

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/279524545>

# KARAKTERISTIK LIKUIFAKSI TANAH PASIRAN DI KOTA PADANG BERDASARKAN METODE MICROTREMOR

Conference Paper · December 2013

---

CITATION

1

READS

4,471

1 author:



**Adrin Tohari**

Indonesian Institute of Sciences

47 PUBLICATIONS 116 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Joint Paper [View project](#)

## KARAKTERISTIK LIKUIFAKSI TANAH PASIRAN DI KOTA PADANG BERDASARKAN METODE MICROTREMOR

Adrin Tohari<sup>1</sup>, Arifan Jaya Syahbana<sup>1</sup>, Nugroho Aji Satriyo<sup>1</sup> dan Eko Soebowo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Peneliti Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI  
Jl. Sangkuriang, Bandung 40135  
E-mail : adrin@geotek.lipi.go.id

### ABSTRAK

Peristiwa gempa bumi besar (Mw 7.6) yang terjadi pada tanggal 30 September 2009 menimbulkan peristiwa semburan pasir dan amblesan tanah di wilayah pantai di Kota Padang dan menyebabkan kerusakan parah pada bangunan dan infrastruktur jalan. Untuk mengetahui karakteristik dinamik lapisan tanah yang mengalami likuifaksi dilakukan survei mikrotremor. Hasil analisis rasio spektra horizontal dan vertikal pada 250 data mikrotremor menunjukkan bahwa lapisan tanah pasir yang mengalami likuifaksi mempunyai periode dominan antara 1 dan 2 detik, dengan faktor amplifikasi lebih besar dari 3. Akan tetapi, daerah pesisir bagian selatan mempunyai nilai faktor amplifikasi lebih tinggi dibandingkan daerah pesisir bagian utara. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa metode mikrotremor dapat membantu untuk memetakan daerah-daerah yang berpotensi likuifaksi.

**Kata Kunci :** faktor amplifikasi, frekuensi dominan, getaran seismik, likuifaksi, mikrotremor, rasio spektra

### ABSTRACT

*An earthquake (Mw 7.6) occurring on 30<sup>th</sup> September 2009 induced sand boiling and ground settlement in coastal areas in Padang City, causing severe damages on buildings and road infrastructures. Dynamic characteristics of the liquefied soils were obtained using microtremor method. Based on the H/V ratios calculated from microtremor measurements at 250 locations, the liquefied soil layers have the predominant period between 1 and 2 seconds, with the values of amplification factor being higher than 3. However, the liquefied soils in the southern coastal area have amplification factor higher than the northern coastal area. This study shows that microtremor method can be used to map the liquefaction potential of an area.*

**Keywords:** *amplification factor, liquefaction, microtremor, predominant frequency, seismic shaking, spectral ratio*

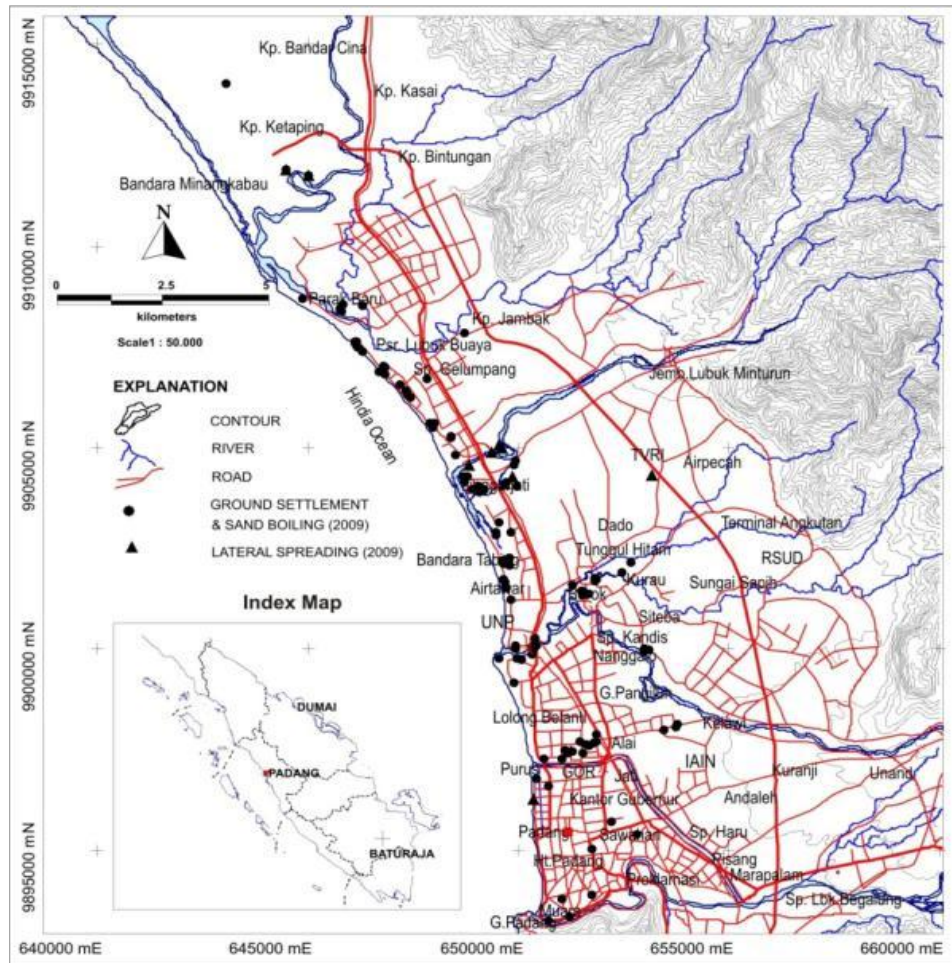
### PENDAHULUAN

Peristiwa gempa bumi sering kali menimbulkan kerusakan pada bangunan yang terletak jauh dari sumber gempa. Perbedaan tingkat kerusakan pada bangunan mengindikasikan bahwa kondisi lapisan tanah memberikan pengaruh yang nyata terhadap karakteristik gelombang seismik.

Lapisan tanah lunak akan mengamplifikasi frekuensi-frekuensi tertentu dari getaran gempabumi. Kondisi ini dapat terjadi dengan sangat ekstrem di wilayah yang dilandasi oleh lapisan tanah lunak yang tebal, sehingga terdapat perubahan kekakuan material pada batas antara lapisan batuan dasar dan tanah lunak yang dapat menimbulkan amplifikasi kuat, seperti yang terjadi di Kota Meksiko akibat gempabumi Michoachan pada tahun 1985 (Lermo et al, 1985; Seed et al, 1988). Fenomena amplifikasi akibat lapisan tanah lunak juga terjadi pada gempabumi Northridge (1994), Kobe (1995), Armenia (1999), Colombia (1999) dan Turki (1999).

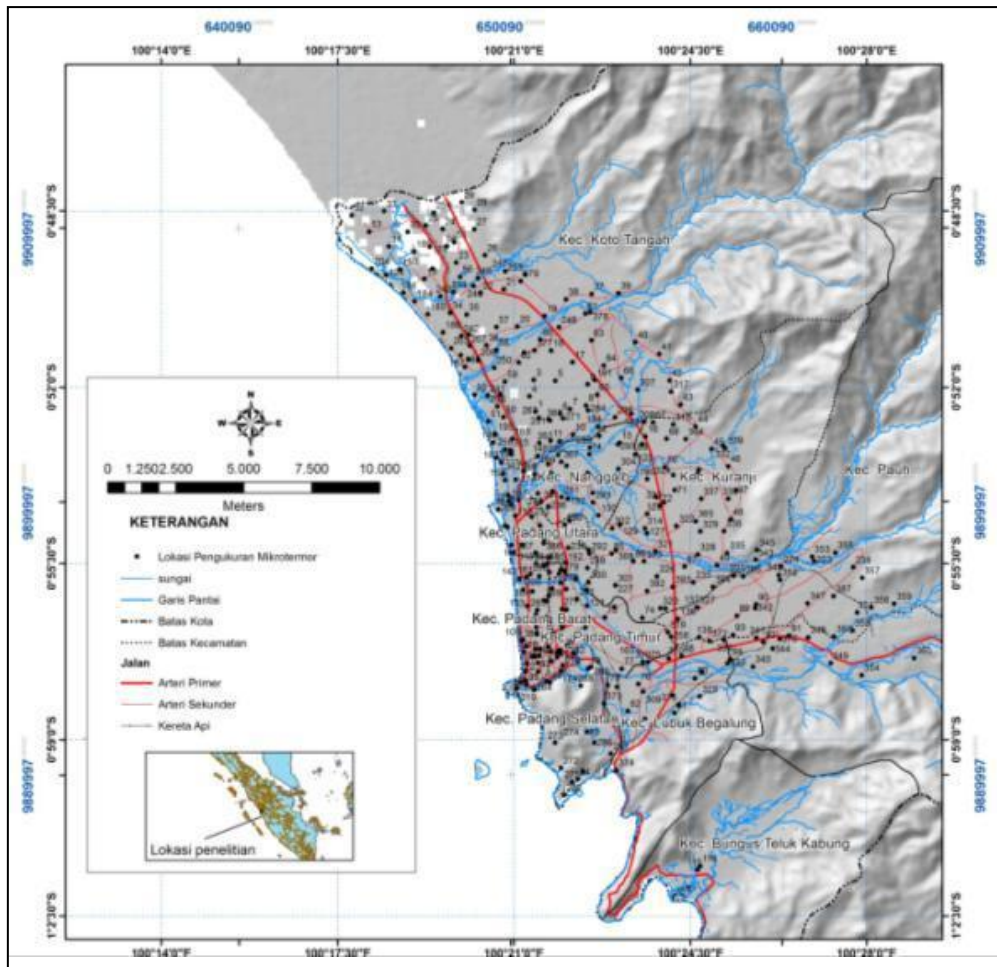
Akhir-akhir ini, metode mikrotremor single station sering digunakan untuk memperkirakan periode dominan dan faktor amplifikasi berdasarkan perhitungan rasio spektral horizontal terhadap vertikal (Nakamura, 1989). Beberapa penelitian laboratorium dan lapangan telah membuktikan kehandalan metode rasio spektral H/V untuk menentukan periode dominan tanah (Ohmachi et al, 1991; Lermo dan Chávez-García, 1993; Lachet dan Bard, 1994; Konno dan Ohmachi, 1998; Mucciarelli, 1998; Nakamura, 2000; Jensen 2000; Chávez-Garcia and Tejeda-Jacome, 2010).

Kota Padang merupakan salah satu wilayah kota pesisir yang rentan terhadap bahaya gempabumi besar yang berasal dari zona subduksi Sumatra. Salah satu peristiwa gempabumi yang terjadi tahun 2009 ( $M_w$  7.6) menimbulkan kerusakan ringan hingga berat pada bangunan dan infrastruktur jalan di Kota Padang. Selain getaran yang kuat, fenomena likuifaksi juga terjadi di beberapa daerah pesisir dan pinggir sungai, terutama di kecamatan Koto Tangah, Padang Utara, Padang Selatan dan Padang Barat (Gambar 1). Peristiwa likuifaksi menyebabkan pondasi rumah dan bangunan tinggi mengalami penurunan, retakan pada badan jalan dan tanggul sungai maupun perpindahan lateral dan longsor (Tohari *et al.*, 2011). Hasil penelitian Tohari *et al* (2011) menunjukkan bahwa fenomena likuifaksi ini terjadi karena keberadaan lapisan pasir jenuh air dengan kepadatan yang bervariasi dari lepas hingga medium hingga kedalaman 10 m.



Gambar 1. Peta lokasi fenomena likuifaksi di wilayah Kota Padang akibat gempa bumi 30 September 2009 (Tohari *et al.*, 2011)

Mempertimbangkan bahwa fenomena likuifaksi akan menjadi ancaman ikutan saat gempa bumi besar terjadi di wilayah Kota Padang, maka pengetahuan karakteristik dinamik setiap lokasi yang mengalami likuifaksi diperlukan untuk menentukan struktur bangunan tahan likuifaksi. Makalah ini menyajikan hasil pengukuran mikrotremor dengan menggunakan metode single station pada 250 lokasi (Gambar 2) untuk mengetahui *site response* berdasarkan metode rasio spektral H/V dan memperkirakan tingkat kerentanan likuifaksi di wilayah Kota Padang.

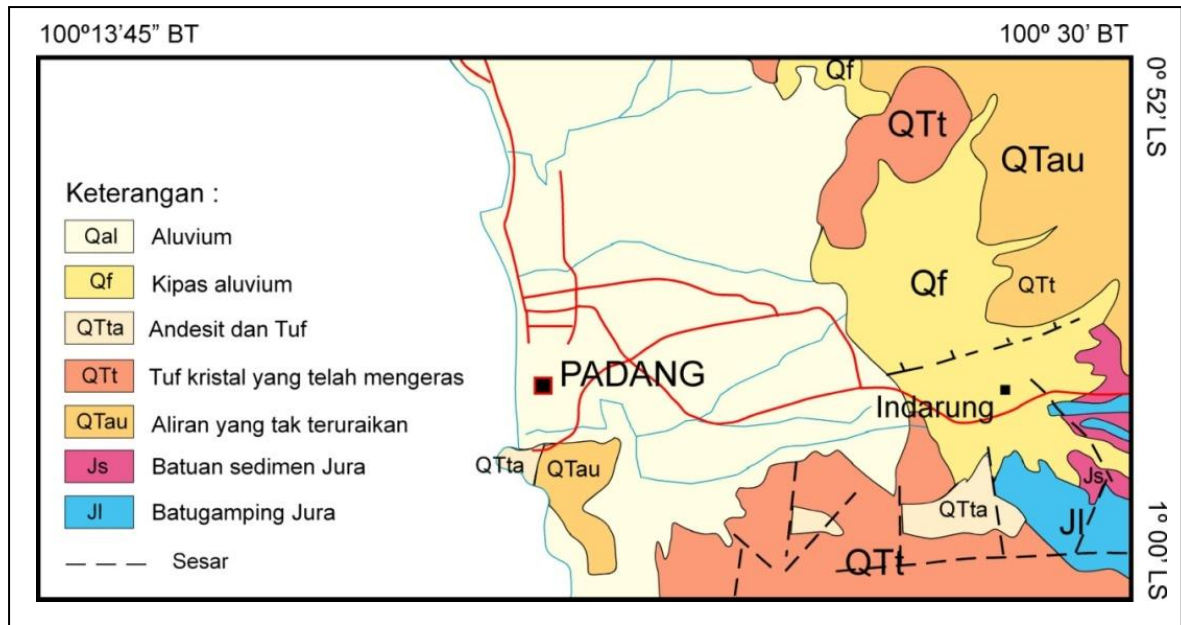


Gambar 2. Peta lokasi pengukuran mikrotremor *single station* di wilayah Kota Padang.

## KONDISI GEOLOGI KOTA PADANG

Gambar 3 menunjukkan tatanan geologi Kota Padang yang tersusun oleh 4 lapisan batuan, yang terdiri dari batuan sedimen berumur Jura, batuan gunung api dan batuan sedimen berumur Kuartar. Batuan sedimen tua terdiri dari batugamping (Jl) dan batuan metamorf (Js). Di wilayah perbukitan bagian selatan dan timur terdapat batuan gunungapi yang terdiri dari tuf andesitik dan basaltik, breksi (QTt) dan lava (QTau).

Batuan gunungapi yang lebih muda (Qf) tersusun dari material rombakan andesit asal batuan gunungapi (QTau) dan menempati lereng-lereng gunungapi Kuartar di wilayah perbukitan bagian timur. Batuan termuda di wilayah Kota Padang adalah endapan aluvial Kuartar (Qa), yang terdiri dari lapisan pasir, lanau, kerikil dan lapisan endapan rawa yang tebal. Endapan ini membentuk dataran aluvial dari kaki perbukitan dengan lebar 10 km pada arah barat-timur dan 20 km pada arah utara-selatan. Penelitian yang dilakukan oleh Tohari dkk (2008) menunjukkan lapisan batuan sedimen di wilayah pesisir, hingga kedalaman 30 m, tersusun oleh lapisan pasir dengan kepadatan yang bervariasi dari lepas hingga padat dan lapisan lempung lunak.



Gambar 3. Peta Geologi Kota Padang dan sekitarnya (Kastowo dkk., 1996).

## METODOLOGI

### *Pengambilan data mikrotremor*

Pengamatan mikrotremor dilakukan dengan peralatan mikrotremor, yang terdiri dari sensor kecepatan (*velocity-meter*) merk Geodaqs (*Geophysical Data Acquisition*) buatan Butan Service Co, Jepang, GPS (*global positioning system*) untuk mencatat koordinat lokasi pengukuran, dan komputer yang berfungsi untuk memasukan parameter pengukuran dan menyimpan data hasil pengukuran (Gambar 4).



Gambar 4. Peralatan pengukuran mikrotremor yang digunakan: *velocity-meter* Geodaqs (Butan Service Co.) dan GPS yang tersambung dengan *personal computer/ laptop*.

### *Pengolahan Data*

Pengolahan data mikrotremor dilakukan dengan menggunakan peranti lunak *Geonet*. Data rekaman waktu akan dibagi menjadi 33 segmen, dengan durasi 20 detik. Untuk setiap lokasi, 20 segmen data akan dipilih dari 33 segmen, dengan menghilangkan segmen-segmen yang diduga dipengaruhi oleh sumber-sumber gangguan. Dua puluh segmen ini akan digunakan untuk perhitungan. Spektra Fourier dihitung untuk segmen-segmen terpilih tersebut menggunakan *algorithm Fast Fourier Transform (FFT)*. Rasio amplitudo *Fourier* dari dua spektra *Fourier* horizontal dan 1 spektra *Fourier* vertikal didapatkan berdasarkan persamaan di bawah ini :

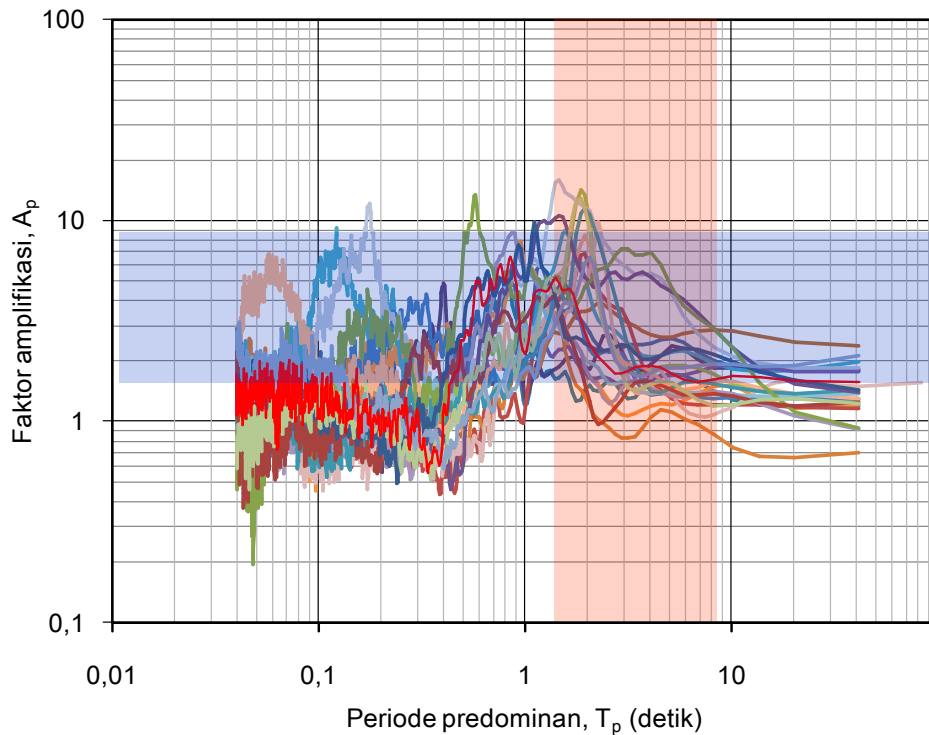
$$r(f) = \frac{\sqrt{F_{NS}(f) + F_{EW}(f)}}{F_{UD}(f)}$$

dimana  $r(f)$  adalah rasio spektrum horizontal dan vertikal ( $H/V$ ), dan  $F_{NS}$ ,  $F_{EW}$  dan  $F_{UD}$  masing-masing adalah spektra amplitudo Fourier untuk arah utara-selatan, timur-barat dan atas-bawah. Setelah spektra  $H/V$  untuk 20 segmen didapatkan, maka spektrum  $H/V$  untuk setiap lokasi didapatkan dari rata-rata spektra untuk 20 segmen tersebut. Kemudian dari kurva spectra rasio  $H/V$  didapatkan nilai periode dominan ( $T_p$ ) dan faktor amplifikasi tanah ( $A_p$ ) untuk setiap titik pengukuran. Dari data tersebut kemudian dibuat peta kontur untuk periode dominan dan faktor amplifikasi dengan menggunakan peranti lunak *Surfer*.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### *Spektrum Rasio H/V*

Beberapa spektrum HVSR yang diperoleh dari analisis data mikrotremor dengan menggunakan peranti lunak *Geonet* disajikan pada Gambar 5. Nilai periode dominan lapisan tanah di wilayah Kota Padang sangat bervariasi, umumnya berkisar antara 0.5 hingga 2.5 detik. Sementara nilai faktor amplifikasi tanah berkisar antara 1.5 dan 9. Hasil pengukuran mikrotremor oleh Pradono *et al* (2012) juga mengindikasikan bahwa lapisan tanah aluvial di dekat garis pantai mempunyai periode dominan antara 1 dan 2 detik.

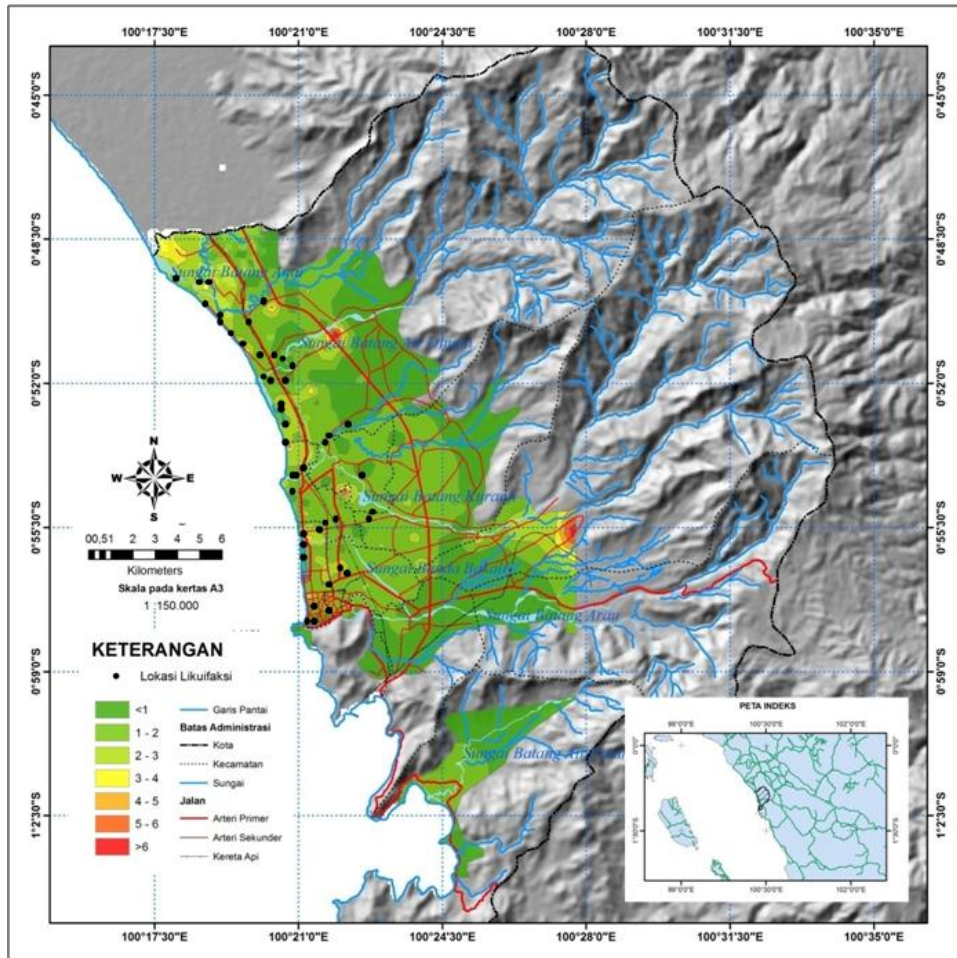


Gambar 5. Beberapa spektrum HVSR yang mewakili berdasarkan pengukuran mikrotremor. Warna merah menunjukkan interval periode dominan dan warna biru menunjukkan interval nilai faktor amplifikasi di wilayah Kota Padang.

#### *Zonasi periode dominan tanah*

Gambar 6 menyajikan peta zonasi periode dominan lapisan tanah di wilayah Kota Padang. Berdasarkan peta ini, daerah pesisir yang tersusun oleh endapan aluvial mempunyai periode dominan berkisar antara 1 dan 3 detik. Sementara daerah perbukitan di sebelah timur Kota Padang, yang tersusun oleh tanah vulkanik, mempunyai periode dominan sebesar  $<1$  detik. Pada daerah yang didominasi oleh endapan rawa, periode dominan berkisar antara 2 dan 4 detik. Pada beberapa lokasi, periode dominan tanah bisa lebih besar dari 4 detik. Dengan demikian, variasi periode dominan tanah di wilayah Kota Padang dikontrol oleh kondisi geologi bawah permukaan.





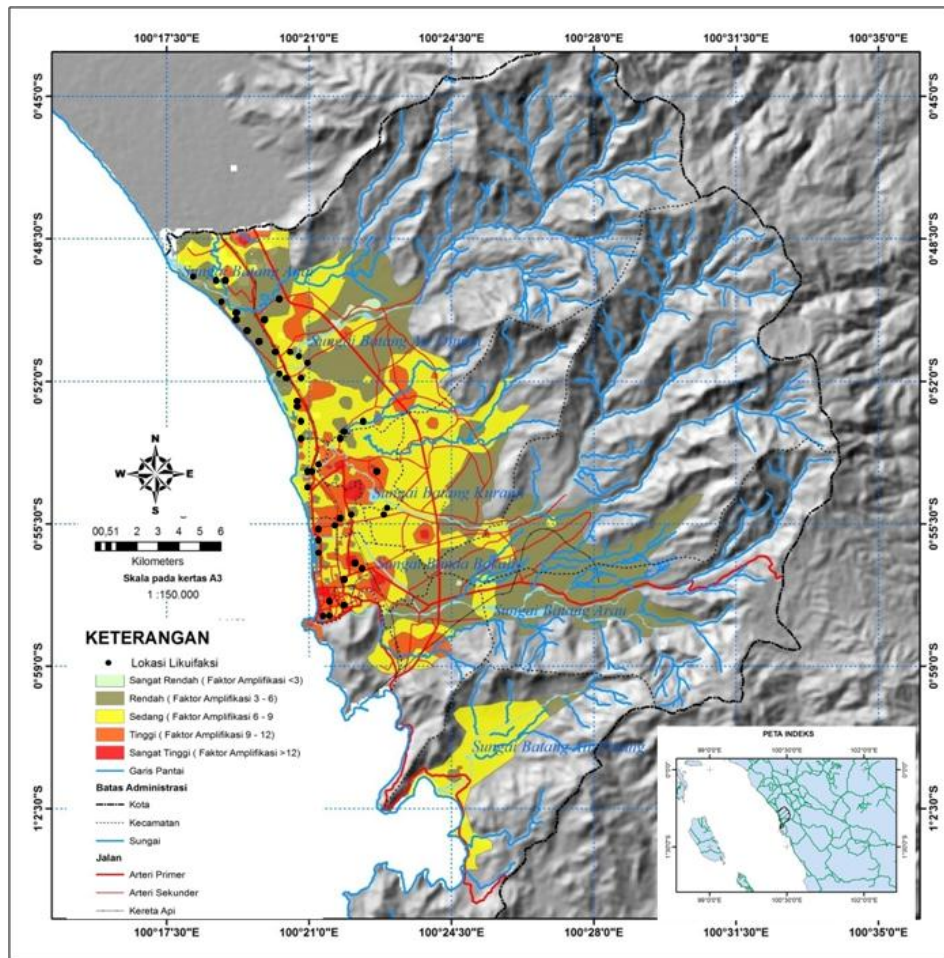
Gambar 6. Peta zonasi periode predomanan tanah di wilayah Kota Padang.

Gambar 6 juga memperlihatkan lokasi-lokasi dimana fenomena likuifaksi yang terjadi di wilayah Kota Padang akibat gempa bumi 30 September 2009. Berdasarkan gambar ini dan Gambar 3, fenomena likuifaksi terjadi di daerah yang terbentuk atas endapan aluvial dengan nilai periode predomanan berkisar antara 2 dan 3 detik, dan pada daerah di sisi sungai dengan periode predomanan antara 1 dan 2 detik.

#### *Zonasi faktor amplifikasi tanah*

Gambar 7 menyajikan peta zonasi faktor amplifikasi tanah di wilayah Kota Padang, yang bervariasi antara 3 dan 12. Daerah perbukitan yang tersusun oleh endapan vulkanik di sebelah timur umumnya mempunyai faktor amplifikasi antara 3 dan 6. Akan tetapi, pada daerah perbukitan bagian tengah, lapisan tanah cenderung mempunyai faktor amplifikasi yang lebih tinggi, berkisar antara 6 dan 9. Nilai faktor amplifikasi yang tinggi juga dijumpai pada daerah di dekat sungai-sungai besar, berkisar antara 9 dan 12. Sementara itu, lapisan tanah di daerah pesisir bagian utara dimana likuifaksi terjadi mempunyai nilai faktor amplifikasi berkisar antara 3 dan 6, dan daerah pesisir bagian selatan dicirikan oleh nilai faktor amplifikasi antara 6 dan 9. Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan tanah di wilayah Kota Padang mempunyai nilai faktor amplifikasi yang bervariasi untuk setiap daerah, dan bergantung pada jenis lapisan tanahnya. Nilai

faktor amplifikasi yang lebih tinggi di daerah pesisir bagian selatan dibandingkan daerah pesisir bagian utara, mengindikasikan perbedaan jenis lapisan tanah di kedua daerah tersebut.



Gambar 7. Peta zonasi faktor amplifikasi tanah di wilayah Kota Padang .

## KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Pengukuran mikrotremor dilakukan di wilayah Kota Padang untuk mengetahui parameter dinamika lapisan tanah yang rentan terhadap likuifaksi. Berdasarkan hasil pengukuran mikrotremor diperoleh beberapa kesimpulan dan rekomendasi sebagai berikut :

- Periode dominan dan faktor amplifikasi tanah di wilayah Kota Padang sangat bervariasi. Daerah perbukitan mempunyai periode dominan dan faktor amplifikasi yang lebih kecil dibandingkan daerah pesisir.
- Lapisan tanah yang mengalami likuifaksi di daerah pesisir mempunyai periode dominan antara 1 dan 2 detik, dengan faktor amplifikasi berkisar antara 3 dan 9, dimana nilai faktor amplifikasi di daerah pesisir bagian selatan lebih tinggi dibandingkan daerah pesisir bagian utara.

- Metode mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui potensi likuifaksi di wilayah kota pesisir yang rentan gempa bumi besar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat dilaksanakan atas dukungan dari Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Padang. Penelitian ini juga dilaksanakan bekerjasama dengan Tokyo Institute of Technology, Jepang dari tahun 2010 hingga 2011.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bonnefoy-Claudet, S., Leyton, F., Baize, S., Berge-Thierry, C., Bonilla, L.F., and Campos, J., 2008, Potentiality of microtremor to evaluate site effects at shallow depths in the deep basin of Santiago De Chile, Proc. 14th WCEE Beijing, China, [http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/fourteenth\\_conf\\_china](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/fourteenth_conf_china).
- Chavez-Garcia, F.J., and Tejeda-Jacome, J., 2010, Site response in Tecoman, Colima, Mexico – II Determination of subsoil structure and comparison with observations, *J. Soil Dyn. Earthq. Eng.* 30(8), 717–723.
- Claprod, M., dan Asten, M.W., 2008, Microtremor survey methods in the Tamar Valley, Launceston, Tasmania: Evidence of 2D resonance from microtremor observations, Proc. Earthquake Engineering in Australia Conference, AEES, Ballarat, November 2008, Paper 20.
- Jensen, V.H., 2000, Seismic microzonation in Australia, *J. Asian Earth Sci.* 18, 3–15.
- Kastowo, G.W. Leo, S. Gafour, dan Amin, T.C., 1996, Peta geologi lembar Padang, Sumatera, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Konno, K., and Ohmachi, T., 1998, Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88, 228–241.
- Lachet, C., and Bard, P.Y., 1994, Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of the Nakamura's technique, *Journal of Physics of the Earth*, 42, 377–397.
- Lermo, J., and Chavez-Garcia, F.J., 1993, Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83, 1574–1594.
- Mucciarelli, M., 1998, Reliability and applicability of Nakamura's technique using microtremor: An experimental approach, *Journal Earthquake Engineering*, 2, 625–638.
- Nakamura, Y., 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Q. Rept. Railway Tech. Res. Inst.*, 30, 25–33.
- Nakamura, Y., 2000, Clear Identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, Proc. of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, 2000.

- Pradono, M. H., Goto, Y., Rahmat, R.P., Hayashi, A., and Miyatake, K., 2012, Strong Ground Motion by September 30, 2009 Pariaman Earthquake and Damage To Large Scale Buildings, Proc. 15 World Congress on Earthquake Engineering, Lisboa, Portugal, 2012.
- Ohmachi, T., Nakamura, Y., and Toshinawa, T., 1991, Ground motion characteristics in the San Francisco Bay area detected by microtremor measurements, Proc. of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earth Engineering and Soil Dynamics, 11–15 March, St. Louis, Missouri, 1643–1648.
- Seed, H.B., Romo, M.P., Sun, J.I., Jaime, A., and Lysmer, J., 1988, The Mexico earthquake of September 19, 1985–Relationships between soil conditions and earthquake ground motions. *Earthquake Spectra*, 4, 687–729.
- Tohari, A., Sugianti, K., and Soebowo, E., 2011, Liquefaction potential at Padang City: a comparison of predicted and observed liquefaction during the 2009 Padang earthquake, *J. Riset dan Pertambangan, Puslit Geoteknologi-LIPI*, 21 (1), 7-18.
- Tohari, A., Soebowo, E, Sugianti, K, dan Damayanti, M., 2008, Survei geologi keteknikan di wilayah pesisir Kota Padang dan sekitarnya: potensi dan kerentanan likuifaksi dan kondisi sumberdaya air permukaan dan air tanah, Laporan Akhir, Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, 2008, 68 hal.

