

**ANALISIS KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_s)
MENGUNAKAN METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF
SURFACE WAVE* (MASW) DI WILAYAH BUKITTINGGI**



Rahmat Al Hidayah

NIM 18034132

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

**ANALISIS KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_s)
MENGUNAKAN METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF
SURFACE WAVE* (MASW) DI WILAYAH BUKITTINGGI**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains*



Rahmat Al Hidayah

NIM 18034132

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

PERSETUJUAN SKRIPSI

ANALISIS KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_s) MENGUNAKAN METODE *MULTICHANNEL OF SURFACE WAVE* (MASW) DI WILAYAH BUKITTINGGI

Nama : Rahmat Al Hidayah
NIM : 18034132
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

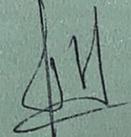
Padang, 18 Agustus 2022

Mengetahui
Kepala Departemen Fisika



Prof. Dr. Ratnawulan, M.Si.
NIP. 196901201993032002

Disetujui Oleh:
Pembimbing



Syafriani, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP.19740305 199802 2 001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

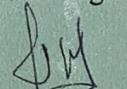
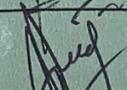
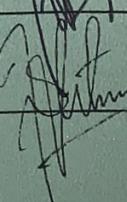
Nama : Rahmat Al Hidayah
NIM : 18034132
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

ANALISIS KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_s) MENGUNAKAN METODE *MULTICHANNEL OF SURFACE WAVE (MASW)* DI WILAYAH BUKITTINGGI

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi Departemen
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri
Padang

Padang, 18 Agustus 2022

Tim Penguji

| | Nama | Tanda Tangan |
|------------|----------------------------------|--|
| 1. Ketua | : Syafriani, S.Si., M.Si., Ph.D. | 1.  |
| 2. Anggota | : Dr. Hamdi, M.Si. | 2.  |
| 3. Anggota | : Drs. Letmi Dwiridal, M.Si. | 3.  |

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rahmat Al Hidayah
NIM/TM : 18034132/2018
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : FMIPA

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul : "Analisis Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Menggunakan Metode Multichannel Analysis Surface Wave (MASW) di Wilayah Bukittinggi " adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi UNP maupun dimasyarakat dan hukum Negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.



Kahmat Al Hidayah

NIM. 18034138

**Analisis Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Menggunakan Metode
*Multichannel Analysis Of Surface Wave (Masw) Di Wilayah Bukittinggi***

Rahmat Al Hidayah

ABSTRAK

Bukittinggi merupakan daerah yang termasuk rawan bencana, karena dilalui oleh segmen aktif sianok yang memanjang dari sisi timur laut Danau Singkarak, melewati sisi barat daya Gunung Merapi hingga Ngarai Sianok sehingga dapat memicu bencana gerakan tanah atau gempa bumi.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kecepatan gelombang geser (Vs) dengan menggunakan metode MASW yang memanfaatkan sifat dispersif dari gelombang permukaan *rayleigh* yang terkait dengan kekakuan lapisan bawah tanah sampai pada kedalaman hingga 30 meter, alat seismik yang dipakai untuk pengambilan data yaitu seismograf *sysmatrack*, sumber seismik berupa palu dan terekam pada 12 *geophone* vertikal 4,5 Hz dengan melakukan 2 variasi jarak antar *geophone* 4 meter dan 5 meter terdapat 2 lintasan pengamatan Vs di kampus 2 SMK Negeri 2 Bukittinggi, hasil Vs dari MASW akan di bandingkan dengan pengklasifikian jenis tanah dari UBC 1997.

Hasil Vs pada lintasan pertama bernilai 153-158,6 m/s dan lintasan kedua bernilai 372,1-382,3 m/s untuk klasifikasi jenis tanah sampai pada kedalaman 30 m terbagi menjadi dua, lintasan pertama termasuk kepada jenis tanah sedang (tipe D) sedangkan lintasan kedua termasuk kepada jenis tanah sangat padat dan batuan lunak (tipe C), perbedaan jenis tanah ini diakibatkan karena pada lintasan 2 terdapat tanah timbunan yang sangat pada sehingga nilai Vs lebih besar daripada lintasan 1.

Kata Kunci: Kota Bukittinggi, Kecepatan Gelombang Geser, MASW

*Shear-Wave (Vs) Velocity Analysis Using Method Multichannel Analysis Of
Surface Wave (MASW) In Bukittinggi*

Rahmat Al Hidayah

ABSTRACT

Bukittinggi is an area that is classified as disaster-prone, because it is traversed by an active sianok segment that extends from the northeast side of Lake Singkarak, past the southwest side of Mount Merapi to Sianok Gorge so that it can trigger landslides or earthquakes.

This study was conducted to analyze the shear wave velocity (Vs) using the MASW method which utilizes the dispersive nature of the Rayleigh surface waves associated with the stiffness of the subsoil to a depth of up to 30 meters, the seismic instrument used for data collection is the sysmatrack seismograph, the seismic source in the form of a hammer and recorded on 12 4.5 Hz vertical geophones by doing 2 variations of the distance between the geophones of 4 meters and 5 meters there are 2 Vs observation lines on campus 2 of SMK Negeri 2 Bukittinggi, the Vs results from MASW will be compared with the classification of soil types from UBC 1997.

The results of Vs on the first track are 153-158.6 m/s and the second track is 372.1-382.3 m/s for classification of soil types up to a depth of 30m divided into two, the first track includes medium soil types (type D) while the second track includes very dense soil types and soft rocks (type C), this difference in soil types is caused because on track 2 there is very dense soil embankment so that the value of Vs is greater than track 1.

Keywords: *Bukittinggi, Shear wave Velocity (Vs), MASW*

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur Kehadirat Allah SWT, karena atas segala rahmat, nikmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa kita curahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Judul dari penelitian ini adalah “**Analisis Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Menggunakan Metode *Multichannel Analysis Of Surface Wave (Masw) Di Wilayah Bukittinggi***” disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah membantu, baik bantuan secara moril maupun materil dalam menyelesaikan skripsi ini, yaitu:

1. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNP.
2. Ibu Syafriani, M.Si., Ph.D., selaku Ketua Prodi Fisika, penasehat akademik dan pembimbing tugas akhir, yang telah banyak memberikan bantuan, masukan serta saran selama pelaksanaan penelitian sampai pembuatan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Hamdi, M.Si. dan bapak Drs. Letmi Dwiridal, M.Si., selaku tim penguji.
4. Staf Pengajar dan Karyawan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
5. Seluruh Tim Seismik beserta bg Edi sebagai pemandu di lapangan dan keluarga besar Fisika C 2018 (Pascal) yang telah menjadi alasan penulis untuk tetap berjuang, semangat dan tidak menyerah.

6. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Terakhir, penulis meminta maaf dan menyadari akan kelemahan dan kekurangan dari skripsi ini. Oleh karena itu, segala kritik membangun dan sumbangan saran akan diterima dengan penuh ucapan terima kasih demi semakin baiknya sajian skripsi ini. Semoga skripsi ini ada manfaatnya bagi para pembaca, khususnya bagi mahasiswa Universitas Negeri Padang.

Padang, Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | ii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR LAMPIRAN | x |
| BAB I | 1 |
| A. Latar Belakang Masalah | 1 |
| B. Identifikasi Masalah | 4 |
| C. Batasan Masalah | 5 |
| D. Rumusan Masalah | 5 |
| E. Tujuan Penelitian | 6 |
| F. Manfaat Penelitian | 6 |
| BAB II | 7 |
| A. Gempa Bumi | 7 |
| B. Kondisi Daerah Penelitian | 7 |
| C. Teori Gelombang | 8 |
| D. Metode Seismik Refraksi | 10 |
| E. First Break Picking | 12 |
| F. Tipe-Tipe Gelombang Seismik | 13 |
| G. Dispersi Gelombang <i>Rayleigh</i> | 17 |
| H. Metode Gelombang Permukaan | 19 |
| I. Gelombang geser | 20 |
| J. Transformasi <i>Fourier</i> | 22 |
| K. Modulus Geser | 23 |
| L. Metode MASW | 24 |
| M. Penelitian Relevan | 27 |
| N. Kerangka Berpikir | 29 |
| BAB III | 30 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| A. Jenis dan Tempat Penelitian..... | 30 |
| B. Variabel Penelitian | 30 |
| C. Daerah Penelitian | 30 |
| D. Alat dan Bahan..... | 31 |
| E. Data Penelitian | 31 |
| F. Diagram Alir Penelitian | 32 |
| G. Akuisisi Data MASW | 34 |
| H. Tahap Pengolahan Data..... | 35 |
| I. Metode Analisis | 38 |
| BAB IV | 39 |
| A. Hasil | 39 |
| B. Pembahasan..... | 46 |
| BAB V..... | 49 |
| A. Kesimpulan | 49 |
| B. Saran..... | 49 |
| DAFTAR PUSTAKA | 50 |
| LAMPIRAN..... | 52 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. Sebaran Geologi Permukaan Kota Bukittinggi (Satgas RPIJM Kota Bukittinggi,2006) | 8 |
| Gambar 2. Hukum Snellius (Shearer, 2009) | 8 |
| Gambar 3. Prinsip Huygens dalam penalaran gelombang | 9 |
| Gambar 4. Asas Fermat (Rawlinson & Sambridge, 2007)..... | 10 |
| Gambar 5. Gelombang pantul, gelombang bias, gelombang pantul | 12 |
| Gambar 6. Tiga jenis bentuk phase gelombang (wavelet) seismik | 13 |
| Gambar 7. Gelombang Primer (P-Wave) (Elnashai & Sarno, 2008)..... | 14 |
| Gambar 8. Gelombang Sekunder (S-Wave) (Elnashai & Sarno, 2008)..... | 14 |
| Gambar 9. Gelombang Love (Elnashai & Sarno, 2008) | 15 |
| Gambar 10. Gelombang <i>Rayleigh</i> (Elnashai & Sarno, 2008) | 16 |
| Gambar 11. Dispersi gelombang permukaan (Rosyidi, 2006)..... | 19 |
| Gambar 12. Transformasi Fourier (Abdullah, 2007) | 23 |
| Gambar 13. Gambaran umum Metode MASW Pasif (Park et al., 1999)..... | 25 |
| Gambar 14. Skema survei lapangan MASW aktif (Park et al., 1999) | 26 |
| Gambar 15. Parameter akuisisi maksimum MASW | 26 |
| Gambar 16. Kerangka Berpikir | 29 |
| Gambar 17. Peta Lokasi Penelitian | 30 |
| Gambar 18. Diagram alir secara umum | 32 |
| Gambar 19. Diagram alir secara umum | 33 |
| Gambar 20. Diagram alir Pengolahan data MASW | 33 |
| Gambar 21. Akuisisi data MASW | 34 |
| Gambar 22. Tampilan hasil gelombang seismik pada pengukuran seismager..... | 35 |
| Gambar 23. kurva dispersi dengan nilai maksimum amplitudo, titik merah merupakan nilai maksimum amplitudo yang otomatis ditunjukkan oleh software. | 36 |
| Gambar 24. picking fundamental mode pada kurva dispersi. Titik merah merupakan titik picking fundamental mode yang merupakan bagian yang terdispersi dari kurva tersebut | 36 |
| Gambar 25. (a) Gelombang yang akan di picking, (b) Kurva dispersi | 37 |
| Gambar 26. Profil kecepatan hasil inversi dan nilai Vs30 | 37 |
| Gambar 27. Lintasan data penelitian (a) lintasan 1 (b) lintasan 2..... | 39 |
| Gambar 28 Tampilan file data..... | 40 |
| Gambar 29. Tampilan data pengukuran (a) lintasan 1 jarak 4m, (b) lintasan 1 jarak 5m, (c) lintasan 2 jarak 4m, (d) lintasan 2 jarak 5m | 41 |
| Gambar 30. Proses Ekstraksi (a) sebelum ekstraksi (b) sesudah ekstraksi | 41 |
| Gambar 31. Picking spektrum kurva dispersi (a) lintasan 1 jarak 4m, (b) lintasan 1 jarak 5m, (c) lintasan 2 jarak 4m, (d) lintasan 2 jarak 5m | 42 |

| | |
|--|----|
| Gambar 32. Proses inversi (a) lintasan 1 jarak 4m, (b) lintasan 1 jarak 5m, (c) lintasan 2 jarak 4m, (d) lintasan 2 jarak 5m | 43 |
| Gambar 33 Profil Vs 1D (a) lintasan 1 jarak 5meter (b) lintasan 1 jarak 4meter (c) lintasan 2 jarak 5meter (d) lintasan 2 jarak 4meter | 45 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Pengklasifikasian jenis tanah dan batuan..... | 20 |
|--|----|

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1. Proses Pengambilan Data | 52 |
| Lampiran 2. Data Penelitian..... | 52 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Sumatera Barat merupakan daerah yang rawan bencana salah satunya yaitu gempa bumi karena berada di pertemuan lempeng Indo-Australia yang menunjam ke bawah lempeng eurasia yang membentuk jalur gempabumi, Kawasan gempa bumi di Sumatera Barat berada pada daerah Megathrust, Sesar Mentawai dan Sesar Sumatera (Novita, 2008). Dalam penelitian (Murtianto, 2010) Potensial kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi terbesar terjadi pada wilayah bagian tengah, yaitu Kota Solok, Padang Panjang, Kota Bukittinggi, Ketiga wilayah adalah daerah yang dilalui Segmen Sianok dimana merupakan salah satu segmen Sesar Sumatera yang ada di Sumatera Barat. Segmen ini memanjang dari sisi timur laut Danau Singkarak, melewati sisi barat daya Gunung Merapi hingga Ngarai Sianok dengan panjang 90 km (Ir. Ade Edward, 2009). Kondisi Segmen tersebut menyebabkan Kota Bukittinggi dalam keadaan yang dimana dapat memicu bencana gerakan tanah.

Gempa terbesar pernah tercatat pada Segmen Sianok yaitu pada 4 Agustus 1926 dengan pusat hancuran antara Kota Bukittinggi dan Danau Singkarak. Kemudian pada tanggal 6 Maret 2007 pernah terjadi dua kali gempa pada segmen ini dengan magnitudo 6,4 SR dan 6,3 SR (Triyono, 2015). Berdasarkan katalog data (BMKG, 2019), tercatat gempa yang terjadi pada tanggal 6 Maret 2007 ini mengakibatkan korban meninggal sebanyak 67 orang, luka-luka sebanyak 826 orang dan kerusakan sebanyak 43.719 rumah rusak atau hancur di area Bukittinggi, Payakumbuh dan Solok. Selain itu menurut Ma'muri (2016), gempa bumi

sepanjang tahun 2016 yang bersumber di daratan lebih banyak disebabkan oleh aktivitas Segmen Sianok yang berada di sekitar Ngarai Sianok Kota Bukittinggi hingga tenggara Danau Singkarak.

Menurut (Raeis & Syafriani, 2020) Segmen Sianok merupakan salah satu segmen aktif yang berada di daerah Sumatera Barat, dan tercatat gempa besar yang pernah terjadi pada tahun 1822 dengan magnitudo 7 SR. Salah satu karakteristik gempa adalah gempa yang memiliki sifat siklus pengulangan. Akibat adanya sifat gempa yang berulang memungkinkan pascagempa pada segmen sianok 2007 akan mengalami akumulasi energi yang bisa menyebabkan potensi gempa besar terjadi kembali. Menurut (Thatcher, 1984) energi gempa berdasarkan siklus perulangan gempa bumi melalui beberapa tahap seperti interseismic, coseismic, dan post-seismic. Pemancaran energi gempa bumi dapat besar ataupun kecil, hal ini tergantung dari karakteristik buatan yang ada dan besarnya stress yang didukung oleh struktur geologi pada suatu daerah.

Kota Bukittinggi merupakan wilayah yang juga dilalui Segmen Sianok memiliki karakteristik alam berdasarkan kajian Badan Penanggulangan Bencana Daerah (2018) berupa bukit dan lembah serta kompleks pegunungan vulkanik Maninjau hingga Gunung Sago. Selain itu, pada beberapa wilayah terlihat pemukiman penduduk yang berjarak kurang dari 100meter dari kawasan berbahaya akan potensi bencana. Seperti pemukiman yang berada di bibir tebing dan di bagian bawah tebing (lembah). Selain itu, potensi risiko penduduk yang terpapar sebanyak 126.806 jiwa, kepadatan penduduk yang cukup besar dibandingkan dengan daerah sekitar segmen segmen Sesar Sumatera lainnya. Sehingga Kota Bukittinggi memiliki tingkat risiko potensi bencana gempa bumi serta bencana tanah longsor

dan letusan gunung api yang diperkirakan dapat menimbulkan kerugian mencapai 2.369 triliun rupiah. Maka sangat diperlukan upaya mitigasi bencana gempabumi melalui sebuah Analisis kecepatan gelombang geser (V_s) hal ini dilakukan untuk mengurangi resiko kerusakan suatu tempat akibat gempa bumi. Nilai kecepatan gelombang geser sangat penting dalam berbagai hal seperti studi mikrozonasi dan mengevaluasi kondisi yang bagus untuk keadaan bawah tanah permukaan dangkal.

Menurut (Thompson dan Turk, 1997) Gelombang geser merupakan gelombang badan yang sering dinamakan sebagai gelombang S yang berarti sekunder atau *shear*. Dinamakan gelombang sekunder karena kecepatannya lebih rendah dibandingkan dengan gelombang P (*primer atau pressure*). Dalam medium yang padat, gelombang geser menjalar dengan kecepatan antara 3-4 km/detik. Ketika menjalar di bawah permukaan, gelombang geser memberikan regangan geser pada material yang dilaluinya, sehingga dinamakan gelombang geser.

Kajian yang berkaitan dengan kecepatan gelombang geser menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) masih sangat minim ditemukan. Beberapa penelitian di antaranya yang dilakukan oleh (Rasimeng et al., 2016) Analisis Kecepatan Gelombang Geser (V_{s30}) menggunakan Metode Seismik Multi-Channel Analysis of Surface Wave (MASW) untuk menentukan Resiko Bencana GempaBumi di Kota Bandar Lampung. Pemodelan parameter tanah (V_s , G) berdasarkan metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) sebagai evaluasi tapak lokal surabaya (Ghoziana Indanartha, 2018). Profiling kecepatan gelombang geser (V_s) berdasarkan pengukuran mikrotremor studi kasus Kecamatan Puger, Jember (Noor et al., 2017). Kombinasi metode

HVSR, MASW dan CPT untuk memperoleh model kecepatan gelombang geser di Kota Bengkulu (Saputra, 2019).

Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan dalam menentukan nilai (V_s) 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 (Ariestianty et al., 2009). Menurut Stokoe dkk., (1994) kecepatan gelombang *rayleigh* yang terukur dalam pengukuran MASW sangat merepresentasi kecepatan gelombang geser. Hal ini dikarenakan kecepatan fase gelombang *rayleigh* sekitar 92% dari kecepatan gelombang geser. Gelombang *rayleigh* mempunyai sifat yang unik, yaitu setiap perambatan gelombang yang melewati batas lapisan material bumi akan mengalami dispersi. MASW mampu memberikan informasi tentang kecepatan gelombang geser (V_s) 1D. Pemetaan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) konvensional dengan metode geofisika *borehole* memiliki kekurangan pada segi biaya dan waktu. Sedangkan penelitian V_s menggunakan mikrotremor memiliki kekurangan pada segi data yang diambil berupa gelombang alami bumi sehingga rentan terpengaruh oleh *noise* atau gelombang yang tidak diinginkan baik akibat aktivitas alam maupun manusia.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka identifikasi masalah pada penelitian ini mencakup sebagai berikut:

1. Wilayah Bukittinggi merupakan daerah yang rawan bencana gempa bumi disebabkan oleh adanya Segmen Sianok yang tumbuh dan berkembang di sepanjang jalur patahan aktif Sumatera dengan memiliki akumulasi energi yang masih tersimpan.
2. Potensi kejadian gempa besar di Segmen Sianok.
3. Wilayah Kota Bukittinggi merupakan salah satu kota dengan kepadatan penduduk yang tinggi di Sumatera Barat yang memiliki potensi kerugian yang besar saat terjadinya gempa besar.
4. Belum memiliki data kecepatan gelombang geser (V_s) di wilayah Kota Bukittinggi.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan penelitian ini adalah:

1. Metode MASW digunakan untuk mendapatkan nilai V_s dan V_{s30} .
2. Lokasi penelitian ini berada di Smk Negeri 2 Bukittinggi.
3. *Software* yang digunakan untuk melakukan pengolahan data dan pembuatan peta adalah *Software Seismager* dan *Arcgis*.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam pelaksanaan penelitian ini adalah Bagaimana nilai kecepatan gelombang geser (V_s) di Smk Negeri 2 Bukittinggi berdasarkan kecepatan gelombang permukaan *rayleigh* menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW)*?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah menganalisa kecepatan gelombang geser (V_s) menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW)*.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dalam menganalisa kecepatan gelombang geser pada Kota Bukittinggi adalah sebagai informasi acuan untuk pemerintah dan masyarakat yang dibutuhkan upaya mengurangi resiko kerusakan atau kerugian akibat bencana gempa bumi.

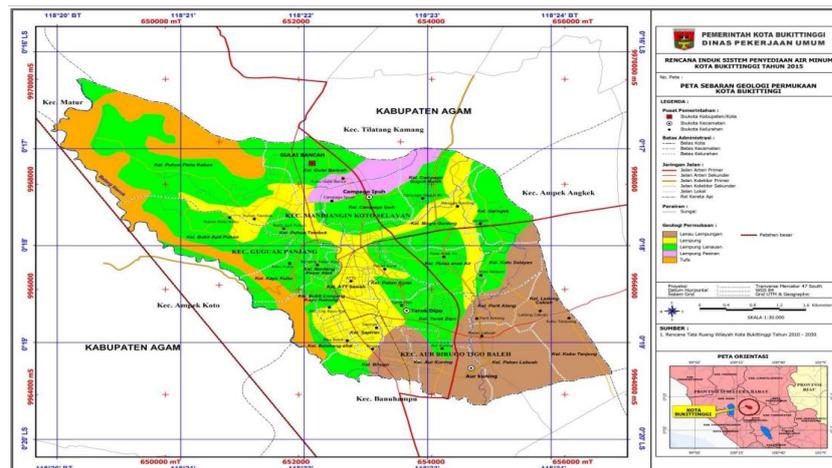
BAB II KERANGKA TEORITIS

A. Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan salah satu fenomena alam yang dapat disebabkan oleh buatan/akibat kegiatan manusia maupun akibat peristiwa alam. Akibat dari kedua tersebut tanah menjadi bergetar sebagai efek dari menjalarnya gelombang energi yang memancar dari pusat gempa/fokus. Energi yang memancar dari fokus adalah akibat dari peristiwa mekanik (tumbukan, gesekan, tarikan) ataupun peristiwa khemis (ledakan akibat peristiwa reaksi kimia), energi yang terjadi akibat peristiwa-peristiwa tersebut menyebar ke segala arah pada media tanah (Pujiyanto, 2007).

B. Kondisi Daerah Penelitian

Kota Bukittinggi terletak pada ketinggian antara 756 – 960 meter di atas permukaan laut. Kemiringan lahan atau lereng wilayah Kota Bukittinggi sangat bervariasi, klasifikasi topografi dapat dibagi menjadi topografi yang relatif datar, berbukit-bukit, dan terjal. Wilayah yang terjal berada di Kawasan Ngarai Sianok (15,38%), sementara daerah perbukitan (9,64%) berada di sekitar ngarai, kawasan gulai Bancah, Campago Ipuh, Campago Guguk Bulek, Benteng Pasar Atas serta Kubu Tanjung. Lahan yang memiliki kemiringan relatif datar (74,98 %) Terdapat sebagian besar di Kecamatan Aur Birugo Tigo Baleh bagian barat, Kecamatan Guguk Panjang bagian barat dan Kecamatan Mandiangin Koto Selayan bagian Tengah dan Timur, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 merupakan peta sebaran geologi permukaan dari kota Bukittinggi.



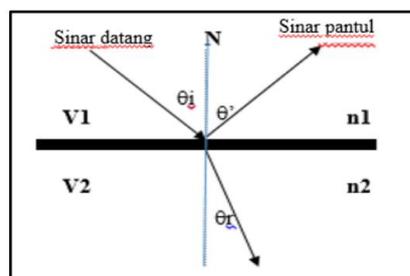
Gambar 1. Sebaran Geologi Permukaan Kota Bukittinggi (Satgas RPIJM Kota Bukittinggi, 2006)

C. Teori Gelombang

Seismik adalah gelombang mekanik yang merambat pada batuan, oleh karena itu hukum dasar bagi teori gelombang juga dapat digunakan dalam seismik. Hukum dasar tersebut antara lain, Hukum Snellius, Prinsip Huygens, dan Asas Fermat (Shearer, 2009).

1. Hukum Snellius

Hukum Snellius menyatakan bahwa bila suatu gelombang jatuh pada bidang batas dua medium yang mempunyai perbedaan densitas, maka gelombang tersebut akan dibiaskan, jika sudut datang gelombang lebih kecil atau sama dengan sudut kritisnya. Gelombang akan dipantulkan, jika sudut datangnya lebih besar dari sudut kritisnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hukum Snellius (Shearer, 2009)

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa gelombang datang, gelombang bias, gelombang pantul terletak pada suatu bidang datar yang bisa dilihat pada Perumusan matematis hukum Snellius adalah:

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

dimana:

θ_i = Sudut Datang

θ_r = Sudut Bias

v_1 = Kecepatan sinar datang

v_2 = Kecepatan sinar bias

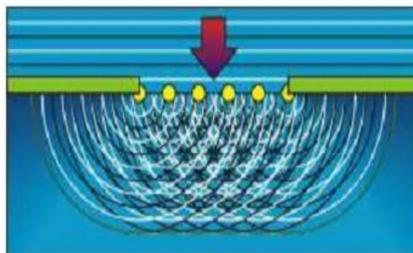
n_1 = Indeks bias medium yang dilalui sinar datang

n_2 = Indeks bias medi

um yang dilalui sinar bias

2. Prinsip Huygens

Prinsip Huygens menyatakan bahwa setiap titik-titik pengganggu yang berada di depan muka gelombang utama akan menjadi sumber bagi terbentuknya deretan gelombang yang baru. Jumlah energi total deretan gelombang baru tersebut sama dengan energi utama (Gambar 3).



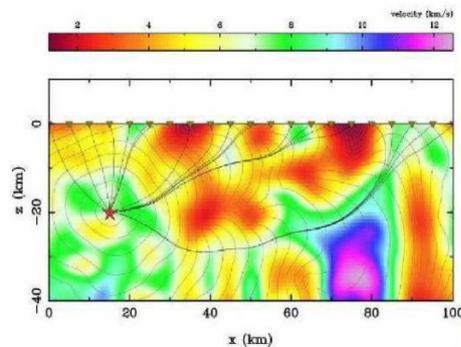
Gambar 3. Prinsip Huygens dalam penjalaran gelombang

(Abdullah, 2007)

Di dalam eksplorasi seismik titik-titik di atas dapat berupa patahan, rekahan, pembajian, antiklin, dll. Sedangkan deretan gelombang baru berupa gelombang difraksi. Untuk menghilangkan efek ini dilakukanlah proses migrasi.

3. Asas Fermat

Prinsip Fermat menyatakan bahwa jika sebuah gelombang merambat dari satu titik ke titik yang lain, berdasarkan Gambar 4 tersebut gelombang akan memilih jejak yang tercepat. Jejak yang akan dilalui oleh sebuah gelombang adalah jejak yang secara waktu tercepat bukan yang terpendek secara jarak. Tidak selamanya yang terpendek itu tercepat. Dengan demikian, jika gelombang melewati sebuah medium yang memiliki variasi kecepatan gelombang seismik, maka gelombang tersebut akan cenderung melalui zona-zona kecepatan tinggi dan menghindari zona-zona kecepatan rendah



Gambar 4. Asas Fermat (Rawlinson & Sambridge, 2007)

D. Metode Seismik Refraksi

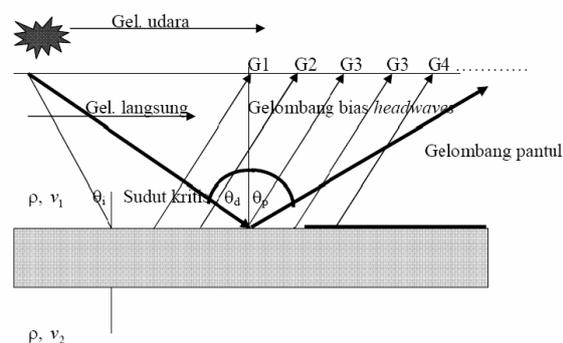
Metode seismik refraksi (bias) adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk mengetahui penampang struktur bawah permukaan. Metode ini akan memberikan informasi yang diharapkan sebagai penunjang penelitian berikutnya. Metode seismik refraksi bekerja dengan menentukan kecepatan

perambatan gelombang seismik di bawah permukaan. Metode ini didasarkan pada sifat perambatan gelombang yang mengalami pembiasan dengan sudut kritis.

Dalam metode seismik refraksi indikator yang diukur adalah waktu tempuh gelombang dari sumber sampai ke *geophone*. Keterbatasan yang dimiliki metode ini yaitu tidak dapat digunakan pada daerah yang memiliki kondisi geologi yang terlalu kompleks. Metode ini dapat digunakan untuk mendeteksi lapisan dangkal dan hasil yang diperoleh cukup memuaskan (Saiful dkk, 2014).

Metode seismik refraksi memanfaatkan penjalaran gelombang di bawah permukaan dengan menggunakan sumber seismik dan merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam bidang geofisika eksplorasi. Disamping dipakai untuk melokalisir keberadaan sumber daya alam, metode seismik khususnya metode seismik refraksi juga dapat diaplikasikan dalam bidang geoteknik (rekayasa) dan lingkungan. Prinsip dasar metode seismik adalah menganalisa respon dari penjalaran gelombang seismik yang merambat pada media elastik, sehingga gelombang seismik disebut juga gelombang seismik, karena osilasi partikel-partikel medium terjadi akibat interaksi antara gaya gangguan (gradien stress) melawan gaya-gaya elastik. Dari interaksi tersebut muncul gelombang longitudinal yang sering disebut gelombang P (pressure) dan gelombang transversal yang disebut juga gelombang S (shear). Gelombang ini akan direkam dalam fungsi waktu di dalam seismogram, dari data seismogram dapat dibaca waktu dan amplitudo secara visual. Dengan mengetahui jarak antara masing-masing *geophone* ke sumber gelombang seismik, maka akan didapatkan besar kecepatan berdasarkan kurva travel time (Hartantyo, 2004).

Metode seismik refraksi pada dasarnya memanfaatkan gejala penjalaran gelombang yang terbiaskan pada bidang batas. Rambatan gelombang yang terbiaskan pada kondisi kritis akan menjalar di sepanjang bidang batas. Setiap titik pada bidang batas tersebut, sesuai dengan hukum Huygens, berfungsi sebagai sumber gelombang baru yang merambat ke segala arah, gelombang ini disebut sebagai headwaves, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5



Gambar 5. Gelombang pantul, gelombang bias, gelombang pantul

Aplikasi gelombang seismik refraksi dalam penentuan struktur bawah permukaan berdasarkan waktu penjalaran gelombang pada tanah/batuan dari posisi sumber ke penerima pada berbagai jarak tertentu. Gelombang yang terjadi setelah usikan pertama (first break) saja yang dibutuhkan. Parameter jarak (off-set) dan waktu jalar berhubungan dengan cepat rambat gelombang dalam medium.

E. First Break Picking

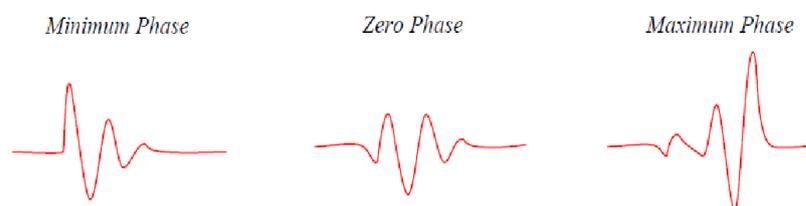
Hal yang paling penting dalam pengukuran data seismik refraksi adalah first break picking. First break adalah waktu dimana gelombang seismik dari sumber pertama kali mencapai penerima.

First break picking dilakukan dengan membaca waktu pertama kali gelombang mencapai geophone yang diperkirakan berasal dari sumber (bukan

noise). Dalam seismik refraksi, hanya gelombang langsung dan refraksi yang di-picking, sedangkan gelombang refleksi tidak pernah muncul sebagai first break.

Sebelum melakukan first break picking, yang perlu kita ketahui yaitu fase gelombang seperti Gambar 6. Bentuk fase gelombang seismik ada 3 jenis, antara lain:

1. Minimum Phase Bentuk dasar gelombang yang dipancarkan sumber memiliki puncak maksimum di depan.
2. Zero Phase Bentuk dasar gelombang yang dipancarkan sumber memiliki puncak maksimum di tengah.
3. Maximum Phase Bentuk dasar gelombang yang dipancarkan sumber memiliki puncak maksimum di belakang. (Tim Laboratorium Geofisika UPN, 2010)



Gambar 6. Tiga jenis bentuk phase gelombang (wavelet) seismik

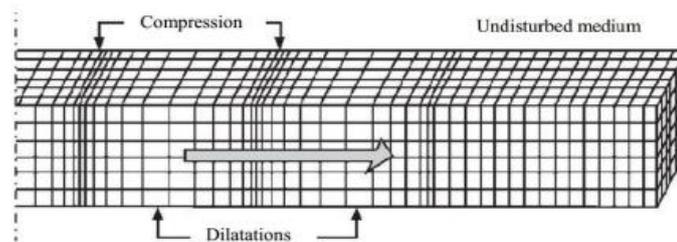
F. Tipe-Tipe Gelombang Seismik

1. Gelombang Badan (Body Wave)

Gelombang Badan merupakan sebuah gelombang yang merambat di dalam bumi dan berdasarkan arah rambatnya gelombang badan dibagi menjadi 2 yaitu gelombang primer dan sekunder.

a. Gelombang Primer

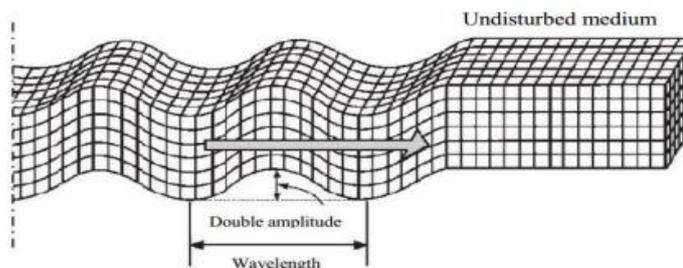
Gelombang primer atau gelombang kompresi merupakan gelombang badan (*body Wave*) yang memiliki kecepatan paling tinggi dari gelombang S, berdasarkan Gambar 7 gelombang ini merupakan gelombang longitudinal partikel yang merambat bolak balik dengan arah rambatnya, gelombang ini terjadi karena adanya tekanan, karena memiliki waktu tiba terlebih dahulu dari pada gelombang S.



Gambar 7. Gelombang Primer (P-Wave) (Elnashai & Sarno, 2008).

b. Gelombang Sekunder

Gelombang S atau gelombang transversal (*Shear Wave*) adalah salah satu gelombang badan (*body Wave*) yang memiliki gerak partikel tegak lurus terhadap arah rambatnya serta waktu tibanya setelah gelombang P.



Gambar 8. Gelombang Sekunder (S-Wave) (Elnashai & Sarno, 2008)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 gelombang ini tidak dapat merambat pada fluida, sehingga pada inti bumi bagian luar tidak dapat terdeteksi sedangkan pada inti bumi bagian dalam mampu dilewati.

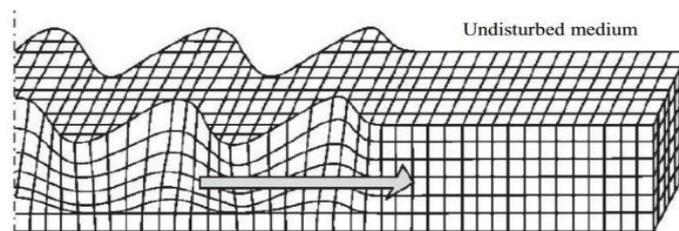
2. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan merupakan gelombang seismik yang memiliki arah rambatan hanya pada batas permukaan medium. Berdasarkan sifat gerakan partikel

media klasik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks yang memiliki frekuensi rendah dan amplitudo besar. Gelombang permukaan menjalar akibat adanya efek free surface dimana terdapat perbedaan sifat elastik. ada dua jenis gelombang permukaan yaitu gelombang *rayleigh* dan gelombang *love* (Telford, 1976).

a. Gelombang *Love*

Gelombang *love* merupakan gelombang dimana gerakan partikelnya berupa kombinasi antara gerakan partikel gelombang primer dan gelombang sekunder gelombang *love* terjadi karena interferensi konstruktif dari gelombang P dan S komponen horizontal sehingga terbentuk pada bidang datar (horizontal) antara permukaan (Lowrie, 2007) Seperti yang di pada Gambar 9.



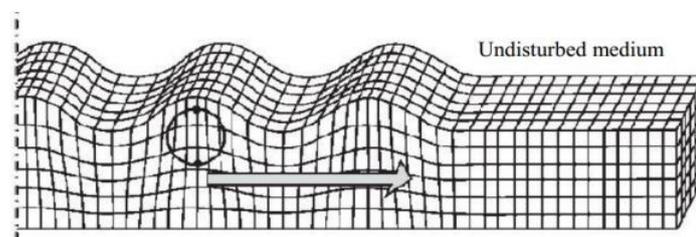
Gambar 9. Gelombang *Love* (Elnashai & Sarno, 2008)

b. 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 (Park, 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), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Gelombang *Rayleigh* (Elnashai & Sarno, 2008)

Gambar 10 menjelaskan perambatan gelombang *rayleigh* yang arah gerak partikelnya berbentuk elips atau melingkar berlawanan arah jarum jam atau melingkar searah dengan arah gerak gelombang. Gerak partikelnya juga memperlihatkan bahwa gelombang ini bergerak pada permukaan yang merupakan bagian dari gelombang permukaan. Gelombang *rayleigh* adalah gelombang permukaan, maka sumber yang lebih dekat ke permukaan akan menimbulkan

gelombang *rayleigh* yang lebih kuat dibandingkan sumber yang terletak di dalam bumi (Lay & Wallace, 1995).

G. 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 penjarannya, 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 ekstrasinya adalah: (Park et al., 1999).

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

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

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 karakteristik kecepatan fase pada setiap frekuensi. Sumber *noise*, yaitu gelombang tubuh dan gelombang refleksi, juga dikenali dengan konten frekuensinya dan perpindahan mereka melintasi susunan penerima. Kurva dispersi gelombang *rayleigh* yang dibutuhkan diekstraksi dari citra dispersi untuk analisis lebih lanjut. *Noise* biasanya secara otomatis dihapus dalam proses ini (Park,2007).

Penguraian yang efisien dari data yang direkam ke dalam mode gelombang permukaan yang berbeda dan berbagai sumber *noise* merupakan 9 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:

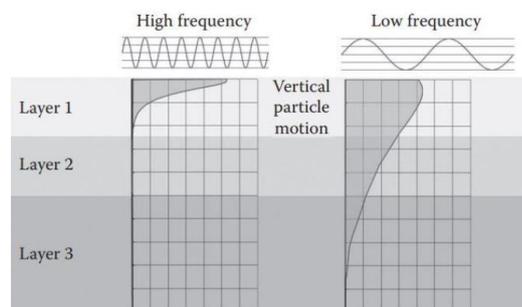
1. Transformasi Fourier dan Normalisasi Amplitudo.
2. Pencitraan dispersi.

3. Ekstraksi kurva dispersi.

H. Metode Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang seismik yang merambat di permukaan bumi tanpa adanya penyebaran energi ke dalam interior bumi. Amplitudo gelombang ini akan semakin melemah jika menjalar masuk ke dalam inti bumi dan kebanyakan energi merambat pada daerah dangkal (Ariestianty et al., 2009).

Prinsip analisis gelombang permukaan adalah dengan memanfaatkan karakteristik perambatan gelombang permukaan dari sumber mekanik buatan untuk menilai kecepatan gelombang geser yang merupakan representasi dari nilai kekakuan (*stiffness*) dinamik suatu bahan. Karakteristik khusus dari gelombang permukaan adalah kombinasi rambatan gelombang dengan frekuensi tinggi dan panjang gelombang pendek dapat mendeteksi sub-permukaan bagian atas. Rambatan gelombang berfrekuensi lebih rendah dengan panjang gelombang yang lebih panjang, dapat mendeteksi lapisan yang lebih dalam (Rosyidi, 2013). Sifat inilah yang dinamakan sifat dispersi gelombang permukaan sebagaimana dikonsepsikan dalam gambar 11.



Gambar 11. Dispersi gelombang permukaan (Rosyidi, 2006)

Secara umum ada dua jenis gelombang permukaan yang dihasilkan ketika sebuah getaran mekanik diberikan pada sebuah material yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love. Kedua gelombang permukaan tersebut terbentuk akibat adanya interferensi gelombang badan (Dobrin, 1988). Gelombang permukaan *rayleigh* sering menjadi hal yang dominan pada rekaman data seismik yang menyebarkan energi ke semua arah. Hal ini disebabkan energinya lebih banyak dan penyebaran secara geometri lebih rendah dari gelombang badan (Mufida et al., 2013).

I. Gelombang geser

Gelombang geser merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kekuatan guncangan gempa, amplifikasi tanah, likuifaksi dan pemetaan kondisi bawah permukaan untuk kebutuhan bidang rekayasa (Xia et al., 2000), parameter kecepatan gelombang geser (V_s) sudah dimasukkan dan menjadi salah satu parameter dalam menentukan pengklasifikasian jenis tanah dan batuan (UBC, 1997). sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 1

Tabel 1. Pengklasifikasian jenis tanah dan batuan

| Kelas Tanah | Jenis Tanah | Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata $\underline{v_s}$ (m/det) |
|-------------|-------------------------------------|--|
| A | Batuan Keras | $\underline{v_s} \geq 1500$ |
| B | Batuan | $760 < \underline{v_s} \leq 1500$ |
| C | Tanah Sangat Padat dan Batuan lunak | $360 < \underline{v_s} \leq 760$ |
| D | Tanah Sedang | $180 < \underline{v_s} \leq 360$ |
| E | Tanah Lunak | $\underline{v_s} < 180$ |

Pengklasifikasian jenis tanah dan batuan berdasarkan *Uniform building code* (UBC 97) banyak digunakan untuk perencanaan bangunan gedung dan non-gedung

yang akan menggantikan metode konvensional seperti CPT (*Cone Penetrating Test*) dan SPT (*Standard Penetrating Test*) (Rusydy et al., 2016).

Gelombang geser (V_s) merupakan parameter penting untuk mengevaluasi kondisi dinamis dari tanah. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan merata-ratakan nilai V_s berdasarkan waktu penjalaran dari permukaan sampai kedalaman 30 m atau V_{s30} (Brown, et.al. 2000). Menurut (Rošer & Gosar, 2010) nilai V_{s30} ini dapat dipergunakan dalam penentuan standar bangunan tahan gempa. Nilai V_{s30} digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempa bumi akibat efek lokal serta digunakan untuk keperluan dalam perancangan bangunan tahan gempa. V_{s30} merupakan data yang penting dan paling banyak digunakan dalam teknik geofisika untuk menentukan karakteristik struktur bawah permukaan hingga kedalaman 30 meter. hanya lapisan- lapisan batuan sampai kedalaman 30 m saja yang menentukan pembesaran gelombang gempa (Wangsadinata, 2002). Berdasarkan premis yang telah ditetapkan dari studi bahwa pengaruh dalam 30 m dan kecepatan gelombang geser (V_s) adalah indikator kelakuan terbaik, rata-rata V_s di 30 m atas (dilambang sebagai V_{s30}) digunakan sebagai kriteria penting dan nilai V_{s30} dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan berikut:

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / V_{si}} \quad (2)$$

dimana:

I : indeks pelapisan

M : jumlah perlapisan hingga kedalaman 30 meter

T_i : ketebalan lapisan ke i

V_{s30} : kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter.

Vs30 adalah parameter geoteknik yang sangat berguna untuk analisis gelombang seismik. Karakteristik atau sifat batuan sangat dibutuhkan untuk menganalisa sifat dinamis batuan, sehingga kekakuan batuan, dan kuat geser tanah dapat diketahui, dengan mengukur kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m. Klasifikasi jenis batuan berdasarkan pada kecepatan rambat rata rata gelombang geser (Nurahmi, 2015).

J. Transformasi *Fourier*

Transformasi *Fourier* merupakan metode untuk analisis spektral dengan tujuan agar sinyal yang diperoleh dalam domain waktu merubah menjadi domain frekuensi (Kusuma, 2020). Hal ini dilakukan karena perhitungan lebih mudah dalam domain frekuensi dibandingkan dengan domain waktu. Selain itu, fenomena geofisika berkaitan erat dengan frekuensi, sehingga frekuensi menjadi parameter penting dalam menjelaskan fenomena - fenomena tersebut. Transformasi *Fourier* dari sebuah fungsi $f(t)$ didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} data(t) e^{-j2\pi ft} dt \\ &= Re(f) + j Im(f) \end{aligned} \quad (3)$$

dimana:

$H(f)$: Fungsi Frekuensi data

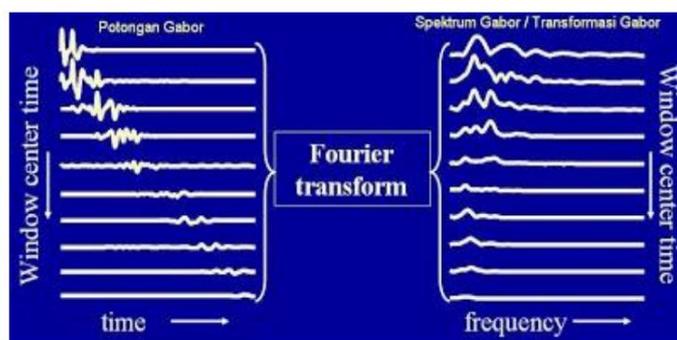
(t) : Data Pengukuran time (s)

f : Frekuensi / (1/s)

Re : Variabel Rill

Im : Variabel Imajiner

Dari persamaan yang telah dijabarkan diatas maka akan dihasilkan spektrum kurva dispersi yang menunjukkan berbagai frekuensi dengan kecepatan fasa yang berbeda (Munadi, 2003). Prinsip dari Transformasi *fourier* dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Transformasi *Fourier* (Abdullah, 2007)

K. Modulus Geser

Kecepatan gelombang geser (V_s), modulus geser (G) dan rasio redaman (D) merupakan parameter yang penting dan memerlukan analisis respon dinamik tanah. Penentuan parameter tanah dapat dilakukan dengan cara pengujian lapangan menggunakan metode seismik seperti *cross-hole*, *down-hole*, *spectral analysis of surface wave (SASW)* dan *Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW)*, SASW dan MASW adalah metode seismik yang non-destruktif yang merekam perambatan gelombang permukaan yang juga disebut dengan gelombang *rayleigh*.

Sifat kekerasan tanah dapat dinilai dari nilai kecepatan gelombang gesernya, dimana keduanya menunjukkan hubungan yang elastik linier. Semakin besar nilai kecepatan gelombang geser, maka akan semakin besar juga nilai kekerasan tanahnya, kecepatan gelombang geser hanya berkaitan dengan kekerasan geser dari struktur tanah, sedangkan pengaruh dari tingkat kejenuhan tanah pada kecepatan gelombang geser lebih dipengaruhi oleh kepadatan tanah. Semakin rendah tingkat kejenuhan tanah, maka akan semakin tinggi nilai V_s dan G (Santamarina, J. C. and

Cho, 2001), Perambatan getaran yang dilakukan selama gempa bumi berlangsung, dapat mengakibatkan tegangan geser siklik pada elemen tanah. Modulus geser tanah merupakan salah satu parameter tanah yang harus diketahui untuk menghubungkan getaran akibat gempa bumi. Parameter dinamis tanah modulus geser dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 4 berikut:

$$G_{max} = \rho \cdot V_s^2 \quad (4)$$

dimana,

G_{max} : modulus geser

ρ : kerapatan massa

V_s : kecepatan gelombang geser

Berdasarkan persamaan di atas dan dengan menggunakan nilai V_s yang diperoleh dari metode MASW, nilai G untuk masing masing lokasi dapat ditentukan.

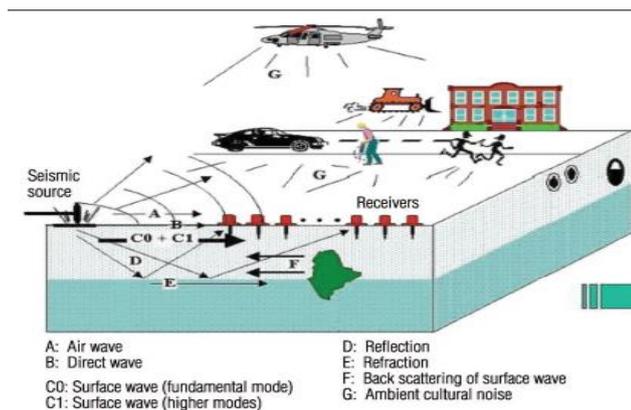
L. Metode MASW

Metode MASW merupakan metode yang memanfaatkan fenomena dispersi gelombang permukaan yang bertujuan untuk mengevaluasi karakter suatu *medium solid*. Secara umum metode MASW akan mengukur variasi kecepatan gelombang permukaan seiring dengan bertambahnya kedalaman. Panjang gelombang berhubungan dengan kedalaman, panjang gelombang akan berkurang seiring bertambahnya kedalaman. Pengukuran MASW membutuhkan sumber seismik aktif dan atau pasif untuk menghasilkan gelombang permukaan dengan 12 sampai 24 rangkaian *geophone*. *Geophone* menerima dan mengukur hasil rekaman yang ditimbulkan pada beberapa jarak dari sumber getaran (Park et al., 2007). Metode

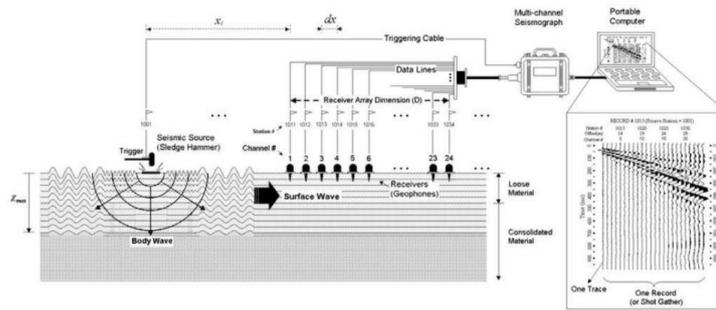
ini mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan metoda seismik lainnya antara lain:

1. Non eksplosif, sehingga tidak merusak lingkungan
2. Lebih murah karena tidak perlu melakukan pengeboran
3. Alat sangat mudah dibawa dengan tenaga manusia
4. Dapat digunakan survei dangkal maupun mencapai ratusan meter
5. Mudah dalam menentukan persebaran nilai rata-rata V_{s30} untuk menentukan jenis tanah

Metode MASW dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu metode MASW aktif dan Metode MASW pasif. Perbedaan metode MASW aktif dan pasif terletak pada sumber gelombang yang digunakan, pada MASW aktif sumber gelombang yang digunakan harus memiliki frekuensi yang tinggi, yaitu dapat berupa palu atau weight drop (Gambar 13) sedangkan MASW pasif menggunakan sumber dengan frekuensi rendah seperti pasang surut air laut, lalu lintas kendaraan, kerumunan pejalan kaki (Gambar 14).



Gambar 13. Gambaran umum Metode MASW Pasif (Park et al., 1999)



Gambar 14. Skema survei lapangan MASW aktif (Park et al., 1999)

Konfigurasi remote digunakan untuk survei 1D. Konfigurasi *geophone* disusun berbentuk simetris misalnya lingkaran, silang, persegi atau segitiga seperti gambar 12 dan juga menjelaskan bahwa shot dari sebuah akuisisi MASW berada pada *offset* lalu gelombang permukaan merambat melalui tanah dan di tangkap *geophone* yang kemudian menjadi data *trace* seismik. Metode MASW juga populer dalam identifikasi zona-zona rawan guncangan gempa bumi dan diklasifikasikan 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.

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

**Most Recommended Values

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

Gambar 15. Parameter akuisisi maksimum MASW

Gambar 15 berikut 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 2 m.

M. Penelitian Relevan

Penelitian mengenai analisis kecepatan gelombang geser menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) telah dilakukan oleh beberapa penelitian sebelumnya di berbagai daerah, adapun penelitian-penelitian yang relevan dengan penelitian berikut ini sebagai berikut.

Susilanto & Ngadmanto, (2015) Melakukan penelitian mengenai analisis kecepatan gelombang geser (V_s) di Cilacap, Jawa Tengah sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi. Hasil penelitiannya pada daerah penelitian sampai kedalaman 30 m merupakan daerah yang tersusun dengan jenis tanah lunak, sedang hingga keras, dengan dominasi utama adalah tanah sedang. Kondisi ini menyebabkan daerah penelitian terutama di daerah selatan, tengah, dan barat merupakan daerah yang berpotensi mengalami kerusakan ketika terjadi guncangan gempa bumi. Melihat kondisi tersebut perlu dilakukan kajian lebih lanjut dalam hal konstruksi dan struktur bangunan.

Menurut Hayadi et al., (2018) melakukan penelitian mengenai identifikasi endapan hasil letusan gunung rinjani menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) di Kabupaten Lombok Tengah. Metode ini merekam penjalaran gelombang geser bawah permukaan dengan sumber getaran yang berasal dari sumber buatan (seismik aktif), ada juga sumber yang berasal dari alam (seismik

pasif). Hasil dari penelitian ini adalah profil kecepatan gelombang geser kemudian diinterpretasikan sehingga diketahui jenis dari endapan piroklastik. Dari penelitian ini didapatkan kecepatan gelombang geser berkisar 45 m/s sampai dengan 167 m/s untuk MASW seismik aktif, sedangkan MASW seismik pasif berkisar antara 15 m/s sampai dengan 61 m/s, diduga endapannya berupa tanah, lempung lunak, endapan pasir padat, lempung, pasir tersaturasi air dan pasir tidak terkonsolidasi, jenis batuan berdasarkan kecepatan gelombang gesernya bertipe E yaitu tanah lunak karena memiliki kecepatan gelombang geser dibawah 180 m/s.

Refrizon et al., (2019) melakukan penelitian mengenai Penentuan Stratigrafi Kecepatan Gelombang Geser (V_s) di daerah rawan abrasi Kabupaten Bengkulu Utara menggunakan Metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW), struktur batuan bawah permukaan yang lemah diduga salah satu faktor penyebab tingginya laju abrasi di Kabupaten Bengkulu Utara. Struktur batuan bawah permukaan ini diestimasi berdasarkan analisis nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dari pengukuran *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) di 20 titik sepanjang garis pantai. Nilai V_s diinterpretasikan berupa profil 1D dan 2D untuk menggambarkan struktur dan jenis material penyusun batuan di tiap kedalaman dan lapisan. Hasil analisis menunjukkan bahwa stratigrafi nilai V_s bawah permukaan di daerah rawan abrasi Bengkulu Utara terdiri tiga lapis batuan. Lapisan pertama dengan nilai $V_s < 180$ m/s yang mengindikasikan didominasi oleh lempung lunak, lapisan kedua $180 < V_s < 360$ m/s didominasi oleh tanah kaku dan lapisan ketiga $360 < V_s < 760$ m/s mengindikasikan didominasi oleh tanah yang sangat padat dan batuan lunak.

N. Kerangka Berpikir

Berdasarkan penelitian ini maka dibentuklah kerangka berpikir berdasarkan teori yang telah dijelaskan pada tinjauan kepustakaan kerangka berpikir dapat dilihat seperti berikut:



Gambar 16. Kerangka Berpikir

Berdasarkan Gambar 16 bahwa kerangka berpikir pada penelitian diawali dengan melakukan akuisisi data berdasarkan Metode Masw menggunakan 12 *geophone*, lalu menentukan posisi *source*, jarak *geophone*, dan sortir sinyal, selanjutnya memasukkan data yang telah di transformasi *fourier* dari domain waktu menjadi domain frekuensi lalu didapatkan *phase velocity-frequency* untuk proses pembuatan kurva dispersi setelah itu melakukan proses inversi, jika *RMS Error Minimum* tidak memenuhi maka kembali melakukan *picking* kurva dispersi jika sudah makan dilanjutkan ke profil Vs terhadap kedalaman.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah terdapat 3 klasifikasi jenis tanah untuk nilai V_s , jenis tanah yang didapatkan pertama pada kedalaman 0-3 meter termasuk kategori jenis tanah lunak dimana V_s nya bernilai sebesar < 180 m/s, pada kedalaman 3-7,5 meter termasuk kategori jenis tanah sedang dimana V_s nya bernilai sebesar $180 < \underline{v}_s \leq 360$ dan pada kedalaman 7,5-30 meter termasuk kategori jenis tanah sangat padat dan batuan lunak dimana V_s nya bernilai $360 < \underline{v}_s \leq 750$. Sedangkan nilai rata-rata V_{s30} pada lintasan 1 bernilai 353,0 – 358,6 m/s, dan lintasan dua bernilai 372,1 – 382,3 m/s. Jenis klasifikasi Tanah sampai kedalaman 30 meter ada 2 yaitu pada lintasan satu merupakan tanah sedang ($180 < \underline{v}_s \leq 360$ /tipe D) dan pada lintasan dua merupakan tanah sangat kuat dan batuan lunak (tipe C) Menurut UBC 97.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Untuk penelitian selanjutnya agar dapat menambahkan jumlah *geophone* supaya pengukuran data yang didapatkan semakin banyak dan membuat hasil interpolasinya akan semakin mendekati keadaan sebenarnya.
2. Untuk mendapatkan hasil perambatan lebih baik, maka sumber dapat diganti dari palu menjadi *vibroiseis* atau peledak *non destruktif*.