

Uji validasi instrumen akselerometer ADXL345 untuk pengukuran kerentanan gempa dengan metode HVSR

I Gede Boy Darmawan^{1,*}, Rahmi Mulyasari¹, Ahmad Amirudin¹, Dersan Surya Efendi¹ dan Suharno¹

¹Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

E-mail korespondensi: igedeboy@staff.unila.ac.id

Abstrak. Kemampuan sensor ADXL345 untuk merekam getaran dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan instrumen akselerometer yang ringkas dan efisien. Dengan mengkombinasikan sensor ADXL345 dan Arduino Mega sebagai pengendali mikro, prototipe awal dari instrumen akselerometer berhasil dirancang. Untuk menguji tingkat validitas prototipe ini, penelitian ini menggunakan metode autokorelasi dan perbandingan hasil pengukuran frekuensi dominan (HVSR) terhadap instrumen pabrikan yaitu SMHR-Accelerograph REFTEK. Hasil pengukuran pada 30 titik di lingkungan Unila menunjukkan adanya hubungan autokorelasi positif dengan nilai koefisien korelasi 0,62 (62%). Hasil pemetaan kerentanan tanah juga menunjukkan pola sebaran yang sama, meskipun dengan catatan adanya perbedaan di beberapa area. Sehingga diperoleh klasifikasi jenis tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan di lingkungan Unila adalah jenis IV yang didominasi oleh batuan sedimen yang cukup tebal.

Kata kunci: Akselerometer, ADXL345, mikrotremor, HVSR, Kerentanan gempa

1. Pendahuluan

Instrumen pengukuran percepatan tanah yang umumnya digunakan salah satunya adalah akselerometer (Darmawan dkk., 2017). Instrumen ini menggunakan sistem mekanik yaitu sebuah massa yang digantungkan pada pegas. Namun perkembangan teknologi saat ini telah menghasilkan jenis sensor akselerometer yang berbasis *Micro-Electrical Mechanical System-based* atau MEMS. Pemanfaatan sensor ini umumnya digunakan sebagai instrumen dalam pengembangan robot (Dorado-Vicente dkk., 2013; Ferdinando dkk., 2013) dan telepon pintar, namun saat ini telah banyak dikembangkan juga untuk dunia medis (Ismail dkk., 2015) dan komputer interaktif (Malik dan Mazhar, 2019). Namun pemanfaatan sensor MEMS untuk pengukuran kerentanan tanah dengan mengukur getaran seismik pasif masih belum banyak dilakukan. Pemanfaatan sensor ini memerlukan proses kalibrasi data untuk menghasilkan nilai percepatan tanah (Draganová dkk., 2014; Nurraidha dkk., 2018). Selain itu, hasil pengukuran akselerometer dapat juga digunakan untuk melakukan pemodelan struktur geologi, faktor amplifikasi gempa bumi dan tomografi (Green dkk., 2017; Kawase dkk., 2018; Khalili & Mirzakardeh, 2019).

Kajian mengenai pemanfaatan gempamikro ataupun mikrotremor telah digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan kerusakan yang ditimbulkan oleh kejadian gempa bumi. Hal ini disebabkan oleh kerumitan dari struktur geologi di bawah permukaan yang seringkali tidak nampak di permukaan sehingga dapat menimbulkan kesalahan pada perencanaan wilayah (Khalili dan Mirzakardeh, 2019). Kajian ini sangat baik untuk menghitung tingkat resiko yang dapat ditimbulkan oleh aktivitas gempa terhadap kondisi geologi di suatu wilayah (Nakamura, 2008). Oleh karena itu, pengukuran mikrotremor sebagai pendekatan untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat dilakukan (Kawase dkk., 2018). Pengukuran untuk mendapatkan nilai frekuensi fundamental dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) yang memerlukan sebuah instrumen akselerometer saat akuisisi data.

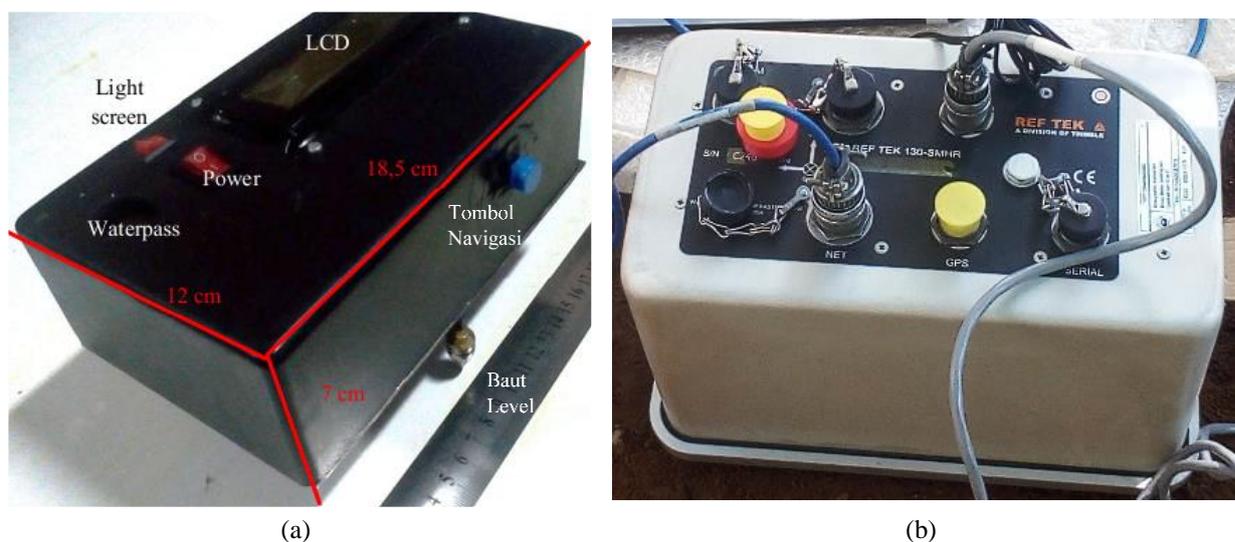
Saat ini harga sewa maupun harga beli dari sebuah instrumen akselerometer masih cukup tinggi sehingga menjadi salah satu rintangan dalam pengukuran kerentanan gempa bumi. Kondisi ini mendorong

penelitian ini untuk mencari solusi alternatif yang dapat dilakukan untuk menghasilkan sebuah inovasi pemanfaatan sensor MEMS akselerometer khususnya ADXL345. Penelitian ini mencoba untuk merencanakan sebuah sistem instrumentasi lengkap untuk akuisisi data mikrotremor menggunakan ADXL345 sebagai alternatif sistem akselerometer paten/ kualitas pabrikan. Hasil rekayasa ini menghasilkan sebuah prototipe awal dari instrumen akselerometer yang akan diuji validasi dengan metode perbandingan hasil pengukuran di lapangan. Hasil pengukuran yang akan divalidasi adalah kemampuan sistem instrumentasi akselerometer ADXL345 dalam merekam dan mengukur frekuensi dominan (f_0) dan kerentanan tanah. Akselerometer pabrikan yang digunakan sebagai pembanding dalam uji validasi pada penelitian ini adalah *Strong Motion High Resolution / SMHR-Accelerograph* REFTEK.

2. Metodologi

Proses perancangan dan realisasi instrumen akselerometer dilakukan dengan menggunakan sensor akselerometer ADXL345 yang dihubungkan dengan *microcontroller* Arduino Mega dengan beberapa modul tambahan seperti *SD card*, *Real Time Clock (RTC)* dan *LCD Display*. Setiap modul dihubungkan dengan kombinasi koneksi digital tipe *Inter-integrated Circuit (I²C) Protocol* dan *Serial Peripheral Interface (SPI)*. Untuk meningkatkan kemampuan *sampling* dan *storage data*, sistem perekaman data menggunakan blok data biner yang kemudian ditransformasikan ke data desimal setelah proses akuisisi data selesai dilakukan. Teknik ini terbukti mampu meningkatkan akurasi dan jumlah *sampling data* sampai 1000 SPS tanpa adanya *lost data*. Setiap tahapan dalam proses akuisisi juga dapat dipantau dan ditampilkan pada *LCD display* sehingga dapat diamati progres aktivitas akselerometer.

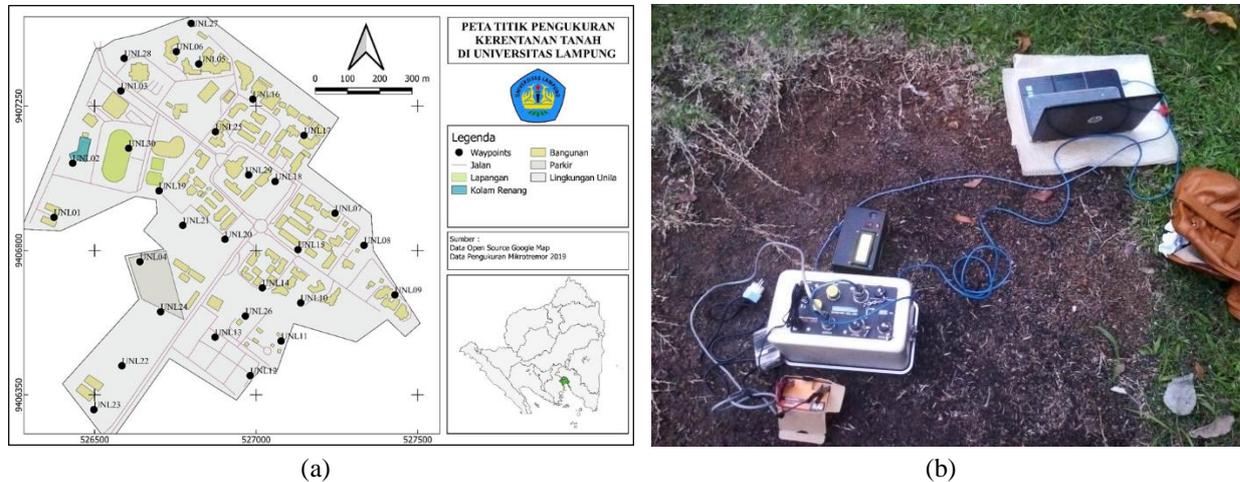
Seluruh modul dan sensor diletakkan pada sebuah kotak casing (**Gambar 1**) yang dilengkapi dengan *bubble level* sebagai *waterpass* dan *baut level* yang digunakan untuk kegiatan *leveling* sebelum akuisisi data dimulai. Khusus untuk posisi sensor ADXL345 diletakkan padaudukan/*platform* yang akan memaksimalkan perekaman getaran mikrotremor. Posisi horizontal sensor ADXL345 juga dikalibrasi agar sesuai dengan posisi *bubble level*. Untuk *power supply* telah disediakan dua saluran yaitu dengan baterai 9V yang dapat langsung diletakkan di dalam instrumen atau menggunakan *USB port* dengan sumber daya dari *Power Bank* eksternal maupun PC/Laptop. Seluruh sistem ini juga dilengkapi dengan satu *power switch*, *switch* lampu LCD dan tombol navigasi saat pemilihan menu dalam akuisisi data.



Gambar 1. Prototipe awal instrumen akselerometer dengan sensor ADXL345 yang telah dirancang dan siap untuk diuji validasi di lapangan (a). Akselerometer paten buatan pabrik SMHR-Accelerograph REFTEK (b).

Akuisisi data di lapangan dilakukan dengan menggunakan dua instrumen yaitu prototipe instrumen akselerometer ADXL345 dan SMHR-Accelerograph REFTEK. Pengukuran dilakukan di lingkungan

Universitas Lampung sebanyak 30 titik akuisisi dengan menggunakan kedua instrumen akselerometer secara bersamaan di tiap lokasi. Waktu mulai dan akhir akuisisi juga disamakan agar memudahkan dalam proses validasi. Waktu pengukuran untuk tiap titik akuisisi rata-rata 30 menit dan *sampling rate* 500 SPS untuk kedua instrumen akselerometer. Sebaran titik akuisisi ditunjukkan oleh **Gambar 2** berikut ini. Untuk



Gambar 2. Peta lokasi titik pengukuran kerentanan tanah (a) dengan menggunakan instrumen SMHR-Accelerograph REFTEK dan prototipe akselerometer ADXL345 (b) di lingkungan Unila.

mendapatkan nilai frekuensi dominan dari data pengukuran kedua akselerometer dilakukan dengan metode HVSR. Pengolahan data HVSR dilakukan menggunakan perangkat lunak *Geopsy* dengan parameter *windowing* yang sama diperlakukan bagi kedua data. Frekuensi dominan ini mencirikan karakteristik serta jenis batuan di bawah permukaan tanah (Sungkono dkk., 2011). Nilai frekuensi dominan ini dapat diperoleh dengan berdasarkan persamaan berikut ini (Arifin et al, 2018).

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (1)$$

Dengan nilai T_0 sebagai periode dominan dan f_0 adalah nilai frekuensi dominan. Namun nilai frekuensi dominan ini juga dapat diperoleh dengan plot kurva amplitudo maksimum HVSR sebagaimana yang diperoleh dari persamaan berikut ini (Nakamura, 2008).

$$A_m = \frac{A_{hs}}{A_{vs}} \quad (2)$$

Dimana A_m adalah amplitudo maksimum dari kurva HVSR yang diperoleh dari rasio antara A_{hs} sebagai amplitudo getaran horizontal dengan A_{vs} sebagai getaran vertikal dari gelombang permukaan.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data pengukuran dan tahapan pengolahan data yang telah dilakukan, diperoleh sebaran nilai frekuensi dominan f_0 yang cukup bervariasi. Nilai yang diperoleh ini juga telah melewati proses uji reliabilitas dengan 2 parameter yang harus dipenuhi yaitu:

$$f_0 > \frac{10}{lw} \quad (3)$$

$$nc(f_0) > 200 \quad (4)$$

$$nc = lw \cdot nw \cdot f_0 \quad (5)$$

dengan lw adalah lebar *window* dan nw adalah jumlah *window* (Bard dkk., 2008). Dari persamaan ini maka diperoleh hasil frekuensi dominan f_0 yang telah diuji reliabilitasnya dari kedua instrumen akselerometer dan disajikan dalam **Tabel 1**.

3.1 Uji Validasi

Uji validasi instrumen akselerometer ADXL345 dilakukan dengan melakukan perbandingan dan uji korelasi kurva HVSR terhadap nilai frekuensi dominan antara akselerometer ADXL345 dengan REFTEK. Berikut adalah data hasil pengolahan HVSR dari kedua akselerometer disajikan pada **Tabel 1**. Hasil peng-

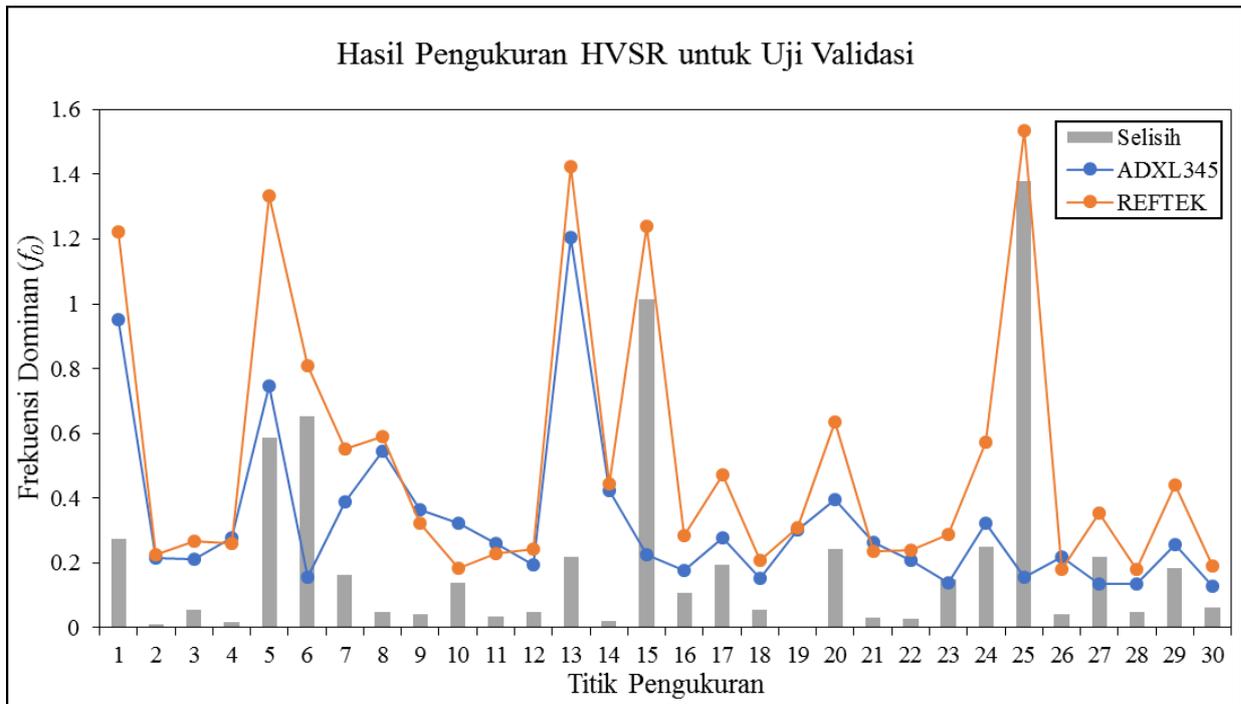
Tabel 1. Data nilai frekuensi dominan f_0 dan reliabilitas hasil pengukuran dan HVSR instrumen akselerometer di lingkungan Unila.

Titik	Lebar Window (lw)	Jumlah Window (nw)	f_0 Minimum	f_0 Instrumen ADXL345	f_0 Instrumen REFTEK	nc Instrumen ADXL345	nc Instrumen REFTEK
1	39	32	0.2564	0.95113	1.22416	1187.015	1527.752
2	46	30	0.2174	0.21596	0.22556	298.030	311.273
3	53	25	0.1887	0.21070	0.26724	279.171	354.096
4	45	29	0.2222	0.27935	0.26100	364.553	340.605
5	25	33	0.4000	0.74528	1.33257	614.859	1099.370
6	25	35	0.4000	0.15508	0.80806	135.693	707.055
7	25	31	0.4000	0.38964	0.55191	301.972	427.730
8	25	48	0.4000	0.54393	0.59202	652.710	710.419
9	32	42	0.3125	0.36512	0.32366	490.717	435.000
10	57	22	0.1754	0.32293	0.18462	404.957	231.518
11	46	25	0.2174	0.26191	0.22812	301.197	262.341
12	41	28	0.2439	0.19416	0.24418	222.899	280.319
13	25	36	0.4000	1.20540	1.42355	1084.860	1281.195
14	25	64	0.4000	0.42300	0.44373	676.795	709.963
15	35	50	0.2857	0.22712	1.24151	397.451	2172.643
16	40	20	0.2500	0.17724	0.28317	141.790	226.532
17	25	35	0.4000	0.27627	0.47184	137.166	1343.536
18	25	34	0.4000	0.15235	0.20892	275.506	487.280
19	35	25	0.2857	0.30372	0.30735	120.785	252.762
20	49	29	0.2041	0.39541	0.63722	298.336	338.198
21	45	35	0.2222	0.26511	0.23557	417.551	371.029
22	25	53	0.4000	0.20995	0.23800	523.924	844.315
23	48	29	0.2083	0.13804	0.28887	422.782	427.831
24	52	20	0.1923	0.32413	0.57327	158.441	217.280
25	25	48	0.4000	0.15676	1.53547	331.529	566.208
26	58	21	0.1724	0.21940	0.17882	267.226	217.804
27	36	39	0.2778	0.13640	0.35573	191.499	499.439
28	60	19	0.1667	0.13379	0.18169	152.522	207.127
29	36	30	0.2778	0.25564	0.44058	276.092	475.822
30	55	19	0.1818	0.12949	0.19235	135.317	201.008

Catatan: **Lebar Window** (lw) dalam satuan detik.

-olahan data pengukuran dengan teknik HVSR pada **Tabel 1** menghasilkan sebaran nilai frekuensi dominan (f_0) dari instrumen akselerometer ADXL345 dan REFTEK, namun tidak semua data (f_0) memenuhi syarat reliabilitas. Dengan menggunakan instrumen REFTEK sebagai nilai referensi hasil yang memenuhi syarat reliabilitas, maka beberapa titik pengukuran oleh instrumen ADXL345 tidak dapat memenuhi syarat tersebut. Titik tersebut adalah titik pengukuran yang nilai nc tidak mencapai nilai 200, yaitu titik 16, 17, 19, 24, 27, 28 dan 30. Kondisi ini menjadi catatan dalam validasi instrumen akselerometer apakah disebabkan oleh proses akuisi atau memang adanya kelemahan sensor dalam proses akuisi data seismik. Seluruh proses *windowing* dan filter yang digunakan saat pengolahan data HVSR diberlakukan sama untuk kedua instrumen. *Window* yang dipilih adalah data yang bebas dari *event* gempa atau lebih dikenal sebagai *ambient noise*. Proses pemilihan *window* yang harus memperhatikan reliabilitas ini menyebabkan *trial and error* cukup menyita waktu dalam pengolahan HVSR.

Untuk menguji validasi nilai frekuensi dominan dari instrumen akselerometer ADXL345 dilakukan dengan melihat korelasi antara nilai yang dihasilkan oleh akselerometer REFTEK dengan ADXL345. Nilai frekuensi dominan dari masing-masing akselerometer disajikan dalam grafik pada **Gambar 3**. Hasil pengukuran dan pengolahan data HVSR kedua akselerometer secara umum nampak cukup berdekatan. Namun di beberapa titik pengukuran seperti titik 15 dan 25 menunjukkan selisih nilai f_0 yang cukup berbeda, bahkan berselisih lebih dari 1 Hz. Hal ini menjadi catatan yang harus diperhatikan apakah hal ini berkaitan dengan kelemahan sensor saja atau dapat dipengaruhi oleh faktor akuisisi data di lapangan. Selain



Gambar 3. Kurva perbandingan hasil pengukuran nilai frekuensi dominan (f_0) antara instrumen akselerometer ADXL345 dan REFTEK. Garis oranye menunjukkan nilai f_0 REFTEK sedangkan garis biru adalah nilai f_0 ADXL345, sementara histogram abu-abu merupakan selisih nilai f_0 antara akselerometer ADXL345 dengan REFTEK.

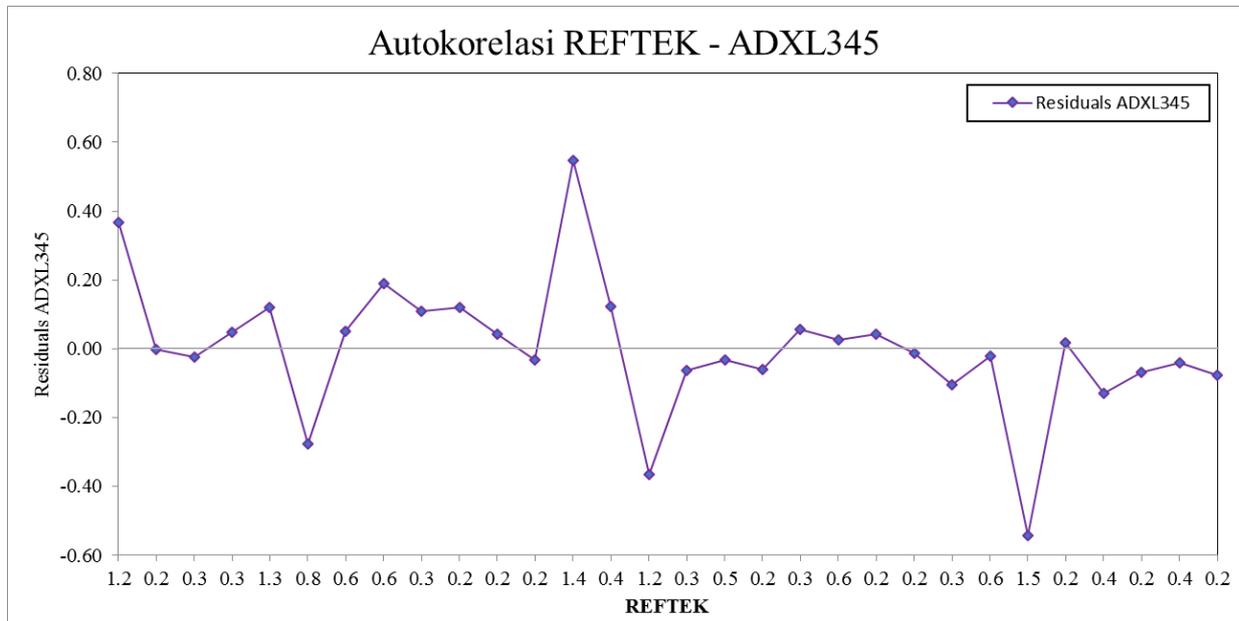
dua titik yang memiliki selisih lebih dari 1 Hz tersebut, terdapat tiga lokasi pengukuran yang memiliki selisih lebih dari 0.2 Hz yaitu pada titik 1, 5 dan 6. Namun selain dari anomali pada 5 titik tersebut, secara umum kurva nilai dari kedua akselerometer tersebut cukup berkorelasi. Untuk menghitung berapa nilai korelasi antara hasil pengukuran frekuensi alamiah kedua akselerometer tersebut, maka dilakukan perhitungan statistik sebagaimana disajikan dalam **Tabel 2** berikut ini.

Tabel 2. Perhitungan statistik untuk nilai korelasi antara hasil pengukuran akselerometer ADXL345 dan REFTEK di lingkungan Unila.

<i>Regression Statistics</i>	
<i>Multiple R</i>	0.62
<i>R Square</i>	0.38
<i>Adjusted R Square</i>	0.36
<i>Standard Error</i>	0.20
<i>Observations</i>	30

Hasil perhitungan korelasi dari kedua akselerometer antara ADXL345 dan REFTEK menunjukkan nilai koefisien korelasi 0.62 atau sekitar 62%. Hal ini menunjukkan adanya hubungan nilai pengukuran yang

cukup baik dari kedua instrumen akselerometer. Kondisi ini juga menunjukkan instrumen baru akselerometer yang menggunakan sensor ADXL345 cukup mampu digunakan untuk mengakuisisi data mikrotremor setidaknya sekitar 60% sama dengan hasil pengukuran instrumen pabrikan seperti SMHR-*Accelerograph* REFTEK. Untuk menguji apakah terdapat korelasi antar pengamatan cross-section dari kedua akselerometer, maka dilakukan deteksi autokorelasi dengan metode grafik sebagaimana ditunjukkan oleh **Gambar 4** berikut ini.



Gambar 4. Kurva autokorelasi antara data pengukuran frekuensi dominan akselerometer ADXL345 terhadap akselerometer REFTEK dengan metode grafik.

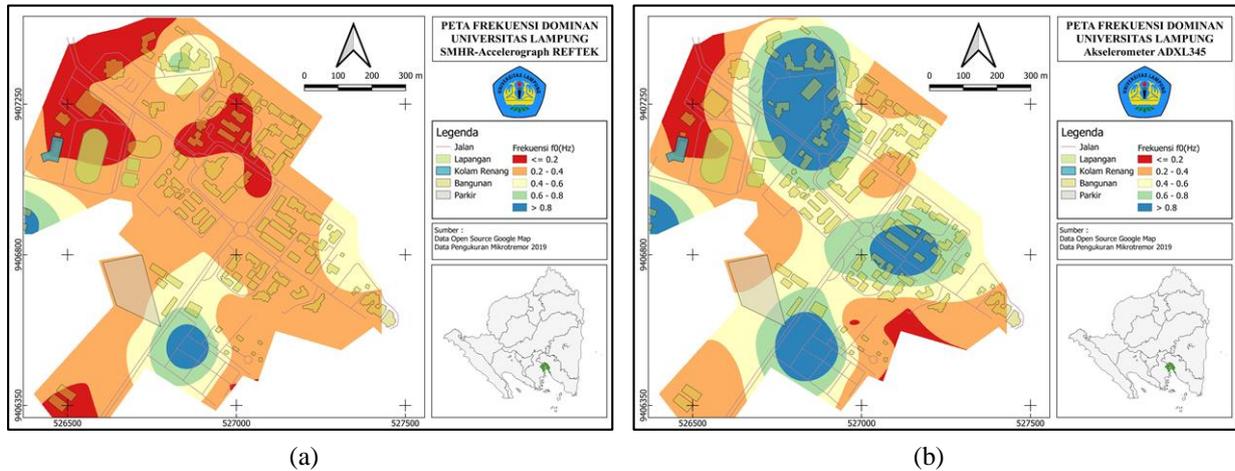
Untuk mendapatkan kurva autokorelasi pada Gambar 4, variabel bebas yang digunakan adalah nilai frekuensi dominan akselerometer REFTEK, sehingga nilai frekuensi dominan dari akselerometer ADXL345 menjadi variabel terikat terhadap variabel bebas. Hasilnya menunjukkan adanya pola siklus peningkatan dan penurunan nilai seiring dengan perubahan nilai frekuensi dominan akselerometer REFTEK. Pola ini juga terlihat cukup sistematis sehingga dapat diinterpretasikan adanya autokorelasi dari kedua hasil pengukuran tersebut. Menurut Junaidi (2016) pola yang dihasilkan seperti pada **Gambar 4** hasil pengukuran kedua akselerometer ini dapat dikategorikan sebagai autokorelasi positif.

3.2 Peta Kerentanan Tanah

Hasil validasi data frekuensi dominan kedua akselerometer dapat digunakan untuk membuat peta sebaran frekuensi alamiah atau peta kerentanan tanah di lingkungan Universitas Lampung. Peta ini merupakan peta sebaran nilai frekuensi dominan yang dikelompokkan berdasarkan rentang nilainya menjadi empat jenis (Kanai, 1983). Berdasarkan klasifikasi tersebut, seluruh area di lingkungan Universitas Lampung merupakan tanah jenis IV. Tanah jenis ini merupakan tanah dengan nilai frekuensi dominan <2,5 Hz. Tanah ini didominasi oleh batuan *alluvial/top soil* ataupun sedimen yang cukup tebal bahkan mencapai 30 meter atau lebih. Keadaan ini diinterpretasikan sebagai area yang cukup rentan terhadap gelombang gempa bumi terutama gelombang permukaan. Karena gelombang permukaan yang melewati tanah jenis ini akan mudah mengalami amplifikasi sehingga guncangan yang dihasilkan menjadi signifikan dan berdampak pada bangunan yang ada di atasnya.

Sebaran nilai frekuensi dominan di lingkungan Universitas Lampung ditampilkan pada **Gambar 5**. Sebaran nilai frekuensi dari kedua instrumen berbeda di bagian utara dan tengah lokasi penelitian, tepatnya di area Fakultas Teknik, Rektorat sampai Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Pada akselerometer

ADXL345 menunjukkan daerah ini memiliki rentang nilai frekuensi dominan antara 0,6 – 0,8 Hz atau bahkan lebih. Namun pada akselerometer REFTEK justru menghasilkan frekuensi <0,2 Hz di sekitaran Fakultas Teknik dan Fakultas Ekonomi. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji penyebab perbedaan hasil pengukuran dari kedua instrumen akselerometer ini.



Gambar 5. Peta kerentanan tanah berdasarkan sebaran nilai frekuensi dominan hasil pengukuran instrumen akselerometer ADXL345 (a) dan REFTEK (b) di lingkungan Unila.

Meskipun terdapat perbedaan hasil pengukuran di beberapa area dari penelitian ini, namun secara umum dapat diamati bahwa pola kerentanan tanah dari sebaran nilai frekuensi dominan di lingkungan Unila relatif sama. Keadaan ini juga sejalan dengan nilai korelasi pengukuran kedua instrumen yang hanya mencapai 62% saja. Sehingga perbedaan yang muncul di beberapa area menjadi hal yang dapat diperkirakan. Sebagai acuan peta mana yang dapat digunakan, maka akselerometer REFTEK lebih dapat dipercaya karena telah melalui tahap uji validasi dan kalibrasi oleh perusahaan/pabrik. Namun akselerometer ADXL345 masih terbuka peluang untuk dapat dimaksimalkan dalam proses pengembangan selanjutnya mengingat saat ini masih dalam tahap prototipe awal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji validasi dari pengukuran mikrotremor dan pengolahan data HVSR di lingkungan Universitas Lampung menunjukkan bahwa prototipe awal instrumen akselerometer berbasis sensor ADXL345 masih perlu diperbaiki dan dikembangkan. Hasil pengukuran yang hanya mendapatkan 62% nilai korelasi dengan akselerometer REFTEK dari 30 titik pengukuran masih perlu untuk ditingkatkan. Hasil uji validasi dengan metode autokorelasi berhasil menunjukkan adanya hubungan autokorelasi positif antara instrumen akselerometer ADXL345 dengan REFTEK. Berdasarkan peta sebaran frekuensi dominan di lingkungan Universitas Lampung, instrumen akselerometer ADXL345 berhasil mendeteksi pola kerentanan tanah yang sama dengan akselerometer REFTEK, dengan catatan di beberapa area memiliki nilai yang berbeda. Hasil pemetaan kerentanan tanah juga menunjukkan bahwa lingkungan Universitas Lampung berada pada zona yang rentan terhadap gelombang gempa bumi karena berada pada jenis tanah IV. Jenis tanah ini merupakan tanah yang didominasi oleh sedimen lunak dan biasanya cukup tebal. Tanah tipe ini juga rentan terhadap amplifikasi dari gelombang permukaan, sehingga berpotensi menyebabkan kerusakan yang parah terhadap bangunan di atasnya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah terlibat dalam penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada LPPM Universitas Lampung atas dukungan dana Hibah Penelitian Dosen Pemula dengan nomor kontrak 2626/UN26.21/PN/2019.

Daftar Pustaka

- Arifin et al. (2018). Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*.
- Bard, P.-Y., Anastasiadis, A., Atakan, K., & Azzara, R. M. (2008). "Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurement, Processing and Interpretation SESAME European research project." *Bulletin of Earthquake Engineering*, (March), 1–63. Diambil dari <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm%0AParticipating>
- Darmawan, W. F., Suryanita, R., & Djauhari, Z. (2017). Evaluasi Kesehatan Struktur Bangunan berdasarkan Respon Dinamik Berbasis Data Akselerometer. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(2), 142. <https://doi.org/10.14710/mkts.v23i2.16101>
- Dorado-Vicente, R., Romero-Carrillo, P., Lopez-Garcia, R., & Diaz-Garrido, F. A. (2013). Comparing planar pocketing tool paths via acceleration measurement. In *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.242>
- Draganová, K., Laššák, M., Praslička, D., & Kán, V. (2014). Attitude-independent 3-axis accelerometer calibration based on adaptive neural network. *Procedia Engineering*, 87, 1255–1258. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.412>
- Ferdinando, H., Khoswanto, H., & Purwanto, D. (2013). Performance Evaluation of MMA7260QT and ADXL345 on Self Balancing Robot. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v11i1.876>
- Green, R. G., Priestley, K. F., & White, R. S. (2017). Ambient noise tomography reveals upper crustal structure of Icelandic rifts. *Earth and Planetary Science Letters*, 466, 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.02.039>
- Ismail, S., Harun, M. N., Omar, A. H., Ismail, S., & Omar, A. H. (2015). Functional Electrical Stimulation for Foot Drop Injury Based on the Arm Swing Motion. *Procedia Manufacturing*, 2(2015), 490–494. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.084>
- Junaidi. (2016). Deteksi Autokorelasi dengan Metode Grafik Excel Deteksi Autokorelasi dengan Metode Grafik Excel. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2107.3680>
- Kanai, K. (1983). *Engineering Seismology*. Tokyo: University of Tokyo Press.
- Kawase, H., Nagashima, F., Nakano, K., & Mori, Y. (2018). Direct evaluation of S-wave amplification factors from microtremor H/V ratios: Double empirical corrections to "Nakamura" method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, (July 2017), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.01.049>
- Khalili, M., & Mirzakurdeh, 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. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.12.003>
- Malik, H., & Mazhar, A. (2019). EyeCom-An Innovative Approach for Computer Interaction. *Procedia Computer Science*, 151(2019), 559–566. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.075>
- Nakamura, Y. (2008). Microsoft Word - 14WCEE YN HV. *World Conference on Earthquake Engineering*, 14, 1–10. Diambil dari papers3://publication/uuid/EE4E1E9C-65BB-434C-833C-276634855820
- Nurraidha, A. C., Maryanto, S., & 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)*, (October), 657–662. <https://doi.org/10.1109/EECSI.2018.8752918>
- Sungkono, Warnana, D. D., Triwulan, & Utama, W. (2011). Evaluation of Buildings Strength from Microtremor Analyses. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, 11(5), 93–99.