

Perbandingan Indeks Kerentanan Seismik Antara Instrumen Akselerometer ADXL345 Dengan REFTEK 130-SMHR Menggunakan Metode *Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*

I Gede Boy Darmawan^{1,*}, Rahmi Mulyasari¹, dan Rian Amukti²

¹Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung 35141

²Pusat Penelitian Laut Dalam, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Ambon 97233

*Email: igedeboy@staff.unila.ac.id

Submit: 2020-12-11; Revised: 2021-02-08 ; Accepted: 2021-03-01

Abstrak: Makalah ini membahas hasil pengembangan prototip instrumen akselerometer menggunakan sensor ADXL345 yang berbasis Micro-Electrical Mechanical System-based (MEMS). Untuk mengetahui kehandalan instrumen tersebut, kami melakukan validasi dengan cara membandingkan terhadap hasil kerja akselerometer pabrikan REFTEK 130-SMHR dalam pengukuran indeks kerentanan seismik K_g (Nakamura dkk., 2000). Metode *Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio* (HVSr) digunakan untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan f_g dan nilai amplifikasi A_g terlebih dahulu dan selanjutnya menghitung nilai K_g . Akuisisi data lapangan menggunakan kedua instrumen akselerometer tersebut dilakukan pada 30 titik amat dengan cuplikan frekuensi 500 Hz dan periode pengukuran selama 30 menit. Hasil pengukuran menunjukkan adanya keselarasan antara akselerometer ADXL345 dengan akselerometer REFTEK 130-SMHR. Untuk total luas daerah studi, kami mendapatkan nilai K_g yang sama, yakni sekitar 57%, dengan perbedaan sedang sekitar 37% dan perbedaan tinggi 6%. Hasil penting lainnya adalah adanya keselarasan pada nilai pengukuran instrumen ADXL345 dengan hasil observasi lapangan, khususnya di Gedung L Fakultas Teknik UNILA. Keselarasan ini dicirikan dengan adanya retakan pada lantai gedung yang berada pada zona kerentanan seismik cukup tinggi. Studi perbandingan kedua instrumen akselerometer tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa pengujian prototipe ini masih perlu dilakukan lebih lanjut, khususnya pada daerah dengan tingkat variasi kerentanan seismik yang berbeda.

Kata kunci: indeks kerentanan seismik, ADXL345, akselerometer, frekuensi dominan, amplifikasi

Abstract: This paper discusses the development results of an accelerometer instrument prototype consisting of ADXL345 sensor based on Micro-Electrical Mechanical System (MEMS). To determine this instrument's reliability, we validate it by comparing the work with a manufacturer accelerometer REFTEK 130-SMHR in measuring the K_g seismic susceptibility index (Nakamura, 2000). The Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSr) method was used first to obtain the dominant frequency f_g and the A_g amplification value and then calculate the K_g value. Acquisition of field data using the two accelerometer instruments

was carried out at 30 observation points with a 500 Hz frequency sample and 30 minutes measurement period. The results show an alignment between the ADXL345 and REFTEK 130-SMHR accelerometer. For the study's total area, we obtained consistent K_g value, which is about 57%, with a moderate difference around 37% and a high difference of 6%. Another important result is the alignment of ADXL345 instrument values with the field observation results, especially at the Building L, Faculty of Engineering, UNILA. This alignment is characterized by cracks on the building floor in a high seismic vulnerability zone. The comparative study of the two accelerometer instruments concluded that further testing of this prototype still required, especially for areas with different levels of seismic vulnerability variations.

Keywords: seismic vulnerability index, ADXL345, accelerometer, dominant frequency, amplification

1 PENDAHULUAN

Pemanfaatan instrumen akselerometer untuk pengukuran frekuensi alamiah suatu lingkungan menjadi alternatif selain dari seismometer. Akselerometer dapat langsung mengukur nilai percepatan tanah melalui perekaman gempa mikro atau biasa disebut sebagai mikrotremor. Penelitian mikrotremor dapat digunakan untuk mengukur karakteristik seismik lapisan tanah dangkal, sehingga resiko akibat aktivitas gempa yang dapat terjadi di wilayah tersebut yang dinyatakan dengan indeks kerentanan seismik (K_g) dapat dihitung dengan mengintegrasikan dengan kondisi geologinya (Febriani dkk., 2013; Nakamura, 2008). Oleh karena itu, pemanfaatan akselerometer cukup penting dalam pengukuran mikrotremor sebagai salah satu pendekatan dalam perencanaan pembangunan wilayah terhadap kemungkinan kerusakan yang ditimbulkan oleh gempabumi (Kawase dkk., 2019). Teknologi sensor akselerometer telah banyak digunakan dalam instrumen seperti robotika (Dorado-Vicente dkk., 2013; Ferdinando dkk., 2013) dan telepon pintar, komputer interaktif (Malik dan Mazhar, 2019) bahkan juga dunia medis (Ismail dkk., 2015). Sensor ini dikenal sebagai akselerometer yang berbasis *Micro-Electrical Mechanical System-based* (MEMS). Dalam penggunaannya, proses kalibrasi sensor ini

Tabel 1. Parameter yang digunakan pada kedua instrumen dalam akuisisi data di lapangan

Parameter Pengukuran	Nilai
Waktu	± 30 menit
<i>Sampling rate</i>	500 SPS
<i>Sampling period</i>	0.002 detik
Jumlah	axis 3
Jumlah titik pengukuran	30

sangat dibutuhkan, terutama dalam pengukuran nilai amplifikasi gempabumi, pemodelan struktur geologi, dan studi tomografi (Draganová dkk., 2014; Green dkk., 2017; Khalili dan Mirzakerdeh, 2019; Nurraidha dkk., 2018). Penelitian ini berfokus pada perbandingan nilai hasil pengukuran indeks kerentanan seismik dari prototipe instrumen akselerometer ADXL345 terhadap instrumen akselerometer pabrikan yaitu REFTEK 130-SMHR 24-bit *Strong Motion Accelerograph*. Perbandingan ini dilakukan untuk menguji kemampuan sensor ADXL345 dalam mengukur frekuensi alamiah (A_0) dan indeks kerentanan seismik (K_g). Hasil pengujian diharapkan dapat menjadi rujukan dalam pengembangan instrumen akselerometer berbasis MEMS yang lebih baik, khususnya untuk kegiatan mitigasi gempa.

2 BAHAN DAN METODE

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat prototipe instrumen akselerometer ADXL345 hasil realisasi perancangan yang telah dilakukan sebelumnya (Darmawan dkk., 2019). Komponen yang digunakan dalam prototipe ini antara lain: sensor akselerometer ADXL345 yang dihubungkan dengan *microcontroller Arduino Mega*, modul *Real Time Clock (RTC)*, *LCD Display*, *SD card*, serta beberapa komponen elektronika untuk menghubungkan seluruh komponen tersebut. Teknik koneksi digital yang digunakan adalah *Inter-integrated Circuit (I2C) Protocol* dan *Serial Peripheral Interface (SPI)*. Untuk meningkatkan kemampuan sampling dan penyimpanan data, instrumen ini menggunakan sistem blok data biner saat akuisisi dan kemudian ditransformasikan ke data desimal setelah proses akuisisi selesai. Metode ini terbukti mampu melakukan sampling data sampai 1000 SPS tanpa adanya kehilangan data. REFTEK 130-SMHR merupakan instrumen akselerometer pembanding yang digunakan dalam penelitian ini. Akselerometer ini sudah dilengkapi dengan GPS dan sistem penyimpanan datanya sampai 1000 SPS. Instrumen ini memiliki skala percepatan maksimum mencapai $\pm 4g$ dengan 24-bit *analog-to-digital converter (ADC)*. Instrumen ini umumnya digunakan dalam perekaman strong motion di lapangan, pemantauan struktural untuk bangunan, jembatan dan bendungan, jaringan telemetri regional serta studi gempa susulan.

2.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui pengukuran langsung di lingkungan Universitas Lampung sebanyak 30 titik akuisisi. Kedua instrumen melakukan pengukuran secara bersamaan di setiap titik dengan parameter akuisisi yang sama seperti yang disajikan dalam Tabel 1.

Metode pemasangan instrumen akselerometer mengikuti sumbu X ke arah Utara – Selatan, sumbu Y ke arah Barat – Timur, dan Z sebagai sumbu vertikal. Pemasangan instrumen akselerometer di titik akuisisi juga memperhatikan kondisi permukaan tanah yang tidak gembur atau berlumpur. Setiap titik pengukuran dibersihkan dari tumbuhan dan kontur dibuat serata mungkin. Selain itu, setiap alat juga disejajarkan (*leveling*) agar posisi sensor tidak miring melalui *bubble* yang ada di masing-masing instrumen. Akuisisi data dilakukan selama kurang lebih 30 menit untuk mendapatkan rekaman yang lebih baik dan *sampling rate* sebesar 500 SPS agar frekuensi terekam mencapai 500 Hz untuk kepentingan uji lainnya (Bard dkk., 2008).

Sebaran titik pengukuran yang ditunjukkan oleh Gambar 1 mencakup seluruh lingkungan kampus utama Universitas Lampung. Kegiatan akuisisi dilakukan pada saat hari-hari libur untuk meminimalisir gangguan noise akibat aktifitas manusia. Seluruh data hasil pengukuran tersimpan dalam *SD Card* yang kemudian dipindahkan ke komputer untuk dikonversi menjadi format *csv* dan *mseed*.

2.2 Pengolahan Data

Data hasil pengukuran kedua instrumen akselerometer diolah dengan metode HVSR untuk menghasilkan nilai frekuensi dominan (f_g) dan nilai amplifikasi (A_g). Kedua nilai ini digunakan untuk menghitung nilai indeks kerentanan seismik (K_g) sesuai dengan persamaan 1 berikut:

$$K_g = \frac{(A_g)^2}{f_g} \quad (1)$$

Persamaan tersebut menunjukkan nilai indeks kerentanan merupakan rasio kuadrat dari amplifikasi terhadap frekuensi alamiah (Nakamura dkk., 2000). Frekuensi alamiah dapat mencirikan jenis batuan serta karakteristik batuan di bawah permukaan (Sungkono dan Triwulan, 2011). Nilai ini dapat diperoleh dengan metode HVSR yaitu dengan plot nilai kurva amplitudo maksimum sebagaimana persamaan 2 dan 3 berikut ini:

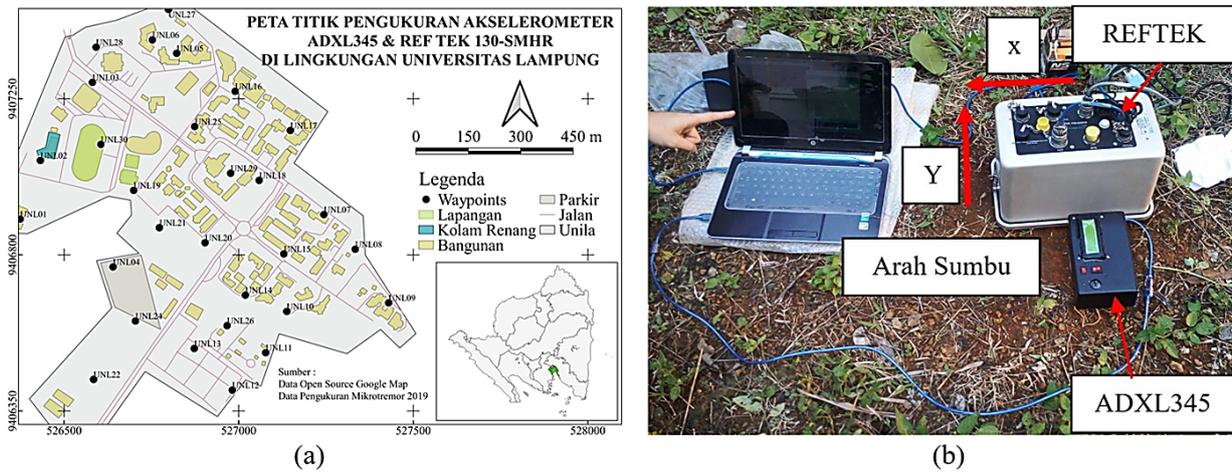
$$f_g = \frac{V_b}{4A_g h} \quad (2)$$

$$\log(A_g) = 2,367 - 0,852 \cdot \log(V_{s30}) \pm 0,166 \quad (3)$$

dengan nilai V_{s30} merupakan nilai kecepatan gelombang permukaan dengan ketebalan h dari permukaan. Persamaan ini berlaku bagi lapisan yang dianggap homogen sampai kedalaman 30 meter. Kedalaman ini dianggap sebagai rata-rata kedalaman lapisan batuan permukaan yang berpengaruh terhadap struktur bangunan di atasnya.

Untuk mempermudah proses pengolahan data pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Geopsy* (Wathelet dkk., 2020). Parameter *windowing* yang sama diterapkan pada setiap data dari akselerometer ADXL345 dan REFTEK di lokasi yang sama. Proses pengolahan dengan metode HVSR dilakukan dengan menerapkan uji reliabilitas dengan dua parameter menggunakan persamaan 4 dan 5, yaitu:

$$f_g = \frac{10}{l_w} \quad (4)$$



Gambar 1. (a) Peta titik pengukuran yang disimbolkan dengan titik hitam (*Waypoints*) di lingkungan kampus utama Universitas Lampung, (b) instrumen akselerometer ADXL345 dan REFTEK 130-SMHR.

$$nc(f_g) > 200 \quad \text{dan} \quad nc = l_w \times n_w \times f_g \quad (5)$$

dimana l_w dan n_w adalah lebar window dan jumlah dari window yang digunakan (Bard dkk., 2008).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data pengukuran dengan metode HVSR menghasilkan nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan seismik (Tabel 2).

Perbandingan nilai indeks kerentanan seismik berdasarkan data tersebut menunjukkan rentang data yang berbeda antara hasil prototipe instrumen akselerometer ADXL345 dengan hasil REFTEK 130-SMHR dengan rincian perbandingan yang dapat dilihat pada plot kurva berikut ini (Gambar 2). Hasil tersebut menunjukkan perbedaan nilai (*gap*) pengukuran kedua instrumen terjadi di beberapa titik data pengukuran.

Kontras di beberapa titik data seperti titik data 17, 24, 25, dan 30 yang terletak di area FISIP, lahan parkir baru, dan dekat gedung arsitektur yang sedang dilakukan proses pembangunan/konstruksi, dan lapangan sepak bola Unila yang banyak aktifitas manusia yang berolahraga meskipun seluruh akuisisi dilakukan pada hari libur. Perbedaan tinggi di titik-titik tersebut diperkirakan sebagai akibat tingginya *noise* yang tidak mampu difilter akibat perbedaan *range bit* data dari kedua instrumen akselerometer. Namun, hasil pengukuran pada sebagian besar titik menunjukkan pola yang tidak berbeda jauh, bahkan beberapa titik pengukuran menghasilkan nilai yang hampir sama seperti pada titik 1, 4, 5, 13, 20, 21 dan 22. Keselarasan yang tinggi dari titik-titik tersebut terletak di area yang rendah *noise* akibat aktifitas manusia sehingga proses filter sinyal saat pengolahan data mampu mereduksi sinyal *noise* yang ikut terekam. Untuk mendapatkan gambaran yang jelas terkait perbedaan tersebut, maka disajikan gambar pola sebaran indeks kerentanan seismik dari masing-masing instrumen (Gambar 3).

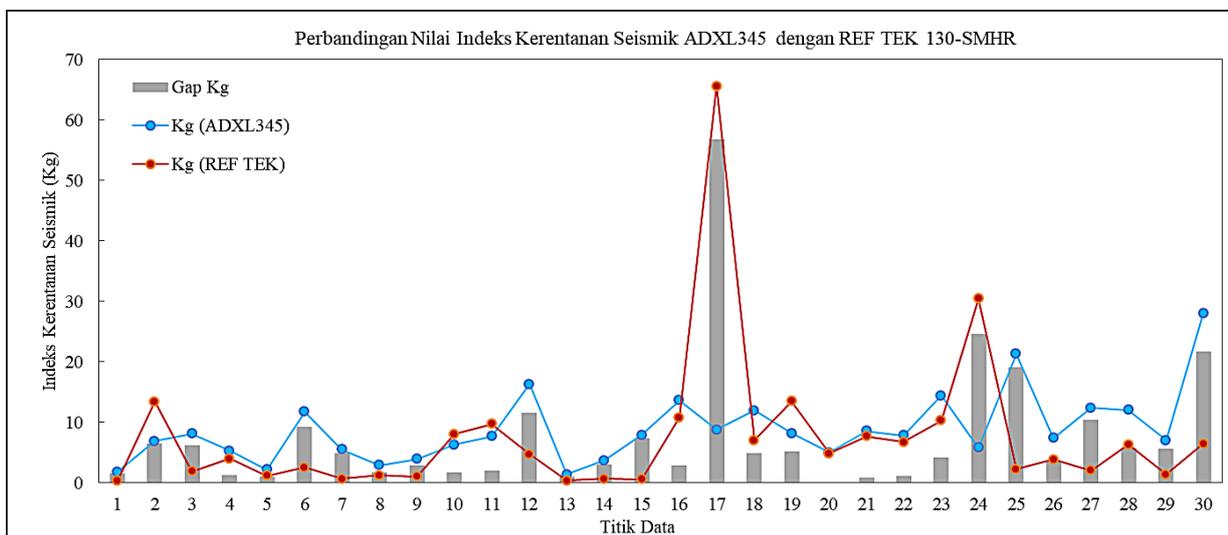
Pola sebaran nilai indeks kerentanan seismik dibagi menjadi tiga kelas yaitu untuk nilai indeks kerentanan ku-

rang dari 10 sebagai indeks kerentanan rendah ditunjukkan dengan warna hijau. Secara umum nilai indeks ini mendominasi seluruh area penelitian baik oleh instrumen ADXL345 maupun REFTEK. Nilai indeks antara 10 sampai dengan 20 dikategorikan sebagai kerentanan sedang disimbolkan dengan warna kuning sedangkan nilai kerentanan yang lebih dari 20 berwarna merah dikategorikan sebagai kerentanan tinggi. Sebaran nilai indeks kerentanan seismik ini memiliki perbedaan di beberapa lokasi yaitu di bagian utara dan sebagian di selatan daerah penelitian. Perbedaan yang nampak jelas adalah nilai indeks kerentanan seismik sedang yang dihasilkan oleh instrumen akselerometer ADXL345 di bagian utara dari kampus Unila terdeteksi sebagai nilai rendah oleh instrumen REFTEK. Namun sebaliknya nilai indeks kerentanan yang rendah di bagian selatan kampus Unila oleh akselerometer ADXL345 justru terdeteksi sebagai indeks kerentanan sedang sampai tinggi oleh instrumen REFTEK. Hal ini menjadi catatan terkait perbedaan nilai pengukuran yang cukup kontras dari dua instrumen akselerometer yang berbeda. Berdasarkan hasil analisis data dan konfigurasi kedua instrumen, diperoleh informasi bahwa range data output dari ADXL345 adalah 10-bit data sedangkan REFTEK adalah 24-bit data. Perbedaan ini terindikasi sebagai salah satu penyebab terjadinya perbedaan hasil nilai indeks kerentanan seismik. Kondisi ini juga menyebabkan adanya kontras nilai pengukuran yang signifikan terjadi di titik pengukuran UNL17 yang berlokasi di FISIP. Hasil pengukuran dari akselerometer ADXL345 menunjukkan nilai indeks kerentanan yang rendah sedangkan hasil pengukuran akselerometer REFTEK menunjukkan nilai indeks kerentanan yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan range data output pada prototipe akselerometer ADXL345 pada upgrade prototipe selanjutnya.

Perbedaan nilai pengukuran dari kedua instrumen dapat dipetakan untuk mengetahui sebaran area pengukuran yang berbeda dan luasan area tersebut. Peta tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. Secara umum, hasil pengukuran yang sama cukup mendominasi dengan luas area sebesar 57% dari total luas area penelitian yang disimbolkan dengan warna hijau. Sedangkan perbedaan nilai medium atau sedang ditandai dengan warna oranye seluas 37% dari total

Tabel 2. Data nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi dan indeks kerentanan seismik hasil pengukuran prototipe akselerometer dengan sensor ADXL345 dan REFTEK 130-SMHR di lingkungan kampus utama Unila

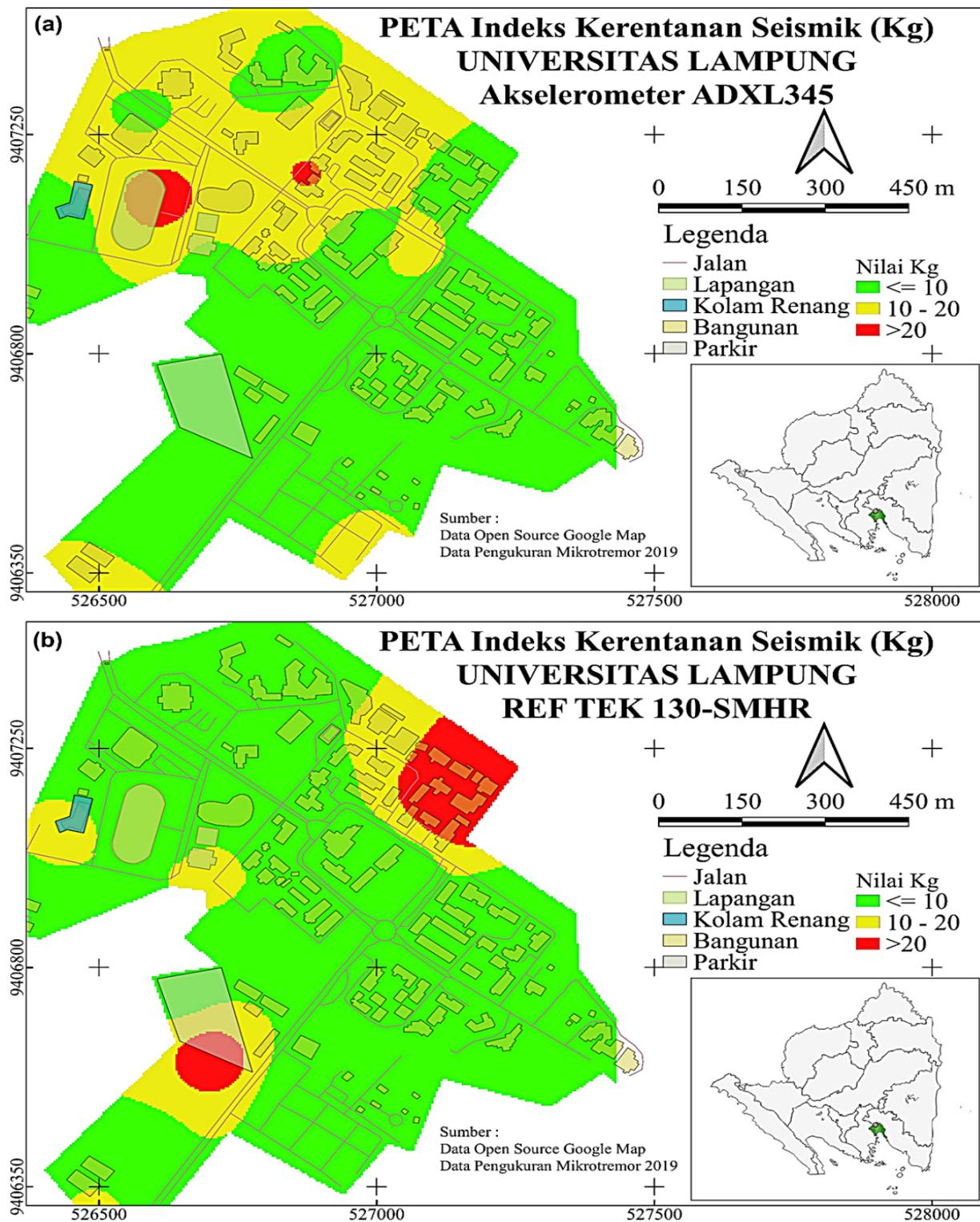
Titik data	Prototipe ADXL345			REFTEK 130-SMHR			Titik data	Prototipe ADXL345			REFTEK 130-SMHR		
	f_g	A_g	K_g	f_g	A_g	K_g		f_g	A_g	K_g	f_g	A_g	K_g
1	0.951	1.320	1.831	1.224	0.647	0.342	16	0.177	1.554	13.62	0.283	1.751	10.83
2	0.215	1.217	6.858	0.225	1.737	13.37	17	0.276	1.558	8.786	0.471	5.562	65.57
3	0.21	1.308	8.129	0.267	0.704	1.857	18	0.152	1.348	11.92	0.208	1.212	7.031
4	0.279	1.215	5.284	0.261	1.028	3.992	19	0.303	1.58	8.219	0.307	2.034	13.46
5	0.745	1.272	2.179	1.332	1.223	1.123	20	0.395	1.406	4.999	0.637	1.754	4.831
6	0.155	1.351	11.76	0.808	1.439	2.565	21	0.265	1.503	8.529	0.235	1.346	7.693
7	0.389	1.461	5.478	0.551	0.583	0.616	22	0.209	1.28	7.803	0.238	1.267	6.748
8	0.543	1.257	2.904	0.592	0.846	1.219	23	0.138	1.411	14.42	0.288	1.727	10.32
9	0.365	1.192	3.891	0.323	0.563	0.979	24	0.324	1.367	5.765	0.573	4.176	30.43
10	0.322	1.430	6.332	0.184	1.216	8.018	25	0.156	1.828	21.31	1.535	1.851	2.233
11	0.261	1.440	7.704	0.228	1.489	9.726	26	0.219	1.275	7.409	0.178	0.834	3.856
12	0.194	1.778	16.28	0.244	1.075	4.734	27	0.136	1.299	12.37	0.355	0.846	2.014
13	1.205	1.282	1.363	1.423	0.711	0.355	28	0.133	1.27	12.05	0.181	1.069	6.294
14	0.422	1.250	3.693	0.443	0.546	0.672	29	0.255	1.338	7.002	0.440	0.768	1.338
15	0.227	1.339	7.894	1.241	0.842	0.572	30	0.129	1.906	28.05	0.192	1.118	6.415



Gambar 2. Kurva yang menunjukkan perbandingan pola nilai indeks kerentanan seismik hasil pengukuran prototipe instrumen akselerometer ADXL345 dengan REFTEK 130-SMHR.

luas area penelitian. Sementara untuk perbedaan yang signifikan atau tinggi hanya seluas 6% yang disimbolkan dengan warna merah. Oleh karena itu, secara umum hasil pengukuran indeks kerentanan seismik oleh kedua instrumen ini dapat dikatakan sebagai cukup selaras. Untuk mengetahui hubungan antara nilai indeks kerentanan yang terukur oleh kedua instrumen terhadap bukti fisik di lapangan, maka hasil tersebut dibandingkan dengan adanya retakan pada lantai bangunan pada salah satu gedung di bagian utara daerah penelitian. Peristiwa retaknya lantai terjadi secara intensif di gedung L Fakultas Teknik Unila seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Retakan yang terjadi di lantai menyebabkan keramik mengangkat dan akhirnya retak akibat suatu gaya yang membebani lantai gedung. Peristiwa ini telah terjadi dalam intensitas yang cukup tinggi dan sebagian besar sudah diperbaiki dengan mengganti permukaan lantai yang retak. Kondisi lapangan ini kemudian dapat digunakan untuk membandingkan hasil pemetaan indeks kerentanan seismik antara kedua instrumen akselerometer tersebut.

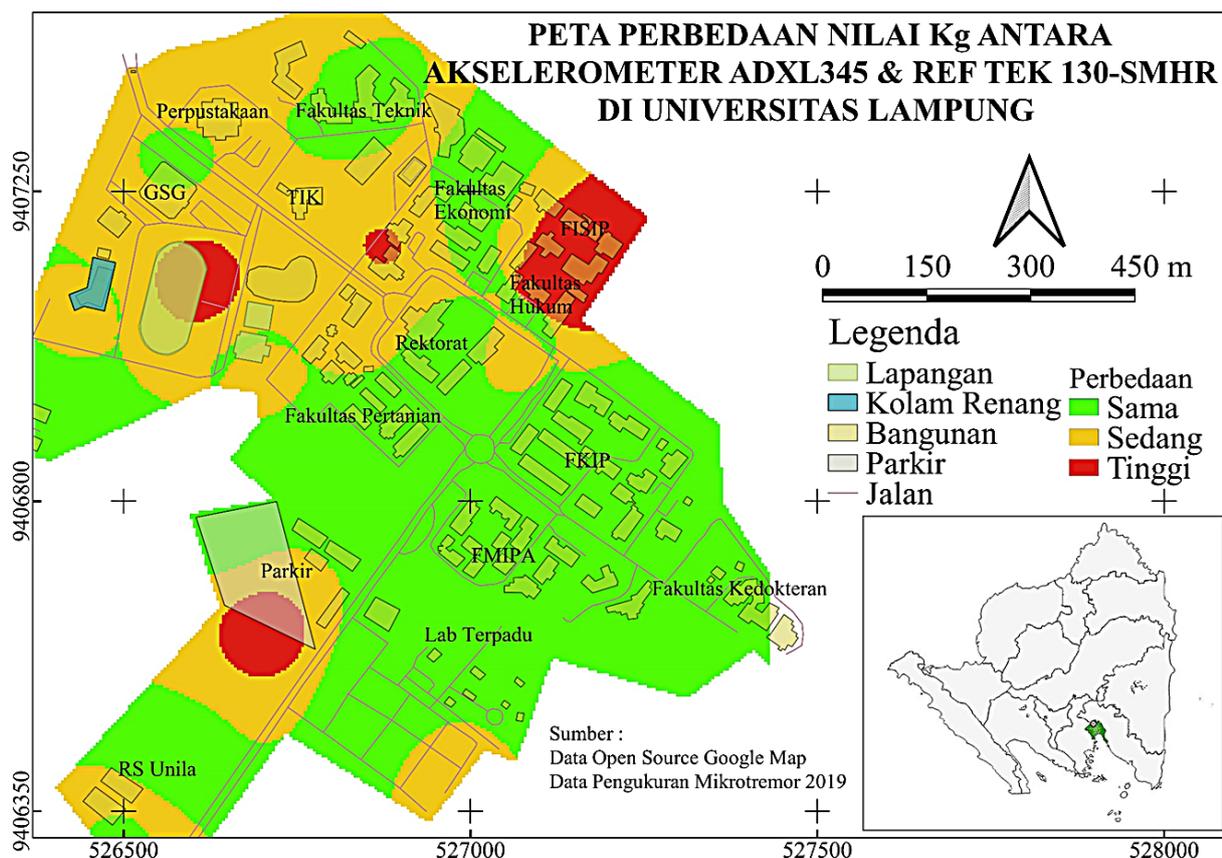
Berdasarkan lokasi terjadinya retak maka dapat diasumsikan bahwa salah satu kemungkinan penyebabnya adalah adanya faktor kerentanan seismik yang lebih besar dari area di sekitarnya. Dari hasil pengukuran instrumen akselerometer ADXL345 nampak jelas bahwa area tersebut bernilai sedang dengan indeks kerentanan antara 10-20 yang ditandai dengan warna kuning pada peta. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran dengan instrumen ini selaras dengan bukti fisik hasil temuan di lapangan. Sementara itu hasil pengukuran dengan menggunakan instrumen akselerometer REFTEK hanya memperoleh nilai indeks kerentanan rendah yaitu kurang dari 10 di area tersebut. Terkait hal ini apakah dapat dikatakan bahwa hasil pengukuran instrumen akselerometer ADXL345 lebih valid atau tidak masih perlu diperdebatkan kembali. Hal ini dikarenakan minimnya data pendukung lainnya seperti nilai pengujian SPT dan data sumur. Hasil perbandingan ini menunjukkan bahwa prototipe instrumen akselerometer ADXL345 memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan kembali menjadi instrumen yang



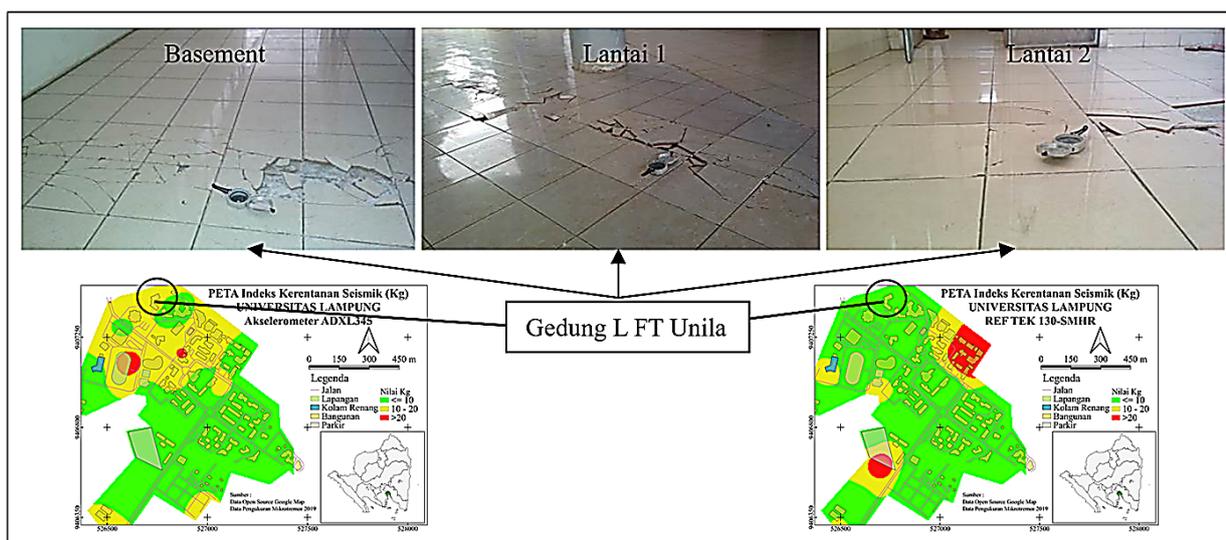
Gambar 3. Peta indeks kerentanan seismik hasil pengukuran instrumen akselerometer ADXL345 (a) dan REFTEK 130-SMHR (b) di lingkungan Universitas Lampung

lebih akurat dan tentunya tetap praktis dan ekonomis sesuai dengan tujuan awal dibuatnya instrumen ini. Namun demikian terkait hasil pengukuran akselerometer REFTEK juga perlu mendapatkan perhatian. Apakah perbedaan hasil pengukuran dengan hasil observasi lapangan disebabkan

oleh faktor perbedaan bit data pada instrumen, atau juga penyebab lain yang dapat terjadi selama proses penelitian ini. Oleh karena itu, peningkatan kemampuan range bit data output pada prototipe akselerometer ADXL345 diperlukan dalam *upgrade* selanjutnya.



Gambar 4. Peta perbandingan nilai indeks kerentanan seismik terukur dari instrumen akselerometer ADXL345 dengan REFTEK 130-SMHR di lingkungan Unila. Perbedaan nilai Kg yang tinggi disimbolkan dengan warna merah dan warna kuning untuk perbedaan nilai Kg yang sedang, sedangkan warna hijau sebagai nilai Kg yang sama/perbedaan sangat rendah



Gambar 5. Lokasi keretakan lantai di Gedung L Fakultas Teknik Unila yang terjadi di setiap lantai. Lokasi Gedung L ditunjukkan oleh lingkaran dan garis hitam.

4 KESIMPULAN

Hasil perbandingan pengukuran indeks kerentanan seismik dari kedua instrumen menemukan bahwa secara umum akselerometer ADXL345 cukup selaras dengan akselerometer REFTEK 130-SMHR dengan tingkat kesamaan 57%. Meskipun demikian masih terdapat beberapa perbedaan hasil pengukuran pada tingkat sedang sebesar 37% sampai tinggi sebesar 6% di beberapa titik pengukuran seperti titik 17, 24, 25, dan 30 yang berdampak pada perbedaan area indeks kerentanan seismik di beberapa lokasi. Perbedaan ini dapat ditimbulkan oleh adanya faktor perbedaan range bit data output pada kedua alat/instrumen akselerometer. Temuan pada penelitian ini juga menunjukkan adanya keselarasan hasil pengukuran instrumen ADXL345 dengan observasi lapangan khususnya di Gedung L Fakultas Teknik Unila yang ditandai dengan adanya dampak aktivitas seismik berupa retakan pada lantai gedung. Sedangkan pada instrumen akselerometer REFTEK tidak menunjukkan hal yang sama dengan kondisi lapangan hasil observasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengecekan kembali pengaruh faktor perbedaan range bit data output pada kedua alat/instrumen akselerometer khususnya pada peningkatan kemampuan bit data akselerometer ADXL345 agar lebih dari 10-bit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih atas dukungan dari LPPM Universitas Lampung, Jurusan Teknik Geofisika Unila dan Lab. Mitigasi Bencana Geologi serta seluruh pihak yang terlibat membantu terlaksananya penelitian ini.

Pustaka

- Bard, P.Y. dkk. (2008): Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **6**, 1–2.
- Darmawan, I., Mulyasari, R., Amirudin, A., Efendi, D.S. dan Suharno, S. (2019): Uji validasi instrumen akselerometer adxl345 untuk pengukuran kerentanan gempa dengan metode hvsr. *SEMINAR NASIONAL ILMU TEKNIK DAN APLIKASI INDUSTRI-SINTA 2019*, Engineering Faculty, the University of Lampung.
- Dorado-Vicente, R., Romero-Carrillo, P., Lopez-Garcia, R. dan Diaz-Garrido, F. (2013): Comparing planar pocketing tool paths via acceleration measurement. *Procedia Engineering*, **63**, 270–277, doi:10.1016/j.proeng.2013.08.242.
- Draganová, K., Laššák, M., Praslička, D. dan Kán, V. (2014): Attitude-independent 3-axis accelerometer calibration based on adaptive neural network. *Procedia Engineering*, **87**, 1255–1258, doi:10.1016/j.proeng.2014.11.412.
- Febriani, Y., Daruwati, I. dan Hatika, R.G. (2013): Analisis nilai peak ground acceleration dan indeks kerentanan seismik berdasarkan data mikroseismik pada daerah rawan gempabumi di kota bengkulu. *Edu Research*, **2**(2), 85–90.
- Ferdinando, H., Khoswanto, H. dan Purwanto, D. (2013): Performance evaluation of MMA7260qt and ADXL345 on self balancing robot. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, **11**(1), 1, doi:10.12928/telkommnika.v11i1.876.

- Green, R.G., Priestley, K.F. dan White, R.S. (2017): Ambient noise tomography reveals upper crustal structure of icelandic rifts. *Earth and Planetary Science Letters*, **466**, 20–31, doi:10.1016/j.epsl.2017.02.039.
- Ismail, S., Harun, M. dan Omar, A. (2015): Functional electrical stimulation for foot drop injury based on the arm swing motion. *Procedia Manufacturing*, **2**, 490–494, doi:10.1016/j.promfg.2015.07.084.
- Kawase, H., Nagashima, F., Nakano, K. dan Mori, Y. (2019): Direct evaluation of s-wave amplification factors from microtremor h/v ratios: Double empirical corrections to “nakamura” method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **126**, 105067, doi:10.1016/j.soildyn.2018.01.049.
- Khalili, M. dan Mirzakarudeh, A.V. (2019): Fault detection using microtremor data (HVSR-based approach) and electrical resistivity survey. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, **11**(2), 400–408, doi:10.1016/j.jrmge.2018.12.003.
- Malik, H. dan Mazhar, A. (2019): EyeCom-an innovative approach for computer interaction. *Procedia Computer Science*, **151**, 559–566, doi:10.1016/j.procs.2019.04.075.
- Nakamura, Y. (2008): On the h/v spectrum, the 14th world conference on earthquake engineering.
- Nakamura, Y. dkk. (2000): Clear identification of fundamental idea of nakamura’s technique and its applications. *Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering*, Auckland New Zealand, vol. 2656.
- Nurraidha, A.C., Maryanto, S. dan Santoso, D.R. (2018): Implementation of MEMS accelerometer for velocity-based seismic sensor. *2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, IEEE, doi:10.1109/eecsi.2018.8752918.
- Sungkono, D.D.W. dan Triwulan, W.U. (2011): Evaluation of buildings strength from microtremor analyses. *structure*, **6**, 8.
- Wathelet, M. dkk. (2020): Geopsy: A user-friendly open-source tool set for ambient vibration processing. *Seismological Research Letters*, **91**(3), 1878–1889, doi:10.1785/0220190360.