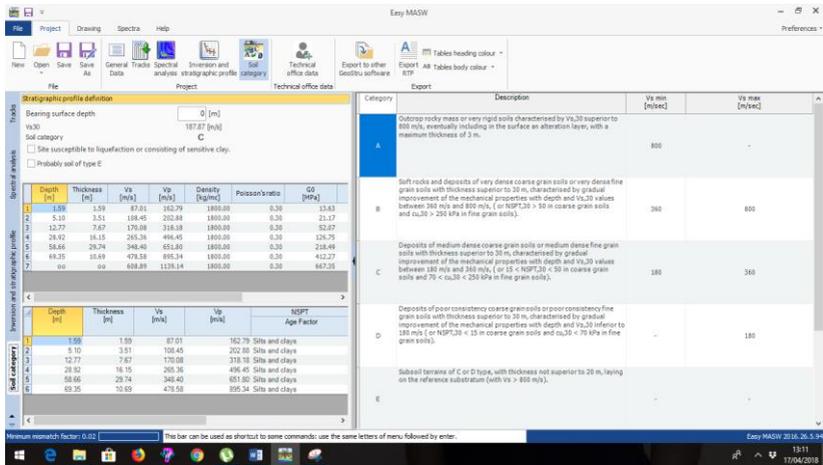
Trend of the mismatch factor: ...

Transfer function: ...

Gambar 3.13 Nilai *Error* hasil inversi



Gambar 3.14 Profil kecepatan hasil inversi



Gambar 3.15 Nilai Vs30 dan kategori < tanah.

Klasifikasi kategori tanah yang terdapat pada software easy MASW adalah yang bersumber dari *Euro code*, tanah diklasifikasikan dari jenis tanah A yang paling kersa samapai kelas E yang paling lunak.

### 3.4.4 Tahap Perolhan nilai densitas

Dalam penelitian ini dibutuhkan nilai densitas sebagai parameter dalam perhitungan nilai amplifikasi. Nilai densitas yang kemudian didapat dari nilai Vp hasil pengolahan seismik refraksi. Penelitian ini tidak mengolah seismik refraksi, namun hanya menggunakan nilai Vp hasil seismik refraksi yang kemudian dimasukkan dalam persamaan *Gardner* pada rumus 3.1, sehingga didapat nilai densitas

$$P=0,3 \cdot ((Vp)^{1/4}) \tag{3.1}$$

Persamaan *Gardner* diatas didapat dari pendekatan hasil percobaan skala lab. Persamaan diatas digunakan pada penelitian ini dikarenakan kondisi geologi yang mirip dengan batuan yang digunakan sebagai bahan uji lab oleh *Gardner* yaitu batuan sedimen lunak seperti yang ada di Surabaya

### 3.4.5 Perhitungan nilai amplifikasi

Nilai amplifikasi didapat dengan memanfaatkan prinsip impedansi , yaitu gelombang akan mengalami perlambatan ketika menjaral dari lapisan yang lebih

padat dan kompak ke lapisan yang kurang padat dan kompak. Berikut adalah rumus yang digunakan

$$A_o = \{(\rho_b \cdot v_b) / (\rho_a \cdot v_a)\} \quad (3.2)$$

$P_b$  = densitas batuan lapisan bawah (keras) (gr/ml),

$P_a$  = rapat massa dari batuan lapisan atas (lunak) (gr/ml),

$V_b$  = kecepatan gelombang di batuan lapisan bawah (keras) (m/dt),

$V_a$  = kecepatan gelombang di batuan atas (lunak) (m/dt).

Nilai  $V_b$  dan  $V_a$  didapat dari nilai  $V_s$  lapisan atas dan bawah sedangkan nilai  $P_a$  dan  $P_b$  didapat dari perhitungan nilai  $V_p$  yang didapat dari rumus *Gardner* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut adalah contoh perhitungan Pada *line 7*

$$P_b = 1,634 \text{ gr/cm}^3$$

$$P_a = 1,411 \text{ gr/cm}^3$$

$$V_b = 466,88 \text{ m/s}$$

$$V_a = 117,22 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} A_o &= (\rho_b \cdot v_b) / (\rho_a \cdot v_a) \\ &= (1,634 \text{ kg/m} \cdot 466,88 \text{ m/s}) / (1,411 \text{ gr/cm}^3 \cdot 117,22 \text{ gr/cm}^3) \\ &= 4,611 \end{aligned}$$

### 3.4.6 Pemetaan Nilai Vs30 dan Amplifikasi

Setelah didapatkan nilai Vs30 dan nilai amplifikasi tiap titik pengukuran maka langkah selanjutnya adalah membuat peta persebaran kedua nilai tersebut. Pemetaan dilakukan menggunakan software *arcgis*. Data-data yang diperlukan adalah peta geologi, batas kecamatan, lokasi pengukuran, serta nilai amplifikasi dan Vs30 yang telah didapatkan sebelumnya. Pemetaan dilakukan dengan memanfaatkan teknik interpolasi geostatistika kriging dan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW). Yang kemudian peta dibuat dengan standar-standar kartografi yang ada.

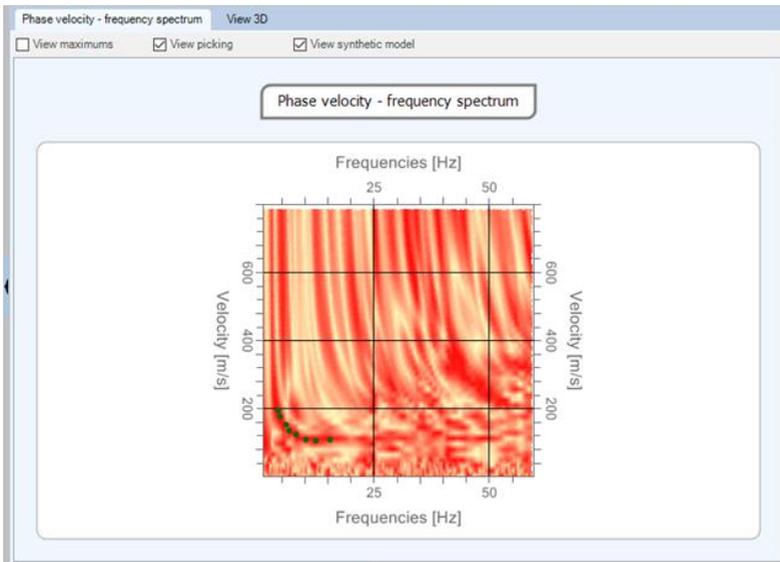
*Halaman unu sengaja dikosongkan*

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Vs30 Surabaya bagian timur

Proses Pengolahan untuk mendapatkan nilai Vs30 menggunakan Software *easy MASW* telah dijelaskan sebelumnya pada bab 3. Hasil yang didapat berupa nilai Vs30 dan profil Vs 1 dimensi dari tiap titik pengukuran. Pengolahan untuk mendapatkan kecepatan gelombang geser (Vs) memanfaatkan sifat dispersi gelombang *rayleigh*. Gelombang *rayleigh* merupakan jenis gelombang permukaan yang dapat mencitrakan struktur bawah permukaan dengan mudah yang diaplikasikan pada karakterisasi geoteknik. Sebab, gelombang *rayleigh* mempunyai sifat yaitu setiap perambatan gelombang yang melewati batas lapisan material bumi akan mengalami dispersi. Terdapat tiga tahapan pada pengolahan untuk dapat menghasilkan profil Vs, yaitu ekstraksi kurva dispersi, *picking* kurva dispersi, dan inversi.

Proses ekstraksi adalah mengekstrak gelombang *rayleigh* yang merupakan domain waktu (sebelumnya telah dilakukan *picking* gelombang permukaannya, lihat gambar 3.10) menjadi kurva antara fase kecepatan dan frekuensi. pada prosesnya (FFT) *Fast fourier transform* digunakan untuk menghasilkan kurva dispersi dari domain waktu menjadi domain frekuensi pada masing-masing titik *geophone*. Sehingga terbentuk kurva dispersi yang memiliki nilai kuantitatif berupa hubungan antara fase kecepatan (m/s) dan frekuensi (Hz) serta menunjukkan besar energi amplitudo.

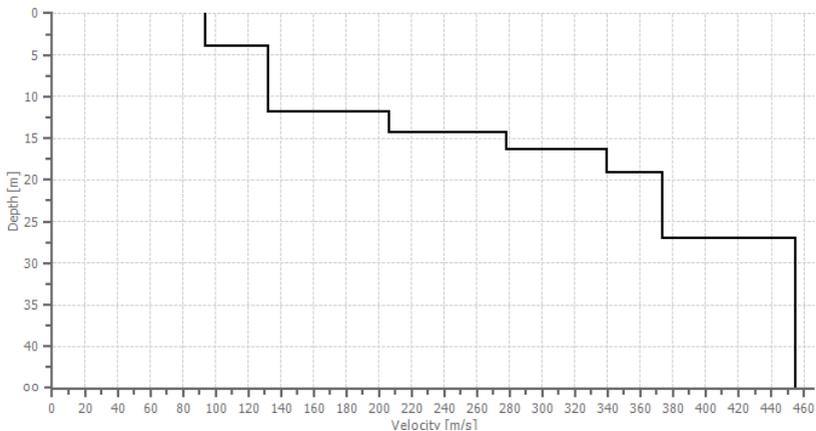


Gambar 4.1 *Picking* kurva dispersi

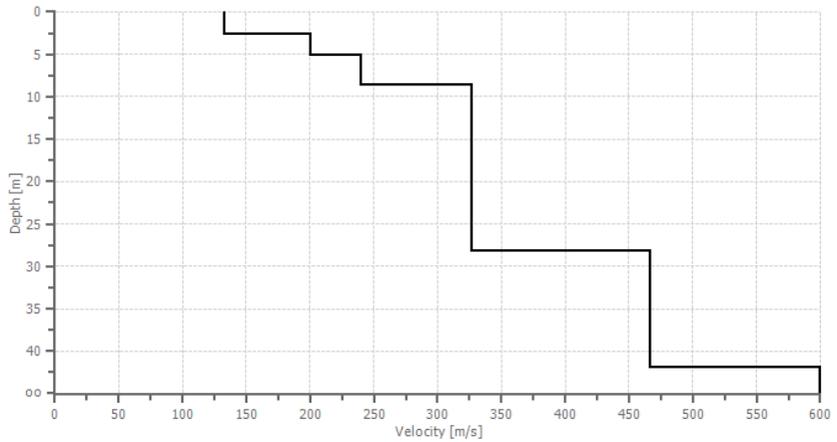
Warna merah pada kurva dispersi gambar 4.1 menunjukkan nilai besar amplitudo, semakin tebal warna merah maka semakin besar amplitudonya.

Langkah berikutnya adalah *picking* kurva dispersi, *picking* dilakukan pada saat terjadi dispersi atau pembelokan besar nilai amplitudo dengan tujuan untuk menentukan besar nilai  $V_s$ . Gelombang permukaan berada pada frekuensi 1-30 Hz sehingga *picking* dilakukan pada interval frekuensi tersebut. Titik-titik hijau pada gambar 4.1 merupakan titik *picking* yang juga mempertimbangkan tingkat energi amplitudo yang besar serta model sintetik yang telah dibuat sebelumnya, hal ini telah dijelaskan pada bab 3.

Setelah *picking* dilakukan maka masuk ke tahap inversi. Faktor paling menentukan hasil inversi adalah *picking* kurva dispersi yang telah dilakukan sebelumnya, karena pada prinsipnya hasil model inversi akan menyesuaikan data observasi berupa data hasil *picking*. Profil  $V_s$  1 dimensi yang didapat membentuk beberapa lapisan, sesuai dengan model sintetik yang dimasukkan. Pada bab 3 telah dijelaskan bahwa model sintetik terdiri dari 6 lapisan dengan nilai  $V_s$  Semakin dalam semakin besar, karena pada umumnya kedalaman dan tekanan akan mempengaruhi nilai  $V_s$ . Berikut adalah hasil dan pembahasan dari beberapa profil  $V_s$  yang dihasilkan



Gambar 4.2 profil  $V_s$  line 5



Gambar 4.3 profil Vs line 21

Kedua profil Vs diatas diambil pada lokasi yang berbeda. *line 5* merupakan tanah aluvium sedangkan *line 21* berada di atas formasi kabuh. Jika diamati perbedaannya maka akan terlihat bahwa pada *line 5* di kedalaman 10-15 meter nilai vs yang didapat masih rendah berkisar diantara 120-140 m/s sementara itu pada *line 21* pada kedalaman 7-10 meter nilai vs sudah diangka 225-250 m/s. Nilai Vs pada kedalaman lebih dari 40 meter juga cukup kontras, pada *line 5* bernilai 455 m/s sedangkan *line 21* berada di angka 600 m/s. Perbedaan-perbedaan diatas disebabkan karena tanah penyusun kedua lokasi pengukuran berbeda. Pada tanah aluvium yang tersusun atas kerakal, kerikil, pasir, lempung serta pecahan cangkang fosil, nilai vs yang merambat pada lapisan atas adalah rendah berkisar 80-150 m/s namun pada lokasi pengukuran di atas formasi kabuh yang merupakan hasil pelapukan formasi kabuh yang berasal dari batuan pasir kasar dan konglomerat memiliki nilai Vs yang relatif lebih cepat daripada tanah aluvium. Kondisi keadaan tanah yang jenuh air ketika pengukuran juga menjadi factor rendahnya nilai Vs hal ini dapat terjadi karena proses akuisis dilakukan ketika terjai musim hujan. Perbedaan umur formasi juga mempengaruhi nilai Vs lapisan, semakin tua formasi masa batuan akan semakin kompak sehingga nilai Vs nya semakin tinggi. Tanah yang merupakan hasil pelapukan formasi kabuh memiliki nilai Vs yang lebih tinggi dibanding dengan tanah aluvium. Pada kasus ini formasi kabuh lebih tua dibanding tanah aluvium sehingga . Faktor kedalaman lapisan lapuk juga mempengaruhi nilai Vs, pada formasi aluvium lapisan lapuknya relatif lebih tebal dibanding tanah yang berada di atas sebuah formasi. Untuk nilai Vs30 sendiri merupakan nilai rata-rata Vs dari kedalaman 0-30 meter. Berikut adalah nilai lengkap Vs30 hasil pengukuran:

Tabel 4.1 Nilai Vs30 Surabaya bagian timur hasil pengolahan

Nama titik	Vs30 (m/s)
line 1	214,388
line 2	201,322
line 3	208,13
line 4	189,484
line 5	198,034
line 6	183,606
line 7	215,472
line 8	214,866
line 9	218,714
line 10	214,872
line 11	196,384
line 12	208,33
line 13	191,92
line 14	212,454
line 15	189,816
line 16	202,11
line 17	195,396
line 18	205,042
line 19	190,488
line 20	201,326
line 21	262,624
line 22	264,73

Jika mengacu pada table 2.2 klasifikasi tanah berdasarkan nilai Vs30 menurut UBC97 (*Uniform building code 1997*) maka semua daerah pengukuran berada dalam rentang 180-360 m/s tergolong tanah kelas D yang merupakan tanah sedang. Tanah sedang dapat diartikan sebagai *unconsolidated* sedimen, artinya tanah tersebut tersusuk atas mineral-mineral yang belum kompak satu sama lainnya sehingga tidak membentuk batuan.

#### 4.2 Hasil nilai Vp dan densitas

Nilai Vp didapat dari pengolahan seismuk refraksi yang tidak dilakukan pada penelitian ini. Dalam penelitian ini hanya menggunakan nilai Vp yang kemudian di rubah menjadi densitas menggunakan persamaan *Gardner* yang

sudah dijelaskan sebelumnya pada bab 3. Berikut adalah nilai Vp dan densitas pada tiap titik pengukuran.

Tabel 4.2 Nilai Vp dan Rho (densitas) tiap titik pengukuran hasil pengolahan seismik refraksi dan perhitungan

Nama titik	Vp b (m/s)	Vp a (m/s)	Rho b (gr/cm <sup>3</sup> )	Rho a (gr/cm <sup>3</sup> )
<i>line 1</i>	900	430	1,643	1,366
<i>line 2</i>	890	440	1,639	1,374
<i>line 3</i>	820	440	1,605	1,374
<i>line 4</i>	830	450	1,610	1,382
<i>line 5</i>	800	430	1,595	1,366
<i>line 6</i>	790	420	1,590	1,358
<i>line 7</i>	880	490	1,634	1,411
<i>line 8</i>	810	370	1,600	1,316
<i>line 9</i>	820	320	1,605	1,269
<i>line 10</i>	810	390	1,600	1,333
<i>line 11</i>	920	530	1,652	1,439
<i>line 12</i>	750	400	1,570	1,342
<i>line 13</i>	730	330	1,559	1,279
<i>line 14</i>	790	410	1,590	1,350
<i>line 15</i>	770	400	1,580	1,342
<i>line 16</i>	780	420	1,585	1,358
<i>line 17</i>	850	490	1,620	1,411
<i>line 18</i>	850	460	1,620	1,389
<i>line 19</i>	850	460	1,620	1,389
<i>line 20</i>	840	410	1,615	1,350
<i>line 21</i>	940	510	1,661	1,426
<i>line 22</i>	910	500	1,648	1,419

Nilai Vp yang didapat berada dibawah angka 1000 m/s menunjukkan bahwa lapisan yang dijangkau oleh seismik refraksi ini adalah masih lapisan lapuk karena seperti pada table 4.3 untuk shale saja Vp nya 2150 m/s sehingga dapat dikatakan bahwa wilayah penelitian masih di dominasi oleh tanah dengan

dominan penyusun aluvium atau *unconsolidated* sedimen seperti kerikil, kerakal serta pasir yang belum kompak.

Tabel 4.3 Nilai Vp beberapa batuan (Schön, 2011)

Batuan	Vp (m/s)
Granite	5000-5100
Basalt	5500
Diorite	5800
Batu gamping	5900-6000
Batu pasir	4000-4300
Shale	2150-3300

Untuk nilai densitasnya sendiri berkisar antara 1,2 sampai 1,5 gram per centimeter kubik. Hal ini semakin mengokohkan bahwa tanah di daerah pengukuran merupakan tanah lunak, karena nilai yang didapat merupakan *range* nilai untuk *unconsolidated* sedimen. Sebagai perbandingan nilai densitas batu pasir ada diangka 2 sampai 2,2 gram per centimeter kubik artinya daerah penelitian tanahnya belum sampai ke tahap menjadi batuan kaena nilai densitasnya yang masih terpaut jauh dari batuan pasir yang merubakan salah satu batuan yang tergolong lunak.

### 4.3 Hasil Perhitungan Amplifikasi

Dengan langkah seperti yang telah dijelaskan pada bab 3, berikut adalah hasil lengkap nilai amplifikasi dari setiap titik pengukuran

Tabel 4.4 Nilai Amplifikasi tiap titik pengukuran hasil perhitungan

Nama titik	Vs b (m/s)	Vs a (m/s)	Rho b (gr/cm <sup>3</sup> )	Rho a (gr/cm <sup>3</sup> )	Amplifikasi	Kelas	Formasi
line 1	529,19	103,01	1,643	1,366	6,179	Tinggi	Alluvium (Qa)
line 2	461,88	69,48	1,639	1,374	7,928	Tinggi	Alluvium (Qa)
line 3	521,02	97,13	1,605	1,374	6,267	Tinggi	Alluvium (Qa)
line 4	733,26	199,72	1,610	1,382	4,279	Sedang	Alluvium (Qa)
line 5	455,17	133,52	1,595	1,366	3,981	Sedang	Alluvium (Qa)
line 6	433,46	109,47	1,590	1,358	4,637	Sedang	Alluvium (Qa)
line 7	466,88	117,22	1,634	1,411	4,611	Sedang	Alluvium (Qa)
line 8	504,81	93,33	1,600	1,316	6,579	Tinggi	Alluvium (Qa)
line 9	525,12	114,55	1,605	1,269	5,800	Sedang	Alluvium (Qa)
line 10	481,14	128,97	1,600	1,333	4,479	Sedang	Alluvium (Qa)

line 11	527,56	165,13	1,652	1,439	3,667	Sedang	Alluvium (Qa)
line 12	393,44	101,72	1,570	1,342	4,526	Sedang	Alluvium (Qa)
line 13	528,75	156,85	1,559	1,279	4,111	Sedang	Alluvium (Qa)
line 14	435,67	112,09	1,590	1,350	4,579	Sedang	Alluvium (Qa)
line 15	600,00	147,56	1,580	1,342	4,790	Sedang	Alluvium (Qa)
line 16	438,59	137,01	1,585	1,358	3,737	Sedang	Alluvium (Qa)
line 17	468,50	184,29	1,620	1,411	2,918	rendah	Alluvium (Qa)
line 18	467,51	194,74	1,620	1,389	2,799	rendah	Alluvium (Qa)
line 19	392,05	79,69	1,620	1,389	5,736	Sedang	Alluvium (Qa)
line 20	454,50	150,93	1,615	1,350	3,603	Sedang	Alluvium (Qa)
line 21	343,35	199,59	1,661	1,426	2,004	rendah	Kabuh (Qpk)
line 22	600,00	240,00	1,648	1,419	2,904	rendah	Lidah (Tpl)

Nilai amplifikasi Surabaya bagian Timur adalah 2 sampai 8. Menurut Marjiyono nilai tersebut berada pada tiga klasifikasi yaitu amplifikasi rendah, sedang dan tinggi

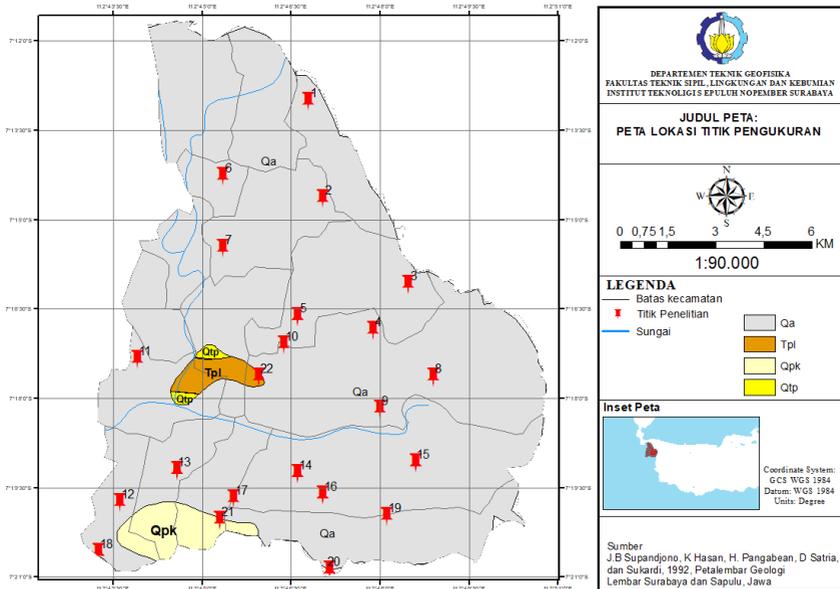
#### 4.4 Hasil pemetaan

Terdapat 3 buah peta yang dihasilkan pada Tugas Akhir ini, yaitu peta Vs30, amplifikasi, dan zona amplifikasi yang semuanya merupakan wilayah Surabaya bagian timur. Pemetaan menggunakan *software arcgis* dengan teknik interpoalsi metode IDW untuk peta Vs30 dan metode Kriging untuk peta amplifikasi. Metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) merupakan metode deterministik yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya (Indarto, 2013). Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat daripada yang lebih jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara *linear* sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Kerugian dari metode IDW adalah nilai hasil interpolasi terbatas pada nilai yang ada pada data sampel. Dengan kata lain, karena metode ini menggunakan rata-rata dari data sampel sehingga nilainya tidak bisa lebih kecil dari minimum atau lebih besar dari data sampel. Sedangkan kelebihan dari metode ini adalah tidak menghapus nilai asli hasil pengukuran yang dimasukkan, sekontras apapun nilai tersebut dengan nilai hasil pengukuran di sekitarnya, nilai tersebut tetap akan ditulis sesuai nilai yang ada.

Kriging memiliki konsep tidak jaug berbeda dengan IDW yaitu wilayah yang tidak memiliki sampel nilainya akan dipengaruhi oleh nilai sampel terdekat. Perbedaannya adalah bahwa kriging dibawah asumsi kestasioneran dalam ratarata ( $\mu$ ) dan varians ( $\sigma^2$ ), sehingga jika asumsi kestasioneran tersebut dilanggar maka kriging menghasilkan nilai prediksi yang kurang presisif. Selain itu, kriging juga dapat menghasilkan nilai prediksi kurang presisif jika di antara data yang ada terdapat *Outlier*. *Outlier* yaitu nilai yang ekstrim dari nilai amatan lainnya. Sehingga pada kriging nilai *Outlier* dapat dihapus dan digantikan

dengan nilai yang mendekati rata-rata sampel. Untuk pemetaan Vs30 terdapat 2 nilai *outlier* sehingga tidak cocok jika menggunakan kriging karena akan terhapus dan menjadi nilai yang lebih kecil dengan selisih yang jauh .

Agar mempermudah dalam pembahasan, berikut adalah gambar 4.1 lokasi penelitian jika ditinjau dari peta geologi



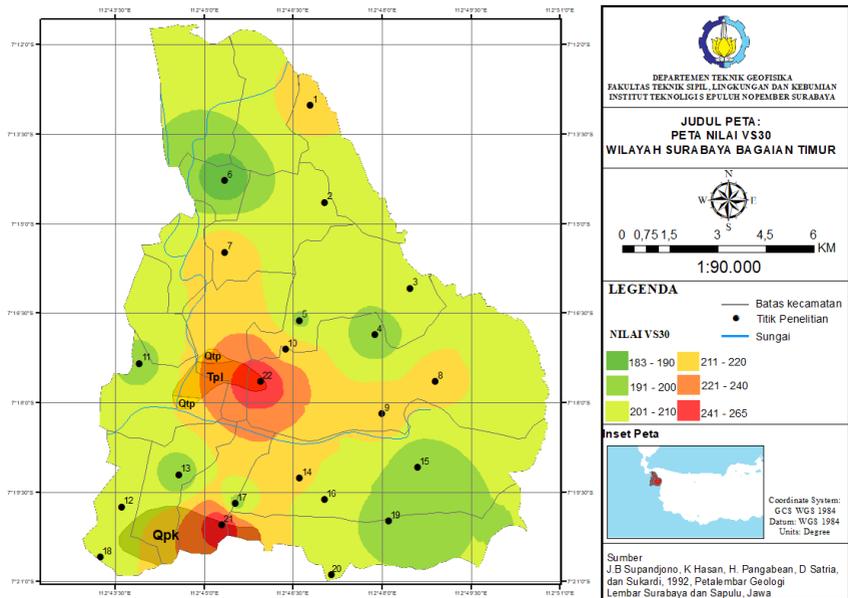
Gambar 4.4 titik lokasi penelitian berdasarkan peta geologi (Soekardi, 1992). Pin berwarna merah merupakan lokasi penelitian yang berjumlah 23 titik.

Penentuan lokasi tersebut menggunakan metode gridding yang artinya pada wilayah seluas 2,5 km x 2 Km terdapat satu titik pengukuran, namun dikarenakan posisi tiap titik pengukuran yang berbeda dalam satu *grid* dan adanya beberapa *grid* yang tidak memiliki lahan yang memenuhi syarat untuk akuisisi data, maka didapatkanlah titik pengukuran seperti gambar 4.5 yang jaraknya tidak sama antar titik dan lebih padat di daerah selatan dibanding utara.

#### 4.4.1 Pemetaan Vs30

Nilai Vs30 yang didapat dari akuisisi data di wilayah Surabaya bagian timur memiliki persebaran nilai terendah 183,6 m/s pada titik 6 dan yang tertinggi didapat nilai sebesar 264,72 m/s pada titik 22 dari jumlah total titik

pengukuran sebanyak 22 titik. Nilai yang didapat oleh masing-masing titik selengkapnya telah ditunjukkan pada tabel 4.1 . Peta Vs30 yang dihasilkan memperlihatkan nilai Vs30 pada wilayah yang tidak memiliki sampel akan

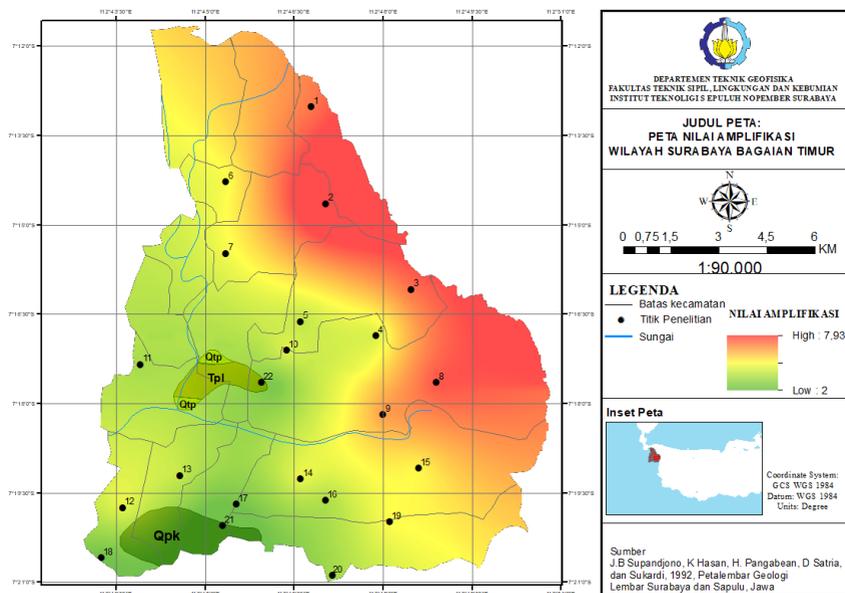


Gambar 4.5 Peta Vs 30 Surabaya bagian timur.

mengikuti nilai sampel terdekat, semakin dekat dengan sampel maka nialinya akan semakin mendekati. Nilai Vs30 yang merupakan rata-rata kecepatan gelombang geser sampai kedalaman 30 meter sangat dipengaruhi oleh jenis batuan dan ketebalan lapisan lapuk. Pada Surabaya bagian timur terdapat tiga jenis formasi dan tanah aluvium. Sekitar 85% berupa tanah aluvium, 8% formasi kabuh, 5% formasi lidah dan 2 % formasi pucangan. Sebanyak 20 titik pengukuran berada pada tanah aluvium dengan nilai Vs30 antara 183,61 m/s sampai 218,71 m/s, satu titik berada di pada lapisan lapuk diatas formasi kabuh yaitu titik 21 dengan nilai 262,62 m/s, satu titik berada di lapisan lapuk diatas formasi lidah yaitu titik 22 dengan nilai Vs30 sebesar 264,73 m/s, sedangkan tidak ada titik pengukuran di formasi Pucangan dikarenakan luasannya yang terlalu sempit sehingga tidak dapat ditemukan lokasi yang dapat digunakan sebagai titik pengukuran. Pada peta terlihat jelas terdapat nilai Vs yang tinggi dengan warna merah yaitu pada titik 21 dan 22. Titik 21 merupakan lapisan lapuk diatas formasi lidah yaitu formasi dengan penyusun lempung sedangkan titik 22 merupakan lapisan lapuk hasil formasi kabuh dengan penyusunnya batu pasir.

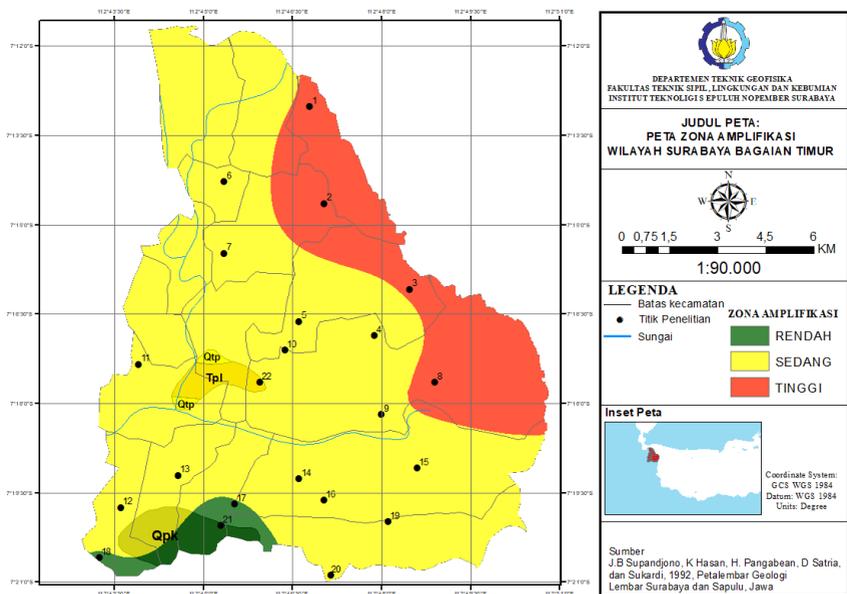
Kedua formasi ini memiliki umur yang lebih tua dibanding jenis tanah aluvium, sehingga batuan nya juga semakin kompak yang menyebabkan Vs nya juga semakin besar. Ditinjau dari kelas tanah, tanah semua titik pengukuran berada pada kelas D ( berdasarkan UBC 97) jika dilihat nilai Vs30 nya. Meskipun satu kelas namun terdapat variasi nilai Vs30. Hal ini terjadi karena karakteristik gelombang s yang semakin meningkat secara linier terhadap kedalaman tanah. kepadatan tanah juga mempengaruhi cepat rambat gelombang s, semakin padat maka semakin cepat gelombang s merambat. Artinya meskipun sama-sama berada pada tanah aluvium namun tingkat densitas dan kekompakan tanahnya tetap berbeda. Faktor-faktor yang mempengaruhinya adalah perbedaan ketika proses pelapukan seperti arah pelapukan dan tekanan daerah sekitar. Nilai dominan pada peta adalah warna hijau muda beradapada range 200-210 warna kuning selanjutnya mendominasi, berada pada sekitar titik 22 yang merupakan formasi kabuh. Batuan di sekitar formasi kabuh umumnya memiliki nilai Vs yang lebih tinggi dibading sesama aluvium lain, hal ini disebabkan batuan yang lebih kompak. Selebihnya berwarna hijau tua dengan interval 190-200 m/s dan bagian kecil bernilai 183-190 m/s. Tanah aluvium memang tersusun dari batuan lunak sehingga nilai vs30 nya berada di kisaran angka 180-220 m/s.

#### 4.4.2 Pemetaan Amplifikasi



Gambar 4.6 Peta amplifikasi Surabaya bagian bagian timur

Nilai amplifikasi yang didapat hasil perhitungan adalah 2,004-7,928. Terendah berada pada line 21 dan tertinggi berada pada line 2. Nilai amplifikasi memiliki tren membesar ke arah timur. Seluruh warna orange dan merah yang memiliki nilai amplifikasi tinggi berada pada tanah aluvium. Wilayah timur laut memiliki nilai yang besar hal ini disebabkan karena batuan lapisan atas dari wilayah ini memiliki nilai Vs yang rendah. Penyebabnya karena lapisan sedimen di sana adalah yang termuda karena arah sedimentasinya ke arah timur yang merupakan wilayah delta sungai sehingga tanah di daerah tersebut tidak sekompak batuan didaerah yang berada di sebelah timur dan selatan. Warna hijau terdapat pada bagian selatan dari Surabaya bagian timur ini. Dua titik yang menjadi pusat persebaran nilai rendah adalah line 21 dan line 22, sama seperti pembahasan sebelumnya kedua titik ini berada diatas formasi yang berbeda dibanding ke 20 titik yang ada. Nilai amplifikasi yang rendah disebabkan lapisan atas batuan yang merupakan batuan yang memiliki nilai Vs yang tinggi dibanding yang lain. Umur lapisan yang lebih tua menyebabkan lapisan atas batuan di wilayah tersebut menjadi lebih kompak sehingga impedansinya akan semakin rendah. Selanjutnya dari nilai amplifikasi yang didapat dipetakan menjadi zona amplifikasi sesuai kelas yang dibagi oleh marjiyono, hasilnya dapat dilihat pada gambar 4. 7



Gambar 4.7 Peta zona amplifikasi Surabaya bagian timur

Hasil zonasi membagi wilayah Surabaya bagian timur menjadi tiga zona yaitu, zona rendah amplifikasi, zona sedang amplifikasi dan zona tinggi amplifikasi.. Zona rendah berada antara nilai 0-3, zona sedang pada nilai 3,1-6 dan zona tinggi bernilai 6,1-7. Wilayah Surabaya bagian timur didominasi oleh zona sedang, hal ini disebabkan wilayah Surabaya bagian timur didominasi oleh lapisan sedimen yang berumur sedang, sehingga nilai  $V_s$  lapisan atasnya pun sekitar 150 m/s berbeda dengan zona amplifikasi tinggi yang lapisan sedimennya cenderung lebih muda dengan nilai  $v_s$  lapisan atas dibawah 100 m/s. sedangkan zona tinggi lapisan atasnya berada pada angka sekitar 200m/s. Wilayah pusat kota Surabaya berada dalam wilayah penelitian ini, dan tergolong wilayah amplifikasi sedang sehingga pemerintah tidak perlu terlalu khawatir jika terjadi gempa. Zona amplifikasi tinggi merupakan wilayah dekat pantai yaitu kecamatan Bulak, Kenjeran serta Sukolilo. Untuk wilayah rendah merupakan kawasan padat penduduk dan kawasan industri yaitu Kecamatan Rungkut dan Wiyung, tapi hal ini tidak perlu dikhawatirkan karena nilai amplifikasinya yang rendah.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah

1. Nilai  $V_{s30}$  hasil pengukuran wilayah Surabaya bagian timur yaitu 183,61 - 264,73 m/s. Tanah wilayah Surabaya bagian timur sampai kedalaman 30 meter merupakan tanah lunak (tipe D menurut UBC 97) yang berupa *unconsolidated* sedimen seperti kerakal, kerikil, pasir, lempung dan fosil cangkang kerang
2. Nilai Amplifikasi Surabaya bagian timur hasil perhitungan yaitu 2,004 -7,928 5. Zona amplifikasi Surabaya bagian timur didominasi oleh zona sedang di hampir seluruh wilayah, lalu zona tinggi di wilayah Kecamatan Bulak, Sukolilo dan Kenjeran serta sebagian kecil zona rendah di wilayah kecamatan Rungkut dan Gayungan.
3. Amplifikasi membesar ke arah timur, semakin muda lapisan lapuk maka akan semakin besar amplifikasinya

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Untuk penelitian sejenis, selanjutnya agar dapat menambah titik pengukuran sehingga data akan semakin rapat membuat hasil interpolasinya akan semakin mendekati keadaan sebenarnya.
2. Untuk mendapatkan hasil perambatan gelombang yang lebih baik dan lebih dalam, maka sumber dapat diganti dari palu menjadi *vibroiseis* atau peledak *non destruktif*.
3. Hasil peta amplifikasi dapat digunakan oleh departemen perencanaan wilayah dan kota dalam membuat perencanaan tata kota yang mempertimbangan faktor bencana

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Arm, Elnashai; Luigi, D.S. (2008), *Fundamentals of earth quake engineering*, Wiley, Hongkong.
- Code, U.B. (1997), "International conference of building officials", *Whittier, CA*, Vol.2.
- Google Earth, (2007), Explore, Search and Discover, [Http:// www.earth.google.com](Http://www.earth.google.com)
- Gultom, M.J., Wiranda, G., Warnana, D.D., Lestari, W., Syaifuddin, F., Rochman, J.P.G.N. dan Widodo, A. (2018), "N-SPT and Transverse Resistance Correlation Using SPT and Geoelectric Data in Gunung Anyar", *EAGE-HAGI 1st Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience and Engineering*, EAGE, Yogyakarta,.
- Indarto (2013), *Analisis Geostatistik*, Graha Ilmu, Yogyakarta. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Lestari, W., Widodo, A., Warnana, D.D., Syaifuddin, F., Utama, W. dan Rochman, J.P.G.N. (2018), "Mapping of Kendeng Thrust Active Fault in East Java using Magnetotelluric Method", *EAGE-HAGI 1st Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience and Engineering*, EAGE, Yogyakarta,.
- Louie, J.N. (2001), "Faster, better: Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.91, No.2, hal. 347–364. <http://doi.org/10.1785/0120000098>.
- Marijijyono (2010), *Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah Dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung*, Thesis ITB, Bandung.
- Mufida dkk (2013), "Profiling Kecepatan Gelombang Geser Vs Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor", *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, Vol.2.
- Nakamura, Y. (1989), "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface" *Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute*.
- NEHRP dan Provisions, S. (2000), "2000 Edition NEHRP RECOMMENDED PROVISIONS FOR SEISMIC REGULATIONS FOR NEW BUILDINGS", *Commentary*, No.Fema 369.
- Ólafsdóttir, E.Á. (2014), *Multichannel Analysis of Surface Waves Methods for dispersion analysis of surface wave data*, University Of Iceland, Iceland.
- Park, C.B., Miller, R.D. dan Xia, J. (1999), "Multichannel analysis of surface waves (MASW)", *Geophysics*, <http://doi.org/10.1190/1.1444590>.
- Park, C.B., Miller, R.D. dan Xia, J. (1998), "Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record", *SEG Technical Program Expanded*

- Abstracts 1998*, <http://doi.org/10.1190/1.1820161>.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J. dan Ivanov, J. (2007), "Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods", *The Leading Edge*, <http://doi.org/10.1190/1.2431832>.
- Pradita, J.S., Rudyanto, A. dan Sativa., O. (2016), *Penyelidikan Kondisi Bawah Permukaan Tanah Di Wilayah Jakarta Menggunakan Metode Multi-Channel Analysis OF Surface WAVE*, BMKG, Jakart.
- PusGen (2017), *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.
- 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*, <http://doi.org/10.12962/j25023659.v3i2.2966>.
- Rochman, J.P.G.N., Warnana, D.D., Syaifuddin, F., Lestari, W. dan Mahsa, A. (2018), "Application of Gravity Method for Local Geological Structures Identification in Surabaya", *EAGE-HAGI 1st Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience and Engineering*, EAGE, Yogyakarta.,
- Rošer, J. dan Gosar, A. (2010), "Determination of Vs30 for seismic ground classification in the ljubljana area, Slovenia", *Acta Geotechnica Slovenica*,.
- Santosa, B.J. (2002), *Seismologi, Modul Ajar*, Jurusan Fisika FMIPA ITS, Surabaya.
- Santoso, H.B. (2002), *Bahan Kuliah Teknik Laboratorium*, urusan Teknik Sipil FTSP Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Schön, J. (2011), *Physical Properties of Rocks: A Workbook*.
- Sheriff R.E., G.L.. (1982), *Exploration seismology: History, theory and data acquisition, vol. 1*, Cambridge University press, London.
- Sholihan, A. (2009), "Analisis Dispersi Gelombang Rayleigh Struktur Geologi Bawah Permukaan Studi Kasus : Daerah Pasir Putih Dalegan Gresik", *Seminar Nasional IX Pasca Sarjana – 2009, FIS – 01.*, Departemen Fisika FIMIPA ITS, Surabaya, hal. 1–8.,
- Soekardi (1992), *Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi PPPG, Bandung.
- Sunarjo, Gunawan, M.T. dan Pribadi, S. (2012), *Gempa Bumi*, Pupoler., Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.

# LAMPIRAN

Tabel kegiatan penelitian

No	Kegiatan	Rencana Kegiatan	Bobot	Dua	Januari	Februari	Maret	April	Mei				Juni	Output								
									1	2	3	4										
		BAB I	3	3	1	1								Bab I dan Bab II								
		BAB II	3	2	1,5	1,5								Dasar teori dan pemahaman tentang MASW								
1	Sintesis Awal	BAB III	3	3	1	1								Pengertian bisnis pengangkutan udara dan perencanaan								
		Desain Analisis	3	2	1,5	1,5								Desain analisis								
		Survei Pendahuluan	3	2	1,5	1,5								Penelitian awal mengenai pengaruh moda transportasi								
2	Analisis Data	Analisis data	20	4		5,00	5,00	5,00						Ramadan MASW								
		Pengolahan MASW	12	4			3	3	3					Nilai N150 dan profil N150								
3	Pengolahan Data	Pemetaan N150	8	4				2,00	2,00	2,00				Peta persebaran nilai N150								
		Pengolahan semua retribusi	15	3						5	5	5		Nilai N150 dan kelas kelas								
		Pertimbangan pembauran peta Ampuhfasi	12	2							6	6		Nilai Ampuhfasi dan peta persebaran peta								
4	Interpretasi Data	Analisis dan Korelasi Data	13	2								6,50	6,50	Interpretasi peta ampuhfasi dan N150								
5		Penyusunan Laporan Tugas Akhir	5	4								1,25	1,25	1,25	Laporan Tugas akhir							
6		Pemeliharaan Laporan Tugas Akhir																				
		Jumlah	300	35	1,25	1,25	4	1,5	5,00	5,00	3,00	5,00	2,00	5,00	10,25	10,25	1,25					
		Jumlah Kumulatif		1	1,25	2,5	6	20,00	25,00	30,00	35	38	41	46,00	51	53,00	55,00	60	72	91	98,75	100



(a)



(b)



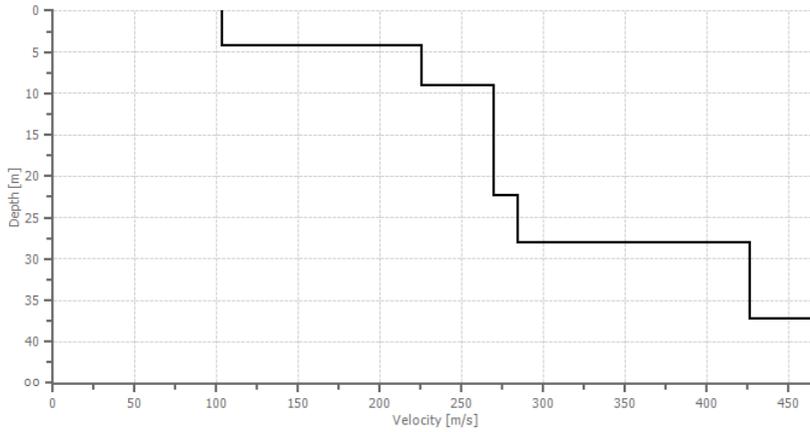
(c)



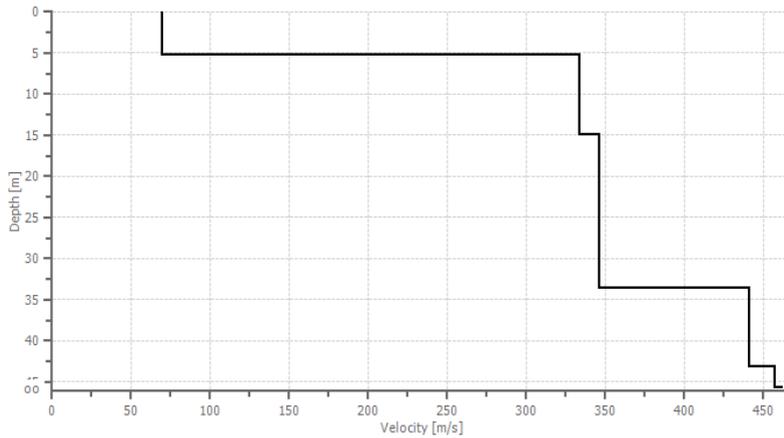
(d)

Gambar proses akuisisi (a) *line 5* (b) *line 4* (c) *line 11* dan (d) *line 9*

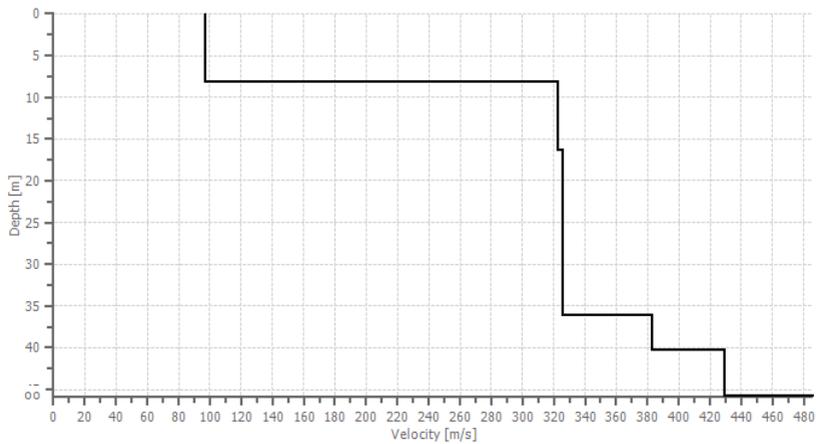
## Profil Vs 1D hasil pengolahan *Easy* MASW



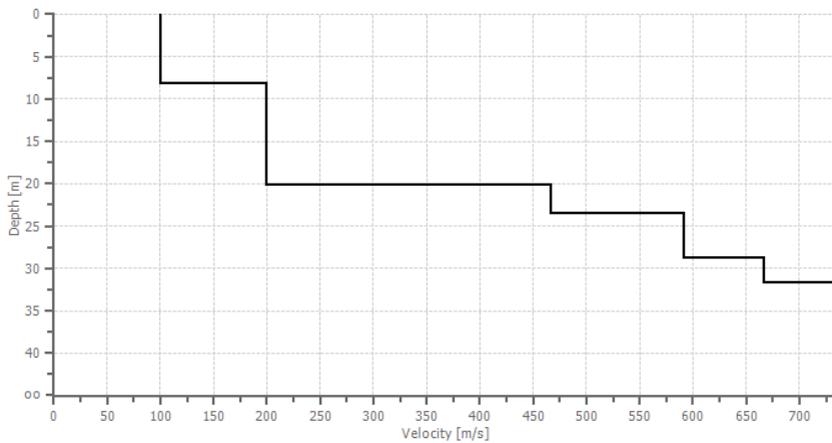
Line 1



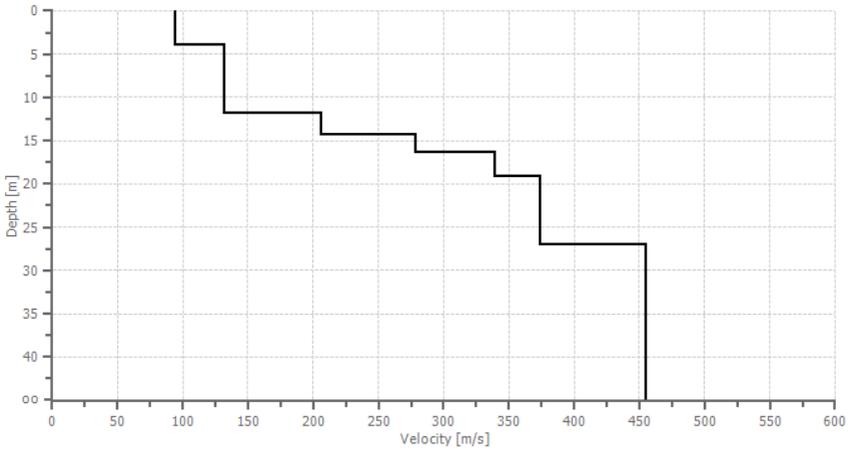
Line 2



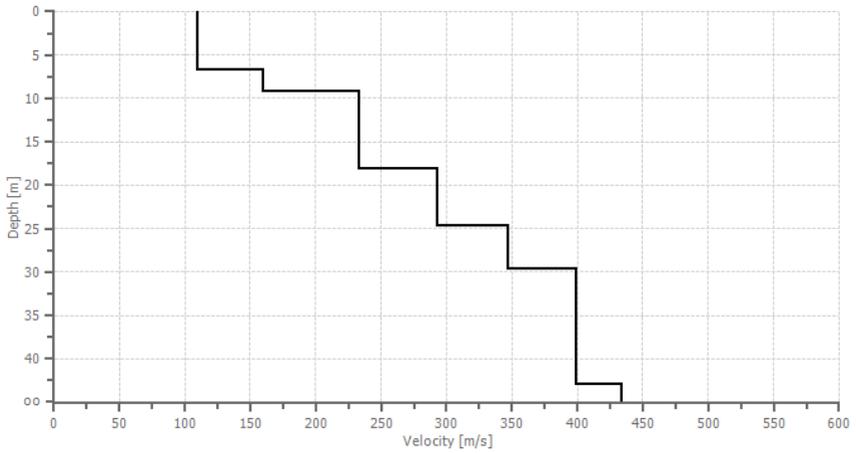
Line 3



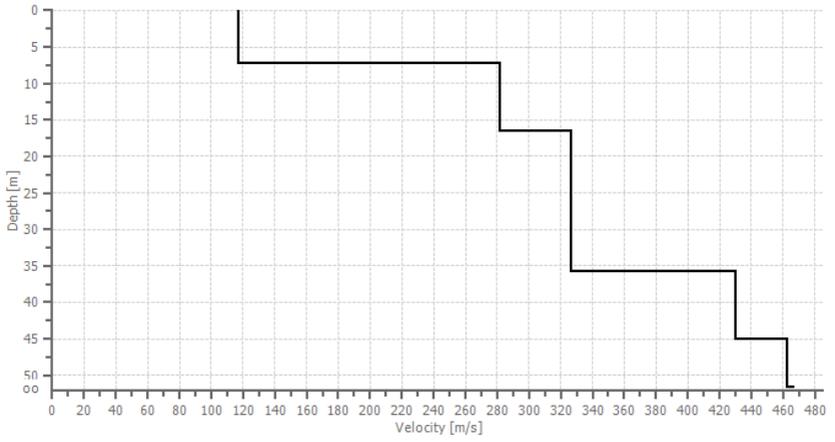
Line 4



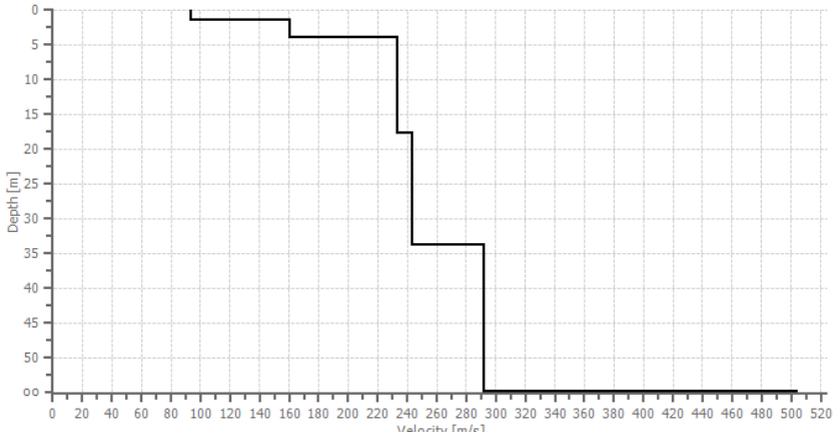
Line 5



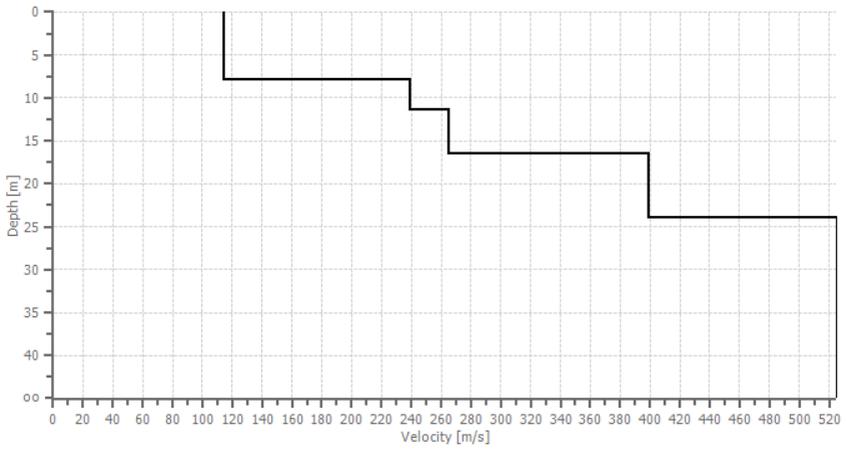
Line 6



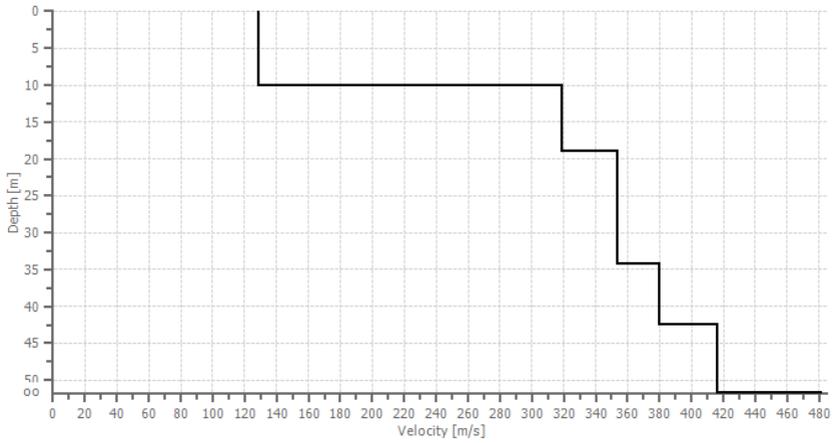
Line 7



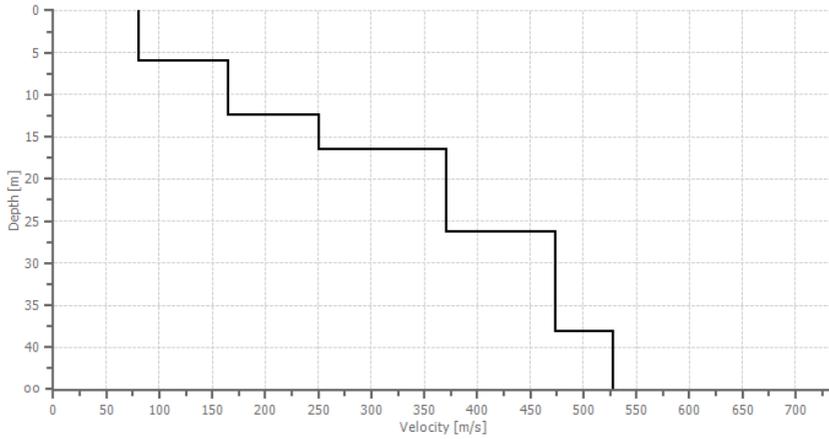
Line 8



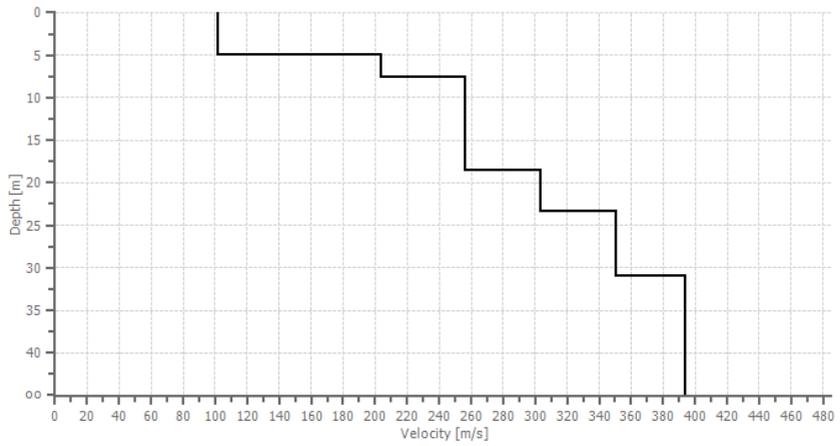
Line 9



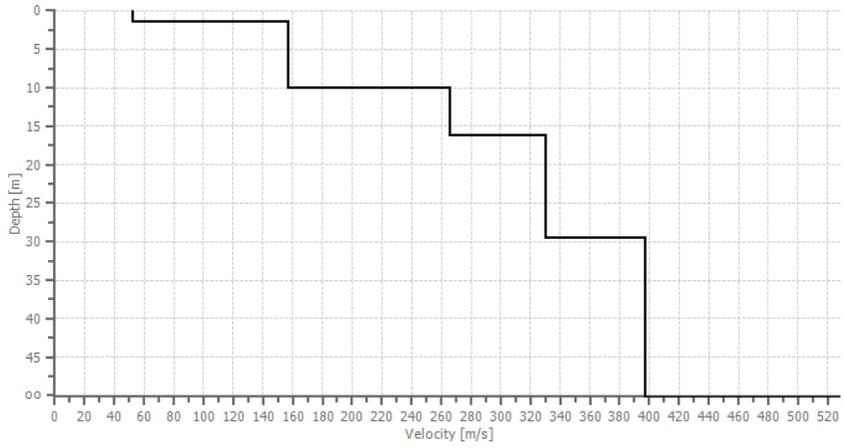
Line 10



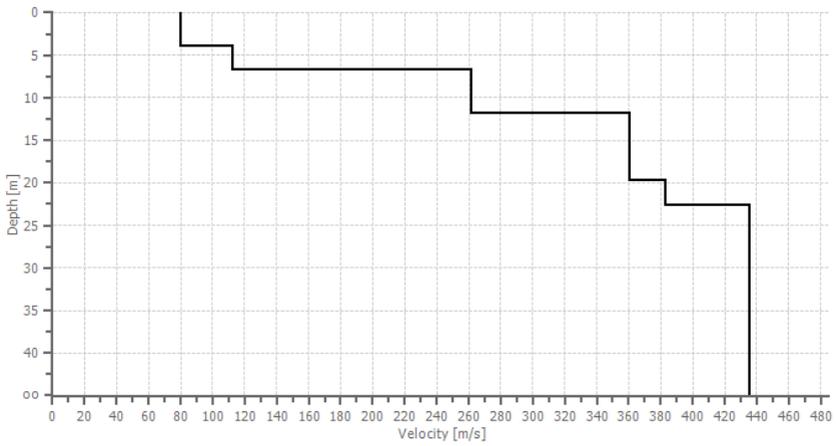
Line 11



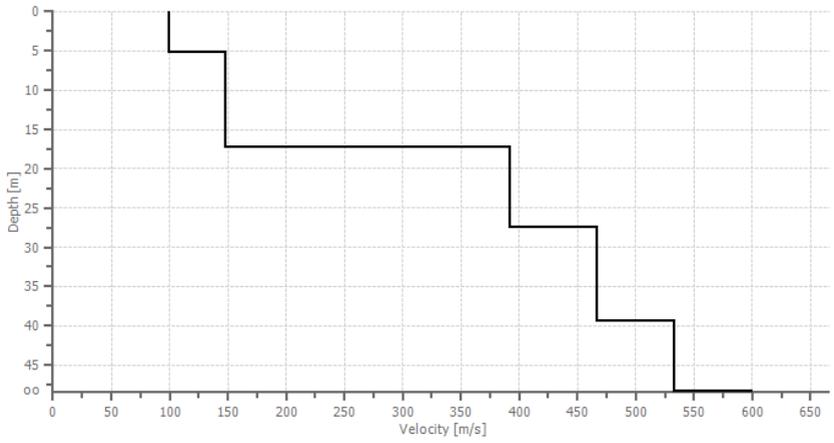
Line 12



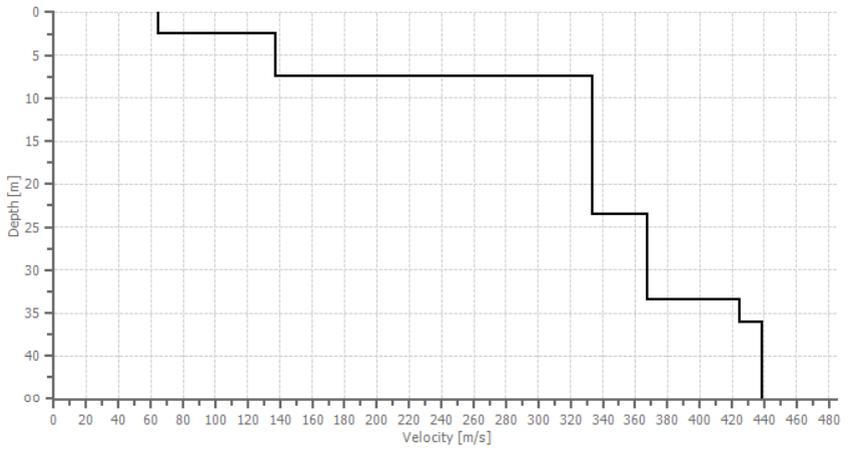
Line 13



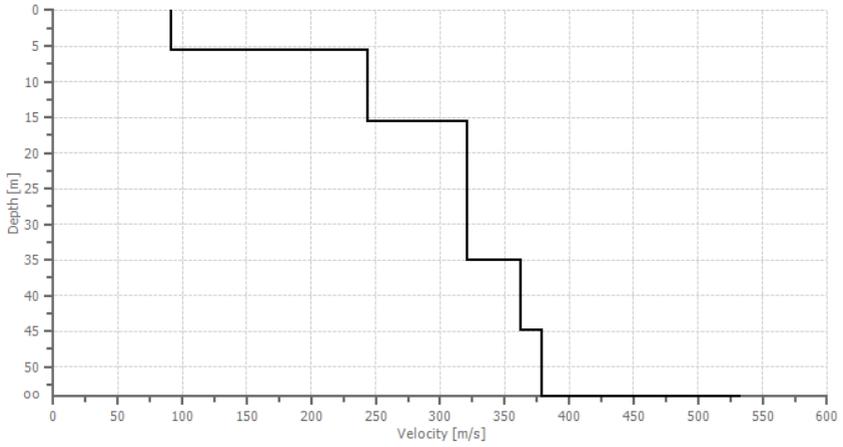
Line 14



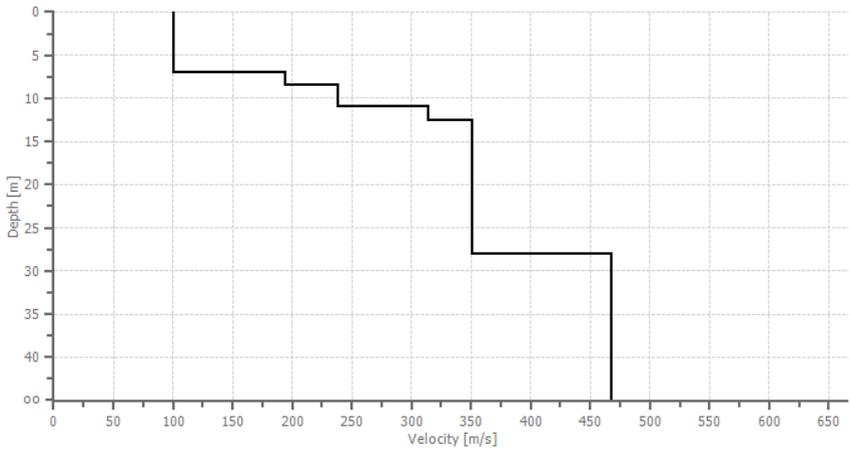
Line 15



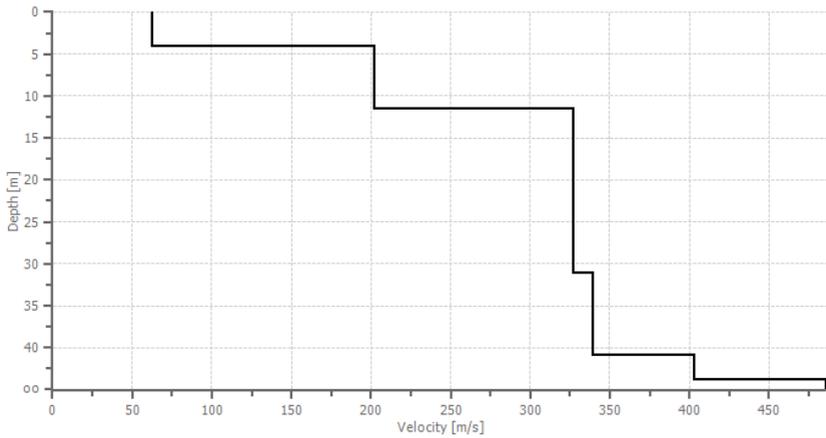
Line 16



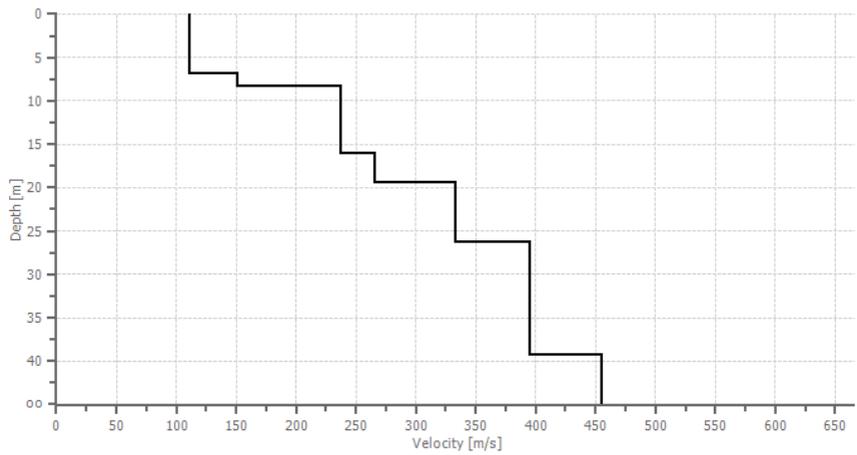
Line 17



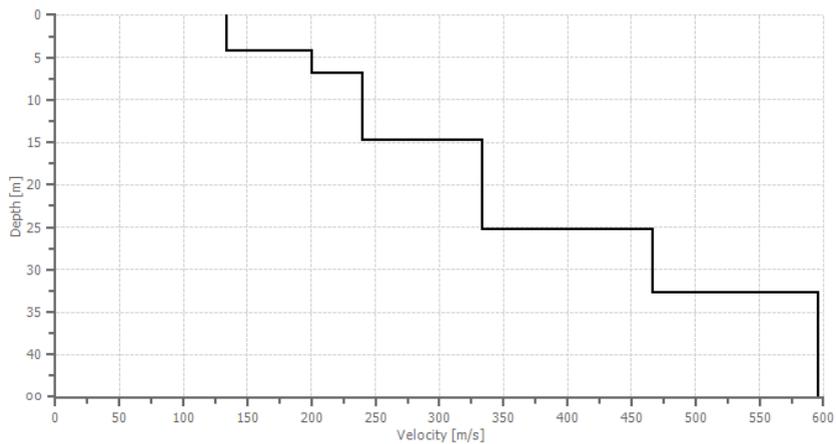
Line 18



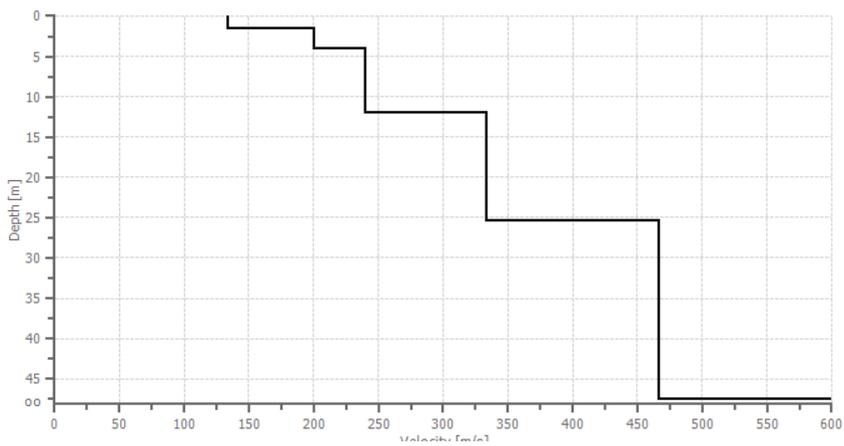
Line 19



Line 20



*Line 21*



*Line 22*

## BIODATA PENULIS



Ardianto, lahir di Serang, 31 Maret 1996 merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan ayah bernama Sudioanto dan Ibu bernama Ima Arini. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SDN Kramatwatu 2 (2002-2008), pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Kota Serang (2008-2011), dan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN Cahaya Madanai Banten *Boarding School* (2011 – 2014). Penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Geofisika ITS pada tahun 2014. Selama menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika ITS, penulis memiliki beberapa pengalaman organisasi. Mejabat staf dan staf ahli Deprtemen Dalam Negri (Dagri) Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG) ITS, staf dan Kepala Divisi *Internal* di *Society of Exploration Geophysicists* (SEG) ITS *Student Chapter*, menjadi Kepala Departemen Syiar dan Kepala Departemen Dirosat Islamiah Dakwah Jurusan KMTG Al Ardh Teknik Geofisika ITS serta menjadi staf dan staf ahli di Departemen Syiar Lembaga dakwah kampus JMMI ITS. Pengalaman kerja didapat saat menjalani masa Kerja Praktik di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) pada tahun 2017 dengan tema Analisa Seismisitas Gunung Merapi berdasarkan data seismik digital. Memiliki pengalaman kuliah lapangan di Karang Sambung pada tahun 2016 dan Kota Surabaya pada tahun 2017. Jika ingin berdiskusi lebih jauh terkait Tugas Akhir atau hal lainnya dapat menghubungi penulis melalui antoardi1996@gmail.com, sekian dan terimakasih.