

EVALUASI RESONANSI BANGUNAN BERDASARKAN ANALISIS MIKROTREMOR: STUDI KASUS BEBERAPA BANGUNAN DI SUMATERA BARAT

Rezqya Mustika^{1*}, Rusnardi Rahmat Putra²

^{1*}Mahasiswa magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas , Padang.

Email: rezqyamustika@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Padang.

ABSTRACT

The importance of analyzing the interaction between buildings and soil in building construction assessment cannot be overstated. In this research, we identified the response of buildings to earthquakes by determining the natural frequency of the soil and the natural frequency values of the buildings on each floor. We also investigated the relationship between the natural frequency of the soil and the natural frequency of the buildings. Additionally, this study aimed to determine damping factors for different types of public buildings, such as schools and campuses, and evaluate the impact of resonance on building infrastructure. Microtremor data was collected from ten buildings in Padang City. The measurements were obtained by conducting microtremor measurements on the ground, as well as on the 2nd, 3rd, and 4th floors of the buildings. Each microtremor measurement lasted for approximately 10 minutes inside the buildings. The testing utilized the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSr) and Fast Fourier Transform (FFT) methods. The natural frequency values of the soil obtained using the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSr) method for the following buildings were as follows: Rusunawa1 (0.5183 Hz), Hotel Grand Inna (1.11 Hz), Hotel Axana (1.286 Hz), Hotel HW (1.688 Hz), and Hotel Pangeran Beach (0.4684 Hz). For academic buildings: Faculty of Economics UNP (2.229 Hz), MKU UNP (2.06 Hz), Rusunawa UNP (1.615 Hz), FSIP (0.711 Hz), and Rusunawa 1 (0.402 Hz). The natural frequency values of the buildings ranged from 1.584 Hz to 4.3122 Hz. The resonance levels of all the reviewed buildings fell within the low resonance category (>25%), ranging from 55.5094% to 969.7264%.

Keywords : Natural frequency of the building, natural frequency of the soil, microtremor, building

ABSTRAK

Pentingnya analisis interaksi antara bangunan dan tanah dalam penilaian konstruksi bangunan tidak dapat diabaikan. Dalam penelitian ini, kami mengidentifikasi respons bangunan terhadap gempa bumi dengan cara menentukan frekuensi alami tanah dan nilai frekuensi alami bangunan di setiap lantai, serta menyelidiki hubungan antara frekuensi alami tanah dan frekuensi alami bangunan. Selain itu, penelitian ini juga akan menentukan faktor redaman untuk jenis bangunan umum yang memiliki fungsi yang berbeda, seperti bangunan sekolah dan kampus, dan mengevaluasi dampak resonansi pada infrastruktur bangunan. Pengumpulan data mikrotremor dilakukan dari 10 bangunan di Kota Padang. Data pengukuran tersebut diperoleh melalui proses pengukuran mikrotremor pada tanah, lantai 2, 3 dan 4. Setiap pengukuran mikrotremor dilakukan selama sekitar 10 menit di dalam gedung. Pengujian menggunakan metode *Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio* (HVSr) dan *Fast Fourier Transform* (FFT). Nilai frekuensi natural tanah dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) pada gedung Rusunawa 1 adalah 0.5183 , Hotel Grand Inna adalah 1.11 HZ, Hotel Axana adalah 1.286

Hz, Hotel HW adalah 1.688 Hz dan Hotel Pangeran Beach adalah 0.4684 Hz, Fakultas Ekonomi UNP adalah 2.229, MKU UNP adalah 2.06, Rusunawa UNP adalah 1.615, FSIP adalah 0.711, rusunawa 1 adalah 0.402. Nilai frekuensi natural bangunan dengan pada semua gedung antara 1,584 Hz – 4,3122 Hz. Resonansi semua gedung yang ditinjau termasuk dalam tingkat resonansi rendah (>25%) yaitu antara 55,5094 -969,7264.

Kata Kunci : frekuensi alami bangunan, frekuensi tanah, mikrotremor, resonansi, gedung

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi terjadi ketika energi bergetar dari dalam bumi akibat pergeseran atau retakan di dalamnya, yang kemudian merambat hingga mencapai permukaan bumi (Nur, 2010). Gempa ini menghasilkan getaran pada tanah yang dapat dirasakan jika frekuensinya sangat tinggi (Suciati Febrina, 2017). Getaran tersebut memiliki potensi dampak yang signifikan pada bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Sebelum memulai proses pembangunan, struktur bangunan tahan gempa direncanakan dengan mempertimbangkan estimasi beban gempa yang dapat memengaruhi bangunan, terutama di daerah yang berisiko gempa (Mirzaoglu & Dýkmen, 2003).

Kota Padang di Provinsi Sumatera Barat merupakan salah satu daerah yang secara konstan menghadapi potensi gempa bumi sebagai ancaman. Kota Padang terletak pada jalur patahan Sumatera, di mana lempeng Indo-Australia bertemu dengan Lempeng Eurasia (Edward, 2013). Situasi ini meningkatkan tingkat kerentanan terhadap gempa bumi menjadi sangat tinggi, dan hal ini menjadi perhatian penting bagi penduduk yang tinggal di wilayah tersebut. Getaran akibat gempa bumi memiliki dampak yang signifikan pada struktur bangunan yang berada di sekitar zona tersebut. Oleh karena itu, selama proses pembangunan, perlu dilakukan perhitungan gaya atau beban gempa sebagai langkah penting (Altavillah, 2015).

Pengukuran resonansi antara frekuensi alami suatu bangunan dan tanah di bawahnya adalah salah satu faktor penting yang dapat digunakan untuk memprediksi bahaya gempa bumi bagi suatu bangunan (Wulandari et al., 2012). Jika nilai frekuensi alami bangunan mendekati nilai frekuensi alami material di bawahnya, getaran seismik akan beresonansi dengan bangunan, yang akan meningkatkan stress pada bangunan. Mikrotremor dapat digunakan untuk mengukur resonansi suatu bangunan (Daristasari et al, 2018). Pengukuran mikrotremor memiliki sejumlah kelebihan dibandingkan dengan metode pengukuran lainnya. Metode ini terbukti sangat efektif, cepat, dapat diandalkan, akurat, dan memberikan hasil pengukuran yang stabil dalam mengevaluasi parameter seperti fungsi transfer (seperti frekuensi dan resonansi (Sungkono, 2017). Selain itu, metode ini juga mampu mengidentifikasi karakteristik kondisi geologi lokal, termasuk frekuensi dan amplifikasi tanah (Prastowo et al., 2006).

Pada penelitian ini analisis resonansi bangunan diperoleh dari hasil pengolahan dengan menggunakan data mikrotremor. Pengukuran mikrotremor dilaksanakan tanpa adanya beban eksternal tambahan, dengan toleransi terhadap gangguan sebagaimana misalnya angin, pejalan kaki, dan kendaraan. Hasil dari pengukuran mikrotremor menghasilkan resonansi terhadap beberapa bangunan di Kota Padang, sehingga memungkinkan untuk melakukan evaluasi resonansi berdasarkan klasifikasi resonansi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Pengumpulan Data

Data mikrotremor yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari hasil pengujian mikrotremor pada 10 gedung dengan tinggi 4 lantai di Kota Padang. Data pengukuran tersebut diperoleh melalui proses pengukuran mikrotremor pada tanah, lantai 2, 3 dan 4. Setiap pengukuran mikrotremor dilakukan selama sekitar 10 menit di dalam gedung. Studi ini dilaksanakan dengan memproses data mikrotremor yang telah direkam selama periode 2010-2016 di Kota Padang. Data mikrotremor yang digunakan adalah data seismik mikrotremor yang diambil tanpa menerapkan gaya atau beban tambahan pada bangunan. Setiap lantai bangunan dilengkapi dengan perangkat mikrotremor untuk mencatat data, dan hasil rekaman ini kemudian dianalisis menggunakan beberapa metode dengan bantuan perangkat lunak MATLAB. Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Data Bangunan Gedung di Kota Padang.



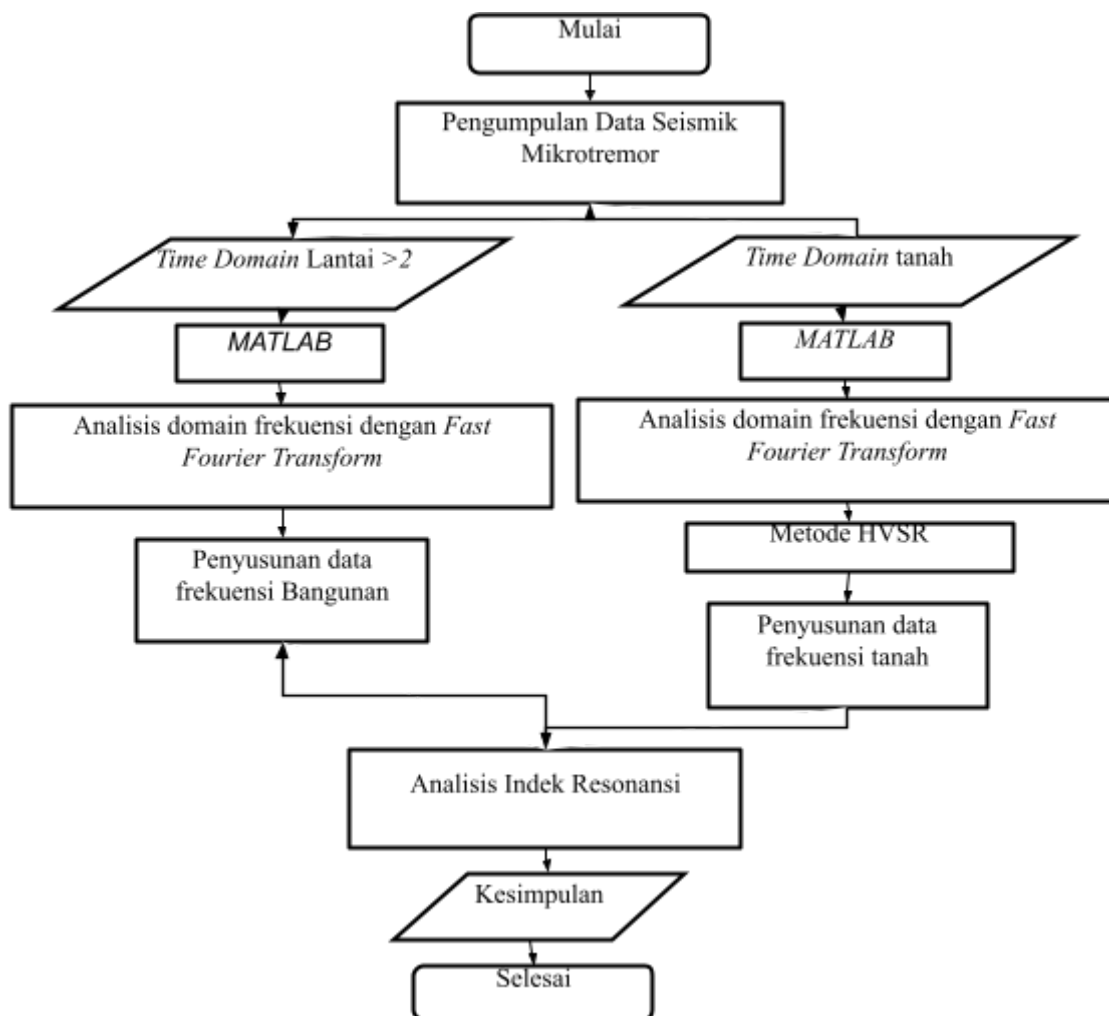
Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Data Bangunan Gedung di Kota Padang

Pada Gambar 1 dapat dilihat titik sampling dari pengujian mikrotremor dilakukan. Pengambilan data mikrotremor dilakukan pada 10 bangunan di Padang, Sumatera Barat. Bangunan yang dianalisis ditandai dengan titik biru pada gambar peta lokasi diatas.

2.2 Analisis Data

Rangkaian penelitian ini melibatkan dua tahap utama, yaitu analisis literatur serta pengolahan data. Studi literatur merupakan langkah awal yang dilakukan untuk mengumpulkan referensi dan informasi yang relevan dengan penelitian ini. Sementara itu, pengolahan data akan dijalankan setelah data yang diperlukan telah terkumpul secara lengkap. Dalam pelaksanaannya, alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat lunak, yaitu *MATLAB* dan *Microsoft Excel*.

Data yang dihasilkan dari pengukuran akan disimpan di penyimpanan internal pada perangkat mikrotremor dan dapat dipindahkan ke komputer. Data ini mencakup respon percepatan struktur terhadap waktu dalam bentuk gelombang pada tiga arah, yaitu sumbu x, y, dan z. Tahapan proses pengolahan yaitu konversi data domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan *FFT. Fast Fourier Transform* atau FFT merupakan program yang membantu dalam transformasi data domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan *software MATLAB*. Data pengukuran mikrotremor yang diperoleh berupa data time domain. Data tersebut di input ke dalam program FFT melalui *software MATLAB* untuk mendapatkan data domain frekuensi. Data mikrotremor yang diperoleh dari tanah akan diproses menggunakan teknik Rasio Spektral Horizontal terhadap Vertikal (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio* atau HVSr). Berikut dapat dilihat tahap-tahap penelitian pada Gambar 2. Diagram Alir Penelitian di bawah ini.

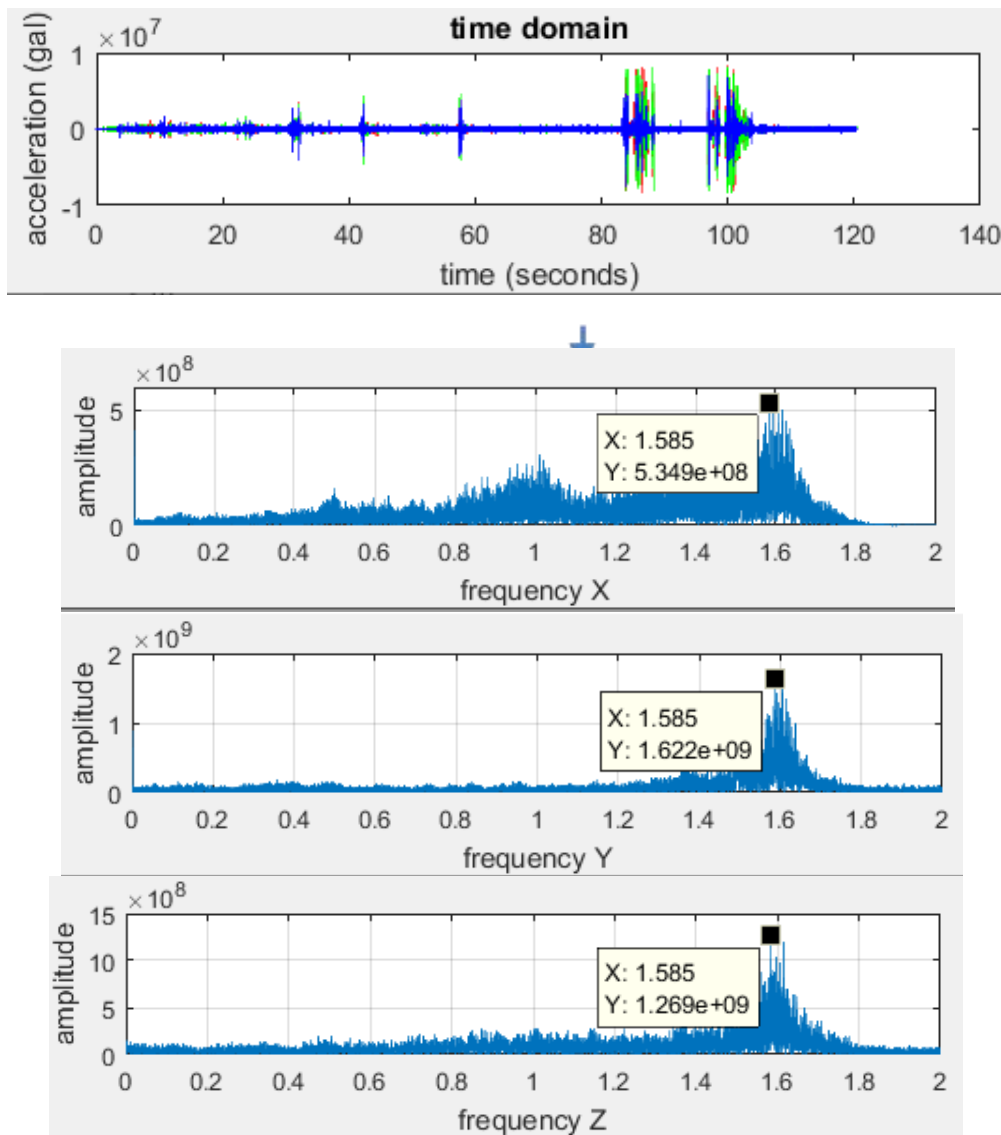


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Konversi Data *Time Domain* Menjadi *Time Frequency* Menggunakan FFT

Frekuensi bangunan dapat diidentifikasi melalui analisis data mikrotremor yang diperoleh dari pengukuran di berbagai bangunan di Kota Padang. Data pengukuran mikrotremor awalnya berbentuk data *time domain*, kemudian diubah ke dalam domain frekuensi melalui proses transformasi FFT menggunakan perangkat lunak *MATLAB* versi 2015b. Hasil transformasi tersebut menghasilkan data domain frekuensi dalam tiga arah gelombang, yaitu gelombang arah X, Y, dan Z. Dibawah ini terdapat Gambar 3. Data *time domain* menjadi domain frekuensi menggunakan FFT.



Gambar 3. Data time domain menjadi domain frekuensi menggunakan FFT

Gambar diatas memperlihatkan domain waktu dari rekaman mikrotremor pada salah satu tingkat bangunan. Data dalam domain waktu kemudian diubah ke domain frekuensi, yang menghasilkan tiga komponen gelombang dalam domain frekuensi. Nilai frekuensi alami bangunan dapat dilihat pada Tabel 1. Frekuensi alami bangunan di Kota Padang.

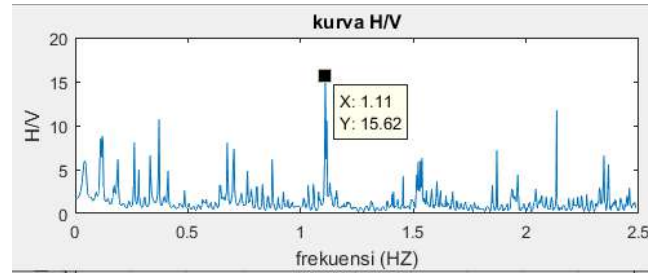
Tabel 1. Frekuensi alami bangunan di Kota Padang

No	Frekuensi Bangunan (Hz)								
	Lantai 2			Lantai 3			Lantai 4		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	Gedung Rusunawa								
	2.8869	4.1293	4.1667	2.9838	4.2388	4.2388	2.9838	4.2388	4.2388
2	Gedung Hotel Grand Inna Muara								
	1.8887	4.2567	4.2567	1.7258	4.2898	4.2898	1.7363	4.1901	4.1803
3	Gedung Hotel Axana								
	1.8254	4.1390	2.4767	2.4779	4.1436	2.4774	2.4785	4.1994	2.2930
4	Gedung Hotel HW								
	3.5823	3.9956	2.4953	2.4825	3.5654	3.9720	3.9393	1.7817	2.4802
5	Gedung Hotel Pangeran Beach								
	3.1830	4.1564	4.2636	3.8792	4.1870	4.1870	3.8994	4.0828	4.0828
6	Gedung FE UNP								
	3.9810	3.9533	4.0312	4.1526	4.1205	4.1205	1.5840	4.0049	3.9677
7	Gedung MKU UNP								
	4.0993	4.0993	4.1258	4.1438	2.8918	4.1438	4.1155	4.0999	4.1415
8	Gedung Rusunawa UNP								
	3.9619	3.9619	3.9619	3.0666	3.9911	4.0418	2.6867	4.1837	4.1567
9	Gedung FSIP								
	2.4606	4.2287	4.2287	3.5750	4.0682	4.3122	4.0607	4.0612	4.1215
10	Gedung Rusunawa								
	2.9431	4.1953	4.1938	4.1900	4.1900	4.1670	3.1797	4.2270	4.3003

Total bangunan yang dianalisis menggunakan data mikrotremor adalah 10 bangunan. Bangunan-bangunan tersebut memiliki tinggi 4 lantai, setiap pengujian didapatkan frekuensi dengan 3 arah gelombang yaitu X, Y, dan Z. Nilai frekuensi natural bangunan dengan pada semua gedung antara 1,584 Hz – 4,3122 Hz.

3.2 Pengolahan nilai H/V dan plotting kurva HVSR untuk mengetahui frekuensi natural tanah

Nilai H/V dihitung sebagai perbandingan antara spektrum horizontal dan spektrum vertikal. Hasil dari perhitungan ini digunakan dalam analisis kurva HVSR untuk menentukan nilai frekuensi dominan. Langkah berikutnya adalah membuat plot kurva HVSR untuk mengidentifikasi frekuensi dominan. Nilai frekuensi dominan diambil dari analisis kurva HVSR, di mana frekuensi dominan ditunjukkan oleh puncak tertinggi dalam kurva tersebut. Berikut dapat dilihat pada Gambar 4. Grafik Frekuensi dengan menggunakan metode HVSR dan Tabel 2. Nilai frekuensi alami tanah dengan metode HVSR



Gambar 4. Grafik Frekuensi dengan menggunakan metode HVSR

Pada Gambar 4 diperoleh data frekuensi tanah yang diambil dari kurva HVSR. Frekuensi yang diambil merupakan frekuensi dominan pada kurva HVSR. Gambar 4 merupakan salah satu kurva HVSR yang di analisis. Data frekuensi yang dianalisis dikumpulkan pada Tabel 2. Nilai frekuensi alami tanah dengan metode HVSR berikut.

Tabel 2. Nilai frekuensi alami tanah dengan metode HVSR

No	Gedung	Frekuensi Tanah
1	Gedung Rusunawa 2	0.5183
2	Gedung Hotel Grand Inna Muara	1.1100
3	Gedung Hotel Axana	1.2860
4	Gedung Hotel HW	1.6880
5	Gedung Hotel Pangeran Beach	0.4684
6	Gedung FE UNP	2.2290
7	Gedung MKU UNP	2.0600
8	Gedung Rusunawa UNP	1.6150
9	Gedung FSIP	0.7110
10	Gedung Rusunawa 1	0.4020

3.3 Pengolahan nilai resonansi bangunan

Indeks Resonansi dapat diperoleh berdasarkan persamaan berikut:

$$R = \left| \frac{f_b - f_t}{f_t} \right| \times 100\% \quad (1)$$

Indeks resonansi yang diperoleh digunakan untuk menilai potensi resonansi pada bangunan selama gempa bumi, dengan mengacu pada klasifikasi yang dijelaskan dalam penelitian oleh Gosar dan rekan-rekannya pada tahun 2010. Klasifikasi tersebut adalah sebagai berikut: (1) Tingkat resonansi bangunan yang rendah ($R > 25\%$), (2) Tingkat resonansi bangunan yang sedang ($15\% < R < 25\%$), (3) Tingkat resonansi bangunan yang tinggi ($R < 15\%$). Berikut Tabel 3. Hasil indeks resonansi bangunan.

Tabel 3. Hasil indeks resonansi bangunan

No	Indeks Resonansi									Tingkat Resonansi
	Lantai 2			Lantai 3			Lantai 4			
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1	Gedung Rusunawa1									Rendah
	456.99	696.700	703.91	475.68	717.827	717.82	475.68	717.8275	717.8275	
	4	8	67	98	5	75	98			
2	Gedung Hotel Grand Inna Muara									Rendah
	70.153	283.486	283.48	55.477	286.468	286.46	56.423	277.4865	276.6036	
	15	5	65	48	5	85	42			
3	Gedung Hotel Axana									Rendah
	41.944	221.850	92.589	92.682	222.208	92.643	92.729	226.5474	78.30482	
	01	7	42	74	4	86	39			
4	Gedung Hotel HW									Rendah
	112.22	136.706	47.825	47.067	111.220	135.30	133.37	5.550948	46.93128	
	16	2	83	54	4	81	09			
5	Gedung Hotel Pangeran Beach									Rendah
	579.54	787.361	810.24	728.18	793.894	793.89	732.49	771.6482	771.6482	
	74	2	77	1	1	41	36			
6	Gedung FE UNP									Rendah
	78.600	77.3575	80.852	86.298	84.8586	84.858	28.936	79.6725	78.00359	
	27	6	4	79	8	68	74			
7	Gedung MKU UNP									Rendah
	98.995	98.9951	100.28	101.15	40.3786	101.15	99.781	99.02427	101.0437	
	15	5	16	53	4	53	55			
8	Gedung Rusunawa UNP									Rendah
	145.31	145.318	145.31	89.882	147.126	150.26	66.359	159.0526	157.3808	
	89	9	89	35	9	63	13			
9	Gedung FSIP									Rendah
	246.07	494.753	494.75	402.8	472.18	506.49	471.12	471.1955	479.6765	
	59	9	39	129		79	52			
10	Gedung Rusunawa 2									Rendah
	632.11	943.607	943.23	942.28	942.288	936.56	690.97	951.4925	969.7264	
	44		38	86	6	72	01			

Berdasarkan Tabel 3 di atas dapat diketahui tingkat resonansi pada setiap bangunan yang dianalisis adalah rendah. Hal ini disebabkan karena nilai resonansi dari analisis data mikrotremor adalah >25%.

4. KESIMPULAN

Nilai frekuensi natural tanah dengan menggunakan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) pada gedung Rusunawa 1 adalah 0.5183, Hotel Grand Inna adalah 1.11 Hz, Hotel Axana adalah 1.286 Hz, Hotel HW adalah 1.688 Hz dan Hotel Pangeran Beach adalah 0.4684 Hz, Fakultas Ekonomi UNP adalah 2.229, MKU UNP adalah 2.06, Rusunawa UNP adalah 1.615, FSIP adalah 0.711, rusunawa 1 adalah 0.402. Nilai frekuensi natural bangunan dengan pada semua gedung antara 1,584 Hz – 4,3122 Hz. Resonansi semua gedung yang ditinjau termasuk dalam tingkat resonansi rendah (>25%) yaitu antara 55,5094 -969,7264.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Altavillah, R. (2015). Analisis Pengaruh Variasi Marine Growth Risk Based Fatigue And Dynamic Response Analysis With Marine Growth Variation. *Jurnal Teknik Sipil*, 1–10.
- Daristasari, P., Budi, N., & Sumardi, Y. (2018). Resonansi bangunan dengan analisis mikrotermor di dusun patuk kabupaten gunung kidul. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 385–399.
- Edward, I. A. (2013). Bahaya gempa bumi zona patahan sumatera. *Tim Pusdalops PB BPBD Prov. Sumatera Barat, gambar 1*, 1–9.
- Mirzaoglu, M., & Dýkmen, Ü. (2003). *Application of microtremors to seismic microzoning procedure*. 6(3), 143–156.
- Nur, A. M. (2010). Gempa bumi, Tsunami Dan Mitigasinya. *Balai Informasi dan Konservasi Kebumian Karangsambung – LIPI, Kebumen Abstrak*, 8(1), 66–73.
- Prastowo, R., Prabowo, U. N., & Pertambangan, J. T. (2006). *Evaluasi kerentanan gedung rektorat sttnas terhadap gempa bumi berdasarkan analisis mikrotremor*. 83–92.
- Suciati Febrina, H. (2017). *Analisis kerentanan bangunan dengan pengujian mikrotremor studi kasus di daerah rawan pergerakan tanah*.
- Sungkono, K. K. D. (2017). Analisis Struktur Sistem Rangka Penahan Momen Biasa Pada Berbagai Jenis Tanah Berdasarkan Displacement Dan Drift. *Jurnal Teknik Sipil dan arsitektur*, 1–16.
- Wulandari, V., Wulandari, V., & Bahri, A. S. (2012). Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kekuatan Bangunan Studi Kasus Gedung Perpustakaan ITS. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1(1), B55–B59.