

PEMETAAN KECEPATAN GELOMBANG GESER (Vs30) DI KECAMATAN KUTA ALAM KOTA BANDA ACEH MENGUNAKAN METODE MASW

Khaizal Jamaluddin¹, Rahmatul Ulfa¹, Irwandi², Banta Chairullah¹

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

²⁾ Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala,

*email: khaizal@unsyiah.ac.id

Abstract : The Aceh Province lies on the main fault line commonly known as Sumatran Faults. Therefore, in particular the Banda Aceh City frequent earthquakes as a result of the active geological structure of Sumatran fault in the Aceh region. Banda Aceh is a sedimentary basin in which to experience the amplification due to seismic waves. The behavior of the seismic waves propagating in the sediment layer is measured by the Vs30 parameter. The research was conducted on the strategic area of Banda Aceh City, Kuta Alam District, which is a densely populated subdistrict. Vs30 mapping based on soil hardness level according to UBC (Uniform Building Code), EC8 (Euro Code 8), and SNI 1726-2012. Seismic data acquisition was acquired at ten locations in the research area considered to have covered one area of Kuta Alam sub-district, Banda Aceh City. The result obtained is map of the distribution of soil condition based on Vs30 parameter. Based on the map obtained by the District of Kuta Alam

Keywords : Earthquake, Faults, Sedimentation, Amplification.

Abstrak: Provinsi Aceh terletak pada jalur patahan utama Sumatera yang umum dikenal Sumatera faults. Oleh karena itu, khususnya Kota Banda Aceh sering terjadi gempa bumi sebagai akibat dari struktur geologi aktif patahan sumatera di wilayah Aceh tersebut. Kota Banda Aceh merupakan cekungan di mana sedimen mengalami amplifikasi gelombang gempa. Perilaku gelombang gempa yang merambat pada lapisan sedimen diukur berdasarkan parameter Vs30. Penelitian dilakukan pada kawasan strategis Kota Banda Aceh yaitu Kecamatan Kuta Alam yang merupakan Kecamatan padat penduduk. Pemetaan Vs30 berdasarkan acuan dalam perencanaan bangunan konstruksi tahan gempa berdasarkan tingkat kekerasan tanah menurut UBC (Uniform Building Code), EC8 (Euro Code 8), dan SNI 1726-2012. Pengambilan data seismik diakuisisi pada sepuluh lokasi di wilayah penelitian yang dianggap telah mencakup satu wilayah Kecamatan Kuta alam, Kota Banda Aceh. Hasil yang didapat adalah peta sebaran kondisi tanah berdasarkan parameter Vs30. Berdasarkan peta diperoleh wilayah Kecamatan Kuta Alam Kota Banda Aceh hanya sebagian kecil lapisan tanah sedang.

Kata kunci : Gempa Bumi, Patahan, Sedimen, Amplifikasi.

1. PENDAHULUAN

Pulau Sumatera terjadi akibat pertemuan dua lempeng tektonik bumi, yaitu lempeng Indo-Australia dan Eurasia sehingga terbentuk patahan besar Semangko yang merupakan patahan Sumatera yang melintasi sepanjang pulau Sumatera dari utara Aceh hingga ke selatan Lampung (Subekti, 2016). Karena itu khususnya wilayah Sumatera sering terjadi gempa

bumi besar. Termasuk gempa paling fenomenal yang terjadi pada 26 Desember 2004 yang berpusat di Samudera Hindia dengan magnitude 9,2 di bawah permukaan laut yang diikuti oleh tsunami akibat tumbukan Lempeng Indoaustralia dan menimbulkan korban lebih dari 230.000 jiwa.

Wilayah daratan Aceh lebih ke utara dari Pulau Sumatera dilewati oleh patahan besar Sumatera yang terpecahkan pada

beberapa segmen: patahan Aceh, patahan Seulimuem, patahan Tripa, patahan Batee, patahan Peusangan-Blang Pidie, patahan Lhokseumawe, patahan Blangkejeren, patahan Samalanga-Sipopok, dan patahan Pidie yang baru saja teridentifikasi yang menyebabkan gempa bumi di Kabupaten Pidie Jaya Aceh. Gempa tersebut terjadi pada 7 Desember 2016 dengan magnitudo 6,4 dengan total 102 orang korban tewas (BNPB 2016).

Kota Banda Aceh adalah salah satu kota yang berada di Aceh dan menjadi ibukota Provinsi Aceh. Sebagai pusat pemerintahan, Banda Aceh menjadi pusat kegiatan ekonomi, politik, sosial dan budaya. Jumlah penduduk Kota Banda Aceh tercatat sebanyak 249.499 jiwa (data.bandaacehkota.go.id/juli2014). Dari data penduduk tersebut maka sangat diperlukan suatu kajian yang berkaitan dengan upaya mitigasi bencana gempa bumi, karena Kota Banda Aceh merupakan salah satu daerah yang rawan dari bencana alam yaitu gempa bumi. Salah satu kajian yang dapat dilakukan adalah memetakan daerah yang memiliki potensi besar mengalami kerusakan infrastruktur apabila terjadi gempa bumi.

Kondisi geologi permukaan di Kota Banda Aceh secara umum dan khususnya di daerah pesisir ini didominasi oleh endapan jenis pasir, lanau dan lempung. Sebagai hasil erosi partikel-partikel tanah diendapkan melalui media aliran sungai dan ada pengaruh gelombang pantai dan pasang surut pada daerah daerah pesisir yang rendah (Culshaw dkk., 1979). Pada daerah seperti Krueng Aceh dan anak-anak sungai lainnya, seperti pada belokan sungai bagian dalam terjadi endapan. Sedimentasi lunak oleh aliran permukaan setempat sudah terjadi dalam kurun waktu geologi tertentu. Sehingga ada lapisan muda dan lapisan lebih tua.

Lapisan tanah lunak harus menjadi pertimbangan dalam merencanakan bangunan sipil yang aman dari guncangan gempa bumi, karena lapisan tanah ini didominasi endapan lempung, pasir yang jenuh memiliki perilaku pembesaran amplitudo gelombang gempa yang tinggi (Kanli dkk., 2006). Selain itu, meskipun lokasinya jauh dari pusat gempa atau patahan, bila lapisan tanahnya lunak bisa memperbesar ayunan gelombang hingga memicu keruntuhan bangunan. Gelombang gempa dapat merambat pada suatu medium ke medium lain

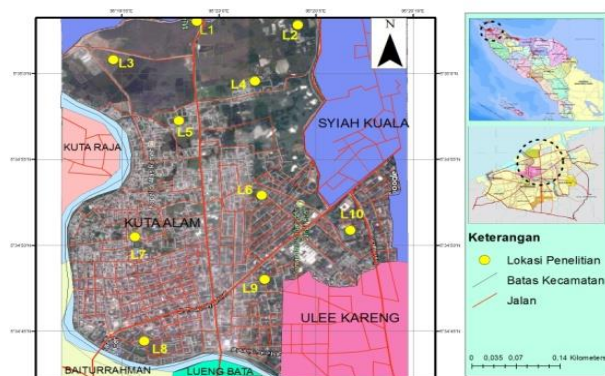
yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Salah satu penyebab terjadinya pembesaran gelombang gempa pada lapisan tanah yang dapat mengakibatkan kerusakan parah pada bangunan, disebabkan adanya gelombang yang terjebak pada lapisan lunak (Sato dkk., 2004).

Metode yang kami pergunakan dalam pengujian ini adalah pengukuran kecepatan gelombang geser (V_{s30}) menggunakan Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW). Metode MASW diperkenalkan oleh Park (1999). Metode MASW sesuai untuk akuisisi kecepatan gelombang geser dimana bisa mendapatkan data lebih cepat, akurat dan murah. Di Aceh studi tentang V_{s30} sudah dilakukan oleh Rusydi dkk (2016) dan Rusydi dkk (2017).

Penelitian mengambil lokasi pada Kecamatan Kuta Alam, Kota Banda Aceh. Alasan kami memilih daerah ini karena Kecamatan Kuta Alam merupakan wilayah kecamatan yang memiliki jumlah populasi penduduk terbesar pertama di Kota Banda Aceh dengan jumlah penduduk 49.545 jiwa (bandaacehkota.go.id, 2014). Karena itu dengan banyaknya jumlah populasi maka akan berdampak pada kebutuhan suatu bangunan sipil seperti gedung sekolah, gedung pemerintah, jembatan, jalan, dan infrastruktur lainnya.

2. METODE PENELITIAN

Di seluruh Kecamatan Kuta Alam Kota Banda Aceh, penelitian kami lakukan sebanyak sepuluh lokasi titik akuisisi data. Sepuluh titik ini dianggap telah meliputi dan memadai satu wilayah yang diuji. Kebisingan sangat menjadi perhatian di saat akuisi data MASW karena Kuta Alam salah satu kecamatan dengan aktivitas kota yang sibuk. Gangguan dari lalu lintas dapat mengganggu data seismik (*noise*). Waktu pengambilan data tidak dilaksanakan pada hari hujan dan kondisi yang berbeda-beda. Lokasi dipilih tempat seperti lapangan bola dan tempat kosong lainnya. Berikut titik Gambar 1 lokasi tinjauan dari penelitian.



Gambar 1. Titik-titik lokasi penelitian pada Kecamatan Kuta Alam, Kota Banda Aceh.

Akuisisi data menggunakan metode MASW dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan. Jumlah personel pengujian sebanyak lima orang. Satu di antaranya memonitor perekaman data pada *seismograph*. Peralatan MASW menggunakan *seismograph* merek PASI 16S-24P buatan Italia. Jumlah *geophone* yang digunakan pada setiap titik ukur sebanyak 24 *geophone*. Frekuensi *geophone* sebesar 10 Hz. Spasi *geophone* ditentukan sebesar 1.5 m. Jarak *offset* yang digunakan adalah 10 m. Parameter perekamannya, *travel time* ditentukan sebanyak 1024 ms dan interval *sampling time* sebesar 250 ms, sehingga setiap *channel* dapat merekam hingga sekitar 250 ms. Konfigurasi pengukuran MASW telah diterangkan oleh KGS (2007).

Data *waveform* dengan satuan waktu dari masing-masing lokasi pengukuran selanjutnya diproses dan di analisis menjadi satuan frekuensi dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) sehingga diperoleh kurva dispersi. Kurva dispersi ini selanjutnya diinversi kembali diperoleh profil kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman. Profil satu dimensi kecepatan gelombang geser diperoleh dari satu set *waveform* data seismik. Kecepatan gelombang geser sedalam 30 meter (V_{s30}) dihitung rata-rata dari bobot kecepatan geser (V_s) yaitu ketebalan dari masing-masing di setiap lapisan.

$$\text{Persamaan. } V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (1)$$

Secara keseluruhan *processing* data *waveform* seismik

menggunakan program komputer *seisimager*. Nilai V_s yang diperoleh per kedalaman per lokasi akuisisi data dan selanjutnya dihitung V_{s30} sesuai dengan persamaan 1. Klasifikasi perilaku elastisitas tanah dari V_{s30} menggunakan pendekatan berdasarkan SNI 1726-2012, UBC (*Uniform Building Code*), dan EC8 (*Euro Code 8*), kemudian dipetakan dengan memakai *software* ArcGIS 10.3.1 yang dikembangkan oleh ESRI (*Environment Science & Research Institute*). Gambar 2 diperlihatkan bagan alir penelitian.



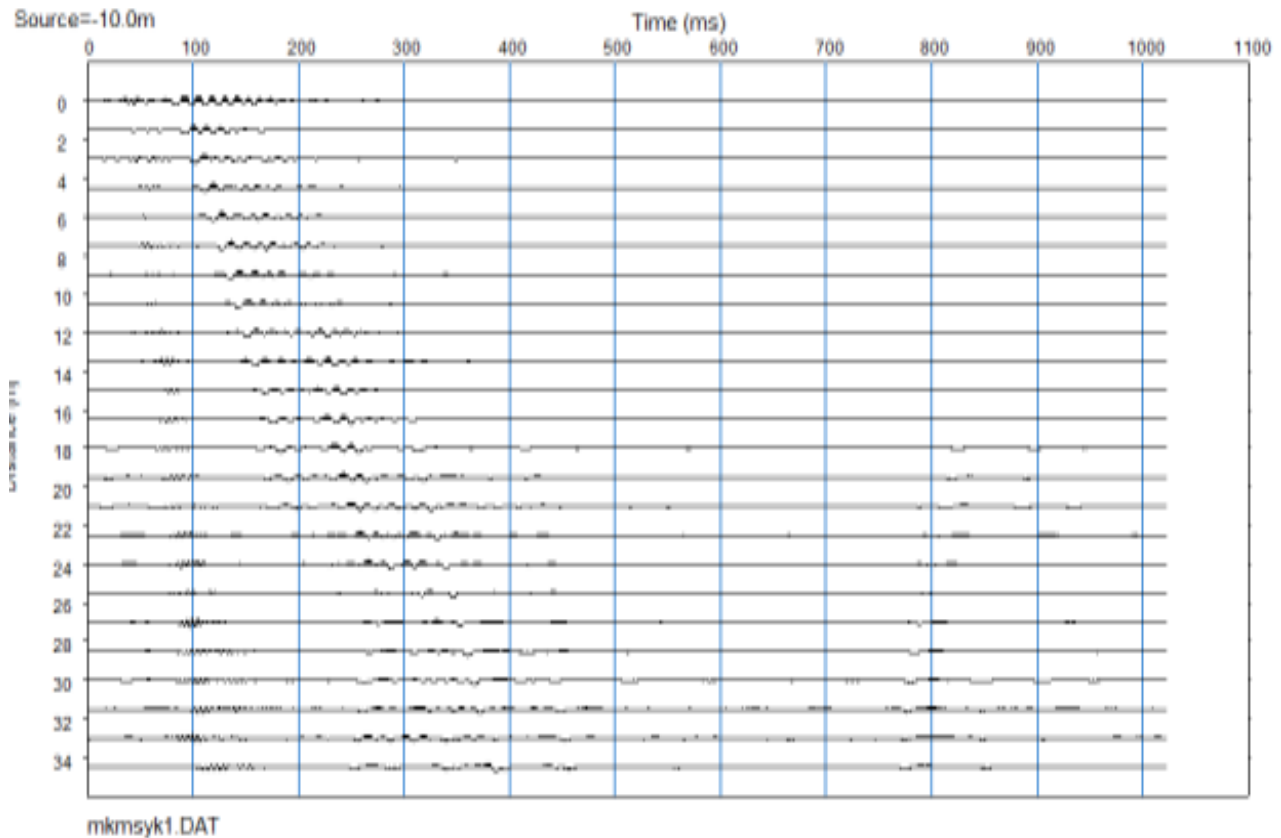
Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

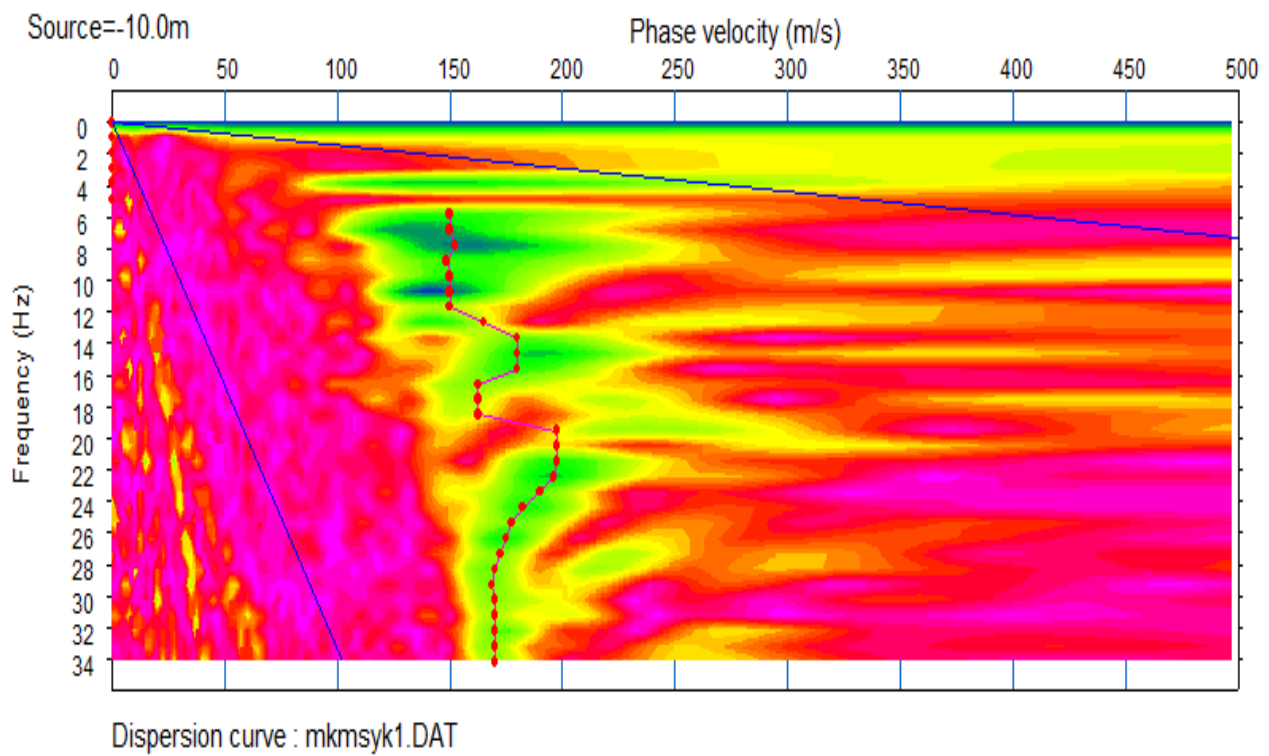
Pemrosesan data dengan program hanya diambil data

wave form pada *offset*-nya saja. Data Vs30 bisa diperoleh dari proses data *waveform* dari *offset*. Dalam pengukuran lapangan diambil data *shoot point* dari dua titik *offset*, jadi diambil data Vs30 rata-rata dari kedua *offset*. *Shoot Point* yang masing-masing terdiri dari *offset* 1, *offset* 2. Setiap titik *offset* dilakukan pukulan palu 5 kg pada plat besi dimana dilakukan kumulatif

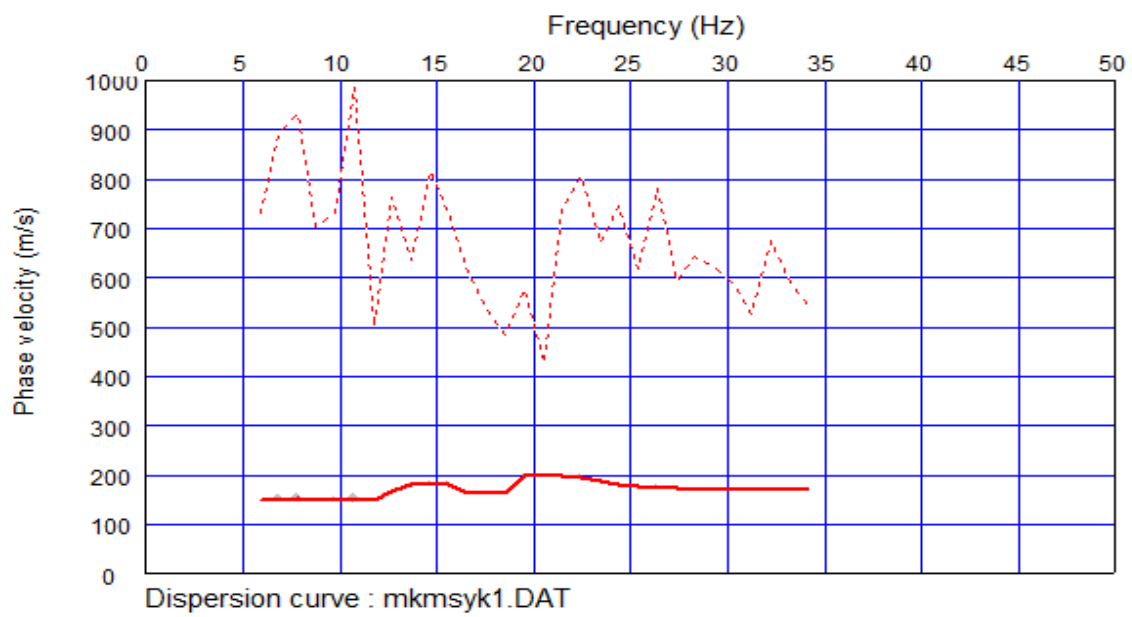
pukulan hingga 3 kali. Posisi *trigger* kabel ditempatkan pada jarak 10 meter dari *geophone* pertama dan terakhir pada titik *offset* kedua.



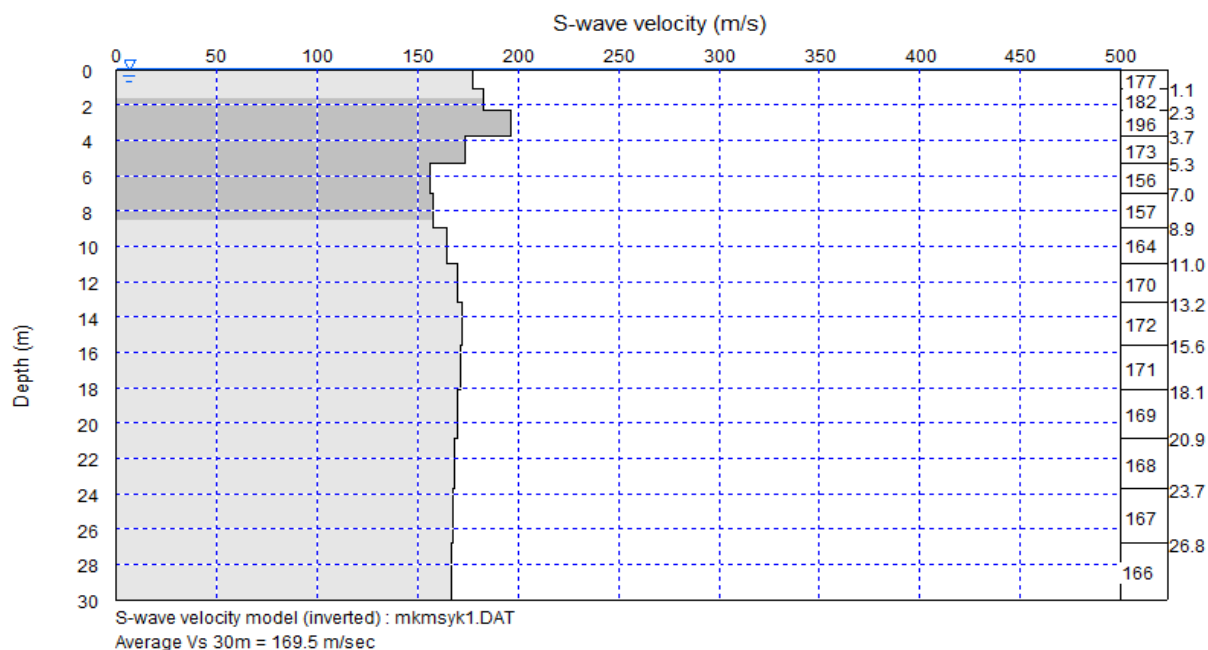
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3. Hasil pemrosesan data dari Seismograph.

Gambar 3 (a) diperlihatkan *waveform* sebanyak 24 *geophone* yang merupakan hasil rekaman waktu penjalaran gelombang pada lintasan 1 *shoot point offset* 1. Dari gambar terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk penjalaran gelombang dari *geophone* terdekat sampai *geophone* terjauh berbeda tergantung kepada jarak dari *hammershoot*. Semakin jauh *geophone* waktu tempuh gelombang semakin lama.

Pada Gambar 3 (b) merupakan model dispersi *image* dari gelombang. Dispersi menunjukkan korelasi antara kecepatan fase dengan frekuensi dan warna menunjukkan perbedaan dari amplitudo gelombang. Kurva dispersi ditentukan pada nilai amplitudo maksimum. Dalam hal ini nilai amplitudo maksimum ditentukan secara otomatis oleh program dengan proses *picking*. Titik-titik warna merah merupakan kurva dispersi yang dilakukan proses *picking*. Perubahan warna menggambarkan variasi energi antara lapisan. Hal ini amplitudo maksimum merupakan informasi variasi energi per lapisan atau kontrabilitas dari perubahan elastisitas lapisan lunak atau keras di bawah permukaan.

Model kurva dispersi yang memiliki nilai kuantitatif

merupakan fungsi dari *Phase Velocity* (m/s) dan *Frequency* (Hz) seperti pada Gambar 3 (c) yang diperoleh setelah melalui beberapa tahap proses sebelumnya dilanjutkan ke tahap inversi. Inversi tujuan mengembalikan model matematika dari kurva dispersi yang memuat informasi frekuensi dan kecepatan fase kepada model *real* geologi. Pada tahap inversi didapatkan nilai kecepatan gelombang geser (*S-wave Velocity*, m/s) dan nilai kedalaman (*depth*, m).

Pada proses inversi, kedalaman dibatasi 30 meter, kemudian diberikan nilai skala Vs maksimum 500 m/s untuk pengaturan skala dan jumlah lapisan ditentukan 14 lapis. Kemudian dilakukan proses iterasi sebanyak 10 kali diperoleh profil kecepatan gelombang geser (Vs) yang merupakan model inversi terlihat pada Gambar 3 (d). Dalam penelitian ini hanya fokus pada nilai Vs rata-rata kedalaman 30 meter dari permukaan tanah.

Pemetaan data hasil Vs30 dilakukan dengan menggunakan *software ArcGis* 10.3.1 dengan menginput peta Kecamatan Kuta Alam yang diakses dari *Google Map*. Data Vs30 dan koordinat titik pengujian diinput ke aplikasi *ArcCatalog*. Digitasi peta dilakukan menggunakan aplikasi *ArcMap*. Kemudian data Vs30 dan koordinat dari aplikasi *ArcCatalog* diinput kembali ke aplikasi *ArcMap*

sehingga titik lokasi tinjauan akan tampak pada layar aplikasi. Dengan menggunakan aplikasi *ArcToolBox* data Vs30 diinterpolasikan sehingga *output* yang dihasilkan adalah peta Vs30 Kecamatan Kuta Alam seperti diperlihatkan pada Gambar 4.

Gambar 4 memperlihatkan sebaran Vs30 yang digambarkan dengan perbedaan warna. Warna semakin kontras menggambarkan Vs 30 tertinggi adalah 197.55 m/s terdapat pada lintasan 6 yang termasuk dalam klasifikasi kelas SD tanah sedang (Tabel 2) dan kelas SD (*UBC*) atau kelas C (*EC8*) tanah keras yang terdiri dari lapisan tebal dari pasir padat atau sedang, kerikil, atau tanah liat kaku (Tabel 3). Nilai Vs 30 terendah adalah 83.55 m/s terdapat pada lintasan 3 yang termasuk dalam klasifikasi kelas SE

tanah lunak dan SE (*UBC*) atau D (*EC8*) tanah lunak yang terdiri dari lapisan tanah dengan atau tanpa kohesi sampai berkohesi sedang.

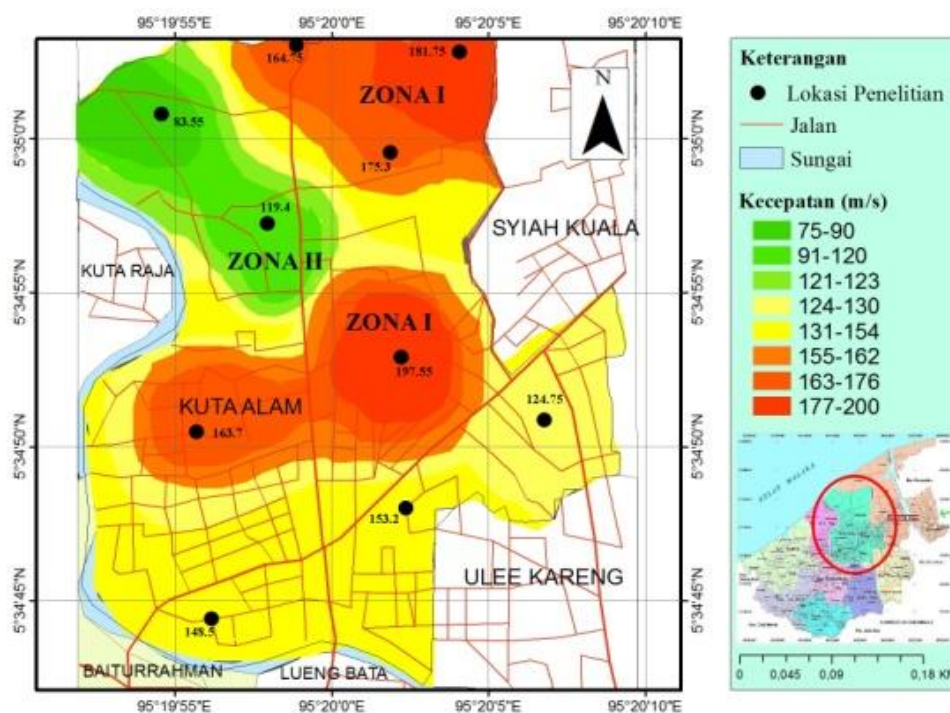
Berdasarkan nilai sebaran Vs30 yang dihasilkan pada peta diperlihatkan bahwa Kecamatan Kuta Alam memiliki keadaan geologi permukaan dimana materialnya memiliki potensi pembesaran amplitudo gelombang gempa atau amplifikasi. Gelombang gempa bumi merambat lebih lambat pada lapisan tanah lunak dibandingkan lapisan tanah keras atau sedang. Perlambatan gelombang akibat pembesaran amplitudo dari gelombang. Keadaan geologi yang dihasilkan sesuai klasifikasi berupa tanah sedang dan lunak sesuai Vs 30 dimana sebarannya diperlihatkan pada Gambar 4.

Tabel 1. Koordinat titik lokasi tinjauan dan Vs30 rata-rata

Titik	Kecamatan Kuta Alam	Latitude	Longitude	Vs30
1	Makam Syiah Kuala	5.593325	95.328647	164.750
2	Gampong Deah	5.593148	95.335607	181.750
3	Lapangan tempat pelelangan ikan Lampulo	5.583706	95.320671	83.550
4	Lambaroskep	5.580490	95.334368	175.300
5	Lapangan Lamdingin	5.576970	95.326841	119.400
6	Lapangan Lambaroskep	5.571436	95.332781	197.550
7	Lapangan Kampung Mulia	5.564872	95.324068	163.700
8	Lapangan Rumah Sakit. Kesdam	5.553955	95.323878	148.500
9	Lapangan Beurawe	5.560123	95.334356	153.200
10	Stadion Haji Dimurthala	5.565971	95.340972	124.750

Tabel 2. Klasifikasi tingkat kekerasan tanah berdasarkan SNI 1726-2012

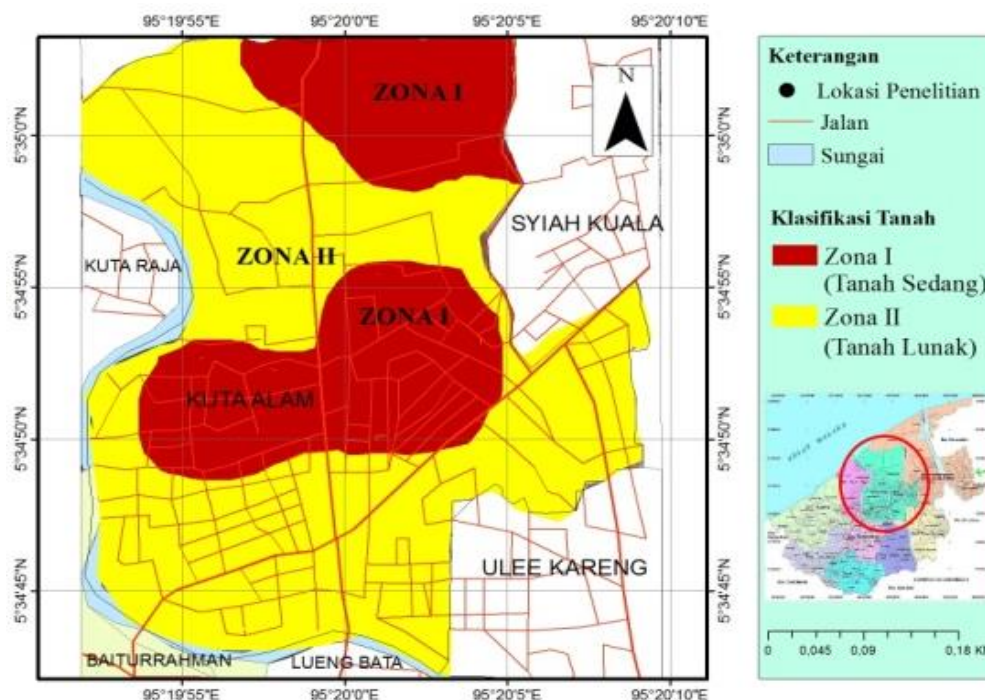
Klasifikasi	V_s (m/s)	N	S_u (KPA)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB(batuan)	750-1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat keras, dan batuan lunak)	350-750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175-350	15-50	50-100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 meter tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar Air, $w \geq 40 \%$ Kuat Geser (<i>Undrained</i>), $S_u < 25$ kPa		



Gambar 4. Peta sebaran kecepatan gelombang geser Vs30 di Kecamatan Kuta alam Kota Banda Aceh.

Tabel 3. Nilai kecepatan gelombang seismik yang menjalar dibawah permukaan berdasarkan UBC (*Uniform Building Code*) dan EC8 (*Euro Code 8*)

Ground Profile (soil type (UBC) of Subsoil Class (E8)	Ground Description (UBC)	Description Statigraphic Profile (EC8)	Shear Wave Velocity Vs30 (ms-1)
SA (UBC)	Hard Rock		>1500 (UBC)
SB (UBC) or A (EC8)	Rock	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5m of weaker material at the surface	760-1500 (UBC) or > 800 (EC8)
SC (UBC) or B (EC8)	Very dense soil and soft rock	Deposit of very dense sand, gravel or very stiff clay, at least several tens of m in thickness, characterized by a gradual increase of mechanical properties with depth	360-760 (UBC) nor 360-800 (EC8)
SD (UBC) or C (EC8)	Stiff soil	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundred of m	180-360 (UBC and EC8)
SE (UBC) or D (EC8)	Soft soil	Deposits of loose-to medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to cohesive soil	< 180 (UBC and EC8)



Gambar 5. Peta klasifikasi tanah di Kecamatan Kuta alam Kota Banda Aceh

Sesuai hasil yang diperoleh kondisi tanah sampai kedalaman 30 m dari permukaan dapat di klasifikasikan menjadi dua zona. Zona I menurut SNI 1726-2012 dan UBC dengan kategori kelas SD serta kategori kelas C menurut EC8. Zona I dikelompokkan ke dalam tanah sedang. Menurut Gambar 5 tanah kategori sedang ini hanya sebagian dari Kecamatan Kuta Alam. Sebagian besar wilayah adalah tanah lunak dikategorikan ke dalam zona II. Menurut SNI 1726-2012 dan UBC masuk kelas SE serta kelas D menurut EC8. Daerah dengan nilai V_s30 175 m/s sampai 350 m/s masuk ke dalam zona I yaitu tanah sedang. Daerah zona I mencakup Makam Syiah Kuala, Gampong Deah, Gampong Lambaroskep, dan Gampong Mulia. Sebagian besar daerah masuk ke dalam Zona II yaitu tanah lunak terdiri dari: Gampong Lampulo, Gampong Lamdingin, lapangan rumah sakit Kesda atau Gampong Kuta Alam, Gampong Beurawe, serta lapangan Haji Dimurthala yang termasuk ke dalam Gampong Lampineung. Daerah tersebut termasuk ke dalam kategori tanah lunak karena memiliki nilai V_s di bawah 175 m/s seperti terlihat pada Gambar 5. Peta sebaran V_s30 suatu wilayah sangat diperlukan. Hal ini sebagai salah satu in-

formasi geoteknik untuk perencanaan bangunan infrastruktur sipil di wilayah tersebut. Infrastruktur sipil: jalan, bangunan gedung, tower, dan fasilitas kota lainnya mesti dirancang dengan aman dengan memperhatikan aspek gelombang seismik. Sehingga khususnya bangunan gedung berlantai banyak, tower dapat direncanakan aman terhadap pengaruh amplifikasi gelombang seismik. Bangunan tinggi di atas tanah lunak sangat berbahaya jika terpengaruh gelombang gempa dimana akan menambah tegangan pada komponen struktur gedung akibat pengaruh gelombang. Serta klasifikasi tanah ini juga dapat dipergunakan dalam melakukan pemetaan zona bahaya bencana dalam upaya mitigasi bencana gempa di Kota Banda Aceh.

Kecamatan Kuta Alam hanya memiliki tanah lunak dan sedang. Tanah lunak memiliki V_s30 di bawah 175 m/s sehingga kecenderungan mengalami amplifikasi besar. Meskipun pusat sumber gempa jauh dari lokasi atau bangunan, jika bangunan di atas lapisan tanah lunak yang tebal dapat menimbulkan kerusakan bangunan akibat amplifikasi. Oleh karena itu, dalam perencanaan sebuah wilayah atau bangunan sipil kondisi lapisan tanah dasar menjadi salah satu pertimbangan sehingga infrastruktur yang dibangun aman dari guncangan gempa bumi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian telah selesai dilakukan di Kecamatan Kuta Alam Kota Banda Aceh sebanyak sepuluh lokasi. Kedalaman dari permukaan sampai 30 meter memperlihatkan tidak memiliki lapisan tanah keras, karena nilai Vs yang diperoleh dari penelitian ini tidak ada yang melebihi dari 350 m/s. Berdasarkan klasifikasi tanah menurut SNI 1726-2012, tipe tanah keras memiliki nilai Vs diatas 350 m/s dan di atas 360 m/s menurut *Uniform Building Code* (UBC) dan *Euro Code 8* (EC8).

Di daerah Kecamatan Kuta Alam sebaran lapisan tanah lebih didominasi oleh lapisan tanah lunak dan sebagian kecil tanah sedang. Di karenakan lapisan tanah di dominasi oleh tanah lunak, maka Kecamatan Kuta Alam memiliki amplifikasi tanah yang tinggi yang mengakibatkan gelombang seismik terjebak di dalam lapisan tanah tersebut. Penelitian tentang amplifikasi ini telah dilakukan oleh Pagan dkk (2014) dan Kanli dkk (2006). Hasil mereka memperlihatkan yang lebih kurang sama dengan penelitian ini dimana pada kondisi geologi alluvium cenderung tanah lunak.

Hasil dari pemetaan sebaran klasifikasi tanah di Kecamatan Kuta Alam ini dapat dijadikan salah satu acuan dan wawasan dalam melakukan perencanaan bangunan gedung, jalan dan bangunan sipil lainnya, serta dapat dipergunakan dalam pemetaan zona bahaya bencana seismik. Saran

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada Ketua Jurusan Teknik Kebumihan Universitas Syiah Kuala yang telah berkenan memberikan alat seismik, terimakasih kepada Doctor Taksiah Majid yang dari Civil Engineering School Universiti Sains Malaysia yang berkenan memberikan program komputer dan semua mahasiswa yang telah membantu dalam akuisisi data. Terimakasih kepada reviewer yang telah memberikan saran dan masukan untuk penyempurnaan paper ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] ASCE. 2010. Minimum Design Loads for Building

and Other Structure. Virginia: American Society of Civil Engineers.

- [2] BNPB. 2016. Laporan Bencana Gempa Pidie Jaya. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- [3] Culshaw, M.G, Duncan, S.V., Sutarto, N.R. 1979. Engineering Geological Mapping of The Banda Aceh Alluvial Basin, Northern Sumatra, Indonesia. Bulletin of The International Association of Engineering Geology.
- [4] <https://www.data.bandaacehkota.go.id/juli2014>. (diakses pada tanggal 09 Oktober 2017).
- [5] <https://www.bmkg.go.id>. Gempa 24 Desember 2004 (diakses pada tanggal 20 September 2017).
- [6] KGS (Kansas Geological Survey). 2007. Schematic Arrangement of Measuring Equipment MASW. Lawrence, KS 66047, USA.
- [7] Kanli, A. I, Tildy, P, Pronay, Z, Pinar, A, Hermann, L. 2006. Vs30 Mapping and Soil Classification for Seismic Site Effect Evaluation in Dinar Region, SW Turkey. Geophysics Journal International. 165, 223-235.
- [8] Pagan, P.M., Navarro, M., Cuevas, J.P., Alcala, F.J., Jerez, A.G., Castano, S.S. 2014. Shear wave velocity based seismic microzonation of Lorca city (SE Spain) from MASW analysis. Near Surface Geophysics. 12.
- [9] Park, C. B., Miller, R.D., and Xia, J. 1999. Multi-channel Analysis of Surface Waves. Geophysics. 64 (3), 800-808.
- [10] Rusydy, I., Khaizal, J., Fatimah, E., Syafrizal., Andika, F., Furumoto, Y. 2017. Estimation of site amplifications from shear-wave velocity at Pyroclastic deposits and Basins in Aceh Tengah and Bener Meriah District, Aceh Province, Indonesia. International Journal of Disaster Management. 1, 46-54.
- [11] Rusydy, I., Khaizal, J., Fatimah, E., Syafrizal., Andika, F. 2016. Studi Awal: Analisa Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Pada

Cekungan Takengon Dalam Upaya Mitigasi
Gempa Bumi. Jurnal Teknik Sipil Universitas
Syiah Kuala, 1-12.

- [12] Subekti, I. 2016. Geologi Umum. Penerbit:
Teknosain.
- [13] SNI 1726-2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan
Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan
Non Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi
Nasional.
- [14] Sato, T., Saita, J., Nakamura, Y. 2004. Evaluation of the
Amplification Characteristics of Subsurface using
Microtremor and Strong Motion – the Studies at
Mexico City, 13th WCEE. Vancouver, Canada.,8.