

ASSESSMENT TINGKAT KERENTANAN BANGUNAN BERTINGKAT MENGUNAKAN HASIL SURVEY MIKROTREMOR (STUDI KASUS: GEDUNG SEKOLAH MENENGAH ATAS YAYASAN PEMBANGUNAN LABORATORIUM PADANG)

Rusnardi Rahmat Putra¹, Abdur Rahim²

¹Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

²Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: rusnardi.rahmat@ft.unp.ac.id abdurrahim260400@gmail.com

Abstrak: *Assessment* bangunan dilakukan pada Sekolah SMA Laboratorium Padang. Kegiatan *assessment* tanpa merusak dilakukan dengan menggunakan metode gelombang *rayleigh* dengan bantuan alat mikrotremor. Dari pengukuran yang dilakukan menggunakan mikrotremor, didapatkan data-data gelombang *rayleigh* berupa frekuensi natural dan amplitudo dari tanah dan bangunan, yang nantinya diolah dengan bantuan software, sehingga diperoleh nilai kerentanan dari bangunan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui tingkat kerentanan bangunan SMA Laboratorium. Pada metode gelombang *rayleigh*, untuk mengetahui tingkat kerentanan bangunan dapat dilihat pada nilai *drift angle* yang apabila nilai *drift angle* berada dalam rentang 0,01 - 0,005, maka bangunan tersebut akan runtuh. Berdasarkan hasil pengolahan data pada sekolah SMA Pembangunan Laboratorium Padang menggunakan gelombang *rayleigh* diketahui bahwa pada lantai 1 memiliki kerentanan yang tinggi karena berada pada rentang 0,01 - 0,005, terhadap gempa 398 gal (2009) dan pada lantai 2 dan 3 tidak memiliki kerentanan yang tinggi. Hasil tersebut memiliki validasi karena amplifikasi dari metode FSR dan rasio redaman yang dihasilkan metode RDM adalah akurat dengan ketelitian 91% yang menunjukkan perbandingan frekuensi natural dari FSR dan RDM hampir mendekati satu. Berdasarkan hasil dari metode tersebut, didapatkanlah nilai kerentanan paling tinggi berada pada lantai 1.

Kata Kunci: Gelombang *Rayleigh*, Kerentanan, Mikrotremor

Abstract: Assessment of the building was done at the Field High School Laboratory. The non-damaging assessment was done using the *rayleigh* wave method with the help of a microtremor device. From the measurements carried out using a micro-tremor, the data of *rayleigh* waves were obtained as natural frequencies and amplitudes of the soil and buildings, which were subsequently processed with the aid of software, thus obtaining the vulnerability values of the buildings. The purpose of this study is to determine the level of vulnerability of the building of the High School Laboratory. The method of *rayleigh* waves, to determine the degree of susceptibility of buildings can be seen at the angle drift values that when the value of angle drift is in the range of 0.01 - 0.005, then the building will collapse. Based on the results of data processing at the high school Development of the Laboratory Field using the wave *rayleigh* it is known that on the 1st floor has a high vulnerability because it is at the range 0,01 - 0,005, against earthquakes 398 gal (2009) and the 2nd and 3rd floors have no high vulnerabilities. The results have been validated because of the amplification of the FSR method and the resonance ratio resulting from the RDM method is accurate with a precision of 91% which shows that the natural frequency ratio of FSR and RDM is close to one. Based on the results of the method, the highest vulnerability value is on the first floor.

Keyword: *Rayleigh Wafe, vulnerability, mikrotremor*

PENDAHULUAN

Indonesia Secara geografis adalah negara kepulauan yang terletak di pertemuan 3 lempeng tektonik yaitu lempeng Benua Indo-Australia, Pasifik, serta Eurasia. Lempeng Benua Indo-Australia relatif bergerak ke arah utara, Lempeng Pasifik yang relatif bergerak ke arah barat, dan Lempeng Eurasia yang relatif bergerak ke arah barat serta satu lempeng mikro yaitu Lempeng Filipina (Pasau & Tanauma, 2011; Sari, 2016).

Pulau Sumatera merupakan salah satu daerah gempa paling aktif di dunia karena terletak pada pertemuan lempeng (Zona Subduksi) Lempeng Eurasia yang berinteraksi konvergen secara miring dengan Lempeng Indo-Australia (McCaffrey, 2009). Sumatera Barat adalah salah satu Provinsi di Indonesia yang paling rawan akan terjadinya gempa bumi, karena terdapatnya patahan Semangko di daratan serta adanya pertemuan lempeng Australia dan lempeng Eurasia di dasar lautan sebelah barat pulau Sumatera, yang akan memungkinkan akan terjadinya bencana gempa dan tsunami longsor dan kebakaran.

Selain disebabkan oleh bencana gempa bumi, kerusakan bangunan juga disebabkan oleh kerentanan bangunan sehingga bangunan menjadi lebih banyak mengalami keruntuhan. Kerentanan bangunan adalah faktor-faktor yang dapat menyebabkan suatu bangunan rusak atau tidak dapat memenuhi kinerja yang diharapkan apabila terjadi gempa. Faktor kerentanan bangunan erat hubungannya dengan perencanaan perhitungan bencana gempa bumi. Faktor gempa tidak dapat dihindarkan namun harus dihadapi dengan merencanakan bangunan dengan konstruksi yang tahan gempa.

Assessment struktur bangunan merupakan suatu kegiatan penilaian dan pemeriksaan terhadap kondisi struktur bangunan eksisting yang difokuskan pada analisis keandalan atau kekuatan struktur bangunan. Kegiatan *assessment* berfokus kepada analisis kerentanan dan keamanan bangunan tersebut. *Assesment* tanpa merusak dilakukan dengan metode gelombang *rayleigh* dengan bantuan alat mikrotremor. Dari pengukuran yang dilakukan menggunakan mikrotremor, maka didapatkan data-data gelombang *rayleigh* berupa frekuensi natural dan amplitudo dari tanah dan bangunan, yang nantinya diolah dengan bantuan *software*, sehingga diperoleh nilai kerentanan dari bangunan.

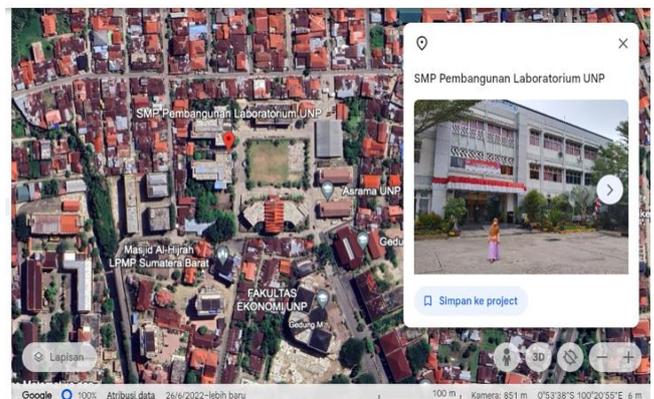
METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Tugas akhir ini membahas mengenai *assessment* tingkat kerentanan dan keamanan bangunan bertingkat dengan pendekatan kuantitatif yang menggunakan data berupa angka dan grafik sehingga hasil yang didapatkan lebih valid. Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan getaran alami bangunan tanpa diberi beban atau gaya luar menggunakan gelombang *rayleigh* dengan menggunakan alat mikrotremor. Kemudian data tersebut diolah dengan bantuan perangkat lunak untuk mendapatkan nilai frekuensi dan juga *time domain*. Nilai tersebut nantinya diolah dengan 3 analisis, yaitu HVSR, FSR dan RDM dengan bantuan *software*. Hasil FSR dan RDM kemudian hasilnya dibandingkan, apabila nilai tersebut memenuhi syarat maka nilai tersebut dapat digunakan untuk mendapatkan tingkat kerentanan bangunan.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini dilakukan pada bangunan SMA Pembangunan Laboratorium Padang yang berlokasi di Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Kec. Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat. Sedangkan proses pengambilan data bangunan berupa pengukuran tinggi bangunan, dimensi kolom, denah bangunan, perizinan melaksanakan penelitian dan data mikrotremor dilakukan mulai pada rentang bulan November 2023. Perekaman menggunakan alat mikrotremor dilakukan pada tanah dan juga tiap lantai pada sekolah SMA Pembangunan Laboratorium padang.



Gambar 1. Lokasi SMA Laboratorium Padang

Table 1. Data Bangunan SMA Bangunan Laboratorium Padang.

No	Tipe Komponen	Keterangan
1	Nama Gedung	SMA Pembangunan Laboratorium Padang
2	Fungsi Gedung	Gedung Sekolah
3	Lokasi	Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Kec. Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat
4	Jumlah Lantai	4 Lantai
5	Tinggi Gedung	14,10 m
6	Lebar Gedung	41 m
7	Panjang Bangunan	50 m
8	Struktur Bangunan	Struktur Beton Bertulang
9	Material Bangunan	Beton dan Tulangan Baja
10	Tinggi Tiap Lantai	a. Base – 3 rd floor: 4 m b. 3 rd floor – Roof: 4 m c. Roof – Top Crown : 2,1 m

Intrument Penelitian

Pada penelitian ini, digunakanlah berbagai macam perangkat yang masing masing memiliki fungsi yang berbeda. Adapaun perangkat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Perangkat Lunak

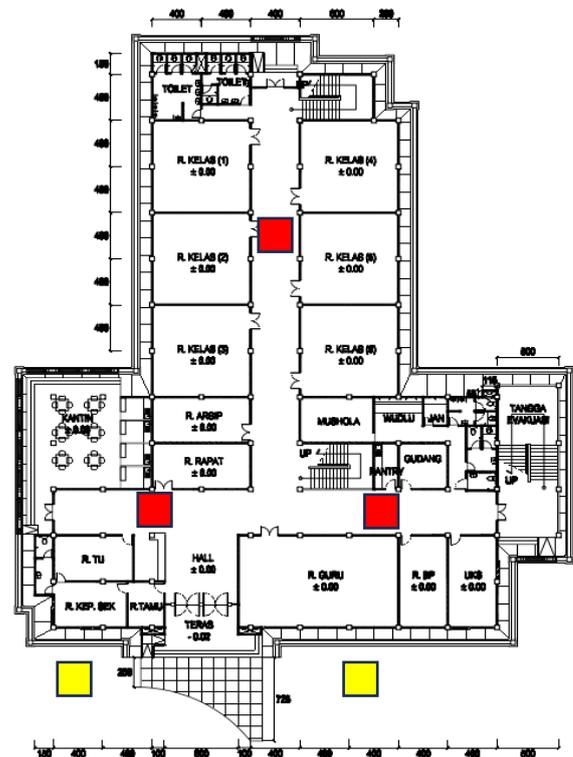
- GPL = GPL ini berfungsi untuk mengubah data yang dihasilkan dari mikrotremor berupa nilai getaran alami dalam bahasa komputer yang tidak mampu dimengerti oleh manusia ke dalam bentuk excel
- Cygwin = Berfungsi untuk mengkonversi data dari format excel ke dalam bentuk format 'dat'
- Bido 2.02 = Berfungsi untuk memperoleh frekuensi gelombang. Software ini gunakan pada saat analisis HVSZ
- Geopsy = Berfungsi untuk menganalisis FSR dan RDM.

2. Perangkat Keras

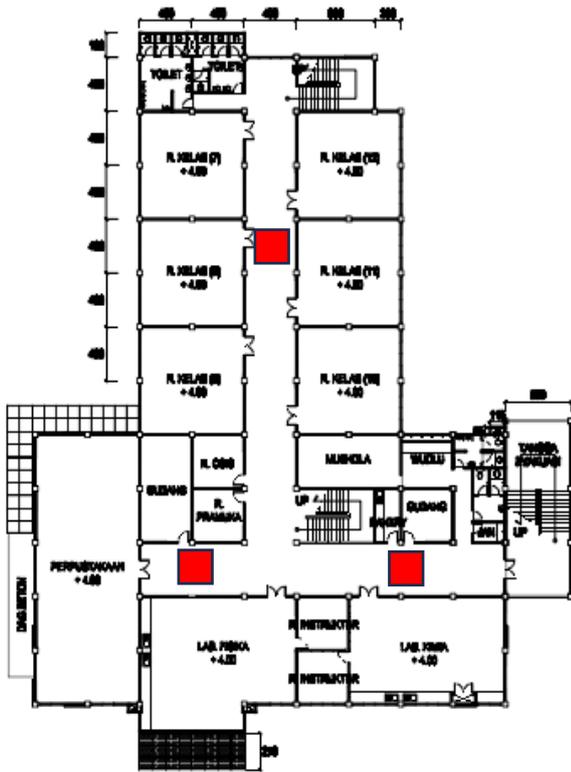
- Alat Mikrotremor = Alat utama dalam perekaman gelombang.
- Waterpass = alat bantu dalam memosisikan mikrotremor dengan rata dan sejajar sebelum perekaman
- Kompas = berfungsi untuk mengarahkan posisi alat ke arah yang ditentukan disaat perekaman belum dimulai.

Teknik Pengambilan Data

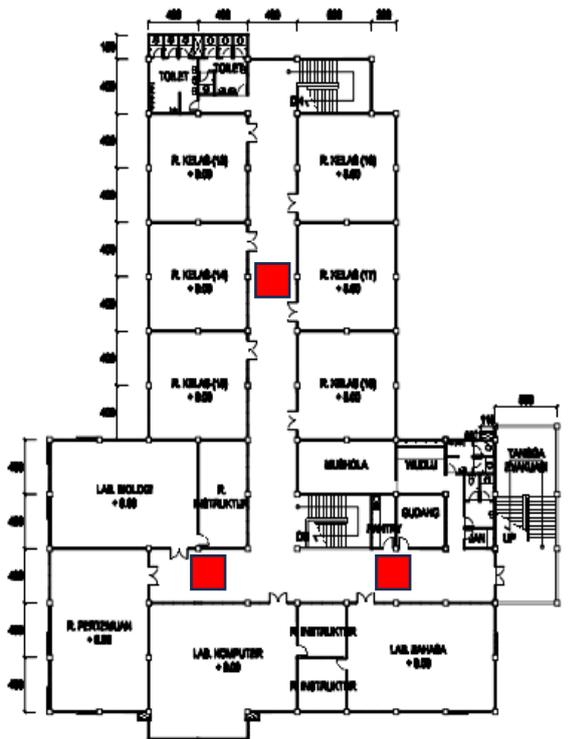
Teknik pengambilan data pada penelitian ini bersumber dari data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari lapangan sehingga bersifat real time. Data tersebut berasal dari hasil pengamatan secara visual berupa pengukuran dimensi elemen struktur bangunan. Pengambilan data mikrotremor dilakukan pada 3 titik tiap lantai dengan merekam gelombang seismik menggunakan peralatan mikrotremor pada bangunan yang diteliti. Pada perekaman tersebut, alat mikrotremor dihadapkan kearah utara pada masing masing titik peletakan. Data dari pengukuran tersebut adalah respon kecepatan bangunan terhadap waktu dan nilai kepadatan bangunan. Data sekunder adalah data yang bersumber dari catatan yang ada di suatu atau beberapa sumber. Pada penelitian ini data sekunder berupa informasi yang didapatkan melalui dokumen-dokumen perencanaan proyek bangunan SMA Pembangunan Laboratorium Padang. Data tersebut berupa gambar perencanaan dan spesifikasi teknis bangunan.



Gambar 2. Posisi perletakan alat mikrotremor lantai 1



Gambar 3. Posisi perletakan alat mikrotremor lantai 2

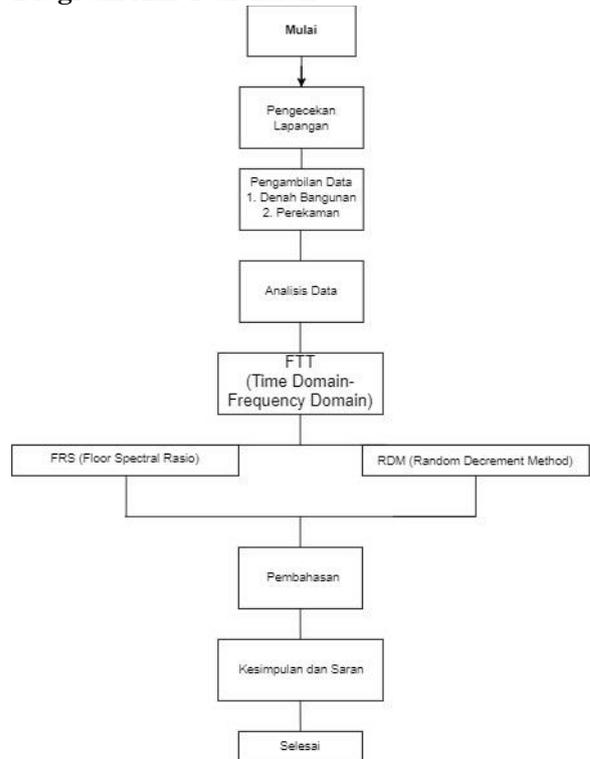


Gambar 4. Posisi perletakan alat mikrotremor lantai 3

Ket :

- : Posisi Letak Alat Pada Bangunan
- : Posisi Letak Alat Pada Tanah

Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

ANALISIS DATA

A. Analisis Mikrotremor

1. HVSR

Metode HVSR membandingkan spektrum komponen horizontal dengan komponen vertikal gelombang mikrotremor. Metode ini memperkirakan mikrotremor dari jenis gelombang *Rayleigh*, berdasarkan waktu puncak rasio H/V gelombang S. Rasio H/V dan mikrotremor adalah dua hal yang dapat menciptakan nilai.

2. Floor Spectral Ratio (FSR)

Metode ini diterapkan tiap lantai terhadap bangunan Perpustakaan Pusat UNP. dari kerentanan bangunan dapat dihitung setelah didapatkannya nilai amplifikasi dan frekuensi natural bangunan. Nilai indeks kerentanan (K_b) didapatkan dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Nakamura, dkk (2009 dalam (Prastowo & Prabowo, 2017) pada persamaan (1) :

$$\bar{K}_b = \frac{A}{(2\pi f)^2 H} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

K_b = Kerentanan Bangunan

A = Amplifikasi

f = Frekuensi Natural

H = Tinggi Bangunan (m)

Penentuan suatu bangunan diketahui Indeks kerentanan dapat dilakukan dengan melihat nilai dari sudut drift menggunakan nilai

kerentanan bangunan yang telah didapatkan. Secara umum, bangunan akan runtuh ketika mencapai nilai sudut drift pada rentang 1/100 – 1/200 Sato et al., (2008 dalam Hadianfard et al., 2017). Displacement (δ_i) lantai i didapatkan dari frekuensi alami natural f dan amplitudo A_i lantai i dengan persamaan (2) sebagai berikut :

$$\delta_i = \frac{A \times \alpha}{(2\pi F)^2} \dots\dots\dots(2)$$

Sehingga nilai sudut drift dapat ditentukan dengan persamaan (3) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \gamma_i &= (\delta_{i+1} - \delta_i) / h_i \\ &= \Delta A_i \times \alpha / (2\pi F)^2 / h_i \\ &= e \times K_{bi} \times a \end{aligned} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

- γ I = Sudut Drift
- e = Efisiensi gerak gempa yang bekerja untuk struktur
- α = Akselerasi, bernilai 398 gal untuk gempa Padang 2009.
- h_i = Tinggi Lantai

3. Random Decrement Method (RDM)

Tahap sebelum dilakukan proses RDM yaitu menggunakan analisis band pass filter untuk menentukan frekuensi yang diharapkan. Parameter band pass filter ini di ambil dari hasil range frekuensi pada analisis metode FSR. Prinsip dari metode RDM yaitu untuk menghitung *damping* rasio (rasio redaman) dan frekuensi natural bangunan dengan melakukan band pass filtering dan evaluasi frekuensi natural dari spektrum fourier (Ayi & Bahri, 2012). Proses ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak geopsy pada menu *damping toolbox*. Hubungan frekuensi natural FSR dan RDM haruslah mendekati demi memeriksa keandalan dan keakuratan rasio redaman bangunan (Dunand et al., 2002

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Analisis HVSR, FSR, dan RDM

Pengolahan data perekaman mikrotremor pada tanah menggunakan metode HVSR nantinya akan diolah menggunakan perangkat lunak Bido 2.02 dan dihasilkanlah data berupa frekuensi natural tanah dan aplikikasi. Data yang didapatkan adalah sebagai berikut :

Table 2. Perhitungan HVSR Pada Tanah

Perhitungan HVSR Tanah		
Titik Penelitian	Frekuensi (Hz)	Amplifikasi
	f_0	A_0
Tanah	0,3176855	0,986204

Nilai frekuensi natural dari pengolahan HVSR menyatakan frekuensi alami yang terdapat di daerah tersebut. Hal ini menyatakan bahwa jika terjadi getaran yang memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi natural, maka akan terjadi resonansi yang mengakibatkan amplifikasi gelombang seismik di area tersebut (Tanjung et al., 2019). Frekuensi natural tanah dapat menentukan jenis karakteristik tanah.

Nilai frekuensi didapatkan sebesar 0,3176855 Hz. Ditinjau pada tabel 3 Maka diketahui klasifikasi tanah pada daerah SMA Laboratorium Padang, yaitu tipe I Jenis IV, tersusun atas batuan alluvial, terbentuk dari sedimentasi deta, top soil, lumpur, dengan Kedalaman ≥ 30

Table 3. Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Natural.

Klasifikasi Tanah		Fo(Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
IV	I	6,667 - 20	Batuan tersier atau lebih tua	Didominasi oleh batuan keras.
III	II	4,0 - 10	Batuan tersier atau lebih tua	Ketebalan sedimen menengah 5-10m
II	III	2,5 - 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan lebih dari 5m	Ketebalan sedimen sekitar 10-30m
I	IV	Kurang dari 2,5	Batuan alluvial, Kedalaman ≥ 30 m	Ketebalan sedimen permukaan sangatlah tebal.

Table 4. Data Frekuensi dan Amplitudo arah x (EW) untuk metode FSR.

Lantai	Arah X (EW)							
	Perekaman Pertama		Perekaman Kedua		Perekaman Ketiga		Rata - rata	
	Fo	Ao	Fo	Ao	Fo	Ao	Fo	Ao
1	3,87	9,67	3,60	7,45	3,37	6,75	3,61	7,96
2	3,84	4,71	3,80	3,52	4,46	3,15	4,03	3,79
3	3,84	5,88	3,90	5,71	4,49	5,53	4,08	5,71

Table 5. Data Frekuensi dan Amplitudo Arah y (NS) untuk Metode FSR.

Lantai	Arah y (NS)							
	Perekaman Pertama		Perekaman Kedua		Perekaman Ketiga		Rata - rata	
	Fo	Ao	Fo	Ao	Fo	Ao	Fo	Ao
1	3,45	6,96	3,87	9,71	4,62	5,86	3,98	7,51
2	3,57	4,76	3,51	6,30	3,45	3,06	3,51	4,71
3	3,59	6,07	3,55	8,58	3,45	7,26	3,53	7,30

Table 6. Data Frekuensi dan Redaman Arah x (EW) untuk Metode RDM

Lantai	Arah x (EW)							
	Perekaman Pertama		Perekaman Kedua		Perekaman Ketiga		Rata - rata	
	Fo	Ao	Fo	Ao	Fo	Ao	Fo	Ao
1	2,16	4,29	2,33	7,39	2,12	4,19	2,20	5,29
2	2,40	6,70	2,21	5,36	2,12	3,74	2,24	5,27
3	2,52	12,40	2,21	6,11	2,08	4,72	2,27	7,74

Table 7. Data Frekuensi dan Redaman Arah y (NS) untuk Metode RDM

Lantai	Arah x (NS)							
	Perekaman Pertama		Perekaman Kedua		Perekaman Ketiga		Rata - rata	
	Fo	Ao	Fo	Ao	Fo	Ao	Fo	Ao
1	2,41	6,38	2,20	3,79	2,19	5,41	2,27	5,19
2	2,11	6,83	2,27	7,00	2,17	4,16	2,18	6,00
3	2,16	3,54	2,15	3,49	2,21	7,07	2,17	4,70

Table 8. Rekapitulasi Perhitungan untuk Drift Angle arah x ($\alpha = 398$ gal)

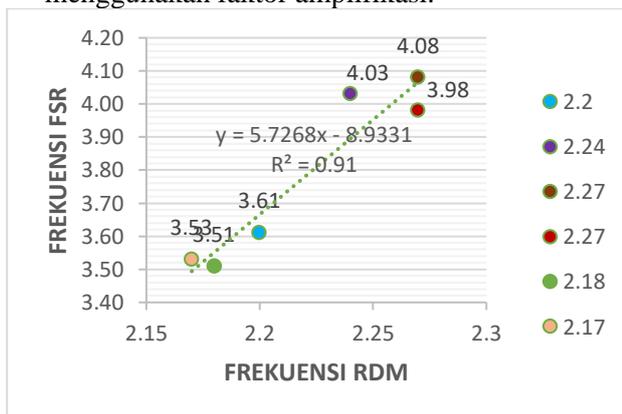
Lantai	Tinggi lantai	Floor Spectral Ratio (FSR)							Ket
		f_0 (Hz)	A	K_b	e	α	δ	γ	
1	4,00	3,61	7,96	38,72	0,5	398	6,163997	0,00770	Not ok
2	8,00	4,03	3,79	7,40	0,5	398	2,355011	0,00147	ok
3	12,00	4,08	5,71	7,25	0,5	398	3,461621	0,00144	ok

Table 9. Rekapitulasi Perhitungan untuk Drift Angle arah Y ($\alpha = 398$ gal)

Lantai	Tinggi lantai	Floor Spectral Ratio (FSR)							Ket
		f_0 (Hz)	A	K_b	e	α	δ	γ	
1	4,00	3,98	7,51	30,05	0,5	398	4,784511	0,00598	Not ok
2	8,00	3,51	4,71	12,12	0,5	398	3,858073	0,00241	ok
3	12,00	3,53	7,30	12,38	0,5	398	5,912038	0,00246	ok

2. Korelasi Frekuensi Natural Antara Metode FSR dan RDM

Hasil yang didapatkan pada pengolahan data mikrotremor haruslah valid, maka dari itu diperlukan validasi frekuensi natural (f_0) yang diperoleh dari pendekatan FSR dan RDM. Hasil dari analisis dari pendekatan dari metode FSR dan RDM dapat dilihat pada tabe 5, 6, 7, dan 8 berdasarkan grafik tersebut diketahui nilai $R^2 = 0,91$ (Gambar 42) yang berarti amplifikasi dari metode FSR dan rasio redaman yang dihasilkan metode RDM adalah akurat dengan ketelitian 91% yang menunjukkan perbandingan frekuensi natural dari FSR dan RDM hampir mendekati satu. Maka analisis yang dilakukan menghasilkan data yang akurat. Oleh karena itu indeks kerentanan rata rata bangunan dihitung menggunakan faktor amplifikasi.



Gambar 6. Perbandingan Frekuensi Natural FSR dan RDM

3. Perhitungan Sudut Drift Bangunan

Nilai drift angle pada bangunan SMA Pembangunan Laboratorium Padang untuk gempa Padang ($\alpha = 398$ gal) pada lantai 1 arah X dan Y yaitu 0,00770 dan 0,00598, pada lantai 2 arah X dan Y yaitu 0,00147 dan 0,00241, pada lantai 3 arah X dan Y yaitu 0,00144 dan 0,00246. Sebuah struktur akan runtuh (collapse) dengan nilai drift angle (δ) (1/100-1/200) (Sato dkk., 2008). Berdasarkan perhitungan drift angle diketahui bahwasanya lantai 1 arah X dan Y pada bangunan SMA Pembangunan Laboratorium Padang memiliki resiko tingkat kerentanan yang tinggi karena berada diantara (1/100-1/200) sedangkan pada lantai 2 dan 3 tidak termasuk pada rentang tersebut jika merespon getaran gempa dengan seismic motion (α) 398 gal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data pada sekolah SMA Pembangunan Laboratorium Padang menggunakan gelombang Rayleigh diketahui bahwa pada lantai 1 memiliki kerentanan yang tinggi karena berada pada rentang 1/100-1/200 terhadap gempa 398 gal (2009) dan pada lantai 2 dan 3 tidak memiliki kerentanan yang tinggi. Hasil tersebut memiliki validasi karena amplifikasi dari metode FSR dan rasio redaman yang dihasilkan metode RDM adalah akurat dengan ketelitian 91% yang menunjukkan perbandingan frekuensi natural dari FSR dan RDM hampir mendekati satu.

SARAN

1. Pada saat pengambilan data menggunakan alat mikrotremor pada bangunan SMA Laboratorium Padang, peneliti melakukan pengambilan data pada sore hari. Selain itu pada saat pengambilan data masih adanya siswa siswi berkeliaran pada saat itu, sebaiknya pengambilan data dilakukan pada malam hari saat bangunan benar benar tidak adanya gangguan sehingga hasil yang didapatkan juga akan lebih baik.
2. Berdasarkan hasil pengolahan data bangunan SMA Laboratorium Padang, keadaan bangunan pada lantai 1 memiliki tingkat kerentanan yang cukup tinggi. Disarankan kepada pihak sekolah agar selalu melakukan melakukan pemeliharaan dan pemeriksaan secara berkala agar bangunan selalu terjaga dan aman untuk ditempati.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayi, W. V., & Bahri, S. (2012). Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kekuatan Bangunan Studi Kasus Gedung Perpustakaan ITS. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 1(1), B52–B56. http://ejournal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/435
- Hidayat, R. G., Afifuddin, M., & Idris, Y. (2020). PERHITUNGAN FREKUANSI NATURAL DAN DAMPING RATIO PADA BENCANA TSUNAMI DESA ULEE LHEUE DAN DESA LAMBUNG. *Journal of The Civil Engineering Student*, 2(3), 267–273.
- Larasati, N.-. (2022). UJI KERENTANAN BANGUNAN RUSUNAWA BERDASARKAN HVSr (HORIZONTAL TO SPECTRAL RATIO) DAN FSR (FLOOR SPECTRAL RATIO). *Jurnal Geosaintek*, 8(1), 151. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v8i1.12272>

McCaffrey, R. (2009). The tectonic framework of the sumatran subduction zone. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 37, 345–366. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.031208.100212>

Mustafa, B. (t.t.). ANALISIS GEMPA NIAS DAN GEMPA SUMATERA BARAT DAN KESAMAANNYA YANG TIDAK MENIMBULKAN TSUNAMI. Dalam JIF) (Vol. 2, Nomor 1).

Nurwijayanto Prabowo, U., Budhi, W., & Fitri Amalia, A. (t.t.). Analisis Mikrotremor Untuk Mengevaluasi Kerentanan Gempabumi Ruang Prodi Pend Fisika UST Microtremor Analysis To Evaluate Earthquakes Vulnerability of UST-Physics Education Study Program Buildings.

Pasau,0G.,0&0Tanauma,0A. (2011). “Pemodelan Sumber Gempa di Wilayah Sulawesi Utara Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi.” *Jurnal Ilmiah Sains*, 11(2), 202-209.

Putra, Rusnardi. R., Iqbal, M., & Juliafad, E. (t.t.). ASSESSMENT TINGKAT KERENTANAN BANGUNAN BALAI KOTA PADANG SEBAGAI BANGUNAN CAGAR BUDAYA DENGAN RAYLEIGH WAVE (Vol. 3, Nomor 4).

Putra, Rusnardi. R., & Saputra, D. (2022). Assessment Tingkat Kerentanan Bangunan Bertingkat di Kampus Universitas Negeri Padang Menggunakan Gelombang Rayleigh. *Serambi Engineering*, VII(1).