

**Potensi Penguatan Gelombang Gempabumi  
oleh Sedimen Permukaan Kota Mataram,  
Nusa Tenggara Barat**

***The Potential Of The Site Amplification  
By Surface Sediment Layer In Mataram City  
Area West Nusatenggara***

Marjiyono

Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral,  
Jl. Diponegoro No. 57 Bandung 40122, Indonesia

Naskah diterima 31 Mei 2016, selesai direvisi 30 Oktober 2016, dan disetujui 15 November 2016  
email : marjiyono@grdc.esdm.go.id

**ABSTRAK**

Kerusakan bangunan dan infrastruktur oleh goncangan gempa bumi di suatu wilayah tidak hanya disebabkan oleh magnitudo atau kekuatan dan jarak ke pusat gempa bumi, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi permukaannya. Karakterisasi litologi permukaan perlu dilakukan dalam rangka untuk memperkirakan tingkat penguatan gelombang gempa bumi. Kombinasi pengukuran mikrotremor *single station* dan *array* telah dilakukan di Kota Mataram untuk memodelkan kondisi geologi bawah permukaan. Perhitungan nilai faktor penguatan gelombang dilakukan dengan menggunakan pendekatan fungsi alih gelombang geser horizontal 1D. Hasil perhitungan menunjukkan nilai faktor penguatan gelombang Kota Mataram berkisar antara 1,1 - 2,2. Potensi penguatan gelombang tinggi berada di bagian barat Kota Mataram.

**Kata kunci:** fungsi alih gelombang geser horizontal, kecepatan gelombang geser, mikrotremor, penguatan gelombang

**ABSTRACT**

Damage of infrastructure and building due to ground shaking within a region is not merely caused by the magnitude and distance from earthquake source, but it is also affected by surface geological condition. In order to find out site amplification level of Mataram City, the single station and array microtremor survey have been conducted to identify its soil properties. The site amplification is calculated using 1DSH transfer function approximation and the result ranges in 1.1-2.2. The western part of Mataram shows higher amplification area.

**Keyword :** SH transfer function, shear wave velocity, microtremor, site amplification

## PENDAHULUAN

Sebagai ibu kota Propinsi Nusa Tenggara Barat, Kota Mataram merupakan pusat kegiatan pelayanan masyarakat di wilayah ini. Berbagai fasilitas pemerintahan, pendidikan, jasa, perdagangan, pariwisata, dan prasarana lainnya telah dibangun dalam rangka menunjang kegiatan masyarakat. Pada catatan Badan Pusat Statistik Kota Mataram, wilayah ini dihuni oleh 419.641 jiwa dengan kepadatan penduduk 6.846 jiwa / km<sup>2</sup> (BPS, 2014).

Secara morfologis, Kota Mataram merupakan dataran rendah. Material dari daerah yang lebih tinggi di sekitarnya diendapkan di daerah ini. Ada pun secara tektonis wilayah ini diapit oleh dua lajur sumber gempa bumi aktif, yakni lajur Penunjaman Kerak Samudra Indo-Australia di selatan dan lajur Patahan Naik Busur Belakang Flores di utara. Beberapa kejadian gempa bumi merusak telah terjadi akibat aktivitas kedua lajur sumber gempa bumi ini. Kondisi litologi dan tektonik tersebut kurang menguntungkan untuk Kota Mataram karena memberikan potensi bencana guncangan tanah di daerah ini. Kondisi litologi permukaan yang lunak/belum mengalami konsolidasi cenderung mengalami penguatan gelombang bila terjadi gempa bumi (Sairam drr., 2011; El-Eraki drr., 2012).

Ada pun tujuan penulisan makalah ini adalah untuk memperkirakan sebaran nilai penguatan gelombang gempa di Kota Mataram berdasarkan karakteristik geologi permukaan dari data mikrotremor. Data ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam menyusun tata ruang di wilayah ini.

## Geologi Daerah Penelitian

Secara umum, Kota Mataram merupakan dataran rendah yang ditempati oleh endapan aluvium yang terdiri atas: kerakal, kerikil, pasir, lempung, gambut, dan pecahan koral (Mangga drr., 1994). Endapan aluvium ini merupakan batuan termuda di daerah ini. Dataran ini memanjang berarah utara - selatan hingga Kabupaten Lombok Barat. Morfologi dataran ini dikelilingi oleh perbukitan dan lereng gunung api di bagian utara, timur, dan selatan. Pada umumnya, perbukitan tersebut ditempati oleh batuan berumur Tersier, kecuali pada bagian lereng Gunung Rinjani di timur laut, litologi berupa tufa berbatuapung, breksi, lahar, dan lava Formasi Lekopiko yang berumur Kuartar. Batuan Formasi Lekopiko menindih batuan Formasi Kalibabak

yang terdiri atas breksi dan lava yang menempati sebaran yang lebih luas, yakni dari sebelah utara hingga timur Kota Mataram. Perbukitan di sebelah selatan ditempati oleh batuan breksi, lava, dan tufa dengan lensa-lensa batug amping Formasi Pengulung (Gambar 1).

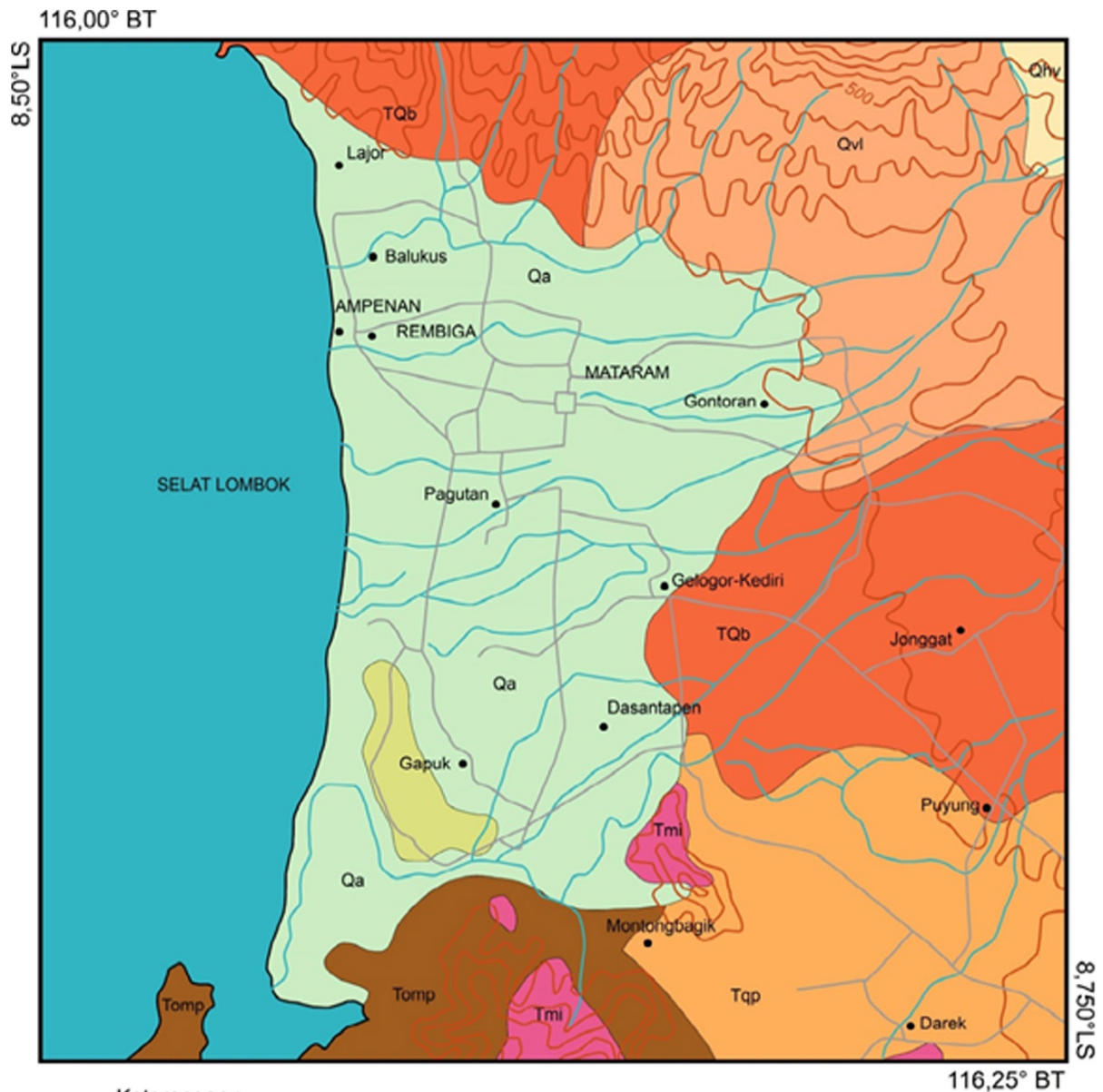
Berdasarkan lingkungan pengendapannya, Santoso drr. (1994) membagi endapan aluvium dataran Mataram menjadi satuan endapan fluvial dan satuan endapan pantai.

Satuan endapan fluvial dibedakan lagi menjadi endapan alur sungai berupa material berukuran lempung hingga kerakal dan endapan cekungan banjir. Endapan cekungan banjir umumnya dicirikan dengan adanya lapisan batu apung dengan sebaran yang luas. Satuan endapan pantai umumnya berupa pasir lepas dengan sortasi baik. Satuan ini menempati pantai barat Kota Mataram.

Kegempaan di Kota Mataram dan sekitarnya dipengaruhi oleh kondisi tektonik regional sekitar Pulau Lombok. Kegempaan yang berasal dari aktivitas Penunjaman Kerak Samudra Indo-Australia dicirikan oleh kedalaman pusat gempa bumi yang semakin dalam secara gradual ke arah utara (menjauh dari lajur penunjaman). Pengaruh sumber gempa bumi lajur penunjaman kerak samudra ini cukup kecil karena berjarak cukup jauh dari Kota Mataram. Ada pun kegempaan yang berasal dari aktivitas Patahan Naik Busur Belakang Flores umumnya berupa gempa bumi dangkal yang tersebar di sekitar pantai utara Pulau Lombok. Gempa bumi akibat aktivitas lajur gempa bumi ini umumnya terasa cukup kuat di Kota Mataram karena jaraknya relatif dekat dan berkedalaman dangkal. Beberapa kejadian gempa bumi oleh aktivitas lajur gempa bumi ini telah menimbulkan kerusakan di bagian utara Pulau Lombok (detik.com, 2016).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini memetakan nilai penguatan gelombang oleh lapisan sedimen permukaan untuk Kota Mataram dengan menggunakan kombinasi pengukuran mikrotremor *single station* dan mikrotremor *array*. Kesederhanaan penerapan metode mikrotremor di lapangan membuat metode ini lebih murah dan cepat. Sebagai metode alternatif pengukuran mikrotremor telah digunakan secara luas dalam pemodelan struktur bawah permukaan (Seht dan Wohlenberg, 1999; Quispe drr., 2014;



Keterangan :

|      |                                                                          |
|------|--------------------------------------------------------------------------|
| Qa   | Aluvium : kerakal, kerikil, pasir, lempung gambut dan pecahan koral      |
| Qhv  | Batuan gunungapi tak terpisahkan : lava, breksi dan tufa                 |
| Qvl  | Formasi Lekopiko : Tufa berbatuapung, breksi, lahar dan lava             |
| TQb  | Formasi Kalibabak : breksi dan lava                                      |
| TQp  | Formasi Kalipalung : perselingan breksi gampingan dan lava               |
| Tmp  | Formasi Pengulung : breksi, lava dan tufa dengan lensa-lensa batugamping |
| Tomk | Formasi Kawangan : perselingan batupasir kuarsa, batulempung dan breksi  |
| Tmi  | Batuan terobosan : dasit dan basalt                                      |

Gambar 1. Peta Geologi Kota Mataram dan sekitarnya (dikompilasi dari Mangga dr., 1994).

Bouchelouh drr., 2014). Nilai besaran penguatan gelombang di permukaan sangat bergantung pada rasio impedansi antara lapisan sedimen permukaan dan lapisan batuan yang mengalasinya. Dobry drr. (2000) merumuskan besarnya nilai penguatan gelombang sebagai fungsi frekuensi ( $f$ ) dengan maksimum faktor penguatan terjadi pada  $f = V_{ss}/4H$ , dengan  $V_{ss}$  adalah nilai kecepatan gelombang geser (*shear wave*) pada lapisan sedimen permukaan dan  $H$  adalah ketebalan sedimen. Secara matematis, nilai penguatan gelombang ( $A$ ) dinyatakan sebagai:

$$A \cong \frac{1}{1/I + (\pi/2)\beta_s} \quad \text{dengan} \quad I = \frac{\rho_r V_{sr}}{\rho_s V_{ss}}$$

dengan

$I$  : rasio impedansi antara batuan yang mengalasi sedimen dan batuan sedimen

$\beta_s$  : faktor redaman (*damping*) lapisan sedimen

$\rho_r$  : rapat massa batuan yang mengalasi sedimen

$\rho_s$  : rapat massa batuan sedimen permukaan

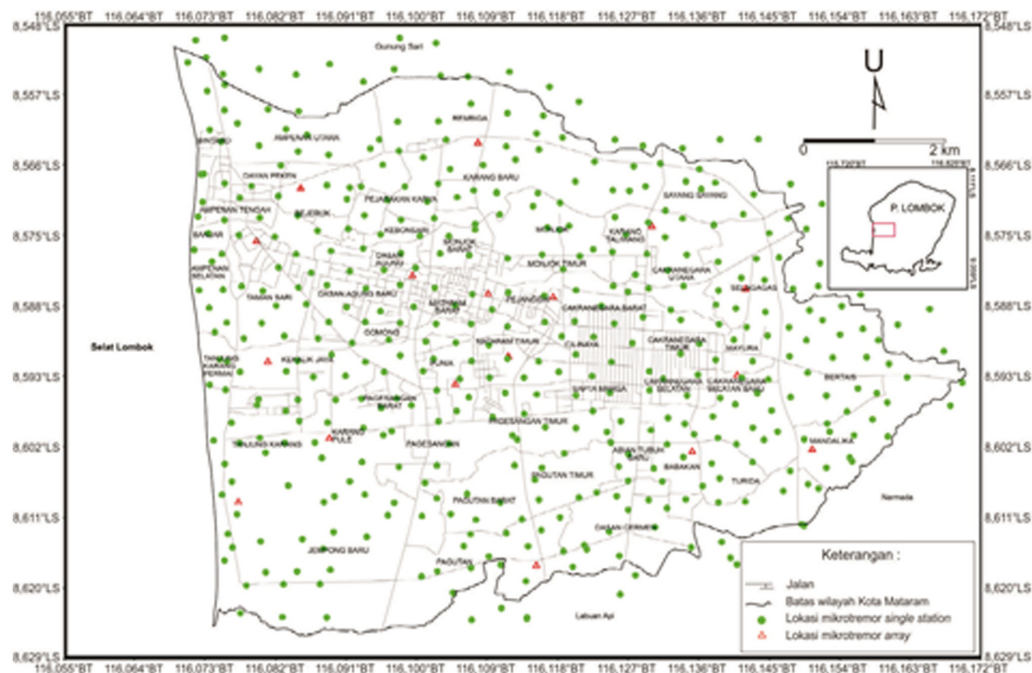
$V_{sr}$  : kecepatan gelombang geser batuan yang mengalasi sedimen

Pemodelan struktur bawah permukaan meliputi parameter-parameter nilai kecepatan gelombang

geser lapisan sedimen permukaan dan ketebalannya serta nilai kecepatan batuan yang mengalasi lapisan sedimen permukaan tersebut.

Pengukuran mikrotremor *single station* dilakukan di 498 titik yang tersebar di Kota Mataram (Gambar 2) dengan durasi pengambilan data untuk setiap titik ukur sekitar 20 - 30 menit. Ada pun peralatan yang digunakan adalah seismometer Mark 1Hz dan Lennartz 0.2 Hz yang direkam dengan *data logger* Hakusan LS 3000 XT dan SARA SL-06 dengan *sampling rate* 100 Hz. Pengolahan data dilakukan menggunakan algoritma HVSR (*horizontal to vertical spectral ratio*, Nakamura, 1989) dengan perangkat lunak Geopsy 2.3. Dari spektrum HVSR tersebut diperoleh nilai frekuensi dominan  $f$  untuk setiap titik ukur yang selanjutnya digunakan untuk menghitung ketebalan sedimen permukaan pada titik tersebut. Ada pun nilai gelombang geser lapisan sedimen tersebut diperoleh dari hasil *sounding* mikrotremor *array* di 18 titik ukur yang tersebar di Kota Mataram.

Pengukuran mikrotremor *array* dilakukan dengan menggunakan empat unit *accelerometer* OYO McSeis-1134 dengan konfigurasi *triangle nested*. *Sounding* struktur bawah permukaan gelombang geser ini didasarkan pada formula Aki (1957) yang



Gambar 2. Lokasi pengukuran mikrotremor *single station* dan mikrotremor *array* Kota Mataram.

secara matematis dinyatakan sebagai:

$$\rho(r, \omega) = J_0 \left( \frac{\omega}{c(\omega)} r \right)$$

dengan :

$\rho(r; \omega)$  : koefisien korelasi antar stasiun

$r$  : jarak antarstasiun

$\omega$  : frekuensi angular

$J_0$  : fungsi Bessel jenis pertama orde nol

$c(\omega)$  : kecepatan gelombang permukaan

Nilai koefisien korelasi  $\rho(r; \omega)$  dapat dihitung dari hasil pengukuran, sehingga nilai kecepatan gelombang permukaan  $c(\omega)$  dapat ditentukan. Karena kecepatan gelombang geser sensitif terhadap kecepatan gelombang permukaan, maka nilai kecepatan gelombang geser dapat diinversi dari nilai kecepatan gelombang permukaannya. Berdasarkan model bawah permukaan dari hasil pengolahan data mikrotremor *array* dan ketebalan sedimen permukaan dari mikrotremor *single station*, maka nilai faktor penguatan gelombang

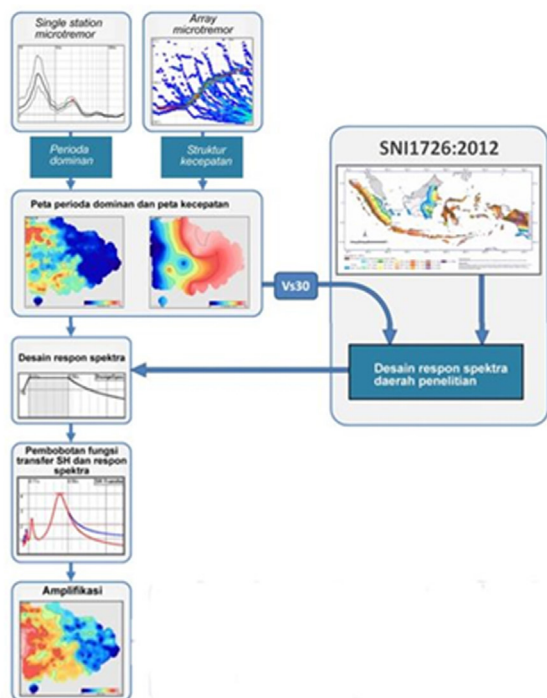
dapat dihitung. Ada pun diagram alir pengolahan faktor penguatan gelombang ditunjukkan pada Gambar 3.

Nilai faktor penguatan gelombang tersebut merupakan fungsi frekuensi dengan faktor penguatan gelombang maksimum ( $A_{max}$ ) terjadi pada frekuensi dominan  $f$ . Namun demikian, dalam kajian ini tidak digunakan  $A_{max}$  karena hanya berlaku pada spektrum yang sempit. Sebagai gantinya digunakan nilai tengah (*mean amplification*) dari  $A_{max}$ .

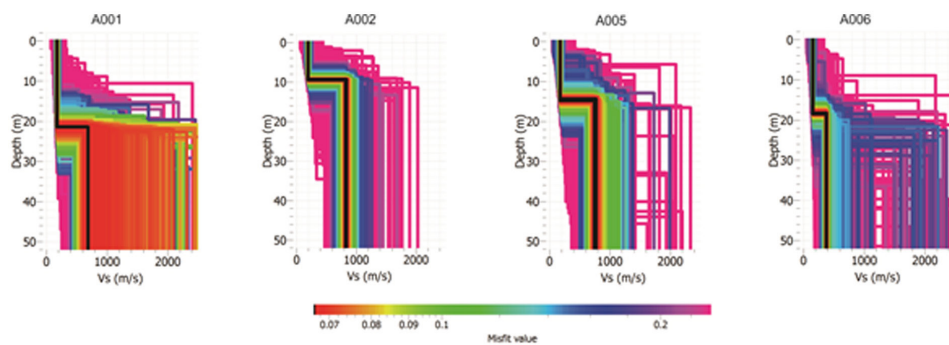
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa kejadian gempa bumi merusak menunjukkan tingkat kerusakan bangunan dan infrastruktur tidak linear terhadap jarak dari pusat gempa bumi. Pada kejadian gempa bumi Yogyakarta (2006) dan gempa bumi Padang (2009), pola kerusakan bangunan bersifat setempat (Marjiyono, 2014). Daerah kerusakan secara umum mengikuti pola tertentu sesuai karakteristik geologi permukaannya (Guidoboni drr., 2003; Marjiyono drr., 2007a). Kuantifikasi karakteristik geologi permukaan perlu dilakukan untuk mengetahui pola sebaran penguatan gelombang di suatu kota untuk mengurangi dampak bencana yang mungkin terjadi di kemudian hari. Pada tataran global, respons tanah setempat (*site response*) saat ini telah menjadi isu utama dalam penilaian risiko bencana gempa bumi (Nishikawa dan Takatani, 2014). Beberapa metode yang bisa dilakukan untuk mengkarakterisasi kondisi geologi permukaan di antaranya: *standard penetration test* (SPT), seismik refraksi, *vertical seismic profiling* (VSP), pemboran, mikrotremor, dan sebagainya. Metode yang disebutkan terakhir merupakan metode alternatif yang paling murah dan ramah lingkungan.

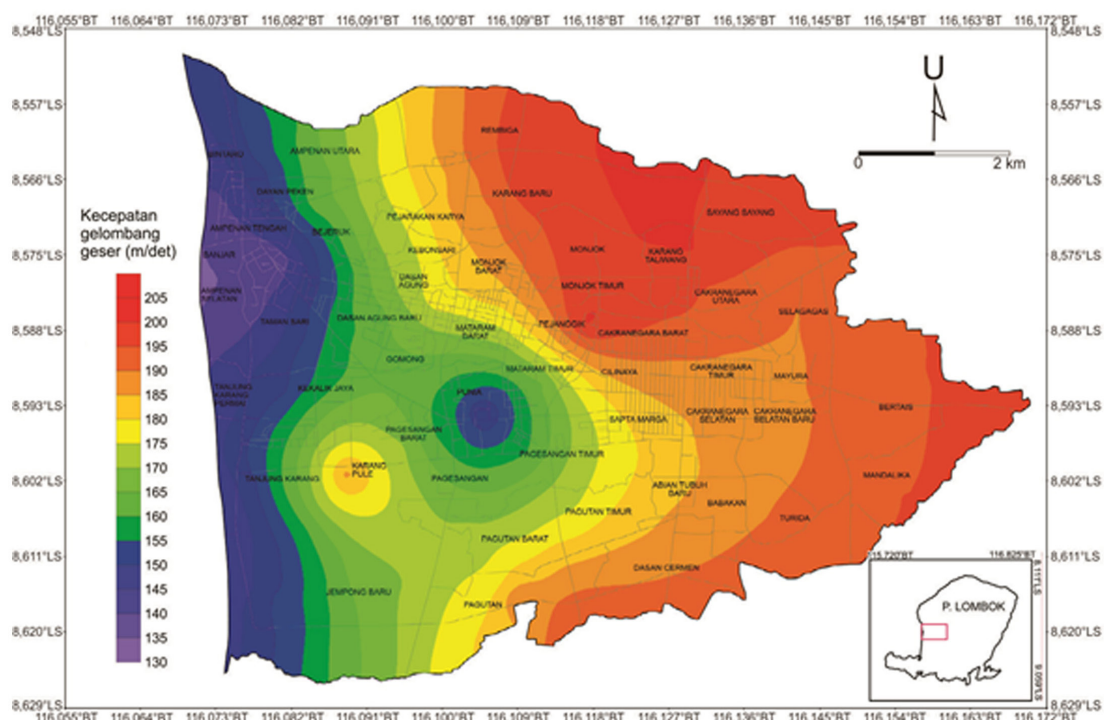
Ada beberapa parameter fisis yang bisa digunakan sebagai dasar untuk memperkirakan (estimasi) potensi kerentanan suatu wilayah terhadap penguatan gelombang gempa bumi, di antaranya: indeks kerentanan (Nakamura drr., 2000; Saaduddin drr., 2015), amplitudo spektrum rasio komponen horizontal terhadap komponen vertikal (Tokeshi drr., 2004; Marjiyono dan Afnimar, 2011; Arifin drr., 2014). Kecepatan rata-rata gelombang geser hingga kedalaman 30 m atau Vs30 (Idriss, 1990; Mahajan drr, 2007; Marjiyono drr., 2015). Periodae dominan tanah (Marjiyono drr., 2007a; 2007b; Leyton drr., 2013), dan amplitudo spektrum fungsi alih gelombang geser horizontal (Seht,



Gambar 3. Diagram alir pengolahan faktor penguatan gelombang, modifikasi dari Seht (2014).



Gambar 4. Profil kecepatan gelombang geser 1D hasil inversi di titik ukur A001, A002, A005, dan A006.



Gambar 5. Sebaran nilai kecepatan gelombang geser lapisan sedimen permukaan Kota Mataram.

2014; Marjiyono dan Kamawan, 2015). Dalam penelitian ini perhitungan nilai faktor penguatan gelombang dilakukan dengan pendekatan fungsi alih gelombang geser horizontal 1D (*1D SH transfer function*).

Model struktur kecepatan gelombang geser lapisan sedimen permukaan Kota Mataram yang digunakan sebagai dasar untuk menghitung nilai faktor penguatan gelombang diperoleh dari pemodelan data mikrotremor *array* di 18 titik ukur yang tersebar di wilayah ini. Contoh hasil inversi data mikrotremor *array* berupa kecepatan gelombang geser 1D untuk beberapa lokasi dapat dilihat pada

Gambar 4. Secara umum, pemodelan kecepatan gelombang geser di Kota Mataram memperoleh hasil yang baik yang ditunjukkan oleh nilai *misfit* yang kecil. Pemodelan dilakukan dengan perangkat lunak Geopsy 2.3 dengan pendekatan model dua lapis.

Sebaran 18 titik ukur mikrotremor *array* di Kota Mataram cukup merata, sehingga dapat dianggap mewakili model kecepatan gelombang di wilayah tersebut (Gambar 2). Model kecepatan gelombang tersebut selanjutnya diikuti dengan interpolasi nilai kecepatan gelombang lapisan sedimen permukaan untuk Kota Mataram. Ada pun nilai

sebaran kecepatan gelombang geser Kota Mataram ditunjukkan pada Gambar 5.

Hasil perhitungan menunjukkan kecepatan gelombang geser lapisan sedimen permukaan Kota Mataram berkisar antara 135 m/det. – 201 m/det. Secara visual, sedimen permukaan di Kota Mataram berupa endapan aluvium yang didominasi oleh material pasir. Berdasarkan sebaran nilai kecepatan gelombang geser, pada permukaan lapisan sedimen dapat diamati adanya pola perubahan nilai kecepatan dari timur ke barat yang menurun secara gradual. Marjiyono (2016) memperkirakan pola perubahan nilai kecepatan tersebut berhubungan dengan kepadatan dan ukuran butir dari sedimen aluvium yang semakin ke arah barat semakin mengecil karena semakin jauh dari sumbernya.

Lapisan batuan yang mengalasi endapan aluvium berdasarkan hasil interpolasi mempunyai kecepatan gelombang geser antara 592 m/det. – 842 m/det. Sebaran nilai kecepatan gelombang geser batuan ini di tampilkan pada Gambar 6. Berdasarkan data pemboran di pusat Kota Mataram, lapisan batuan ini berupa batu pasir kuarsa (Marjiyono, 2016). Pola sebaran nilai kecepatan lapisan batuan ini secara umum relatif tinggi di bagian timur, dan ada beberapa zona kecepatan rendah di bagian tengah dan barat.

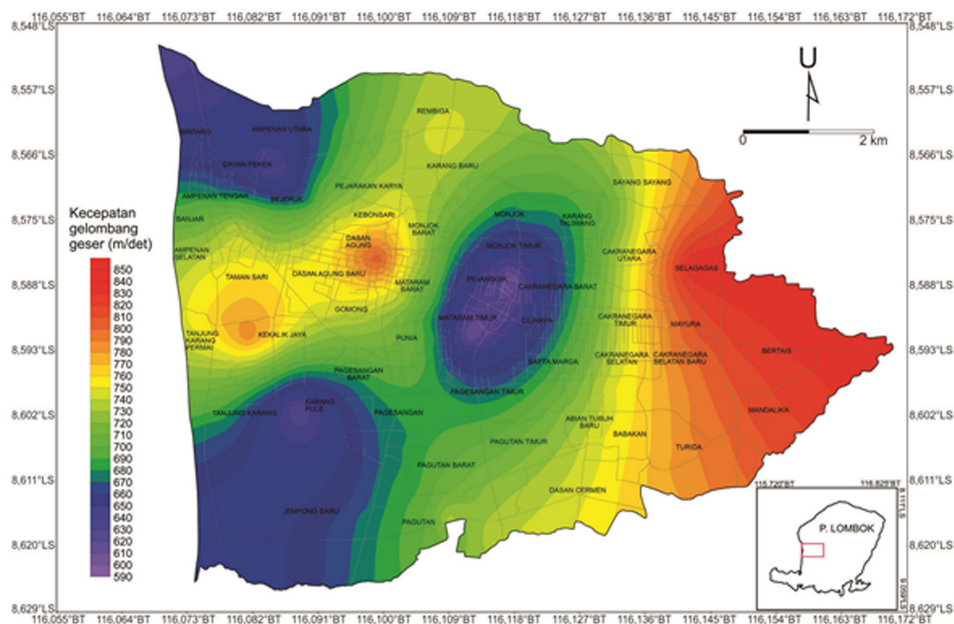
Model struktur kecepatan gelombang geser

tersebut selanjutnya digunakan sebagai masukan untuk menghitung ketebalan lapisan sedimen permukaan di seluruh titik ukur mikrotremor *single station* (498 titik ukur). Ada pun sebaran ketebalan endapan aluvium Kota Mataram ditampilkan pada Gambar 7.

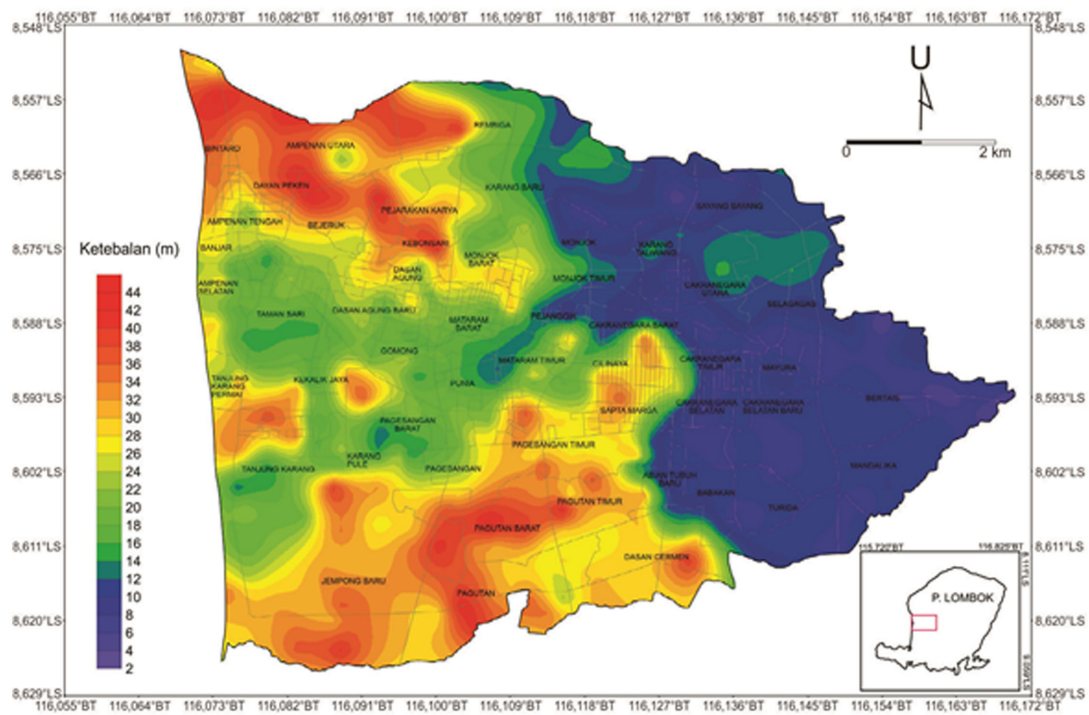
Hasil perhitungan menunjukkan ketebalan endapan aluvium Kota Mataram berkisar antara 2,2 m - 43,3 m. Secara umum, pola ketebalan endapan aluvium tipis di bagian timur membentuk tinggian di bawah permukaan. Ada pun di bagian barat relatif tebal dan membentuk pola-pola cekungan.

Berdasarkan parameter model dan geometri endapan aluvium di atas, selanjutnya dihitung nilai faktor penguatan gelombang oleh lapisan endapan aluvium tersebut untuk seluruh Kota Mataram. Perhitungan nilai faktor penguatan gelombang dilakukan dengan perangkat lunak HV-explorer berdasarkan algoritma *IDSH transfer function*. Ada pun nilai faktor penguatan gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai *mean amplification* karena nilai ini berlaku pada spektrum yang lebar. Hasil perhitungan nilai faktor penguatan gelombang untuk Kota Mataram berkisar antara 1,1 - 2,2 (Gambar 8).

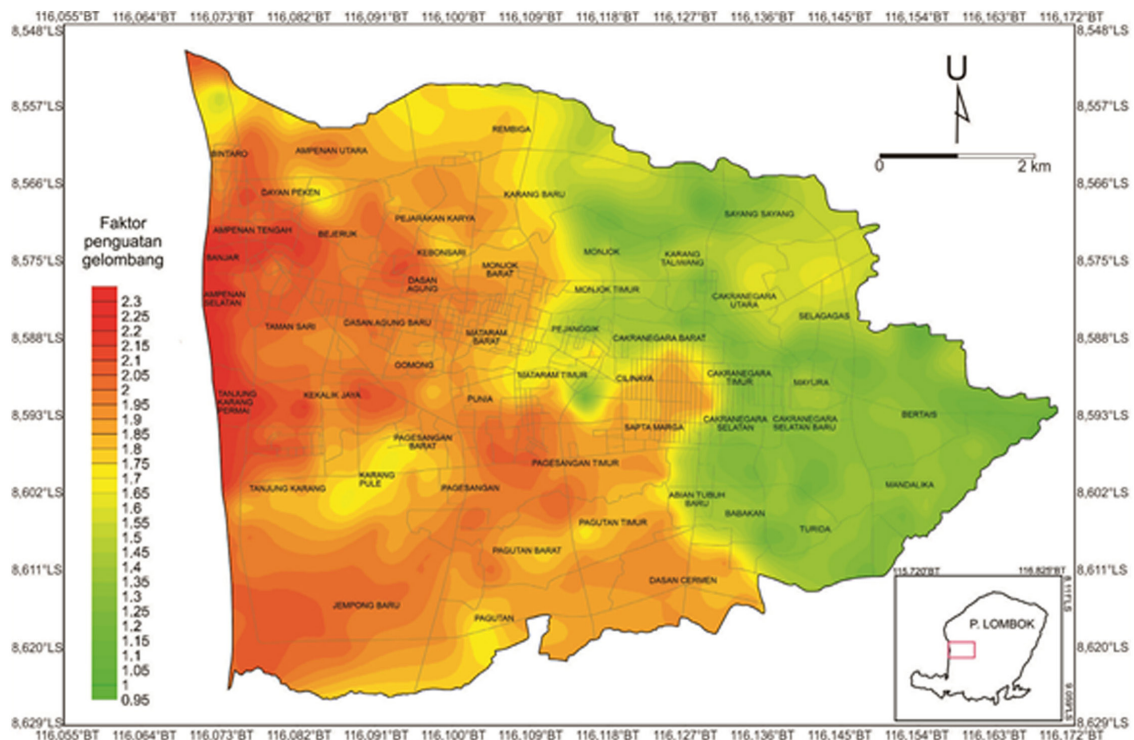
Secara teoritis, besarnya nilai faktor penguatan gelombang suatu wilayah sangat dipengaruhi oleh kontras impedansi (rapat massa dikalikan kecepatan gelombang geser) antara lapisan sedimen



Gambar 6. Sebaran nilai kecepatan gelombang geser lapisan batuan yang mengalasi endapan aluvium.



Gambar 7. Sebaran ketebalan endapan aluvium Kota Mataram.



Gambar 8. Sebaran nilai faktor penguatan gelombang daerah Kota Mataram.

permukaan dan lapisan batuan di bawahnya. Semakin besar nilai kontras impedansinya, maka nilai faktor penguatan gelombang semakin besar. Dalam kasus Kota Mataram ini bila ditinjau dari pola ketebalan endapan aluvium, Kota Mataram bagian barat merupakan cekungan besar yang terdiri atas subcekungan kecil-kecil yang diisi oleh endapan aluvium. Secara umum, endapan aluvium di Kota Mataram ini bersifat lepas, sehingga nilai kecepatan gelombang gesernya relatif rendah. Namun demikian, bila ditinjau sebaran nilai kecepatan gelombang geser di wilayah ini (Gambar 5), pada wilayah bagian timur cenderung relatif tinggi karena ukuran butir lebih besar, sehingga lebih masif. Pada bagian barat, terutama sekitar pantai yang didominasi endapan pantai, nilai kecepatan gelombang geser sangat rendah karena material berupa pasir lepas dan jenuh air.

Ada pun nilai kecepatan gelombang geser batuan yang ditindih endapan aluvium di Kota Mataram juga menunjukkan kecenderungan relatif tinggi di bagian timur. Dari data kecepatan gelombang geser kedua lapisan batuan tersebut di atas dapat dipahami bahwa bagian barat Kota Mataram akan lebih berpotensi mengalami penguatan gelombang, sedangkan di bagian timur nilai penguatan gelombang relatif kecil. Data sebaran nilai penguatan gelombang ini sangat penting sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam penyusunan tata ruang wilayah berbasis kebencanaan.

## KESIMPULAN

Secara umum, dataran Kota Mataram ditempati oleh endapan aluvium yang didominasi oleh material pasiran, baik produk proses fluvial dari sebelah timur maupun produk marin dari sebelah barat. Endapan aluvium ini mengisi paleomorfologi yang berupa cekungan di bagian barat Kota Mataram. Secara fisis, endapan aluvium ini bersifat lunak yang ditunjukkan oleh nilai kecepatan gelombang geser yang rendah. Kondisi ini menjadikan wilayah ini berpotensi mengalami penguatan gelombang bila terjadi gempa bumi. Hasil perhitungan nilai penguatan gelombang Kota Mataram dengan pendekatan *1DSH transfer function* menunjukkan kisaran 1,1 - 2,2. Potensi penguatan gelombang tinggi terutama berada di bagian barat Kota Mataram.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada *Georisk Project* yang telah mendanai penelitian ini, kepada Dr. Malte Ibs-von Seht yang telah banyak memberikan bimbingan dalam pengolahan data, dan penyediaan perangkat lunak serta rekan-rekan tim mikrozonasi Kota Mataram (Ir. Asdani Soehaimi, Robby Setianegara, SSi., dan Yayan Sopyan, S.T.) yang telah bekerja sama dalam akuisisi data.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K., 1957. Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves. with Special Reference to Microtremors, *Bull. Earthquake Res. Inst.* Vol. 35, h.415–456.
- Arifin, S.S., Mulyatno, B.S., Marjiyono, dan Setianegara, R., 2014. Penentuan Zona Rawan Guncangan Gempabumi Berdasarkan Analisis Amplifikasi HVSR dan Periode Dominan Mikrotremor Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, Vol. 2 No. 1. 2014 h.30-40.
- Bouchelouh, A., Zaourar, N., Farsi, M., dan Guillier, B., 2014. Seismic Microzonation and The Site Effects of Blida City (North of Algeria). *Proceeding of 2nd European on Earth Engineering and Seismology*. Istanbul Aug, 25-29, 2014.
- BPS Kota Mataram, 2014. *Kota Mataram Dalam Angka*. Badan Pusat Statistik Kota Mataram.
- Detik.com, 2016, <https://news.detik.com/berita/3265569/gempa-yang-guncang-bali-dan-lombok-pagi-tadi-akibat-aktivitas-flores-back-arc> [1 Agustus 2016].
- Dobry, R., Borchardt, 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 Seismic Code Provision. *Earthquake Spectra* Vol. 16 No. 1. h.41-67.
- El-Eraki, M., Mohamed, A.A., El-Kenawy, A.A., Toni M.S., dan Shima, I.M., 2012. Engineering Seismological Studies in and Around Zagazig City. Sharkia, Egypt, NRIAG, *Journal of Astronomy and Geophysics*, Vol 1, h.141–151.
- Guidoboni, E., Mariotti, D., Giammarinaro, M.S. dan Rovelli, A., 2003. Identification of Amplified Damage Zones in Palermo. Sicily (Italy) During the Earthquakes of Last Three Hundred Years, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol 93 No. 4, p1649-1669.
- Idriss, I. M., 1990. Response of Soft Soil Sites During Earthquake. *Proceeding of H. Bolton Seed Memorial Symposium*, Vol. 2, p. 273–289, BiTech Publishers Ltd., Richmond, British Columbia, Canada, 1990.

- Leyton, F., Ruiz, S., dan Astroza, M., 2013. Microtremors' HVSR and Its Correlation with Surface Geology and Damage Observed After the 2010 Maule 2010 Earthquake (Mw 8.8) at Talca and Curico, Central Chile. *Engineering Geology Journal*, Vol. 161, p.26-33.
- Mahajan, A.K., Slob, S., Ranjan, R., Sporry, R., Champatiray, P.K., dan Westen, C.J., 2007. Seismicmicrozonation of Dehradun City using geophysicaland geotechnical characteristics in the upper 30 m of soil column. *Journal of Seismology* Vol. 11, 2007, h.355-370.
- Mangga, S.A., Atmawinata, S., Hermanto, B., Setyonugroho, B., dan Amin, T.C., 1994. *Peta Geologi Lembar Lombok, Nusatenggara Barat, skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Marjiyono, Soehaimi, A., Sofyan, Y., dan Lucky, G.M., 2007a. Korelasi Nilai Periode Dominan H/V Rasio Mikrotremor Terhadap Tingkat Kerusakan Akibat Guncangan Gempabumi, Studi Kasus daerah Kerusakan Gempabumi Jogjakarta 27 Mei 2006. *Proceeding of Joint Convention HAGI, IAGI and IATMI*, Bali 2007.
- Marjiyono, Soehaimi, A., dan Setiawan, J.H., 2007b. Mikrozonasi Daerah Kendari dan Sekitarnya Berdasarkan Respons Tanah Setempat. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, Vol XVII, No. 1, Februari 2007, h. 49-56.
- Marjiyono dan Afnimar, 2011. Mikrozonasi Bahaya Gempa Bumi di Wilayah Kota Bandung Berdasarkan Data Mikrotremor. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, Vol 21, No. 1, Februari 2011, h.41-49.
- Marjiyono, Setiawan, J.H., dan Setianegara, R., 2014. Kerelasi Faktor Amplifikasi HVSR Mikrotremor terhadap Sebaran Kerusakan Bangunan oleh Gempabumi Padang, 30 September 2009. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*, Vol 24 No. 1, April 2014, h. 43-51.
- Marjiyono dan Kamawan, 2015. Seismic Microzonation Using Microtremor in Denpasar City, Bali, Indonesia. *Proceeding of the 6th International INQUA Meeting on Paleoseismology*, Active Tectonics and Arhaeoseismology. Pescina, Fucino Basin, Italy, 19-24 April 2015.
- Marjiyono, Suntoko, H., Soehaimi, A., Yuliastuti, dan Syaeful, H., 2015. Kelas Soil Daerah Sekitar Rencana Tapak Reaktor Daya Eksperimental (RDE) Serpong dari Data Mikrotremor. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, Vol. 17 No.1, Juni 2015, h. 57-66.
- Marjiyono., 2016. Konfigurasi Cekungan Kuarter Wilayah Kota Mataram Nusatenggara Barat Berdasarkan Data Mikrotremor. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, Vol. 17 No.1, Februari 2016, hal 51-60.
- Nakamura, Y., 1989, A Method for Dynamic Characteristic Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface, *Quarterly Report Railway Technical Research Institute (RTRI)*, Vol. 30, No. 1 p25-33.
- Nakamura, Y., Sato, T., dan Nishinaga, M., 2000. Local Site Effect of Kobe Based on Microtremor Measurement. *Proceeding of the Sixth International Conference on Seismic Zonation EERI*, November, 12-15, 2000, Palm Spring, California.
- Nishikawa, H. dan Takatani, T., 2014. Evaluation of Predominant Period of Ground Surface Layer Using Microtremors in Maizuru City. *Proceeding of the International Conference on Civil Engineering, Energy and Environment*. Hongkong, 12-13 December 2014
- Quispe, S., Chimoto, K., Yamanaka, H., Tavera, H., Lazares, F., dan Aguilar, Z., 2014. Estimation of S-Wave Velocity Profiles at Lima City, Peru, Using Microtremor Arrays. *Journal of Disaster Research*, Vol.9 No.6, h.931-939.
- Saaduddin, Sismanto, dan Marjiyono, 2015. Pemetaan Indeks Kerentanan Seismik Kota Padang Sumatera Barat dan Korelasinya dengan Daerah Kerusakan Gempabumi Padang 30 September 2009. *Prosiding Seminar Nasional Kebumian Ke-8 Academia-Industry Linked*, 15-16 Oktober 2015.
- Sairam, B., Rastogi, B.K., Aggarwal, S., Chauhan, M., dan Bhonde, U., 2011. Seismic Site Characterization Using Vs30 and Site Amplification in Gandhinagar Region, Gujarat, India. *Current Science*, Vol. 100, No. 5, h.54-760.
- Santoso, Murtolo, dan Suharsono, 1994. *Peta Geomorfologi Lembar Mataram, Nusatenggara Barat skala 1:100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Seht, M.I. dan Wohlenberg, J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.89, No. 1, h.250-259.
- Seht, M.I., 2014. *Microzonation Studies using Microtremor*. German-Indonesian Technical Cooperation Mitigation of Georisks Document Series, Badan Geologi, Bandung.
- Tokeshi, J., Karkee, M.B., Cuadra, C.H., Sunuwar, L., dan Sugimura, Y., 2004. Estimation of Amplification Characteristics of The Ground During Moderate Earthquakes Using Simulated Microtremors. *Proceeding of the 13 World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C. Canada, August 1- 6, 2004.