

## STUDI AWAL: ANALISA KECEPATAN GELOMBANG GESER (VS) PADA CEKUNGAN TAKENGON DALAM UPAYA MITIGASI GEMPA BUMI

Ibnu Rusydy<sup>1,6</sup>, Khaizal Jamaluddin<sup>2,3</sup>, Eldina Fatimah<sup>3,6</sup>, Syafrizal<sup>2,4</sup> & Fauzi Andika<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Indonesia

<sup>2</sup> Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Indonesia

<sup>3</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Indonesia

<sup>4</sup> Magister Fisika, Program Pasca Sarjana, Universitas Syiah Kuala, Indonesia

<sup>5</sup> Geophysics Section, School of Physics, Universiti Sains Malaysia, Malaysia

<sup>6</sup> Tsunami And Disaster Mitigation Research Center, Universitas Syiah Kuala, Indonesia

\*Corresponding author: khaizal@unsyiah.ac.id

**Abstract:** MASW survey to determine the shear wave velocity ( $V_s$ ) had been conducted in Takengon basin, Aceh Tengah district. The survey aims to identify sediment layers based on  $V_s$  analysis and its correlation with the amplification factor. The  $V_s$  yielded from MASW survey was based on the dispersion of Rayleigh wave generated by 4 kg sledgehammer and recorded on 24 geophones with 10 Hz. There are 3 locations of MASW measurement in Takengon basin, the first one located on the edge of the basin, the second location was in the middle of the basin, and the last one was located in the southern. The results of  $V_s$  from MASW then compared with soil type classification from ASCE 2010 and SNI 1726: 2012. The  $V_s$  in the first location dominated by a layer of soft soil (SE) with the  $V_s$  less than 175 m/s and indicate as the young sediment in the edge of the basin. The amplification factor is estimated to be 1.2 times of bedrock acceleration. On the second location,  $V_s$  ranged between 275-283 m/s and categorized as stiff soil (SD). This category concluded that, in the middle of the Takengon basin, the sediment was consolidated, and the amplification factor would be smaller compared to the first location. On the third location, in depth of 6.3 meter and constantly down to 30 meter, there is very dense soil or soft rock (SC) with  $V_s$  372 m/sec in the form of sandstone. The Construction of high-rise buildings is possible around this third location as long as the foundation of the building should reach the depth of very dense soil (SC) at 6.3 meters.

**Keywords :** Shear wave velocity,  $V_s$ , Takengon Basin, MASW

**Abstrak:** Survei MASW untuk mengetahui kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) telah dilakukan di Cekungan Takengon Kabupaten Aceh Tengah. Survei tersebut bertujuan untuk mengetahui kondisi tanah berdasarkan analisa  $V_s$  dan hubungannya dengan penguatan gelombang gempa bumi (faktor amplifikasi). Nilai  $V_s$  yang didapatkan dari MASW dengan cara memanfaatkan dispersi gelombang permukaan rayleigh dari sumber seismik berupa palu 4 kg dan terekam pada 24 geophone vertikal 10 Hz. Terdapat 3 titik pengamatan  $V_s$  di Cekungan Takengon, titik pertama di pinggir cekungan dekat perbukitan, kedua di tengah-tengah cekungan dan ke-tiga di sisi selatan. Hasil pengukuran  $V_s$  dari MASW akan dibandingkan dengan pengkelasan jenis tanah dari ASCE 2010 dan SNI 1726:2012. Hasil MASW menunjukkan bahwa nilai  $V_s$  di titik pertama didominasi oleh lapisan tanah lunak (SE) dengan nilai  $V_s$  kurang dari 175 m/det yang mengindikasikan lapisannya masih muda. Di titik pertama ini, efek amplifikasi diperkirakan sebesar 1,2 kali dari nilai percepatan batuan dasar. Di titik kedua, nilai  $V_s$  antar 275 – 283 m/det dan masuk dalam kategori tanah sedang (SD). Kategori SD menunjukkan bahwa di tengah-tengah Cekungan Takengon endapannya lebih tua dan terkonsolidasi sehingga efek amplifikasi akan lebih kecil dibandingkan dengan titik pertama. Pada titik ketiga, dari kedalaman 6,3 meter sampai meneruskan ke bawah ditemukan lapisan tanah keras atau batuan lunak (SC) dengan nilai  $V_s$  372 m/det berupa batupasir. Pembangunan gedung bertingkat tinggi dimungkinkan di sekitar titik ke-tiga ini dengan syarat pondasinya mencapai kedalaman tanah keras (SC) di 6,3 meter.

**Kata kunci :** Kecepatan Gelombang Geser,  $V_s$ , Cekungan Takengon, MASW

Kejadian Gempa di Kabupaten Aceh Tengah dan Bener Meriah pada tanggal 2 Juli 2013 memberikan pelajaran akan bahaya gempa bumi di darat dan efek kerusakannya. Sumber gempa bumi yang dangkal dan dekat dengan perumahan penduduk mengakibatkan getaran yang dirasakan jauh lebih besar dan memiliki efek merusak yang kuat. Apabila dilihat dari skala gempanya, gempa bumi tersebut tergolong gempa bumi skala kecil, namun karena sumber gempanya yang dangkal dan banyak perumahan serta bangunan berada di tanah yang lunak, sehingga menimbulkan efek amplifikasi atau efek penguatan gelombang gempa bumi.

Saat ini, Indonesia telah memiliki peta kawasan rawan gempa tahun 2010 yang dibuat oleh Tim Revisi Peta gempa Indonesia yang prakarsai oleh Departemen Pekerjaan Umum. Dalam Peta Gempa Indonesia 2010 tersebut, sudah dipetakan percepatan puncak guncangan tanah di batuan dasar seluruh Indonesia. Pembuatan Peta Gempa Indonesia 2010 tersebut merupakan upaya untuk merevisi SNI 03-1726:2002 tentang bangunan tanah gempa yang sudah ada sebelumnya.

Peta Gempa Indonesia 2010 hanya menghitung percepatan puncak gelombang gempa pada batuan dasar. Untuk keperluan perencanaan infrastruktur tahan gempa, diperlukan percepatan gelombang gempa bumi dekat permukaan. Saat ini *American Society of Civil Engineers* (ASCE 2010) sudah memberikan faktor amplifikasi untuk masing-masing pengelasan tanah berdasarkan SNI 1726:2012. Faktor amplifikasi tersebut digunakan untuk kebutuhan perencanaan

bangunan tahan gempa. Nilai percepatan gelombang gempa di dekat permukaan didapatkan dengan cara mengalikan nilai percepatan Peta Gempa Indonesia 2010 dengan faktor amplifikasi tersebut (Aldiamar dkk, 2010).

Efek tanah lunak yang bisa menimbulkan efek amplifikasi ini harus dipetakan dan dipelajari lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian analisa kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) menggunakan metode Seismik MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) dilakukan di Cekungan Takengon, Kabupaten Aceh Tengah. Pemilihan Cekungan Takengon untuk dilakukan analisa  $V_s$  karena Cekungan Takengon masih berumur muda atau berumur Holosen dalam skala waktu geologi (Cameron dkk., 1983). Cekungan yang berumur muda, lapisannya belum begitu terkonsolidasi dan masih lunak sehingga sangat dimungkinkan terjadinya penguatan gelombang gempa bumi. Selain itu, Rusydy dkk., (2015) juga mengungkapkan adanya patahan baru yang menerus dari dari episenter gempa bumi Takengon 2013 ke Cekungan Takengon sehingga survey analisa  $V_s$  ini sangat penting dilakukan.

## KAJIAN PUSTAKA

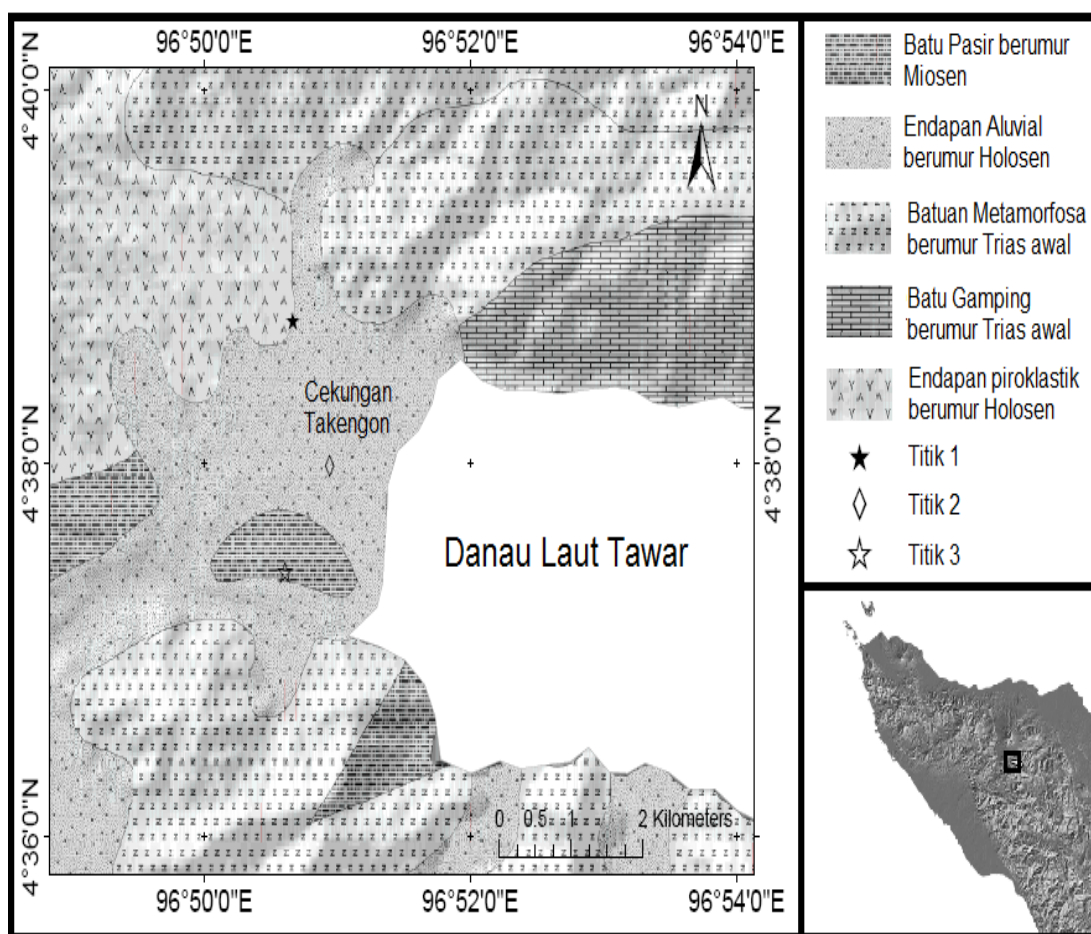
### Geologi Kawasan Penelitian

Berdasarkan Peta Geologi skala 1:250.000 dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (Cameron, dkk, 1983), Kabupaten Aceh Tengah termasuk ke dalam liputan Peta Geologi Lembar Takengon, Sumatra. Di sisi barat Danau Lot Tawar atau Cekungan Takengon terbentuk dari endapan alluvium

longgokan kipas dan endapan gunung api yang berumur kuartar pada kala Holosen (Qh) atau terbentuk sekitar 10.000 tahun yang lalu. Endapan tersebut terdapat di Kecamatan Kebayakan (Kota Takengon) dan Kecamatan Bebesan yang dalam makalah ini dinamakan sebagai Cekungan Takengon. Endapan yang berumur kuartar holosen masuk dalam kategori endapan muda menurut umur geologi dan mudah lepas serta lunak. Selain endapan muda yang terdapat di dua kecamatan tersebut, di Kecamatan Bies, Pegasing berupa endapan aluvial dan di Kecamatan Ketol serta Silih Nara, terdapat juga endapan hasil letusan gunung api purba berupa pasir, tuffa, breksi

dan konglomerat yang berumur kuartar.

Cekungan Takengon yang didominasi oleh endapan aluvial longgokan kipas (aluvial fan). Di sisi Utara dan Selatan Cekungan Takengon terdapat batuan tertua di Kabupaten Aceh Tengah yang terbentuk pada masa Paleozoikum zaman Trias awal (berumur sekitar 248 juta tahun). Batuan tertua tersebut berupa batuan Metamorf yang terdiri dari batuan quarzit, filit dan skis. Di sisi Barat cekungan tersebut terdapat endapan piroklastik berupa hasil letusan gunung api purba yang berumur holosen (Cameron dkk, 1983). Kondisi geologi sekitar Cekungan Takengon dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Geologi lokasi Cekungan Takengon dan titik pengukuran MASWdi Kabupaten Aceh Tengah provinsi Aceh (Dimodifikasi dari Cameron dkk., 1983)

## Metode Seismik MASW

Secara umum ada dua jenis gelombang permukaan yang dihasilkan ketika sebuah getaran mekanik diberikan pada sebuah material (batuan dan tanah) yaitu gelombang Reyleigh dan gelombang Love (Dobrin dan Savit, 1988). Kedua gelombang permukaan tersebut terbentuk akibat adanya interferensi gelombang badan. Gelombang Reyleigh terbentuk akibat adanya interferensi konstruktif pantulan gelombang badan P (*primer/pressure*) dengan gelombang badan SV (*Shear Vertical*) sedangkan gelombang Love terbentuk akibat interferensi konstruktif pantulan gelombang SH (*Shear Horizontal*) (Shearer, 2009; Afnimar, 2009). Gelombang permukaan tersebut memiliki karakteristik yang hampir sama dengan gelombang geser karena merupakan hasil interferensi dari gelombang geser sehingga untuk analisa kecepatan gelombang geser bisa digunakan gelombang permukaan Reyleigh atau Love.

MASW (*Multi-Channel Analysis of Surface Waves*) merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan gelombang permukaan untuk mempelajari kondisi bawah permukaan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Park dkk. (1996), dikembangkan di Kansas Geological Survey (KGS). Metode MASW mampu menghitung nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) berdasarkan kecepatan gelombang permukaan reyleigh. Gelombang permukaan reyleigh mudah diamati menggunakan peralatan seismik dengan geophone vertikal, hal ini dikarenakan sifat *ground roll* daripada gelombang Reyleigh.

Sebanyak 2/3 energi seismik yang dibuat akan membentuk gelombang reyleigh sehingga gelombang seismik menampung sebagian besar energi seismik (Heisey dkk., 1982).

Gelombang seismik yang menjalar di bawah permukaan bumi akan mengalami kecepatan yang berbeda-beda. Gelombang permukaan reyleigh dan love memiliki sifat dispersi. Sifat dispersi tersebut mengindikasikan modulus elastik lapisan dekat permukaan dimana perbedaan panjang gelombang seismik memiliki perbedaan penetrasi gelombang dan akan menjalar dengan kecepatan yang berbeda-beda. Gelombang seismik yang pendek akan masuk (penetrasi) lebih dangkal sedangkan gelombang seismik yang panjang akan masuk lebih dalam ke dalam tanah dan kecepatan gelombang pada masing-masing panjang gelombang dinamakan kecepatan fase (Park dkk., 1997).

Kecepatan gelombang reyleigh yang terukur dalam pengukuran MASW sangat merepresentasi kecepatan gelombang geser. Hal ini dikarenakan kecepatan fase gelombang reyleigh sekitar 92% dari kecepatan gelombang geser (Stokoe dkk., 1994). Perhitungan kecepatan gelombang geser dilakukan dengan cara menganalisa sifat dispersi gelombang reyleigh yang terdapat dalam data seismik yang terekam selama survey dilakukan. Profil kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman dan hubungan dengan modulus geser dapat dibuat dan dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \text{ atau } \mu = V_s^2 \rho \quad (1)$$

Dimana  $V_s$  merupakan kecepatan gelombang geser,  $\mu$  adalah modulus geser tanah dan  $\rho$  mewakili densitas tanah. Park dkk.,(1997) menyatakan bahwa perubahan densitas terhadap kedalaman biasanya kecil apabila dibandingkan terhadap perubahan modulus geser. Apabila kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) bisa diketahui maka dimungkinkan juga untuk menghitung nilai Poisson ratio bawah permukaan. Nilai  $V_s$  yang didapatkan menggunakan metode seismik MASW sangat akurat, Xia dkk., (2000) membandingkan nilai profil 1D  $V_s$  yang didapatkan oleh MASW dengan data  $V_s$  yang didapatkan dari lubang bor dan akurasinya mencapai 15%.

### Gelombang Geser (*Shear Wave*)

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 (Thompson dan Turk, 1997).

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 dkk.,2000; Ismail dkk.,2014). Dalam ASCE 2010 dan SNI 1726:2012, parameter kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) sudah dimasukkan dan menjadi salah satu parameter dalam menentukan pengklasifikasian jenis tanah dan batuan sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 1.

**Tabel 1. Klasifikasi jenis tanah dan batuan berdasarkan ASCE 2010 dan SNI 1726:2012**

Klasifikasi Site	$V_s$ (m/det)	$\bar{N}$	$S_u$ (KPA)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 - 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 - 750	> 50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175- 350	15 - 50	50 -i 100
	< 175	< 15	< 50
SE (tanah lunak)	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 meter tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar Air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat Geser ( <i>Undrained</i> ), $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik.	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$ ) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

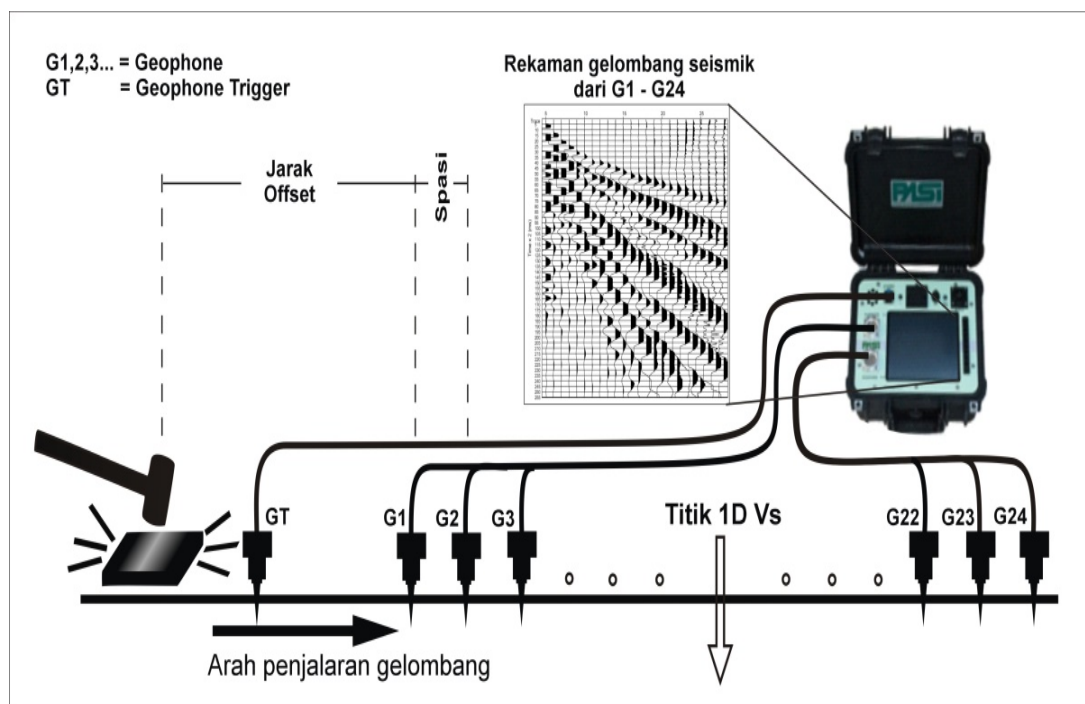
Pengklasifikasian jenis tanah dan batuan berdasarkan ASCE 2010 dan SNI 1726:2012 banyak digunakan untuk perencanaan bangunan gedung dan non-gedung yang akan menggantikan metode konvensional seperti CPT (*Cone Penetrating Test*) dan SPT (*Standard Penetrating Test*).

## METODOLOGI

Gelombang Geser bawah permukaan didapatkan berdasar hasil pengukuran seismik MASW dilakukan di 3 (tiga) titik terpilih di dalam Cekungan Takengon. Pengukuran Seismik MASW meliputi penentuan kawasan survei berdasarkan hasil studi literatur. Tahap pengukuran data seismic MASW dilakukan di titik terpilih. Pemilihan titik pengukuran dilakukan berdasarkan perbedaan kondisi geomorfologi. Titik pertama dekat dengan perbukitan namun masih berada dalam

cekungan, ini dilakukan untuk melihat karakteristik pengendapan dan kekerasan tanah dekat perbukitan. Titik kedua dipilih di sekitar tengah-tengah cekungan untuk melihat seperti apa kekerasan tanah di tengah-tengah cekungan. Titik ketiga dipilih berada di pusat kota, ini dilakukan untuk melihat kekerasan dan daya dukung tanah yang dekat dengan bangunan publik.

Proses pengukuran harus dilakukan pada kondisi sepi, hal ini untuk menghindari adanya gangguan gelombang seismik (*noise*) dari lalu lintas dan orang yang berjalan. Pengukuran Seismik MASW menggunakan seismometer PASI 24 *geophone* (perekam gelombang seismik) dengan frekuensi geophone 10 Hz yang diletakkan pada spasi 1 meter dan sumber seismik berupa palu 4 kg. Diagram pengukuran MASW dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses pengukuran Seismik MASW menggunakan seismometer 24 Geophone

Tahap pengolahan data dilakukan di laboratorium menggunakan software Seis Imager untuk masing-masing titik titik pengukuran. Tahap pengolahan data tersebut meliputi; (1) Input data hasil rekaman seismik pada 24 *geophone*, (2) pembuatan kurva dispersi yang menunjukkan nilai frekuensi terhadap kecepatan gelombang seismik dari keseluruhan 24 *geophone*, pembuatan kurva dispersi gelombang Rayleigh dapat dilakukan dengan cara mengkroskorelasikan dua gelombang Rayleigh ( $V_r$ ) pada fungsi yang terdeteksi geophone dengan jarak sebesar jarak ( $D$ ) meter dengan waktu ( $t$ ) sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 2, (3) melakukan proses inversi kurva dispersi sehingga didapatkan model bawah permukaan dengan rms (*root mean square*) terkecil, (4). model bawah permukaan berupa nilai Vs terhadap kedalaman yang selanjutnya digunakan untuk analisa Cekungan Takengon.

$$V_r(f) = D / t(f) \quad (2)$$

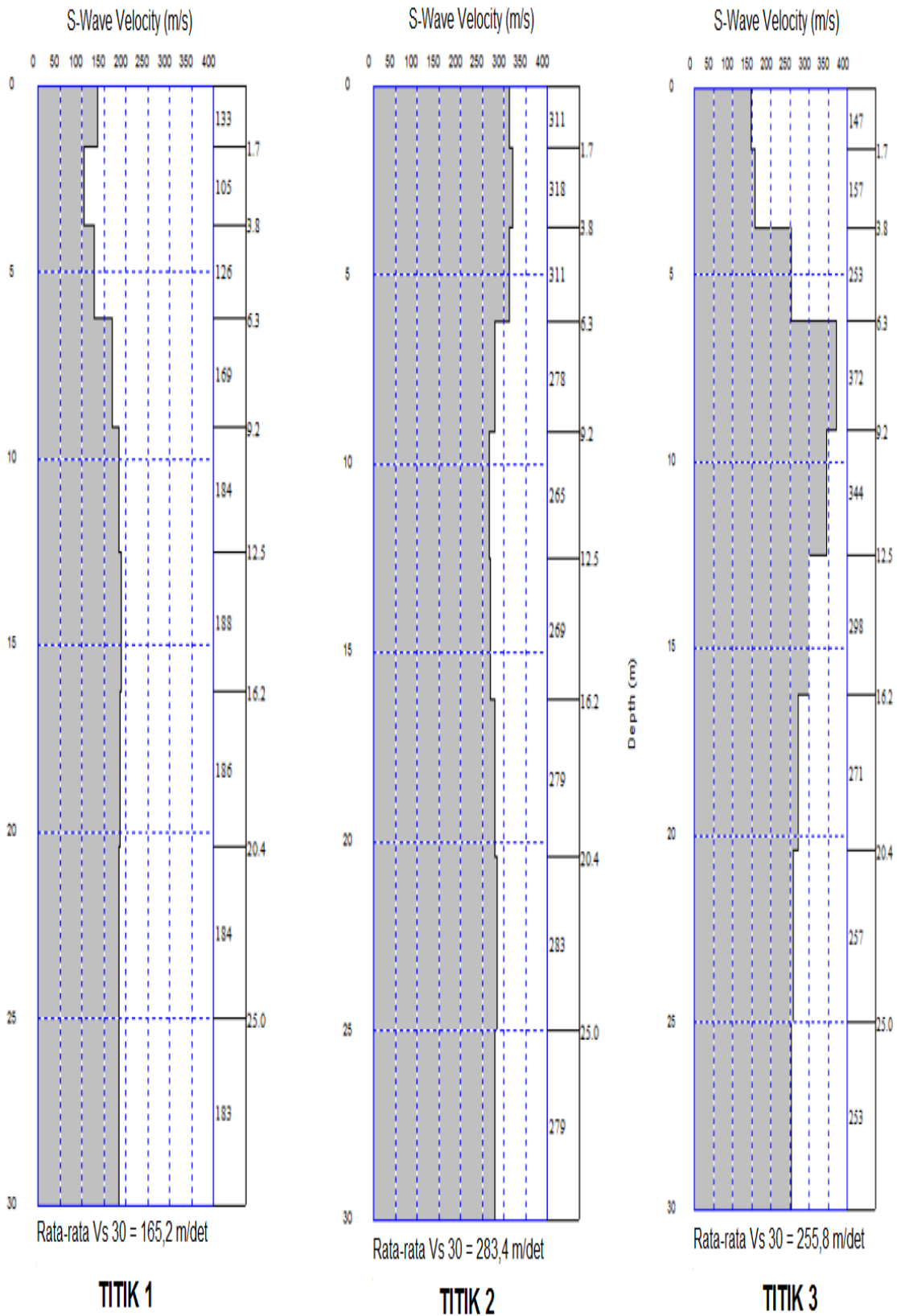
#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan survey Seismik MASW di tiga lokasi terpilih di Cekungan Takengon yang selanjutnya diikuti oleh proses pengolahan data seismik di laboratorium, maka diperoleh penampang bawah permukaan. Penampang bawah permukaan tersebut berupa kurva perbandingan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) terhadap kedalaman (gambar 3). Pengambilan data dilakukan dalam keadaan sepi untuk meminimalisir noise yang berasal dari orang berjalan dan kendaraan yang ada di sekitar kawasan pengukuran seismik.

Titik pengukuran pertama (1) berada pada lokasi dengan dekat perbukitan atau pinggiran Cekungan Takengon. Titik tersebut berada pada koordinat  $4^{\circ}38'45.69''$  LU,  $96^{\circ}50'39.82''$  BT masuk dalam administrasi Kecamatan Kebayakan. Titik kedua (2) ditengah-tengah Cekungan Takengon pada koordinat  $4^{\circ}37'59.39''$  LU,  $96^{\circ}50'56.47''$  BT sedangkan titik ketiga (3) berada di sisi selatan atau tepatnya di Lapangan Musara Alun kota Takengon yang berada pada koordinat  $4^{\circ}37'25.65''$  LU,  $96^{\circ}50'36.88''$  BT. Lokasi titik-titik pengukuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Setelah dilakukan proses pengolahan data menggunakan software SeisImager, diperoleh profil 1D nilai Vs terhadap kedalaman sampai kedalaman 30 meter sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 3 di bawah ini. Nilai Vs tersebut selanjutnya akan digunakan untuk pengelasan jenis tanah berdasarkan ASCE 2010 dan SNI 1726:2012.

Penampang 1D kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) pada titik 1 dari permukaan tanah sampai dengan 30 meter menunjukkan nilai yang sangat rendah. Nilai Vs dari permukaan sampai dengan kedalaman 9 meter di titik 1 didominasi oleh lapisan tanah lunak (SE) dengan nilai Vs kurang dari 175 m/det. Dari kedalaman 9 sampai dengan kedalaman 30 meter, sudah mulai ditemukan lapisan tanah sedang (SD) sampai dengan kedalaman 30 meter. Secara keseluruhan, dari permukaan tanah sampai ke kedalaman 30 meter di titik 1 masuk dalam kategori tanah lunak (SE) dengan kecepatan gelombang geser ( $V_{s30}$ ) sebesar 165 m/det.



Gambar 3. Hasil 1 Dimensi Kecepatan gelombang geser (Vs) terhadap kedalaman di 3 titik di Cekungan Aceh Tengah.



Lunaknya tanah di sekitar titik 1 dikarenakan kawasan tersebut berada di pinggir Cekungan Takengon. Endapan sedimen di bagian pinggir cekungan relatif muda sehingga belum begitu terpadatkan (terkonsolidasi) dengan baik. Dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi, kawasan sekitar titik 1 harus didirikan bangunan gedung dan non-gedung yang memiliki daya ketahanan gempa bumi lebih karena kawasan tanah lunak akan memungkinkan untuk terjadinya efek penguatan gelombang gempa bumi (efek amplifikasi). Menurut ASCE (2010), efek amplifikasi pada tanah lunak dengan kecepatan  $V_s$  30 sebesar 165 d/det diperkirakan sebesar 1,2 kali, apabila percepatan di batuan dasar sebesar 0,3 gal.

Berbeda dengan titik 1, Penampang 1D kecepatan gelombang geser pada titik 2 memiliki nilai  $V_s$  yang lebih tinggi. Titik 2 tersebut berada di tengah-tengah cekungan dan dari atas permukaan sampai dengan kedalaman 6 meter, nilai  $V_s$  memiliki rata-rata 314 m/det dan masuk dalam kategori tanah sedang (SD). Dari kedalaman 6 meter sampai dengan 30 meter, nilai  $V_s$  rata-ratanya sekitar 275 m/det dan masih masuk dalam kategori tanah sedang (SD). Secara keseluruhan, nilai  $V_s$  30 atau rata-rata nilai  $V_s$  sampai kedalaman 30 di titik 2 sebesar 283 m/det.

Tingginya nilai  $V_s$  titik 2 yang berada di tengah-tengah Cekungan Takengon dibandingkan dengan titik 1 yang berada di pinggir cekungan menjadi indikasi bahwa tanah di tengah cekungan lebih padat dan sudah terendapkan dalam waktu yang lebih lama

apabila dibandingkan dengan endapan pada titik 1 yang berada di sisi utara cekungan tersebut. Faktor penguatan gelombang gempa di tengah-tengah Cekungan Takengon akan lebih kecil dibandingkan dengan kawasan di pinggir cekungan.

Berbeda dengan titik 1 dan 2, titik 3 yang berada di Lapangan Musara Alun memiliki nilai kecepatan yang cukup bervariasi. Dari atas permukaan sampai dengan kedalaman 3,8 meter, ditemukan lapisan tanah lunak (SE) dengan  $V_s$  150 m/det. Kedalaman 3,8 meter sampai dengan 6,3 meter tanahnya masuk dalam kategori tanah sedang (SD) dengan  $V_s$  250 m/det. Kedalaman 6,3 meter sampai dengan 12,5 tanahnya makin mengeras lagi sampai mencapai 372 m/det dan masuk dalam kategori tanah keras atau batuan lunak (SC). Batuan lunak yang terdapat dalam titik 3 ini adalah batuan sedimen jenis batu pasir sesuai dengan peta geologi Cameron dkk. (1983) dengan luasan batuan tersebut sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1. Setelah kedalaman 12,5 meter, lapisan tanah kembali melunak sampai mencapai 253 m/det (tanah sedang) sampai kedalaman 30 meter.

Lapisan lunak yang berada dekat permukaan setebal 3,8 meter di titik 3 dikarenakan adanya lapisan endapan sedimen yang muda dan belum terkonsolidasi dengan baik. Dalam upaya pembangunan bangunan tahan gempa di kawasan titik 3 atau sisi selatan Cekungan Takengon, bangunan yang berlantai banyak disarankan untuk membangun pondasi sampai kedalaman 6,3 meter. Hal ini dikarenakan ditemukan tanah keras (SC) dari kedalaman 6,3 sampai dengan 12,5

meter.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisa gelombang geser Vs menggunakan data seismik MASW, dapat disimpulkan bahwa tingkat kekerasan dan perlapisan tanah antara sisi utara, tengah dan selatan Cekungan Takengon berbeda-beda. Sisi utara Cekungan Takengon didominasi oleh endapan sedimen yang lunak (tanah lunak) atau masih muda sehingga belum begitu terkonsolidasi sempurna. Sisi utara merupakan kawasan yang akan memiliki penguatan gelombang gempa yang tinggi sehingga disarankan untuk membuat bangunan tahan gempa. Pada bagian tengah cekungan, lapisan tanahnya lebih padat dan ini mengindikasikan bahwa bagian tengah cekungan tersebut tanahnya sudah terendapkan cukup lama. Pada sisi selatan cekungan, bagian atasnya terdapat lapisan lunak setebal 6 meter namun setelah lapisan lunak ditemukan lapisan tanah yang sangat keras atau batuan lunak (SC). Bangunan bertingkat tinggi yang akan dibangun di bagian selatan cekungan disarankan agar pondasinya dibangun hingga mencapai lapisan SC tersebut.

Data yang dipaparkan dalam makalah ini berasal dari 3 lokasi penelitian. Untuk menganalisa Cekungan Takengon lebih mendetail, sangat disarankan agar dilakukan pengukuran seismik MASW lanjutan dengan membuat grid antar titik pengukuran lebih kurang 200 - 500 meter. Pengukuran HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan tanah dan faktor ampflikasinya yang akurat,

disarankan untuk dilakukan di masa yang akan datang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami para penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada Bappeda Provinsi Aceh atas kerjasamanya dengan Universitas Syiah Kuala sehingga survey MASW ini dapat telaksana dengan baik dan tanpa kendala yang berarti. Kepada Pak Wan Akmal, Pak Umam, dan Pak Andi, terima kasih banyak telah membantu penulis selama di lapangan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Madya. Dr. Taksiah Majid (*School of Civil Engineering, University Sains Malaysia*), yang telah mengizinkan program SeisImager.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar, 2009, *Seismologi*, Penerbit ITB, Bandung
- Aldiamar, F., Ridwan. M., Asrurifak, M., dan Irsyam, M., 2010, *Analisis Dan Evaluasi Factor Amplifikasi Percepatan Puncak Gempa Di Permukaan Tanah*, Jurnal jalan-jembatan, No. 3 Vol. 27 pp. 180-194.
- American Society of Civil Engineers (ASCE), 2010, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers, No.7: ISBN978-0-7844-1115-5.
- Badan Standarisasi Nasional, 2012, *SNI 1726:2012 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*, Jakarta.
- Cameron, N.R., Bennett, J.D., Bridge, D.Mc.C., Clarke, M.C.G., Djunuddin, A., Ghazali, S.A., Harahap, H., Jeffery, D.H., Kartawa, W., Keats, W., Ngabito, H., Rocks, N.M.S., dan Thompson, S.J., 1983, *Peta Geologi Lembar Takengon, Sumatra, Skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Dobrin, M. B., dan Savit, C. H., 1988, *Introduction to geophysical prospecting*, 4th ed.: McGrawHill, Inc., 867 pp.
- Heisey, J. S., Stokoe II, K. H., dan Meyer, A. H., 1982, *Moduli of pavement systems from spectral analysis of surface waves*, Transportation Research Record No. 852, 22-31
- Ismail, A., Denny, F.B., dan Metwaly, M., 2014, *Comparing continuous profiles from MASW and shear-wave reflection seismic methods*, Journal of Applied Geophysics 105 pp. 67-77
- Rusydy, I., Syamsidik., dan Pagihariyadi, P., 2015, *Pemetaan Makroseismik Untuk Pendugaan Sumber Gempa Bumi, Studi Kasus: Gempa Bumi Aceh Tengah 2 Juli 2013*, Prosiding Konferensi Nasional FPT PRB, Surakarta, pp.15-20.
- Sheares, P.M., 2009, *Introduction to Seismology, 2<sup>nd</sup> Edition*, Cambridge University Press, United Kingdom pp. 216-220
- Stokoe II, K. H., Wright, G. W., James, A. B., dan Jose, M. R., 1994, *Characterization of geotechnical sites by SASW method, in Geophysical characterization of sites*, ISSMFE Technical Committee #10, edited by R. D. Woods, Oxford Publishers, New Delhi.
- Thompson, G.R., dan Turk, J., 1997, *Introduction to Physical Geology*, Brooks Cole, Pp.
- Park, C. B., Miller, R. D., dan Xia, J., 1996, *Multi-channel analysis of surface waves using Vibroseis*, Presented at the 66th Ann. Mtg. of SEG, Denver, Expanded Abstracts, 68-71.

- Park, C. B., Miller, R. D., dan Xia, J., 1997, *Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW) "A summary report of technical aspects, experimental results, and perspective"*, Open-file Report #97-10, Kansas Geological Survey.
- Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., Hunter, J.A., Harris, J.B., 2000, *Comparing shear-wave velocity profiles from MASW technique with borehole measurements in unconsolidated sediments of the Fraser River Delta*, J. Environ. Eng. Geophys. 5, 848–870.