

ESTIMASI KARAKTERISTIK DINAMIS TANAH UNTUK PEMETAAN DAERAH RAWAN BENCANA GEMPABUMI BERDASARKAN DATA PENGUKURAN MIKROTREMOR DI KOTA SOLOK

Agus Adibil Muhtar¹, Sismanto², Marjiyono³

Departemen Fisika FMIPA, UGM, Jl. Kaliurang Km 3, Yogyakarta^{1,2}

Pusat Survei Geologi Jl. Diponegoro No. 57 Bandung 40122³

agus.muhtar@yahoo.com

Abstract

The soil dynamic characteristics can provide information about the soil layer structure which can be used for basic infrastructure development and natural disasters mitigation, especially earthquakes. This research has been conducted to estimate soil dynamic characteristics for earthquake vulnerable zone mapping based on microtremor measurement data in Solok City. Microtremor single station data were analyzed using HVSR method and microtremor array data were analyzed using SPAC method. The soil dynamic characteristics estimated in this research includes the value of dominant frequency, peak amplitude, seismic vulnerability index, peak ground acceleration, ground shear strain, shear wave velocity and sediment layer thickness. The results showed that Solok City has a dominant frequency values ranged from 0,42 Hz to 4,91 Hz, peak amplitude ranged from 1.92 to 8.47, seismic vulnerability index ranged from 1.72 to 108.01, peak ground acceleration ranged from 99,36 to 115,43 gal, ground shear strain ranged from $1,887 \times 10^{-4}$ to $1,242 \times 10^{-2}$, shear wave velocity ranged from 149.02 to 192.46 m/s and sediment layer thickness ranged from is 9.8 m to 110.86 m. The soil dynamic characteristics distribution generally indicates that Solok city area is quite high potential building damage due to the earthquakes. The results showed that the highest earthquake vulnerable zones include most area in Kelurahan Kampung Jawa, north part of Kelurahan Nan Baimo, and west part of Kelurahan Laing.

Keywords : *Microtremor, HVSR, SPAC, Soil dynamic characteristics, Solok city, Earthquake vulnerable zone mapping.*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sumatera Barat merupakan salah satu kawasan dengan intensitas kejadian gempabumi yang tinggi karena wilayah ini merupakan pertemuan antara dua lempeng tektonik Indo-Australia dengan lempeng tektonik Eurasia. Sumber gempa di wilayah ini tidak hanya berasal dari pertemuan lempeng tektonik saja, akan tetapi juga

disebabkan adanya sistem patahan Mentawai dan sistem patahan Sumatera. Tiga sumber gempabumi tersebut semakin menambah kompleksnya tektonik wilayah Sumatera Barat dan menyebabkan wilayah ini menjadi daerah yang rawan terhadap gempabumi (Triyono, 2009).

Kota Solok merupakan kota yang strategis di Sumatera Barat karena kota ini terletak pada persimpangan jalan antar provinsi dan antar kabupaten/kota. Selain itu, Kota Solok juga memiliki peran sentral

sebagai salah satu penghasil beras terbaik yang menopang perekonomian di Sumatera Barat. Namun demikian, potensi bahaya gempabumi mengancam kota ini karena secara umum Kota Solok merupakan salah satu daerah dengan indeks kerawanan dengan kelas risiko yang tinggi (Kurniawan, dkk, 2014). Kejadian gempabumi yang merusak Kota Solok dengan Magnitudo 7,4 terjadi pada 9 Juni 1943 di bawah Danau Singkarak dan menghasilkan pergeseran horizontal sejauh 1 meter di dekat Kota Solok (Sieh and Natawijaya, 2000) dan gempa pada 6 Maret 2007 juga telah menyebabkan banyak kerusakan di sepanjang segmen ini dari Sumani hingga Selayo (Edward, 2015). Penelitian mengenai upaya mitigasi bencana gempabumi di Kota Solok masih belum begitu banyak dilakukan. Sedangkan pada saat ini Kota Solok sudah menunjukkan perkembangannya dengan melakukan pembangunan infrastruktur dan beberapa fasilitas umum. Padahal besarnya ancaman gempabumi yang mungkin akan terjadi di Kota Solok di masa yang akan datang, membutuhkan berbagai usaha untuk penanggulangan bencana sehingga perencanaan pendirian bangunan dengan memperhatikan peta mikrozonasi ini diharapkan memperkecil korban dan kerugian akibat gempabumi ke depannya. Salah satu upaya untuk mengurangi risiko bencana gempabumi di suatu daerah adalah dengan menganalisis dan memetakan potensi bahaya gempabumi secara lengkap. Hal ini dapat dilakukan dengan mengidentifikasi karakteristik dinamis tanah di daerah tersebut. Pengukuran mikrotremor dengan metode HVSR dan SPAC dapat digunakan untuk memetakan daerah rawan bencana berdasarkan karakteristik dinamis tanah Kota Solok. Mikrotremor merupakan getaran konstan pada permukaan bumi selain gempabumi yang berasal dari aktivitas manusia dan fenomena alam, (Aki, 1957). Pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui kondisi geologi dan ketebalan lapisan sedimen permukaan

yang menggambarkan kondisi permukaan *bedrock* di suatu daerah (Marjiyono, dkk., 2014). Parameter yang digunakan untuk memetakan daerah rawan bencana gempabumi berdasarkan pada karakteristik dinamika tanah yaitu frekuensi dominan, amplitudo puncak, indeks kerentanan seismik, *ground shear strain*, kecepatan gelombang sekunder dan ketebalan lapisan sedimen.

1.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Menentukan karakteristik dinamis tanah berdasarkan parameter HVSR yaitu nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik, PGA dan *ground shear strain* serta parameter SPAC berupa kecepatan gelombang sekunder dan kedalaman batuan dasar.
- b. Memetakan hasil estimasi karakteristik dinamis tanah untuk pemetaan daerah rawan bencana gempabumi di Kota Solok.

2. METODOLOGI

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian berada di Kota Solok, Provinsi Sumatera Barat, meliputi Kecamatan Lubuk Sikarah yang terdiri atas tujuh kelurahan, dan Kecamatan Tanjung Harapan, yang terdiri atas enam kelurahan. Penelitian dilakukan pada bulan Januari sampai dengan bulan Mei tahun 2016.

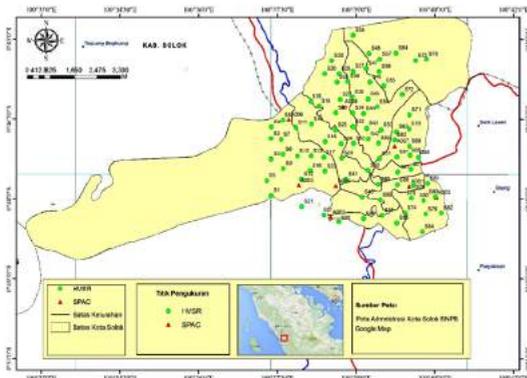
2.2. Sampling Data

Data mikrotremor diperoleh dari data pengukuran yang dilakukan oleh Tim Pusat Survey Geologi (PSG) Bandung. Jumlah titik ukur mikrotremor adalah sebanyak 85 titik pengukuran mikrotremor *single station* dan 8 titik pengukuran mikrotremor *array*.

2.3. Analisis Data

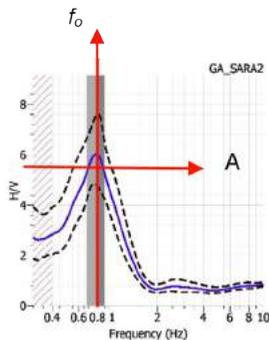
2.3.1. Analisis Data Mikrotremor *Single Station* (Metode HVSR)

Metode HVSR merupakan perhitungan data mikrotremor dengan cara menghitung perbandingan komponen horizontal (H) dan komponen vertikal (V) yang terjadi pada spektrum getaran tanah pada setiap data yang diakusisi. Data mikrotremor single station menggambarkan kecepatan getaran tanah dalam tiga komponen arah, yaitu utara-selatan (N-S), barat-timur (E-W), dan vertikal (U-D) yang dinyatakan dalam domain waktu. Data tersebut kemudian diolah menggunakan metode HSRV melalui perangkat lunak Geopsy.



Gambar 1. Peta sebaran titik pengukuran mikrotremor di Kota Solok Percontohan.

Hasil analisis data mikrotremor dengan menggunakan metode HVSR ini adalah kurva H/V dengan puncak kurva adalah frekuensi dominan (f_0) dan amplitudo puncak (A) (Gambar 2).



Gambar 2. Contoh kurva HVSR hasil pengukuran di Kota Solok.

Frekuensi dominan (f_0) dan amplitudo puncak (A) tersebut merupakan parameter yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik dinamik lapisan tanah permukaan. Nilai frekuensi dominan dan amplitudo puncak selanjutnya digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan sedimen, indeks kerentanan seismik (K_g), percepatan getaran tanah (PGA), dan *ground shear strain* (γ) (Nakamura, 2000). Tingkat kerentanan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi dapat diidentifikasi berdasarkan indeks kerentanan seismik (K_g). Pada lapisan sedimen tebal, jika disertai dengan penguatan getaran gelombang seismik (amplitudo puncak) besar, maka akan menghasilkan nilai indeks kerentanan yang besar pula. Semakin tinggi indeks kerentanan seismik suatu daerah maka semakin tinggi potensi kerusakan akibat gempa bumi (Daryono, 2011). Menurut Nakamura (2008), indeks kerentanan seismik diperoleh dari kuadrat amplitudo maksimum (A) dibagi dengan frekuensi dominan (f_0), yang secara matematis ditulis sebagai:

$$K_g = \frac{A^2}{f_0} \quad (1)$$

Percepatan getaran tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration*/PGA) merupakan nilai terbesar dari percepatan getaran tanah yang pernah dialami di suatu tempat karena gempa bumi (Broptopuspito, dkk, 2006). Menurut Fukushima dan Tanaka (1990), persamaan empiris untuk menghitung PGA di batuan dasar (di bawah lapisan sedimen permukaan) yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Log} \left(\frac{a}{b} \right) &= 1,3 + 0,41M \\ \text{Log} \left(R,0,32 \cdot 10^{0,42M} \right) &= 0,0034R \end{aligned} \quad (2)$$

Nilai PGA di batuan dasar ini kemudian digunakan untuk menghitung nilai *ground shear strain*.

Ground shear strain menyatakan besarnya regangan maksimum yang dialami tanah

permukaan jika terjadi gempa bumi (Nakamura, 1997). Nilai *ground shear strain* dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma = K_g \times 10^{-6} \times \alpha \quad (3)$$

dengan γ merupakan *ground shear-strain*, K_g merupakan indeks kerentanan seismik, 10^{-6} merupakan tetapan untuk mengestimasi nilai strain pada satuan 10^{-6} pada lapisan tanah permukaan dan α merupakan nilai PGA di batuan dasar.

2.3.2. Analisis Data Mikrotremor Array (Metode SPAC)

Metode SPAC merupakan metode pengukuran mikrotremor dengan tujuan untuk memperoleh kurva dispersi (kurva kecepatan fase-frekuensi) dan permodelan struktur kecepatan gelombang sekunder (Vs) pada lapisan bawah permukaan bumi (Thein dkk, 2015). Metode ini merupakan metode pengukuran gelombang mikrotremor komponen vertikal dengan asumsi bahwa gelombang mikrotremor pada komponen vertikal didominasi oleh gelombang Rayleigh (Okada, 2006).

Profil kecepatan gelombang sekunder diperoleh dari proses inversi yang dilakukan dengan cara mencocokkan kurva koherensi teoritis dari fungsi Bessel terhadap kurva koherensi pengukuran secara iterasi. Menurut Okada (2006) koefisien SPAC memenuhi persamaan Bessel orde nol yang dinyatakan dalam persamaan (4):

$$\rho(f, r) = J_0\left(\frac{2\pi fr}{c(f)}\right) \quad (4)$$

dengan $\rho(f, r)$ adalah koefisien SPAC, J_0 adalah fungsi Bessel orde nol, $c(f)$ adalah kecepatan gelombang sekunder, dan r adalah jarak antar stasiun pengukuran.

Pengambilan data mikrotremor array dilakukan dengan menggunakan 4 seismometer dengan konfigurasi berbentuk segitiga. Pada mikrotremor array pengukuran hanya dilakukan pada komponen vertikal. Satu data mikrotremor array terdiri atas 4 data pengukuran dengan

jarak antar seismometer (r) yang berbeda-beda. Jarak seismometer yang digunakan adalah 2,5 m, 5 m, 10 m, 20 m dengan durasi tiap pengukuran antara 20 - 45 menit.

Data pengukuran mikrotremor array diolah menggunakan metode SPAC (*Spatial Autocorrelation*) untuk menentukan kecepatan gelombang sekunder (Vs). Pengolahan data diawali dengan menggunakan program Geopsy selanjutnya menggunakan program Spac2disp untuk mendapatkan kurva dispersi dan terakhir menggunakan software Dinver untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang sekunder (Vs).

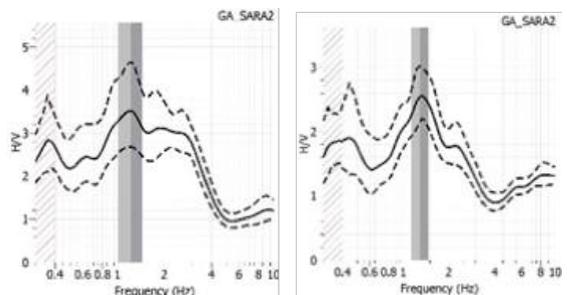
Ketebalan lapisan sedimen berhubungan dengan frekuensi dominan yang merupakan frekuensi resonansi lapisan sedimen permukaan saat mencapai nilai amplitudo maksimum. Menurut Seht dan Wohlenberg (1999), hubungan ketebalan lapisan sedimen (h), kecepatan gelombang sekunder (Vs) dan frekuensi dominan (f_0) dapat dirumuskan:

$$h = \frac{v_s}{4f_0} \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Mikrotremor Single Station

Kurva HVSR yang didapatkan dari analisis ini secara umum menunjukkan puncak yang jelas (*clear peak*) dan dapat digunakan untuk menentukan nilai frekuensi dominan serta amplitudasi. Contoh hasil kurva HVSR ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum HVSR di titik (a) S001, (b) S002.

Nilai frekuensi dominan (f_0) yang didapatkan berkisar antara 0,42 - 4,91 Hz. Adapun peta sebaran nilai frekuensi dominan pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 4. Sebaran nilai frekuensi yang diperoleh dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa frekuensi tinggi umumnya berada di sebelah timur laut dan di sebelah barat Kota Solok. Daerah ini merupakan wilayah dengan elevasi yang relatif lebih tinggi, yaitu berupa daerah lereng dan perbukitan. Sedangkan sebaran nilai frekuensi rendah tersebar di bagian tengah Kota Solok yang memiliki elevasi relatif lebih rendah. Nilai frekuensi ini menggambarkan ketebalan lapisan sedimen permukaan di mana nilai frekuensi berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan sedimen. Semakin tinggi nilai frekuensi maka akan semakin tipis ketebalan sedimen, dan sebaliknya (Parolai, dkk., 2002; Prabowo 2015).

Selain frekuensi dominan, spektrum HVSR juga memperlihatkan nilai amplitudo puncak (A). Nilai amplitudo puncak yang didapatkan berkisar antara 1,92 - 8,47. Adapun peta sebaran nilai frekuensi dominan pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 5. Amplitudo berkaitan dengan kontras impedansi antara lapisan permukaan terhadap lapisan di bawahnya. Semakin tinggi nilai amplitudo maka semakin tinggi kontras impedansi, begitu pula sebaliknya. Nilai frekuensi dominan dan amplitudo puncak selanjutnya digunakan untuk menentukan indeks kerentanan seismik (Kg).

Nilai indeks kerentanan seismik pada daerah penelitian berkisar antara 1,72-108,01. Adapun peta sebaran nilai indeks kerentanan seismik di daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 6. Nilai indeks kerentanan seismik ini berkaitan dengan tingkat kerawanan suatu wilayah dari ancaman risiko gempabumi. Semakin besar nilai indeks kerentanan seismik di suatu wilayah, maka tingkat risiko gempabumi terhadap kerusakan akibat gempabumi semakin besar. Daerah dengan sedimen lunak yang tebal akan memiliki nilai indeks kerentanan seismik tinggi sehingga semakin meningkatkan potensi kerusakan tanah dan bangunan saat mengalami gempabumi (Nakamura, 2000; Daryono,

dkk.,2009; Sungkono dan Santosa, 2011).

Kondisi geologi di Kota Solok yang tersusun atas endapan aluvium dan endapan kolovium menyebabkan daerah tersebut memiliki nilai Kg yang tinggi. Berdasarkan analisis data diperoleh bahwa Kelurahan Kampung Jawa merupakan daerah dengan nilai Kg yang tinggi (zona merah) karena daerah tersebut tersusun dari kombinasi dua jenis endapan yang bersifat lunak dan tebal. Sedangkan daerah lain yang berada pada zona hijau memiliki nilai Kg yang rendah disebabkan daerah ini memiliki nilai amplifikasi yang lebih kecil sehingga amplitudo gelombang seismik tidak terlalu mengalami perbesaran dan kurang rentan mengalami deformasi saat daerah tersebut mengalami gempabumi.

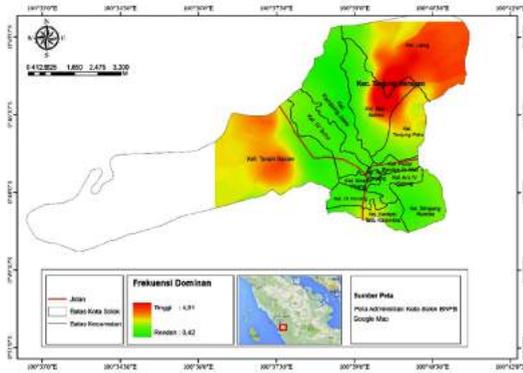
Hasil perhitungan menunjukkan daerah penelitian mengalami PGA sebesar 99,36 sampai 115,43 gal. Sebaran nilai PGA di batuan dasar pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 7. PGA di batuan dasar dihitung berdasarkan pada parameter gempabumi yang terjadi pada tanggal 06 Maret 2007, posisi episenter pada 0.55o LS dan 100.47o BT pada kedalaman 22,5 Km dengan skala 6,5 magnitudo momen. Persamaan yang digunakan adalah persamaan (2) dari Fukushima dan Tanaka (1990). Dari Gambar 7 terlihat bahwa nilai PGA akan semakin besar jika semakin dekat dengan hiposenter dan semakin kecil di tempat yang jauh dari pusat gempa. Hal ini disebabkan oleh PGA batuan dasar hanya dipengaruhi oleh nilai magnitudo dan jarak hiposenter gempabumi. Nilai PGA di batuan dasar selanjutnya akan digunakan dalam analisis perhitungan nilai ground shear strain.

Nilai *ground shear strain* (GSS) pada daerah penelitian berkisar antara $1,887 \times 10^{-4}$ - $1,242 \times 10^{-2}$. Sebaran nilai ground shear strain di batuan dasar pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 8. Semakin besar nilai *ground shear strain* maka lapisan sedimen permukaan akan semakin mudah merengas dan bergeser sehingga terjadi deformasi seperti rekahan tanah, likuifaksi dan longsor. Berdasarkan hubungan *ground shear strain* terhadap kondisi dan sifat dinamika tanah pada

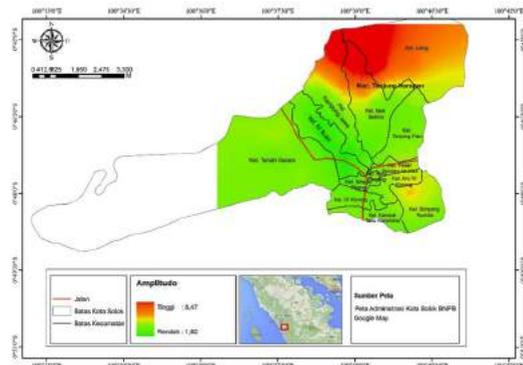
permukaan (Isihara, 1982) maka Kelurahan Kampung Jawa yang memiliki nilai di atas 10-2 berpotensi untuk mengalami longsor, kompaksi tanah, dan likuifaksi. Hal ini diperkuat dengan kejadian tanah longsor di Kelurahan Kampung Jawa pada 08 Februari 2016 (Faruqi, 2016).

Kelurahan lain di Kota Solok yang memiliki rentang nilai 10-4 - 10-3 berpotensi untuk mengalami rekahan dan penurunan tanah. Keadaan topografi yang cukup tinggi di Kelurahan Nan Baimo dan Kelurahan Tanah Garam dipadu dengan kondisi tanah yang merupakan endapan Alluvium dan Kolovium semakin mendukung potensi terjadinya rekahan bahkan dimungkinkan bisa terjadi tanah longsor. Sedangkan kelurahan lain yang berada pada daerah topografi rendah berpotensi untuk mengalami rekahan sehingga menyebabkan rusaknya bangunan.

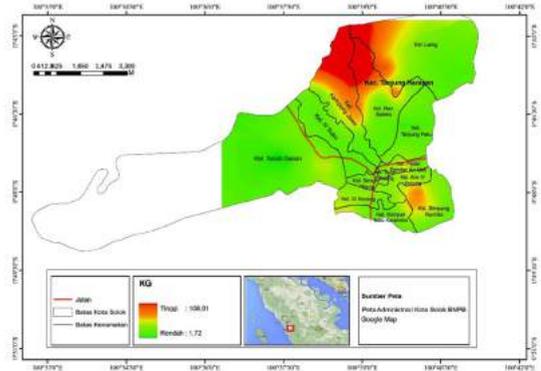
3.2. Data Mikrotremor Array



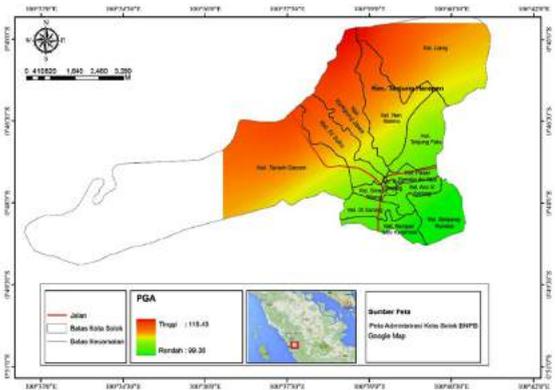
Gambar 4. Peta Sebaran Nilai Frekuensi Dominan di Daerah Penelitian.



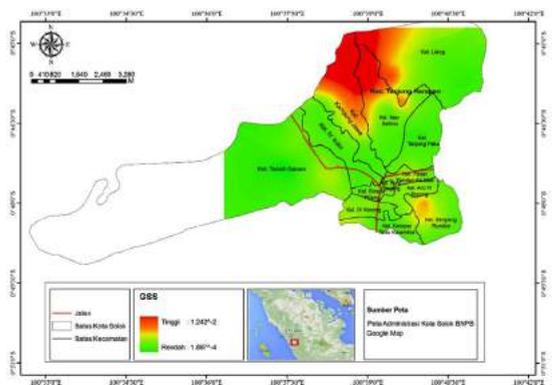
Gambar 5. Peta Sebaran Nilai Amplitudo di Daerah Penelitian.



Gambar 6. Peta Sebaran Nilai Kg di Daerah Penelitian.



Gambar 7. Peta Sebaran Nilai PGA di Daerah Penelitian.



Gambar 8. Peta Sebaran Nilai GSS di Daerah Penelitian.

Metode SPAC digunakan untuk menghitung kecepatan gelombang geser (V_s) di lapisan sedimen berdasarkan data hasil pengukuran mikrotremor *array*. Analisis terhadap kecepatan gelombang geser dekat

permukaan sangat penting untuk mempelajari efek lokal (Picozzi, dkk., 2009; Grutas, 2012). Analisis menggunakan metode SPAC menghasilkan *ground profile* yang merupakan perolehan iterasi dengan nilai *error* terkecil. Dari *ground profile* ini kemudian didapatkan nilai Vs.

Nilai Vs hasil analisis SPAC di delapan titik pengukuran berkisar antara 149.02-192.46 m/s (Tabel 1). Pada analisis SPAC ini nilai Vs yang digunakan untuk analisis selanjutnya karena nilai Vs di lapisan sedimen sangat mendekati nilai Vs rata-rata dari pengukuran di lubang bor (Bettig, dkk., 2001; Prabowo, 2015). Nilai Vs ini kemudian dirata-rata untuk memetakan ketebalan sedimen menggunakan persamaan (5) (Syahrudin, dkk. 2014).

Tabel 1. Kecepatan gelombang geser (Vs) hasil analisis SPAC.

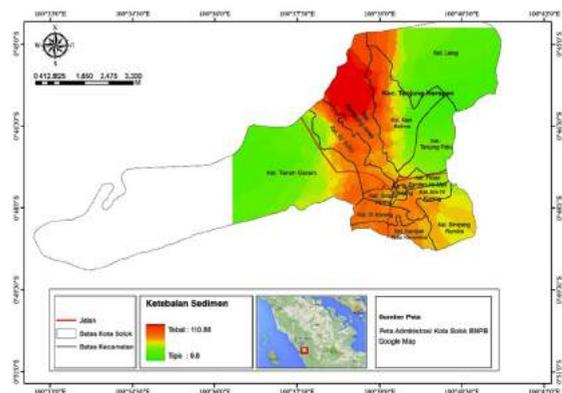
Titik Pengukuran	Vs (m/s)	Jenis Sedimen
A001	149.02	Qal
A002	156.71	Qal
A003	149.07	Qal
A004	150.72	Qal
A005	167.2	Qal
A006	164.87	Qal
A007	179.33	Qal
A008	192.46	Qtau

Berdasarkan analisis SPAC didapatkan bahwa nilai Vs sebesar 192.46 m/s di titik A008 berada pada daerah yang memiliki litologi berupa Qtau atau *undifferentiated volcanic product* yaitu berupa endapan kolovium, konglomerat dan lahar. Nilai kemudian digunakan sebagai faktor pembagi pada titik-titik pengukuran dengan litologi Qtau. Sedangkan nilai Vs sebesar 149.02-179.33 m/s di titik A001-A007 berada pada daerah yang memiliki litologi berupa Qal atau aluvium. Nilai Vs pada titik A001-A007 tersebut kemudian dirata-rata sehingga didapatkan nilai Vs rerata sebesar 159.5 m/s. Nilai ini kemudian digunakan sebagai

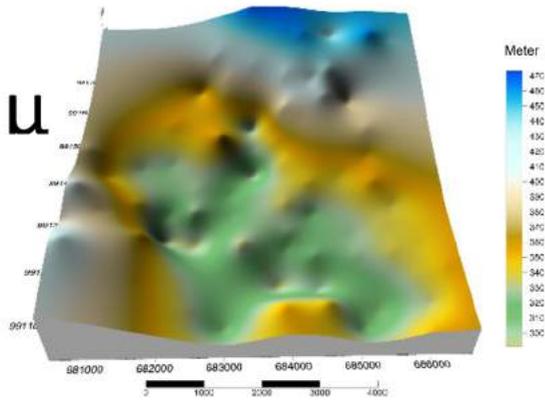
faktor pembagi pada titik-titik pengukuran yang memiliki litologi aluvium. Dari tabel (1) dapat dilihat bahwa nilai Vs pada kondisi geologi dan litologi yang sama akan memberikan nilai yang relatif sama sehingga meskipun pengukuran mikrotremor array hanya di 8 titik namun tetapi dapat mewakili pengukuran Vs pada area sekitar daerah penelitian.

Ketebalan lapisan sedimen dan identifikasi struktur geologi di bawah lapisan sedimen dapat secara akurat ditentukan dengan persamaan (5) (Seht dan Wohlenberg, 1999; Thein, dkk., 2013,; Marjiyono, dkk., 2014). Ketebalan sedimen di daerah penelitian berkisar antara 9,8 m - 110,86 m. Secara umum daerah yang memiliki sedimen paling tebal berada di bagian tengah Kota Solok yang memiliki elevasi rendah. Sedangkan daerah yang memiliki sedimen paling tipis berada di bagian barat Kelurahan Tanah Garam dan bagian timur Kelurahan Laing yang berada pada elevasi lebih tinggi. Peta persebaran ketebalan lapisan sedimen dapat dilihat pada Gambar 9.

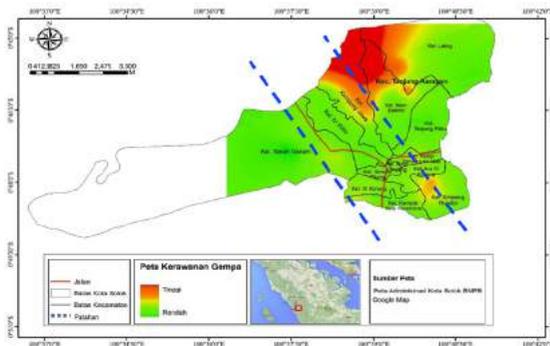
Morfologi *bedrock* di daerah penelitian dapat diketahui dengan cara mengurangkan ketinggian permukaan di titik pengukuran (elevasi dari permukaan laut) dengan ketebalan lapisan sedimen. Nilai yang didapatkan kemudian diinterpolasi untuk mendapatkan gambaran morfologi *bedrock*.



Gambar 9. Peta Persebaran Ketebalan Lapisan Sedimen.



Gambar 10. Penampang 3D Morfologi *Bedrock* Daerah Penelitian.



Gambar 10. Peta kerawanan akibat gempa bumi di Kota Solok.

Penampang 3D morfologi daerah penelitian pada Gambar 10 menunjukkan bahwa Kota Solok berada pada sebuah cekungan yang dibatasi oleh dua bidang batas yang memanjang dari arah tenggara ke barat laut Kota Solok. Kedua bidang batas tersebut diperkirakan sebagai batas patahan antara blok yang naik dan blok yang turun. Kota Solok sebagian besar terletak pada blok yang turun atau disebut dengan graben. Graben adalah hasil dari patahan pada kulit bumi yang mengalami depresi dan terletak di antara dua bagian yang lebih tinggi (Crawford, 1998). Berdasarkan sifat-sifat patahan maka dapat diidentifikasi bahwa patahan yang melintasi Kota Solok merupakan jenis patahan normal (*normal fault*).

Peta daerah rawan bencana akibat gempa bumi di Kota Solok dibuat dengan

menggabungkan peta indeks kerentanan seismik, peta PGA lapisan tanah permukaan, peta *ground shear strain*, dan peta ketebalan lapisan sedimen. Peta daerah rawan bencana akibat gempa bumi di Kota Solok dapat dilihat pada Gambar 11. Dari peta tersebut tampak bahwa daerah-daerah dengan zona warna merah merupakan daerah dengan tingkat kerawanan tinggi, zona kuning merupakan daerah dengan tingkat kerawanan sedang, dan zona hijau dengan tingkat kerawanan rendah, dan terdapat dua patahan yang diperkirakan melintasi Kota Solok (garis biru solid). Tingkat kerawanan ini menggambarkan kerusakan yang mungkin akan terjadi apabila daerah tersebut mengalami gempa bumi. Secara umum sebagian besar Kota Solok berpotensi untuk mengalami kerusakan akibat gempa bumi antara lain disebabkan karena tanah longsor, penurunan tanah, kompaksi tanah, dan likuifaksi.

Daerah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi (zona merah) akibat bencana gempa bumi antara lain mencakup sebagian besar Kelurahan Kampung Jawa, bagian utara Kelurahan Nan Balimo, dan bagian barat Kelurahan Laing. Hal ini disebabkan pada daerah tersebut memiliki lapisan sedimen yang tebal (aluvium dan kolovium), variasi kemiringan lahan yang cukup curam dan juga dilintasi oleh patahan dari segmen Sumani.

Daerah yang memiliki tingkat kerawanan sedang (zona kuning) akibat bencana gempa bumi mencakup bagian timur Kelurahan Tanah Garam, bagian barat Kelurahan Kampung Jawa, bagian tengah Kelurahan Nan Balimo, sebagian Kelurahan Laing, bagian tengah Kelurahan Simpang Rumbio, bagian timur dan barat Kelurahan Kampai Tabu Karambia, Kelurahan IX Korong, Kelurahan Sinapa Piliang, Kelurahan Koto Panjang, Kelurahan Pasar Pandan Air Mati, Kelurahan Aro IV Korong. Daerah ini merupakan daerah yang memiliki variasi sedimen Alluvium yang cukup tebal dan rawan akan terjadinya rekahan tanah dan penurunan tanah.

Sedangkan daerah yang memiliki tingkat kerawanan rendah (zona hijau) akibat bencana gempa bumi mencakup sebagian besar

Kelurahan Tanah Garam, Kelurahan IV Suku, bagian barat daya Kelurahan Kampung Jawa, bagian selatan Kelurahan Nan Balimo, bagian timur Kelurahan Laing, Kelurahan Tanjung Paku, bagian timur dan selatan Kelurahan Simpang Rumbio, dan bagian tengah Kelurahan Kampai Tabu Karambia. Daerah dengan zona hijau ini umumnya memiliki nilai K_g yang kecil. Namun demikian daerah ini masih memiliki potensi untuk mengalami amplifikasi dan rekahan tanah karena lapisan sedimen Alluvium yang cukup tebal.

Kota Solok secara umum merupakan daerah yang memiliki potensi kerusakan besar akibat gempa bumi yang disebabkan oleh patahan Sumatera. Daerah yang memiliki tingkat kerawanan sedang (zona kuning) hingga tinggi (zona merah) akibat bencana gempa bumi di kota Solok berada pada daerah di sekitar dua patahan dari Segmen Sumani. Patahan Sumatera dari segmen Sumani yang melintasi Kota Solok berpotensi menimbulkan kerusakan tinggi karena segmen patahan tersebut menyimpan potensi gempa berskala magnitude gempa 7.2 -7.4 Mw dengan periode perulangan selama 100 tahun. Gempa terakhir yang terjadi akibat aktivitas patahan Sumani yang melewati Kota Solok terjadi pada tahun 1926 (6.7 Mw) sehingga diperkirakan pada tahun 2026 akan terjadi gempa dengan magnitude yang lebih besar (Natawidjaja, 2007).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

- 1) Nilai frekuensi dominan tanah berkisar antara 0,42 Hz hingga 4,91 Hz, amplifikasi berkisar antara 1,92 hingga 8,47, indeks kerentanan seismik berkisar antara 1,72 hingga 108,01, PGA berkisar antara 99,36 hingga 115,43 gal, *ground shear strain* PGA berkisar antara $1,887 \times 10^{-4}$ hingga $1,24 \times 10^{-2}$, kecepatan gelombang geser berkisar antara 149.02 hingga 192.46 m/s dan kedalaman batuan dasar berkisar antara 9,8 m hingga 110,86 m.

- 2) Estimasi karakteristik dinamis tanah menunjukkan bahwa Kota Solok secara umum berpotensi mengalami kerusakan bangunan akibat gempa bumi. Daerah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi di Kota Solok akibat bencana gempa bumi antara lain mencakup sebagian besar Kelurahan Kampung Jawa, bagian utara Kelurahan Nan Balimo, dan bagian barat Kelurahan Laing.

4.2. Saran

Jumlah titik-titik pengukuran mikrotremor ditambah lebih banyak dan area pengukuran lebih diperluas untuk dapat mengungkap lebih jauh karakteristik dinamis tanah dan batas-batas patahan yang melintasi Kota Solok. Selain itu juga perlu dilakukan kajian lebih mendalam tentang seismisitas dan tingkat keaktifan patahan yang melintasi Kota Solok.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada LPDP atas bantuan dana penelitian, Prof. Dr. Sismanto, M.Si dari Prodi Geofisika UGM dan Marjiyono, M.Si dari Pusat Survey Geologi Bandung atas waktu, arahan dan bimbingan yang telah diberikan, dan Pusat Survey Geologi (PSG), Badan Geologi, Kementerian ESDM atas data yang diberikan kepada penulis

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K., 1957, Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Special Reference to Microtremors, Earthquake Research Institute Japan, Vol 35, pp 415-456.
- Bettig, B., P.Y. Bard, F. Scherbaum, J. Riepl, F. Cotton, C. Cornou dan D. Hatzfeld, 2001, Analysis of Dense Array Noise Measurements Using The Modified Spatial Auto-Correlation Method (SPAC): Application to The Genoble Area, *Bulletino Di Geofisica Teorica Ed Applicata*, 42, 3-4, 281-304.

- Brotopuspito, K.S, Tiar P., dan Ferry M.W., 2006, Percepatan Getaran Tanah Maksimum Daerah Istimewa Yogyakarta 1943-2006, J. Geofisika, 2006/1.
- Crawford, M. J., 1998, Physical Geology, Cliff Notes, Inc, Lincoln, Nebraska
- Daryono, Sutikno, J. Sartohadi, Dulbahri, dan K. S. Brotopuspito, 2009, Efek Tapak Lokal (Local Site effect) di Graben Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor, International Conference Earth Science And Technology, Yogyakarta 6-7 August 2009
- Daryono, 2011, Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta, Disertasi, Program Pascasarjana Fakultas Geografi, UGM, Yogyakarta.
- Edward, A., 2015, Bahaya Gempabumi Zona Patahan Sumatera, Tim Pusdalops PB BPBD Prov. Sumatera Barat. IAGI. Sumatera Barat.
- Faruqi, A.L., 2016, Tanah Longsor Jalan Sumatera Barat Sumatera Utara putus, <https://m.tempo.co/read/news/2016/02/08/058743013/tanah-longsor-jalan-sumatera-barat-sumatera-utara-putus> diakses 18 Juni 2016 via Google.com
- Fukushima, Y., dan Tanaka, T., 1990, A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan, Bull of the seismological society of America. Soc. Am., 80, 757-783.
- Grutas, R. N., 2012. Exploration of S-wave Velocity of Sedimentary Layers with Application to Seismic Microzonation in Metro Manila, the Philippines, Doctoral Dissertation, Department of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology.
- Isihara, K., 1982, Evaluation of Soil Properties for Use in Earthquake Response Analysis. Proc. Int. Symp. On Numerical Model in Geomech, 237-259.
- Kurniawan, L., Triutomo, S., Yunus, R., Amri, M. R., Hartyanto, A. A., 2014, Indeks Risiko Bencana Indonesia, BNPB, Jakarta.
- Marjiyono, Ratdomopurbo, Suharna, M.H.H Zajuli, dan R. Setianegara, 2014, Geologi Bawah Permukaan Dataran Klaten Berdasarkan Interpretasi Data Mikrotremor, Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, 15, 1, 3-9.
- Nakamura, Y, 1997, Seismic Vulnerability Indices for Ground And Structures Using Microtremor, World Congress on Railway Research, Florence, Nov. 1997.
- Nakamura, Y, 2000, Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and its Applications, Proc XII World Conf. Earthquake Engineering, New Zealand, 2656.
- Nakamura, Y., T. Sato, dan M. Nishinaga, 2008, Local Site Effect of Kobe Based on Microtremor Measurement. Proceeding of the Sixth International Conference on Seismic Zonation EERI, Palm Springs California.
- Natawidjaja, 2007, Gempabumi dan Tsunami di Sumatera dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman Dari Bencana Alam, <http://geospasial.menlh.go.id/assets/Analisis/DHNLaporanKLH2007finalv2sm.pdf>, diakses 22 Mei 2016.
- Okada, H., 2006, Theory of efficient array observations of microtremors with special reference to the SPAC method, J. Exploration Geophysics, 37, 73-85.
- Parolai, S., P.Bormann dan C. Milkereit, 2002, New Relationships between Vs, Thickness of Sediments, and Resonance Frequency Calculated by the H/V Ratio of Seismic Noise for the Cologne Area (Germany), Bull of Seismological Society of America, 92, 6, 2521-2527.

- Picozzi, M., Strollo, A., Parolai Rix, S., Durukal, E., O zel, O., Karabulut, S., Zschau, J., dan Erdik, M., 2009, Site characterization by seismic noise in Istanbul, Turkey, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 29, 469 - 482
- Prabowo, N., 2015, Pemetaan Daerah Rawan Rekahan Tanah Berdasarkan Analisis Mikrotremor di Kota Madya Denpasar dan Kabupaten Badung, Bali, Tesis, Program Studi S2 Ilmu Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Seht, M.I, dan Wohlenberg, J., 1999, Microtremor Used To Map Thickness of Soil, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89, 1, 250-259.
- Sieh, K. and Natawidjaja, D., 2000, Neotectonics of the Sumateran fault, Indonesia: *Journal of Geophysical Research* 105, 28,295-28,326.
- Sungkono dan B.J. Santosa, 2011, Karakterisasi Kurva Horizontal to Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur dan Pemodelan. *Jurnal Neutrino*, 4, 1.
- Syahrudin, M.H., Aswad, S., Palullungan, E. F., Maria, dan Syamsuddin, 2014, Penentuan Profil Ketebalan Sedimen Lintasan Kota Makassar Dengan Mikrotremor, *Jurnal Fisika* Vol. 4 No. 1, Mei 2014
- Thein, P.S., S. Pramumijoyo, K.S. Broptopuspito, W. Wilopo, J. Kiyono, and A. Setyanto, 2013, Estimation of sedimen Thickness by Using Microtremor Observation at Palu City, Indonesia, *Prociding of The 11th International Conference on Mining, Materials and Petroleum Engineering, The 7th International Conference on Earth Resources Tecnology, Chiang Mai, Thailand*, 116.
- Thein, P.S., S. Pramumijoyo, K.S. Broptopuspito, W. Wilopo, J. Kiyono, Furukawa, A., Putra, P.R, and A. Setyanto, 2015, Estimation of S-Wave Velocity Structure For Sedimentary Layered Media Using Microtremor Array Measurements In Palu City, Indonesia, *Procedia Environmental Sciences* 28, 595 - 605
- Triyono, R., 2009, Ancaman Gempabumi di Sumatera Tidak Hanya Bersumber dari Mentawai Megathrust, [http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Publikasi/ Artikel/ Artikel_Detail.bmkg ?id=ztib94418083bpzn5154](http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Publikasi/Artikel/Artikel_Detail.bmkg?id=ztib94418083bpzn5154), 14 Agustus 2015, diakses tanggal 06 Maret 2016