

Penentuan Ketebalan Sedimen pada Segmen Kumering, Sesar Sumatra di Daerah Liwa Lampung Barat dengan Menggunakan Metode Seismik Aktif MASW

Determination of Sediment Thickness in the Kumering Segment, Sumatra Fault Zone in the West Lampung Liwa Area using Active Seismic Method of MASW

Ashar Muda Lubis, Angga Saputra, Suhendra, Rio Saputra, dan Rida Samdara

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu
Jalan W.R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu, 38371, Indonesia

e-mail: asharm1@unib.ac.id

naskah diterima 24 Juni 2020, selesai direvisi 01 November 2021, dan disetujui 22 November 2021

ABSTRAK

Dampak energi yang dilepas oleh gempa bumi Liwa Mw 7.0 tahun 1994 pada segmen Kumering daerah selatan Sesar Sumatra mengakibatkan hilangnya nyawa manusia dan kerusakan berat pada infrastruktur. Tingkat kerusakan gempa bumi selain dipengaruhi oleh besarnya magnitudo gempa bumi, juga dikontrol oleh struktur bawah permukaan dan ketebalan sedimen pada daerah itu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur lapisan bawah permukaan di daerah Liwa melalui pengamatan kecepatan gelombang sekunder (V_s) dan ketebalan sedimen dengan menggunakan metode seismik aktif *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW). Survei seismik dengan panjang lintasan total 192 m menggunakan seismograf digital PASI 16S24 dan 24 *geophone*. Pengolahan data seismik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak seismik komersial ParkSeis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur lapisan di daerah Liwa terdiri dari 3 lapisan ketebalan sedimen 15-20 m, nilai V_s sekitar 250-300 m/s dan densitas sekitar 1,7-2,2 gr/cm³. Lapisan kedua merupakan lapisan transisi antara lapisan sedimen dan lapisan batuan dasar dengan ketebalan rata-rata 5 m dan nilai V_s 600-800 m/s. Selanjutnya lapisan ketiga berada pada kedalaman 25-50 m yang ditandai dengan nilai V_s antara 800-1000 m/s. Lapisan pertama diduga berupa pasir padat menengah/tuff pasir, dilluvial lunak yang bercampur dengan kerikil dan sisipan lempung yang dipengaruhi oleh keberadaan air bawah tanah dan pergerakan aktif segmen Kumering. Kondisi ini akan memudahkan terjadi amplifikasi atau penguatan terhadap getaran gempa bumi. Oleh karena itu upaya adaptasi dan mitigasi terhadap bencana gempa bumi di daerah Liwa sangat mendesak untuk dilakukan terutama dalam perencanaan.

Kata kunci: Gempa bumi, *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW), ketebalan sedimen, struktur lapisan

ABSTRACT

The impact of the energy released by the 1994 Liwa Mw earthquake in 1994 in the Kumering region south of Sumatra Fault, were not only human loss, but also severely damaged infrastructures. The level of earthquake damage is influenced by the size of the earthquake and controlled by the subsurface structure and the sediment thickness. This study aims to determine the local subsurface structure in the Liwa area by observing shear wave velocity (V_s) and sediment thickness using the active seismic method of *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW). A seismic survey with a total track seismic length of 192 m has been carried out using digital seismographs PASI 16S24 and 24 *geophones*, and the seismic data were processed by using ParkSeis commercial seismic software. The results show that the local subsurface structure in the Liwa area consists of 3 layers. Estimated sediment thickness is 15-20 m with V_s value of 250-300 m/s and the density of 1.7-2.2 gr/cm³. The second layer is a transition layer between the sedimentary layer and the hard bedrock with an average thickness of 5 m and a V_s value of 600-800 m/s. Furthermore, the third layer is at a depth of 25-50 m which is characterized by V_s value between 800-1000 m/s. The first layer is assumed to be a medium dense sand, soft dilluvial sand mixed with gravel/ rigid clay which is influenced by the presence of underground water and the active tectonic movement of the Kumering segment. Hence, this condition will facilitate the amplification or strengthening of earthquake vibrations. Therefore, adap-

tation and mitigation efforts associated with the earthquake disaster prevention in the Liwa area are very urgent to establish for urban planning.

Keywords: *earthquake, Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW), sediment's thickness, structure layer*

PENDAHULUAN

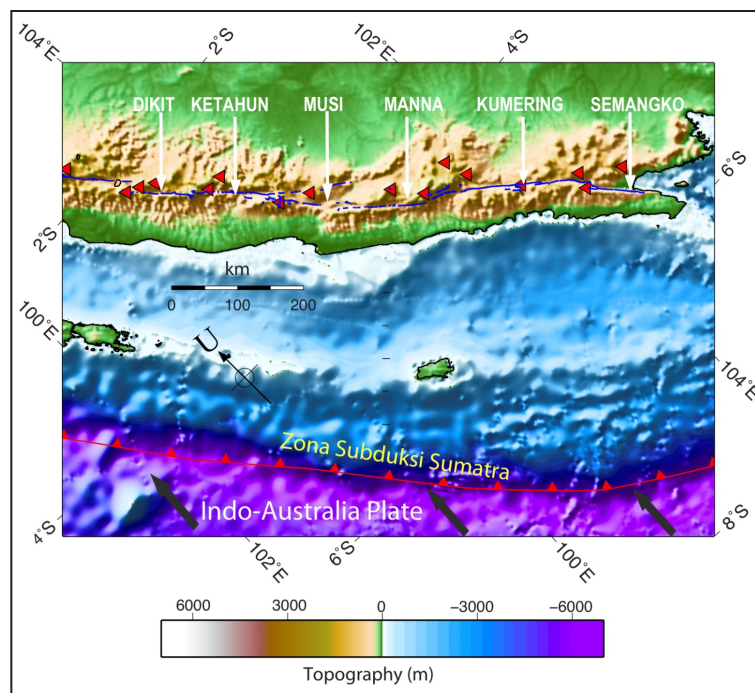
Segemen Kumering yang berada di daerah Lampung merupakan salah satu segmen aktif di sepanjang sesar Sumatra. Sesar Sumatra memiliki panjang 1900 km dari selatan sampai utara Pulau Sumatra terbentuk dalam rangka mengakomodasi pergerakan dan tekanan miring antara lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia pada daerah yang dibatasi oleh 10° lintang utara (LU) dan -7° lintang selatan (LS) (Sieh and Natawidjaja, 2000). Sesar Sumatra yang terletak di tengah Pulau Sumatra dari Teluk Andaman di ujung utara sampai Teluk Semangko di ujung selatan sejajar dengan zona subduksi Sumatra telah menghasilkan beberapa gempa besar dalam beberapa dekade terakhir. Sebagai contoh gempa bumi ganda pada Maret 2007 terjadi pada segmen Sumani dan Sianok dengan kekuatan $M > 6$ (Nakao drr. 2010; Daryono drr. 2012). Kemudian gempa bumi dengan kekuatan Mw 6.0 tahun 2008 pada segmen Toru (Hurukawa drr. 2014) dan setahun kemudian gempa bumi dengan kekuatan Mw 6.0 tahun 2009 pada segmen Dikit (Hurukawa drr. 2014). Sesar Sumatra terbagi menjadi 19 segmen utama dengan panjang segmen bervariasi antara 35-200 km (Sieh and Natawidjaja, 2000) dengan kecepatan akumulasi energi yang beragam (Genrich drr. 2000).

Pada sesar Sumatra, arah pergerakan yang terjadi menyamping atau horizontal pada sepanjang bidang sesar yang tegak lurus. Daerah bagian barat sesar akan bergeser secara tiba-tiba ke arah utara dan yang di bagian timur bergeser ke arah selatan. Bidang sesar Sumatra sampai kedalaman 10-20 km (Genrich drr. 2000) terkunci erat sehingga terjadi akumulasi tekanan/energi terus menerus. Seiring waktu, akumulasi tekanan makin besar sehingga bidang patahan tidak mampu menahan tekanan/energi, sehingga terjadilah gempa bumi. Setelah gempa bumi

terjadi, bidang sesar akan kembali merekat dan terkunci, dan mengumpulkan tekanan elastik sampai suatu hari nanti terjadi gempa bumi besar lagi (Natawidjaja and Triyoso, 2007). Begitulah peristiwa gempa bumi terjadi secara berulang-ulang untuk setiap segemen pada Sesar Sumatra.

Pada segemen Kumering daerah selatan sesar Sumatra (Gambar 1), gempa bumi besar terjadi pada tanggal 16 Februari 1994 dengan magnitude Mw 7.0 dengan episenter di kota Liwa, Lampung Barat (Natawidjaja and Triyoso, 2007). Gempa bumi ini menewaskan lebih kurang 200 orang. Gempa ini disusul gempa-gempa kecil sampai tanggal 18 Februari dengan kisaran magnitudo 2,5-3,5 SR (Suharno dan Mulyatno, 2007). Gempa bumi tersebut merusak infrastruktur yang ada di daerah Liwa dan sekitarnya serta merubah kondisi morfologi permukaan bumi. Sebelumnya pada segmen ini juga pernah terjadi gempa besar pada tahun 1933, $M = 7,5$ (Widiwijayanti drr., 1996). Gempa bumi ini disertai deformasi horizontal yang menyebabkan retaknya tanah yang merobohkan bangunan di atasnya (Duquesnoy drr, 1996)).

Tingkat kerusakan gempa bumi selain dipengaruhi oleh mekanisme gempa bumi juga dipengaruhi oleh struktur bawah permukaan dan ketebalan sedimen daerah itu. Hal ini dikarenakan besaran penguatan gelombang gempa (seismik) di permukaan tanah sangat bergantung pada rasio impedansi antara lapisan sedimen permukaan dan lapisan batuan yang mengalasinya (Dobry drr., 2000). Periode dominan dari getaran seismik memiliki keterkaitan yang sangat dekat dengan ketebalan dan tingkat kekerasan lapisan sedimen lunak (*soft soil*). Oleh karena itu informasi tentang struktur bawah permukaan dan ketebalan lapisan sedimen di daerah Liwa sangat penting untuk diketahui sebagai langkah awal dalam perencanaan pembangunan tata ruang



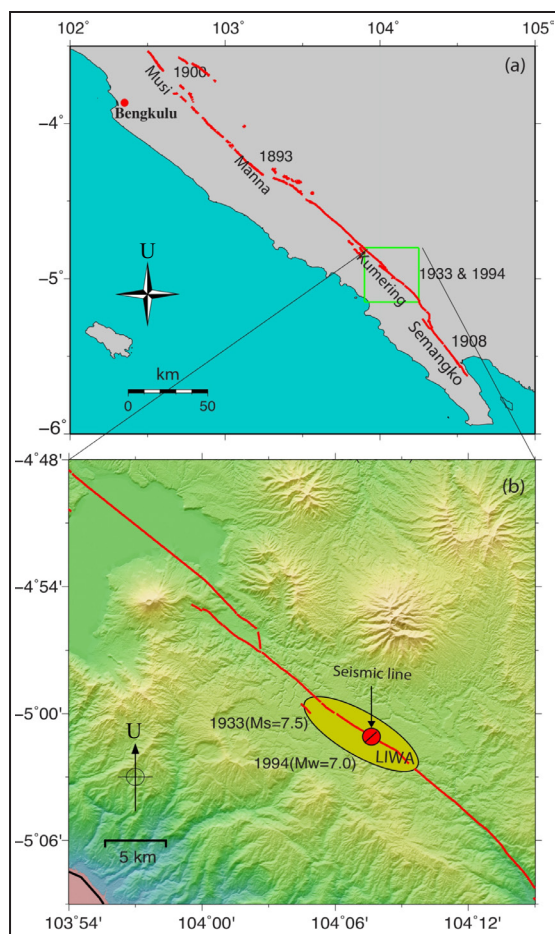
Gambar 1. Segement Kumering di daerah Liwa, Lampung Barat. Setiga merah gunung api di sepanjang Bukit Barisan.

yang dapat mengurangi resiko bencana gempa bumi. Salah satu parameter struktur bawah permukaan adalah kecepatan gelombang sekunder (V_s). Nilai V_s yang rendah dapat dijadikan parameter untuk menentukan kondisi suatu daerah memiliki tanah yang lunak atau keras. Bila tanahnya lunak, maka daerah tersebut akan rentan terhadap dampak getaran gempa bumi. Sebelumnya Arifin drr., (2014), telah melakukan penelitian mikrotrenmor untuk menganalisa periode getaran dominan pada daerah Liwa. Hasil penelitian Arifin drr., (2014), memperlihatkan bawah frekuensi dominan di kota Liwa berkisar 0,5-1,5 Hz yang mana menurut klasifikasi tanah bila frekuensi dominan $< 2,5$ Hz, maka ketebalan sedimen tergolong tebal dengan kedalaman 30 m atau lebih. Akan tetapi pendekatan perhitungan ini sangat sederhana yakni dengan mengasumsikan V_s yang homogen sampai kedalaman 30 m. Asumsi ini terlalu optimistik, mengingat V_s sangat tergantung pada medium penyusun bawah permukaan. Oleh karena itu nilai V_s yang berhubungan dengan properti material penyusun bawah permukaan sangat penting dalam rangka mengklasifikasi

jenis batuan bawah permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur lapisan bawah permukaan pada segmen Kumering daerah kota Liwa melalui pengamatan V_s dengan menggunakan metode seismik aktif MASW (Park drr. 1999). Kemudian dari profil penampang V_s secara 2D, ketebalan sedimen dan klasifikasi jenis batuan pada daerah tersebut dapat diperkirakan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di daerah Liwa, Kabupaten Lampung Barat, terletak pada koordinat ($104,127^\circ$ BT; $-5,018^\circ$ LS) (Gambar 2). Pengamatan langsung dilakukan dengan cara melihat struktur permukaan tanah yang terlihat pada bekas terjadinya gempa yang mengakibatkan adanya patahan pada permukaan tanah (*surface rupture*) di Liwa Lampung Barat. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode seismik aktif MASW. Prinsipnya metode ini terdiri dari tiga langkah utama, yaitu: akuisisi data seismik di lapangan, kemudian analisis dispersi, dan terakhir inversi kurva dispersi.

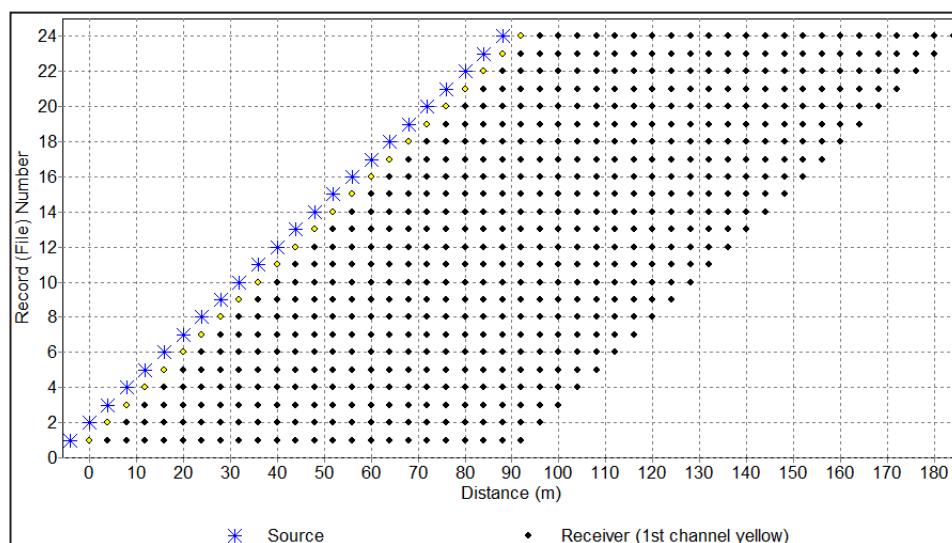


Gambar 2. Peta segment-segment di bagian selatan Sesar Sumatra (garis merah) serta tahun kejadian gempa bumi. Kotak hijau map *zoom out* daerah penelitian (a). Peta penelitian di daerah Liwa Lampung Barat, ellip warna kuning kehijauan merupakan *rupture area* gempa bumi tahun 1933 dan 1994 (b). Titik merah merupakan lokasi pengambilan data seismik.

Survei seismik aktif dengan panjang lintasan total 192 m dilakukan dengan konfigurasi garis lurus dan desain penelitian bentangan seismik ditunjukkan pada Gambar 3. Alat yang dipakai dalam pengambilan data seismik di lapangan adalah alat seismograf digital PASI 16S24 dan 24 *Geophone* dengan frekuensi 10 Hz. Sebagai sumber getaran seismik juga digunakan *portable* palu dan plat besi. Gelombang permukaan seismik direkam oleh 24 buah *geophone* dengan jarak antar *geophone* sepanjang 4 m. Kemudian *offset geophone* pertama terhadap sumber getaran juga sepanjang 4 m. Total catatan durasi pengambilan data seismik untuk satu kali pengambilan data sebesar 512 milisekon dengan interval sampel 125 μ s.

Untuk mendapatkan struktur bawah permukaan secara 2D, akuisisi data getaran gelombang seismik dilakukan sebanyak 24 kali dimana untuk setiap kali pengulangan sumber dan semua *geophone* digeser sepanjang 4 sehingga terbentuklah total lintasan penelitian 192 m. Untuk menghindari *noise* maka penelitian dilakukan pada dini hari sehingga sumber-sumber *noise* seperti dari kendaraan dan aktivitas manusia bisa diminimalkan. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak seismik komersial ParkSeis.

Pengolahan data *time series* gelombang seismik yang diperoleh dari pengukuran ditrans-



Gambar 3. Konfigurasi dan desain pengambilan data seismik secara 2D.

formasi ke dalam domain frekuensi dengan menggunakan *Fast Fourier Transformation* (FFT) untuk mendapatkan dispersi gelombang permukaan *Rayleigh*. Kemudian dari deretan hasil penggambaran kurva dispersi, selanjutnya dilakukan tahapan inversi kurva dispersi (Xia drr., 1999). Kurva dispersi yang memiliki informasi kecepatan fase dan frekuensi digunakan sebagai input dalam proses inversi untuk mendapatkan profil struktur bawah permukaan secara 2D melalui nilai V_s . Dari struktur lapisan bawah permukaan selanjutnya ditentukan jenis-jenis batuan penyusun dan ketebalan sedimen lunak serta klasifikasi jenis batuan dengan menghitung nilai V_s hingga pada kedalaman 30 m (V_s30).

Nilai V_s30 ini dapat dipergunakan dalam penentuan standar bangunan tahan gempa bumi (Roser dan Gosar, 2010). Dari nilai V_s30 kita dapat menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempa bumi akibat efek lokal serta digunakan untuk keperluan dalam perancangan bangunan tahan gempa. Nilai V_s30 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$V_s30 = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / V_{s_i}} \dots\dots\dots (1)$$

dimana i merupakan indeks perlapisan, m adalah jumlah lapisan hingga kedalaman 30 m, t_i adalah ketebalan lapisan ke- i , V_{s_i} adalah kecepatan gelombang setiap lapisan. Klasifikasi jenis tanah dilakukan menurut V_s rata-rata pada tanah setebal 30 m dari permukaan (V_s30). Pada dasarnya semakin keras suatu material tanah, maka kecepatan gelombang geser yang melaluinya semakin besar. Klasifikasi jenis batuan dapat ditentukan berdasarkan nilai V_s30 sesuai dengan standar NHERP (FEMA 302, 1977) yang diperlihatkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi jenis batuan berdasarkan nilai V_s30 (SNI 1726:2012)

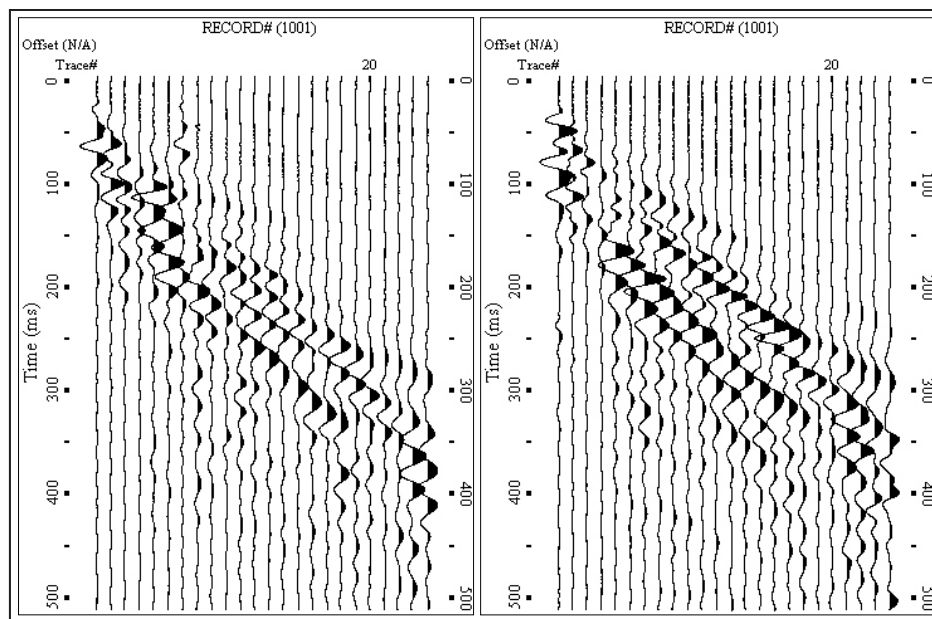
Tipe Batuan	Jenis batuan	Nilai V_s30 (m/s)
A	Batuan Keras	> 1500
B	Batuan Sedang	750-1500
C	Tanah keras dan batuan lunak	350-750
D	Tanah sedang	175-350
E	Tanah lunak	< 175

HASIL DAN PEMBAHASAN

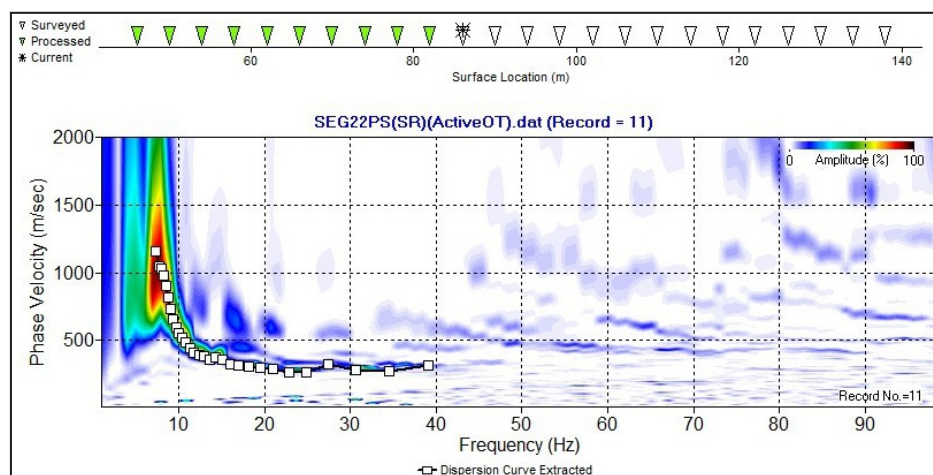
Pada Gambar 4 rekaman gelombang seismik terlihat dengan jelas, hal ini menunjukkan bahwa seluruh *geophone* yang terpasang dapat merekam gelombang seismik dengan baik. Data rekaman penjalaran gelombang seismik juga dapat dilihat konsisten terhadap jarak *geophone* dan waktu tiba gelombang pada *geophone* yang terpasang. Hasil rekaman yang diperoleh tidak terlihat *noise* yang signifikan yang dapat mempengaruhi proses analisis data pada langkah berikutnya.

Dari total data rekaman 576 *trace* rekaman gelombang seismik selanjutnya dilakukan analisis FFT untuk mendapatkan 24 kurva dispersi yang menggambarkan hubungan antara frekuensi dan kecepatan fase ($f-v$) gelombang *Rayleigh*. Seterusnya kurva-kurva ini digunakan sebagian input data pada proses inversi untuk mendapatkan struktur bawah permukaan secara 2D dan untuk memperkirakan ketebalan lapisan sedimen. Contoh hasil kurva dispersi dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kurva dispersi telah melalui proses *picking* untuk mendapatkan hasil $f-v$ yang tepat dengan memilih spektrum energi gelombang yang dominan. *Noise* yang ditandai dengan prosentasi spektrum yang rendah tidak dimasukkan kedalam data kurva *disperse* yang diekstrak.

Pada Gambar 5 juga dapat dilihat bahwa pada proses *picking* hanya menggunakan *fundamental mode* saja, sehingga hanya energi awal yang berasal dari sumber getaran saja yang dianalisis. Sumber-sumber energi lain yang terekam sangat berpengaruh terhadap perekaman gelombang seismik sebagai penentu struktur bawah permukaan sebagai fungsi kedalaman berdasarkan



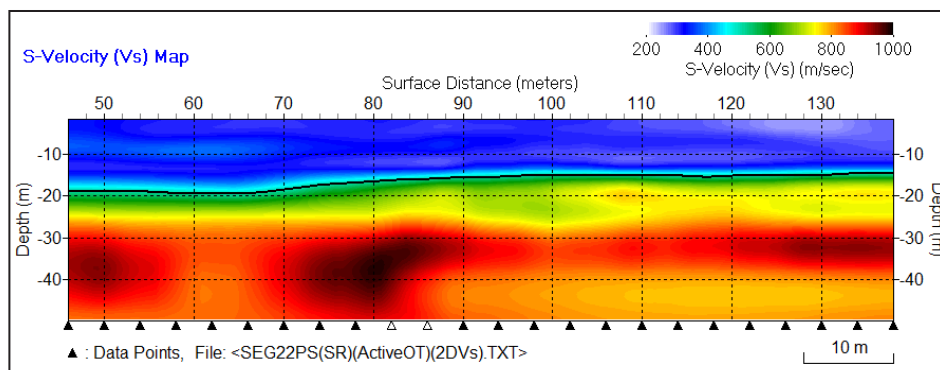
Gambar 4. Dua contoh hasil rekaman gelombang seismik di daerah Liwa, Lampung Barat, pada 24 *geophone* dengan waktu perekaman 512 milisekon.



Gambar 5. Kurva dispersi yang telah dipicking/ *extract*.

gelombang *Rayleigh* (Aki dan Richard, 1980). Secara keseluruhan nilai frekuensi maksimum yang digunakan < 50 Hz dan kecepatan fase maksimum < 1500 m/s. Berdasarkan Gambar 5 didapatkan bahwa kecepatan fase gelombang berbanding terbalik dengan nilai frekuensi, disaat nilai frekuensi kecil maka kecepatan fase yang diperoleh menjadi lebih besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingkat kekerasan batuan di bawah permukaan berbeda pada setiap lapisan berdasarkan nilai kecepatan fase dan frekuensinya.

Pada Gambar 6 diperlihatkan profil struktur bawah permukaan 2D melalui nilai V_s pada segmen Kumering daerah Liwa. Metode MASW ini dapat menggambarkan struktur bawah permukaan sampai kedalaman 50 m. Pada gambar ini patahan pada segmen Kumering tidak dapat dicitrakan dengan jelas, meskipun terlihat ada anomali nilai V_s sekitar 1000 m/s pada jarak lintasan 80-90 m (dugaan posisi pemotongan patahan pada permukaan jarak 92 m). Pada Gambar 6 juga dapat dilihat bahwa semakin besar kedalaman lapisan, maka lapisan/struktur



Gambar 6. Struktur lapisan bawah permukaan secara 2D melalui penggambaran V_s . Ketebalan lapisan sedimen ditandai dengan garis hitam tebal yang menandakan batasan lapisan batuan lunak dan lapisan batuan keras.

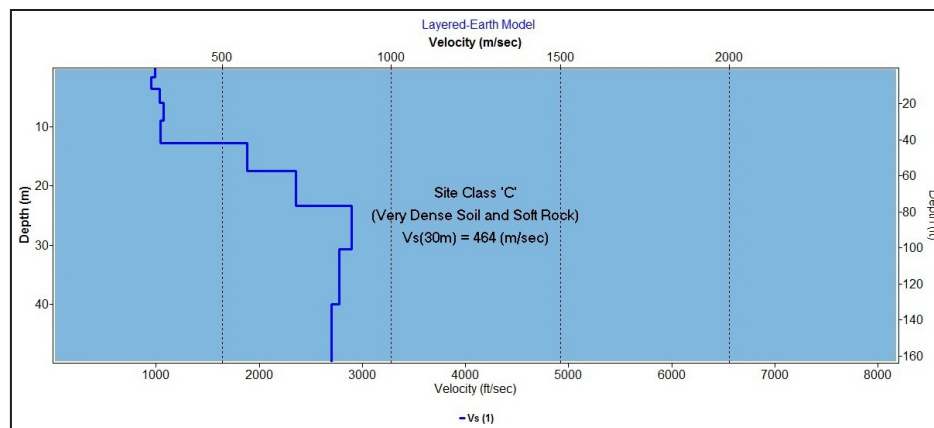
batuan semakin keras ditandai dengan nilai V_s yang semakin besar. Semakin kecil nilai V_s , maka batuan penyusunnya semakin lunak (tidak keras). Sebaliknya semakin besar nilai kecepatan gelombang V_s , lapisan batuan semakin padat (keras).

Secara umum profil struktur bawah permukaan 2D terdiri dari 3 lapisan utama (Gambar 6). Dari profil struktur bawah permukaan 2D dapat dilihat bahwa lapisan pertama terdiri dari lapisan lunak (lapisan sedimen) yang terdiri dari pasir padat menengah/tuff pasir, diluvial lunak dan sisipan lempung dari endapan dan jatuhnya vulkanik dari formasi batuan berumur Kuartir Muda (Iqbal, 2018) dengan ketebalan antara 15-20 m dan V_s sekitar 250-300 m/s (Gambar 6). Sedangkan pada lapisan kedua berada pada kedalaman 15-25 m dengan V_s 600-800 m/s. Peningkatan V_s pada lapisan kedua dengan nilai V_s 600-800 m/s diinterpretasikan sebagai lapisan yang diisi oleh sisipan lempung dan berasal dari batuan berumur Kuartir dengan perkiraan densitas 2-3 gr/cm³ (Foti drr., 2015). Dugaan ini berkesesuaian dengan hasil penelitian Iqbal, drr., (2017) yang menyatakan bahwa jenis tanah di daerah Lampung Barat berupa tanah lempung dan tuf pasir yang berasal dari pelapukan batuan vulkanik berumur Kuartir (Koswara dan Santoso, 1995).

Dengan menggunakan data ketebalan lapisan pertama dan kedua yang mencapai 25-30 m, dan hasil perhitungan V_s pada kedua lapisan ini,

maka perhitungan nilai V_{s30} dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (1). Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, nilai V_{s30} rata-rata untuk daerah kota Liwa sebesar 464 m/s (Gambar 7). Nilai ini berhubungan dengan material penyusun bawah permukaan sampai ketebalan 30 m yang merupakan tanah keras dan batuan lunak. Berdasarkan Tabel 1, maka daerah ini diklasifikasi sebagai daerah dengan tipe batuan klasifikasi C.

Lapisan kedua merupakan lapisan transisi antara lapisan sedimen dan lapisan batuan keras dengan ketebalan rata-rata 5 m. Selanjutnya lapisan ketiga dapat dilihat berada pada kedalaman 25-50 m yang berada di bawah permukaan. Lapisan ketiga yang melintang pada sepanjang lintasan merupakan lapisan batuan dasar dengan V_s antara 800-1000 m/s. Batuan dasar ditandai dengan V_s sekitar 800 m/s (Keceli, 2012). Kedalaman lapisan ketiga dapat dilihat sampai kedalaman 50 m tepatnya dari kedalaman 15- 50 m. Ketebalan lapisan batuan dasar kemungkinan lebih dari 50 m, hasil ini disebabkan oleh keterbatasan resolusi metode seismik MASW dengan konfigurasi yang ada dan memperhatikan kondisi di lapangan, maka respon gelombang permukaan yang dapat direkam/di *resolve* oleh *geophone* dan model yang dapat dibuat dengan baik hanya sampai kedalaman 50 m. Jika ingin menambah penetrasi kedalaman gelombang seismik maka diperlukan perubahan panjang lintasan yang lebih dan/atau frekuensi *geophone* yang lebih kecil.

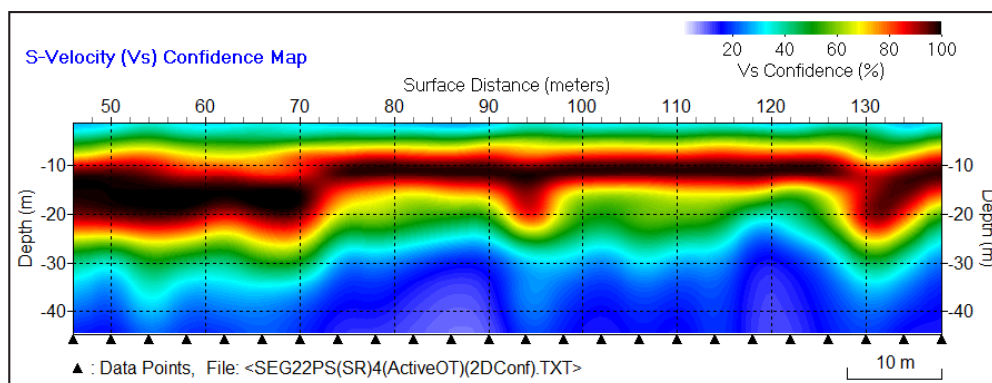


Gambar 7. Profil kecepatan gelombang sekunder (V_s) secara rata-rata yang diperoleh dari Gambar 6 untuk menentukan kecepatan V_{s30} dengan menggunakan persamaan (1).

Resolusi model V_s diperlihatkan pada Gambar 8. Resolusi dihitung berdasarkan tingkat kepercayaan model V_s dengan persentase dari 0-100%. Secara umum pada kedalaman 7-20 m model V_s secara 2D memiliki tingkat kepercayaan yang sangat baik yakni mencapai 100%. Selanjutnya untuk kedalaman 0-7 m dan 20-30 m, model V_s memiliki tingkat kepercayaan 50-70%, sedangkan pada kedalaman > 30 m, model V_s mempunyai tingkat kepercayaan $< 40\%$. Hal ini memperlihatkan pada kedalaman > 30 m gelombang permukaan Rayleigh tidak dapat menjelaskan/resolving model yang dibuat dengan baik. Dengan konfigurasi seperti yang telah dilakukan tujuan untuk melihat ketebalan sedimen telah berhasil ditemukan. Jika ingin melihat struktur bawah permukaan yang lebih

dalam, salah satu metode yang memungkinkan adalah seismik refleksi (Yordkayhun dr., 2016). Dengan metode ini, kita memungkinkan untuk melihat zona patahan di daerah kota Liwa dengan resolusi yang lebih bagus baik secara horizontal dan vertikal.

Secara umum gambaran lapisan sedimen pada daerah kota Liwa relatif lebih tipis dengan kedalaman 15-20 m dari asumsi ketebalan secara umum yakni 30 m oleh Arifin dr., (2014) yang menggunakan metode *microtremor*. Nilai V_s yang diperoleh lebih bervariasi dengan kecepatan 250-300 m/s yang diduga berupa pasir padat menengah, kerikil atau tanah liat kaku atau dilluvial lunak (Keceli, 2012). Nilai ini diduga merupakan nilai V_s untuk tanah kohesif lunak-menengah kaku atau dilluvial lunak. Hal



Gambar 8. Profil tingkat kepercayaan dari hasil profile struktur bawah permukaan dengan penggambaran kecepatan gelombang sekunder V_s secara 2D.

ini dapat dijelaskan mengingat di daerah tersebut terdapat keberadaan air bawah tanah dengan nilai resistivitas berkisar 6-110 omh-m (Putra drr., 2017). Hasil penelitian pada daerah tersebut dengan metode Geolistrik secara 2D memperlihatkan keberadaan air bawah tanah menacapai pada kedalaman 10 m. Secara umum material pada lapisan sedimen ini lunak-menengah kaku dengan material yang kurang kompak. Dengan kondisi seperti ini apabila terjadi gempa bumi akan mudah terjadi amplifikasi atau penguatan terhadap getaran yang terjadi karena material yang lunak memberikan respon getaran yang lebih tinggi terhadap gempa bumi.

Menurut Keceli, (2012), nilai V_s berhubungan dengan suatu jenis material, dimana V_s pada suatu tempat berbeda-beda tergantung jenis material atau kondisi geologi suatu tempat. Pada Tabel 2 diperlihatkan bahwa kita dapat menentukan formasi batuan yang ada pada suatu daerah berdasarkan nilai V_s . Jenis batuan pada lapisan sedimen (lapisan pertama) di daerah Liwa berdasarkan klasifikasi adalah dilluvial lunak (Tabel 2) bercampur dengan pasir dengan nilai V_s 100-350 m/s yang kemungkinan bercampur dengan pasir kerikil/pasir kering. Pergerakan segmen Kumering dengan tingkat deformasi 10 mm/tahun (Natawidjaja drr., 2017) mengakibatkan adanya interaksi antar batuan pada lapisan sedimen diperparah dengan adanya keberadaan air bawah tanah (Putra drr., 2017) mengakibatkan batuan penyusun pada lapisan sedimen di daerah Liwa menjadi lunak dengan perhitungan densitas sekitar 1.7-2.2 gr/cm³.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan struktur bawah permukaan secara 2D terdiri dari 3 lapisan yang mencapai kedalaman 50 m. Lapisan pertama merupakan lapisan lunak (lapisan sedimen) dengan ketebalan antara 15-20 m dan V_s sekitar 250-300 m/s. Resolusi model V_s untuk lapisan sedimen memiliki tingkat kepercayaan yang sangat baik yakni mencapai 100%. Sementara lapisan kedua dapat dilihat dari kedalaman 15

sampai 20-25 m dengan V_s 600-800 m/s. Kemudian berdasarkan perhitungan yang dilakukan sampai kedalaman 30 m, nilai V_{s30} rata-rata untuk daerah kota Liwa sebesar 464 m/s yang merupakan tanah keras dan batuan lunak dan diklasifikasi sebagai daerah dengan tipe batuan klasifikasi C. Lapisan kedua merupakan lapisan transisi antara lapisan sedimen dan lapisan batuan keras (*bedrock*) dengan ketebalan rata-rata 5 m. Selanjutnya lapisan ketiga berada pada kedalaman 25-50 m yang ditandai dengan V_s antara 800-1000 m/s. Ketebalan sedimen pada daerah penelitian di segmen Kumering daerah kota Liwa relatif lebih tipis dengan kedalaman 15-20 m dengan perhitungan densitas batuan sekitar 1,7-2,2 gr/cm³ dengan struktur berupa pasir padat menengah/tuff pasiran, dilluvial lunak dan sisipan lempung dari endapan dan pelapukan batuan vulkanik dari formasi batuan berumur Kuartar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Bengkulu yang telah ikut membantu penelitian ini di lapangan. Penulis juga mengucapkan terima kasih banyak untuk Laboratorium Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Bengkulu atas ketersediaan alat-alat untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K., and Richards, P.G., 1980. *Quantitative seismology*: W.H. Freeman & Co. *Geophysics*, 53, 2312-2321.
- Arifin, S. S., Mulyatno, B. S., Marjiyono dan Setianegara, R., 2014. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempabumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSr Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya, *Jurnal Eksplorasi Geofisika*, 2(1), 30-40.
- Daryono, M. R., Natawidjaja, D. H., and Sieh, K., 2012. Twin surface ruptures of the March 2007 $M > 6$ earthquake doublet on the

- Sumatran Fault. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102 (6), h.2356 - 2367. DOI:10.1785/0120110220
- Dobry, R., Borcherdt, D., Crouse, C.B., Idriss, I.M., Joyner, W.B., Martin, G.R., Poer, M.S., Rinne, E.E., dan Seed, R.B., 2000. New Site Coefficients and Site Classification System Used in Recent Building Sismik Code Provision. *Earthquake Spectra*, 6 (1). h.41-67. DOI: 10.1193/1.1586082
- Duquesnoy, T.h., Bellier, O., Kasser, M., Sébrier, M., Vigny, C.h., and Bahar, I., 1996. Deformation related to the 1994 Liwa earthquake derived from geodetic measurements. *Geophys. Res. Lett.* 23, h.3055 - 3058. DOI: 10.1016/S0264-3707(96)00051-8
- FEMA 302., 1997. NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. Washington, D. C: National Institute of Building Sciences.
- Foti S, Lai CG, Rix GJ, Strobbia C. 2015. *Surface wave methods for near-surface site characterization*. Boca Raton: CRC Press.
- Hurukawa, N., Wulandari, B. R., and Kasahara, M., 2014. Earthquake history of the Sumatran fault, Indonesia, since 1892, derived from relocation of large earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104 (4), h.1750 - 1762. DOI: 10.1785/0120130201
- Genrich, J. F., Bock, Y., McCaffrey, R., Prawirodirdjo, L., Stevens, C. W., Puntodewo, S. S. O., Subarya, C., and Wdowinski, S., 2000. Distribution of slip at the northern Sumatran fault system. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105 (B12), h.28327-28341. DOI: 10.1029/2000JB900158
- Iqbal, P., Aribowo, S., Mulyono, A., dan Syahbana, A.J., 2017. Kondisi geologi dan pemodelan kestabilan lereng jalur transek Liwa-Ranau, Liwa, Lampung Barat, *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 18 (2), h.161-169.
- Iqbal, P., 2018. Geologi Kuartar dan Cuaca Daerah Lampung Barat, Kaitannya dengan Kejadian Longsor (Studi Kasus Jalur Jalan Transek Lampung Barat), *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 19 (3), h.163-169. DOI: 10.33332/jgsm.geologi.v19i3.387
- Keceli, A., 2012. Soil Parameters which can be determined with seismic velocities. *Jeofizik*, 16, h.17-29, DOI: 11a02/jeofizik-1011-31
- Koswara, A., dan Santoso., 1995. Geologi rinci daerah Liwa Lampung Barat Sumatra Selatan skala 1:50.000, *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, VI, 23-32.
- Nakano, M., Kumagai, H., Toda, S., Ando, R., Yamashina, T., and Inoue, H., 2010, Source model of an earthquake doublet that occurred in a pull-apart basin along the Sumatran fault, Indonesia. *Geophysical Journal International*, 181(1), 141 - 153. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2010.04511.x
- Natawidjaja D. H and Triyoso W., 2007. The Sumatra Fault zone- from source to hazard, *J. Earthq. and Tsunami*, 1(1), 21 - 47. DOI: 10.1142/S1793431107000031
- Natawidjaja, D.H., Bradley, K., Daryono, M.R., Aribowo, S., and Herrin, J., 2017. Late Quaternary eruption of the Ranau Caldera and new geological slip rates of the Sumatran Fault Zone in Southern Sumatra, Indonesia. *Geosci. Lett.* 4, h.21, DOI: 10.1186/s40562-017-0087-2
- Park, C. B., Miller, R. D. and Xia, J. ,1999. Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64 (3), h.800-808. DOI: 10.1190/1.1444590
- Putra, A., Suhendra dan Lubis, A. M., 2017. Identifikasi Potensi Air Bawah Tanah untuk Perairan Pertanian di Daerah Liwa dengan Metode Georesistivitas, *Jurnal Gradien*, 13 (1), h.1222-1227.
- Roser, J. dan Gosar, A. 2010. *Determination of Vs30 for Seismic Ground Classification in the Ljubljana Area*. Slovenia: Acta Geotechnica Slovenia.
- Sieh, K., and D. Natawidjaja, 2000. Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia, *Journal of Geophysical Research: Solid*

- Earth*, 105 (B12), 28, h.2950-28,326. DOI: 10.1029/2000JB900120.
- SNI 1726:201, 2012. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. http://sisni.bsn.go.id/index.php?/sni_main/sni/detail_sni/14568.
- Suharno dan Mulyatno, B.S., 2007. Distribusi dan klasifikasi Resiko Gempa Daerah Lampung dan Sekitarnya. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 2 (1), h.221-227.
- Widiwijayanti, C., J. Deverchere, Louat, R., Sébrier, M., Harjono, H., Diament, M., and Hidayat, D., 1996. Analysis of the aftershock sequence of the Mw 6.8 Liwa earthquake, Indonesia. *Geophys. Res. Lett.*, 23, h.3051 - 3054. DOI: 10.1029/96GL02048
- Xia, J., Miller, R. D. and Park, C. B. 1999. Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. *Geophysics*, 64 (3), h.691-700.
- Yordkayhun, S., Sreesuwan, P, and Wattanasen, K., 2016. Characterization of Khlong Marui Fault Zone Using Seismic Reflection and Shear-wave Velocity Profiles: Case Study in Khiriratnikhom District, Surat Thani Province, Southern Thailand, *Ciang Mai J. Sci*, 43 (6), h.1279-1291.