

Evaluasi Bangunan Engineering Laboratory Universitas Jambi Menggunakan Teknologi Mikrotremor

Sintia Anggraini-1^{a*}, Tugiyono Aminoto-2^a, Ichy Lucy Resto-3^a

^aProdi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi
Jalan Lintas Jambi-Ma. Bulian. Muaro Jambi, Jambi, Indonesia

*Email : sintiaanggraini44@gmail.com, tugiyono@unja.ac.id, ichylucy@unja.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan wilayah yang memiliki tingkat aktivitas seismik tinggi sehingga evaluasi karakteristik dinamis bangunan menjadi penting untuk mendukung upaya mitigasi risiko gempa bumi. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik dinamis Gedung Engineering Laboratory Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi menggunakan metode mikrotremor. Akuisisi data dilakukan pada 16 titik pengukuran yang terdiri atas 4 titik tanah dan 12 titik bangunan menggunakan seismograf tiga komponen MAE A6000S dengan durasi perekaman 45 menit pada setiap titik. Data diolah menggunakan perangkat lunak Geopsy melalui analisis *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr), *Floor Spectral Ratio* (FSR), dan *Random Decrement Method* (RDM) untuk memperoleh frekuensi dominan tanah, frekuensi natural bangunan, rasio redaman, tingkat resonansi, serta indeks kerentanan bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa frekuensi dominan tanah berada pada rentang 1,3–2,1 Hz dengan nilai amplifikasi 1,2–1,8 dan indeks kerentanan seismik yang tergolong rendah. Frekuensi natural bangunan berada pada rentang 4,04–5,94 Hz dengan rasio redaman sebesar 4,88–6,11%, yang menunjukkan kemampuan struktur dalam meredam energi getaran masih berada pada kondisi baik. Perbedaan yang cukup besar antara frekuensi dominan tanah dan frekuensi natural bangunan menghasilkan potensi resonansi yang rendah, sedangkan nilai indeks kerentanan bangunan berada jauh di bawah batas aman. Berdasarkan hasil tersebut, Gedung Engineering Laboratory Universitas Jambi memiliki karakteristik dinamis yang baik dengan tingkat kerentanan terhadap pengaruh getaran seismik yang rendah. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode mikrotremor merupakan pendekatan non-destruktif yang efektif untuk mengevaluasi kondisi dinamis bangunan dan dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam pemantauan kesehatan struktur serta perencanaan mitigasi risiko gempa pada bangunan bertingkat.

Kata Kunci : Mikrotremor, HVSr, FSR, RDM, Resonansi

1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Kondisi tersebut menyebabkan wilayah Indonesia memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi dan berpotensi mengalami gempa bumi dalam berbagai

skala [1]. Salah satu wilayah yang dipengaruhi aktivitas tektonik tersebut adalah Provinsi Jambi yang berada di sekitar jalur Sesar Sumatra atau Sesar Semangko. Aktivitas sesar ini dapat menimbulkan getaran tanah yang berdampak terhadap kondisi bangunan, khususnya bangunan bertingkat yang

digunakan untuk aktivitas publik dan pendidikan [2].

Bangunan bertingkat memiliki karakteristik dinamis yang dipengaruhi oleh kondisi tanah dasar, material bangunan, bentuk struktur, serta usia bangunan. Ketika terjadi gempa bumi, bangunan akan mengalami respons dinamis akibat rambatan gelombang seismik dari tanah menuju struktur bangunan. Respons tersebut dapat berupa deformasi, getaran berlebih, hingga kerusakan struktur apabila frekuensi alami tanah mendekati frekuensi natural bangunan. Fenomena tersebut dikenal sebagai resonansi, yaitu kondisi ketika frekuensi sumber getaran sama atau mendekati frekuensi alami suatu struktur sehingga amplitudo getaran meningkat secara signifikan [3]. Resonansi dapat meningkatkan risiko kerusakan bangunan, terutama pada bangunan bertingkat yang memiliki kekakuan struktur rendah atau berada di atas lapisan sedimen lunak.

Tingginya aktivitas seismik di Indonesia menjadikan evaluasi kondisi bangunan sebagai salah satu langkah penting dalam mitigasi risiko bencana. Tingkat kerusakan bangunan akibat gempa tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya magnitudo gempa, tetapi juga oleh karakteristik tanah, kualitas material, sistem struktur, usia bangunan, serta interaksi antara tanah dan bangunan (*soil-structure interaction*). Interaksi tersebut menentukan bagaimana energi gelombang seismik diteruskan dari tanah menuju struktur sehingga setiap bangunan dapat memberikan respons yang berbeda terhadap guncangan dengan intensitas yang sama. Oleh karena itu, identifikasi karakteristik dinamis bangunan menjadi tahapan penting dalam menilai tingkat keamanan struktur sebagai bagian dari upaya mitigasi bencana dan pengelolaan aset infrastruktur [4], [5].

Bangunan pendidikan merupakan salah satu infrastruktur publik yang memerlukan perhatian khusus terhadap aspek keselamatan karena digunakan secara rutin oleh mahasiswa, dosen, tenaga

kependidikan, serta masyarakat umum. Selain berfungsi sebagai sarana pembelajaran, bangunan pendidikan juga menjadi tempat penyimpanan berbagai peralatan laboratorium, instrumen penelitian, dan aset institusi yang memiliki nilai tinggi. Kerusakan struktur akibat aktivitas seismik tidak hanya berpotensi mengganggu proses akademik, tetapi juga dapat menimbulkan kerugian ekonomi dan membahayakan keselamatan pengguna bangunan. Oleh sebab itu, evaluasi kondisi bangunan secara berkala diperlukan untuk memastikan bangunan tetap memenuhi aspek keamanan dan kelayakan operasional [6].

Engineering Laboratory Universitas Jambi merupakan salah satu gedung bertingkat yang digunakan sebagai fasilitas akademik, praktikum, dan penelitian mahasiswa. Gedung ini memiliki intensitas penggunaan yang tinggi sehingga keamanan dan kestabilan struktur bangunan perlu diperhatikan. Selain digunakan sebagai ruang pembelajaran, bangunan ini juga menjadi tempat penyimpanan berbagai peralatan laboratorium yang sensitif terhadap getaran. Oleh sebab itu, evaluasi kondisi struktur bangunan sangat diperlukan untuk mengetahui tingkat keamanan bangunan terhadap pengaruh getaran seismik maupun getaran lingkungan lainnya [7].

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam evaluasi bangunan adalah metode mikrotremor. Mikrotremor merupakan getaran alami dengan amplitudo kecil yang berasal dari aktivitas alam maupun aktivitas manusia, seperti lalu lintas kendaraan, aktivitas industri, angin, dan aktivitas manusia di sekitar lingkungan pengukuran [8]. Metode ini bersifat non-destruktif karena tidak memberikan beban tambahan pada bangunan dan tidak merusak struktur yang diteliti. Selain itu, metode mikrotremor relatif mudah dilakukan, memiliki biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan metode destruktif, serta mampu memberikan

informasi karakteristik dinamis tanah dan bangunan secara efektif [9].

Seiring berkembangnya teknologi pemantauan struktur (*Structural Health Monitoring*), metode mikrotremor semakin banyak diterapkan dalam evaluasi kondisi bangunan karena mampu memperoleh karakteristik dinamis struktur melalui pengukuran getaran ambien tanpa mengganggu aktivitas bangunan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa metode ini dapat digunakan untuk menentukan frekuensi natural, pola amplifikasi getaran, rasio redaman, hingga perubahan perilaku dinamis bangunan yang dapat dijadikan indikator awal adanya penurunan kualitas struktur. Dibandingkan metode pengujian destruktif maupun *loading test*, metode mikrotremor lebih efisien, ekonomis, serta dapat diterapkan pada bangunan yang masih aktif digunakan sehingga menjadi salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan dalam bidang rekayasa sipil dan mitigasi bencana [10].

Metode mikrotremor dapat digunakan untuk menentukan frekuensi dominan tanah, nilai amplifikasi tanah, frekuensi natural bangunan, rasio redaman struktur, serta potensi resonansi antara tanah dan bangunan. Salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam analisis mikrotremor adalah metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr). Metode HVSr digunakan untuk memperoleh frekuensi alami tanah berdasarkan perbandingan spektrum horizontal terhadap vertikal dari sinyal mikrotremor [11]. Nilai frekuensi alami tanah dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan sedimen dan tingkat kerentanan tanah terhadap penguatan gelombang seismik.

Selain metode HVSr, analisis bangunan juga dapat dilakukan menggunakan metode Floor Spectral Ratio (FSR). Metode FSR digunakan untuk mengetahui respons dinamis bangunan melalui perbandingan spektrum getaran antar lantai bangunan [12]. Dengan metode ini dapat diketahui frekuensi natural bangunan dan pola amplifikasi getaran pada

setiap lantai. Pada umumnya, amplitudo getaran akan mengalami peningkatan pada lantai yang lebih tinggi akibat pengaruh respons dinamis struktur bangunan bertingkat. Informasi tersebut penting untuk mengetahui perilaku struktur bangunan terhadap pengaruh getaran eksternal.

Analisis karakteristik bangunan juga dapat dilengkapi menggunakan Random Decrement Method (RDM). Metode ini digunakan untuk menentukan rasio redaman struktur bangunan berdasarkan data getaran ambien [13] [14]. Rasio redaman merupakan parameter penting dalam evaluasi bangunan karena menunjukkan kemampuan struktur dalam meredam energi getaran. Bangunan dengan rasio redaman yang baik cenderung lebih stabil dan memiliki tingkat kerentanan lebih rendah terhadap kerusakan akibat getaran seismik.

Berbagai penelitian sebelumnya umumnya hanya berfokus pada karakterisasi tanah menggunakan metode HVSr atau mengevaluasi respons struktur menggunakan metode FSR secara terpisah. Penelitian yang mengintegrasikan analisis HVSr, FSR, dan RDM untuk mengevaluasi karakteristik tanah dan bangunan secara bersamaan masih relatif terbatas, khususnya pada bangunan laboratorium di lingkungan perguruan tinggi. Padahal, kombinasi ketiga metode tersebut mampu memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara karakteristik tanah, frekuensi natural bangunan, kemampuan redaman struktur, serta potensi terjadinya resonansi yang dapat memengaruhi tingkat kerentanan bangunan terhadap gempa [15], [16].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi karakteristik dinamis Gedung Engineering Laboratory Universitas Jambi menggunakan metode mikrotremor melalui pendekatan *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr), *Floor Spectral Ratio* (FSR), dan *Random Decrement Method* (RDM).

Analisis dilakukan untuk menentukan frekuensi alami tanah, frekuensi natural bangunan, nilai amplifikasi, rasio redaman, potensi resonansi tanah–bangunan, serta tingkat kerentanan bangunan terhadap pengaruh getaran seismik. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengelolaan dan pemeliharaan bangunan laboratorium, sekaligus menjadi referensi penerapan metode mikrotremor sebagai teknik evaluasi struktur non-destruktif pada bangunan pendidikan di wilayah yang memiliki potensi aktivitas seismik.

2. Metodologi

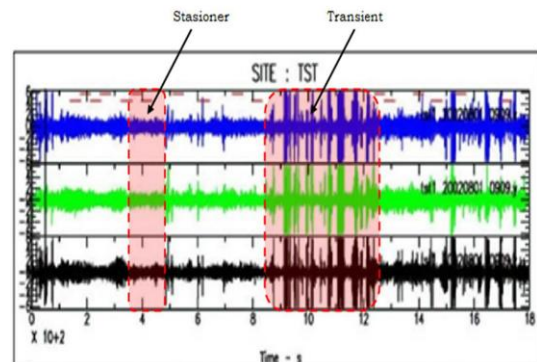
Penelitian dilakukan di Gedung Engineering Laboratory Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi. Gedung ini merupakan bangunan bertingkat tiga yang digunakan sebagai fasilitas praktikum, penelitian, dan kegiatan akademik mahasiswa. Akuisisi data dilakukan menggunakan seismograf tiga komponen pada beberapa titik pengukuran tanah dan bangunan. Pengambilan data dilakukan selama 30–45 menit pada setiap titik untuk memperoleh data getaran ambien yang representatif. Durasi pengukuran tersebut dipilih agar sinyal mikrotremor yang terekam cukup stabil serta mampu merepresentasikan kondisi getaran lingkungan di sekitar lokasi penelitian [17]. Data yang diperoleh terdiri atas komponen vertikal (UD), utara–selatan (NS), dan timur–barat (EW) yang selanjutnya digunakan dalam proses analisis karakteristik dinamis tanah dan bangunan.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Citra Satelit Ditandai Kotak Merah

Pengambilan data menggunakan Seismograf tiga komponen tipe MAE A6000S dengan durasi pengukuran 45 menit di setiap titik sesuai standar [18]. Akuisisi data dilakukan dengan frekuensi sampling 100 Hz, sehingga setiap komponen getaran direkam sebanyak 100 data setiap detik. Frekuensi sampling tersebut dinilai memadai untuk mengidentifikasi frekuensi dominan tanah maupun frekuensi natural bangunan pada rentang frekuensi yang menjadi objek penelitian [19]. Total 16 titik pengukuran digunakan, terdiri atas 4 titik di area tanah dan 12 titik pada tiga lantai bangunan, dengan masing-masing empat titik pengukuran pada setiap lantai. Sebaran titik pengukuran disusun untuk memperoleh gambaran karakteristik dinamis tanah sekaligus respons struktur bangunan secara menyeluruh.

Prosedur akuisisi dilakukan dengan meletakkan seismometer pada permukaan yang rata dan stabil serta mengarahkan sensor ke arah utara agar orientasi komponen horizontal tetap konsisten. Selanjutnya sensor dihubungkan dengan seismograf MAE A6000S menggunakan kabel penghubung dan sumber daya baterai (AKI). Sebelum proses perekaman dimulai dilakukan pemeriksaan kondisi alat dan kualitas sinyal untuk memastikan seluruh komponen sensor berfungsi dengan baik. Selama proses pengukuran diupayakan meminimalkan gangguan di sekitar alat ukur, seperti aktivitas manusia maupun getaran lokal yang dapat memengaruhi kualitas data mikrotremor.



Gambar 2. Ilustrasi Rekaman Mikrotremor (SESAME, 2004)

Data mikrotremor diolah menggunakan perangkat lunak Geopsy. Tahapan pengolahan diawali dengan pemeriksaan kualitas data (*quality control*) untuk menghilangkan sinyal yang mengandung gangguan (*noise*) berlebih. Selanjutnya dilakukan proses *windowing* dengan durasi 25 detik dan minimal 20 *window* agar data yang digunakan memiliki karakteristik yang stabil. Data pada domain waktu kemudian ditransformasikan ke domain frekuensi menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT), kemudian dilakukan proses *smoothing* menggunakan filter Konno-Ohmachi dengan bandwidth sebesar 40 untuk memperoleh spektrum frekuensi yang lebih halus dan memudahkan identifikasi nilai puncak spektrum. Tahapan pengolahan tersebut merupakan prosedur yang umum digunakan dalam analisis mikrotremor untuk memperoleh parameter dinamis tanah dan bangunan [20].

Analisis data dilakukan secara terintegrasi menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr), *Floor Spectral Ratio* (FSR), dan *Random Decrement Method* (RDM). Metode HVSr digunakan untuk menentukan frekuensi dominan tanah (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0) berdasarkan perbandingan spektrum horizontal terhadap spektrum vertikal sinyal mikrotremor. Nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung Indeks Kerentanan Seismik (K_g) sebagai indikator tingkat kerentanan tanah terhadap penguatan gelombang seismik.

Metode FSR digunakan untuk mengevaluasi respons dinamis bangunan melalui perbandingan spektrum getaran antar lantai. Pada penelitian ini, lantai dasar digunakan sebagai titik referensi karena merupakan bagian struktur yang menerima respons getaran paling dekat dengan fondasi. Hasil analisis FSR digunakan untuk memperoleh frekuensi natural bangunan dan pola amplifikasi getaran pada masing-masing lantai. Nilai frekuensi natural bangunan kemudian dibandingkan

dengan frekuensi dominan tanah untuk mengevaluasi potensi terjadinya resonansi antara tanah dan bangunan [21].

Selanjutnya, metode Random Decrement Method (RDM) digunakan untuk memperoleh frekuensi natural dan rasio redaman (ζ) bangunan berdasarkan data getaran ambien. Rasio redaman menggambarkan kemampuan struktur dalam meredam energi getaran sehingga dapat digunakan sebagai salah satu parameter dalam mengevaluasi kondisi dinamis bangunan. Berdasarkan parameter-parameter yang diperoleh dari analisis HVSr, FSR, dan RDM, selanjutnya dihitung Indeks Kerentanan Bangunan (K_b) serta dilakukan analisis terhadap tingkat resonansi tanah–bangunan untuk menilai tingkat keamanan struktur Gedung Engineering Laboratory Universitas Jambi terhadap pengaruh getaran seismik.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis HVSr

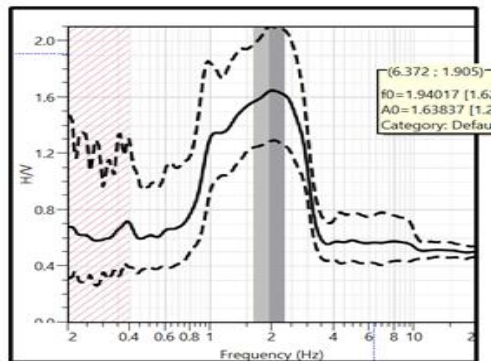
Analisis *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) dilakukan pada empat titik pengukuran tanah untuk memperoleh nilai frekuensi dominan tanah (f_0), faktor amplifikasi (A_0), serta indeks kerentanan seismik (K_g). Parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan karakteristik dinamis tanah yang menjadi dasar dalam mengevaluasi potensi penguatan gelombang seismik dan kemungkinan terjadinya resonansi dengan struktur bangunan.

Tabel 1. Hasil Analisis HVSr Titik Pengukuran Tanah

Titik	f_0 (Hz)	A_0	K_g
T1	1,9	1,6	1,35
T2	2,1	1,8	1,54
T3	1,3	1,2	1,11
T4	1,7	1,2	0,85

Berdasarkan tabel 1, nilai frekuensi dominan tanah (f_0) berada pada rentang 1,3-2,1 Hz, sedangkan faktor amplifikasi (A_0) berkisar 1,2-1,8. Seluruh titik pengamatan memiliki nilai indeks

kerentanan seismik (K_g) kurang dari 2, yang menunjukkan bahwa kondisi tanah pada lokasi penelitian memiliki tingkat kerentanan yang relatif rendah terhadap penguatan gelombang seismik.



Gambar 3. Kurva HVSR T1

Kurva HVSR pada gambar 3 memperlihatkan adanya satu puncak spektrum yang jelas (*single peak*), sehingga frekuensi dominan tanah dapat diidentifikasi dengan baik. Bentuk kurva seperti ini menunjukkan bahwa kondisi lapisan bawah permukaan relatif homogen dan tidak mengalami gangguan spektral yang signifikan selama proses perekaman.

Nilai f_0 berkisar antara 1,3 Hz (T3) hingga 2,1 Hz (T2). Nilai f_0 terendah pada T3 mengindikasikan lapisan sedimen yang relatif lebih tebal, sedangkan nilai tertinggi pada T2 menunjukkan batuan dasar yang berada pada kedalaman lebih dangkal [17]. Nilai amplifikasi pada seluruh titik berada di bawah 3 sehingga termasuk kategori amplifikasi rendah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa lapisan tanah di lokasi penelitian tidak memberikan efek penguatan getaran yang signifikan. Nilai K_g berkisar 0,85-1,54, seluruhnya berada pada kategori rendah ($K_g < 3$), sehingga secara umum karakteristik tanah di sekitar Gedung Engineering Laboratory tergolong stabil dan memiliki tingkat kerentanan seismik yang rendah.

Analisis FSR

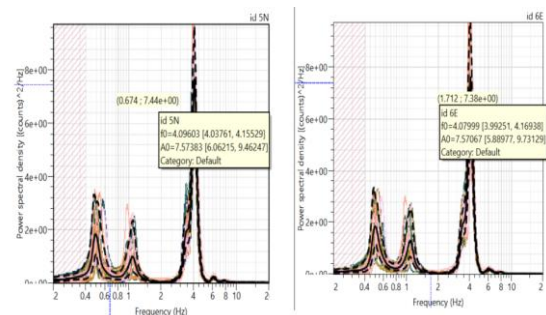
Analisis *Floor Spectral Ratio* (FSR) dilakukan untuk memperoleh frekuensi natural bangunan serta mengetahui pola amplifikasi getaran pada setiap lantai.

Analisis dilakukan pada 12 titik pengukuran yang tersebar pada tiga lantai bangunan dengan menggunakan lantai dasar sebagai titik referensi. Hasil analisis FSR ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis FSR Titik Pengukuran Bangunan

Titik	Lantai	EW		NS	
		f_0 (Hz)	A_0	f_0 (Hz)	A_0
L1_1	1	4,07	7,57	4,09	7,57
L1_2		4,06	8,34	4,04	7,73
L1_3		4,15	10,40	4,16	11,02
L1_4		4,15	10,72	4,11	11,66
L2_1	2	4,23	8,81	4,18	10,09
L2_2		4,04	4,09	4,05	4,40
L2_3		4,72	8,74	4,68	8,58
L2_4		4,71	8,93	4,73	8,88
L3_1	3	4,21	8,71	4,19	9,65
L3_2		5,43	12,00	5,38	12,50
L3_3		5,94	9,68	5,90	10,80
L3_4		5,92	12,32	5,90	13,30

Berdasarkan tabel 2, nilai frekuensi natural bangunan berada pada rentang 4,04-5,94 Hz, sedangkan nilai amplitudo berkisar antara 4,09-13,30. Secara umum terlihat adanya kecenderungan peningkatan amplitudo pada lantai yang lebih tinggi sebagai akibat bertambahnya respons dinamis struktur terhadap getaran.



Gambar 4. Hasil Kurva Data Rekaman L1_1 Bangunan Spectrum Komponen NS dan EW Analisis FSR

Kurva FSR pada gambar 4 menunjukkan puncak spektrum yang jelas pada kedua komponen horizontal sehingga frekuensi natural bangunan dapat diidentifikasi dengan baik. Kesesuaian bentuk kurva pada komponen NS dan EW menunjukkan bahwa respons dinamis struktur relatif konsisten pada kedua arah pengukuran.

Pada Lantai 1, nilai f_0 relatif seragam yaitu 4,04-4,16 Hz, yang mengindikasikan distribusi massa dan kekakuan struktur yang cukup merata. Nilai amplitudo bervariasi antara 7,57–11,66, yang dipengaruhi oleh kondisi lokal elemen struktur seperti kolom, balok, maupun pelat lantai. Pada Lantai 2 variasi frekuensi meningkat menjadi 4,04-4,73 Hz, sedangkan titik L2_2 menunjukkan amplitudo terendah sehingga diduga berada lebih dekat dengan elemen struktur utama. Pada Lantai 3 nilai frekuensi natural mencapai 5,94 Hz, disertai amplitudo tertinggi hingga 13,30. Kondisi tersebut sesuai dengan karakteristik bangunan bertingkat, di mana respons getaran cenderung meningkat pada bagian atas struktur. Secara keseluruhan, frekuensi natural bangunan jauh lebih tinggi dibandingkan frekuensi dominan tanah sehingga potensi resonansi tergolong rendah.

Analisis RDM

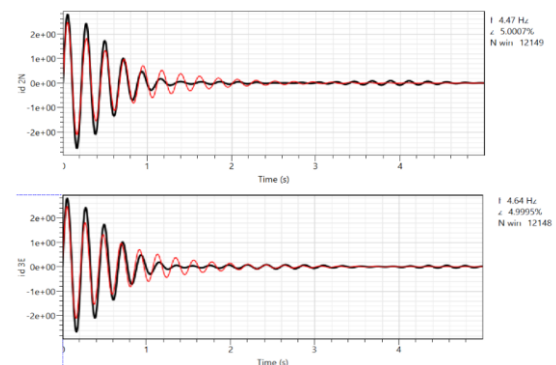
Analisis *Random Decrement Method* (RDM) dilakukan untuk memperoleh nilai frekuensi natural dan rasio redaman struktur berdasarkan data getaran ambien. Rasio redaman merupakan parameter penting yang menunjukkan kemampuan struktur dalam meredam energi getaran.

Tabel 3. Hasil Analisis RDM Titik Pengukuran Bangunan

Titik	Lantai	EW		NS	
		ζ (%)	f_0 (Hz)	ζ (%)	f_0 (Hz)
L1_1	1	4,99	4,64	5,00	4,47
L1_2	1	5,05	4,61	5,97	4,78
L1_3	1	4,93	4,50	4,95	4,51
L1_4	1	5,17	4,49	5,45	4,70
L2_1	2	5,27	4,67	4,88	4,48
L2_2	2	5,76	4,37	5,96	4,75
L2_3	2	5,41	4,46	5,14	4,46
L2_4	2	5,43	4,41	6,11	4,34
L3_1	3	5,02	4,59	5,21	4,44
L3_2	3	5,03	4,53	4,92	4,53
L3_3	3	4,96	4,58	5,04	4,54
L3_4	3	4,88	4,47	9,14	4,18

Berdasarkan tabel 3, frekuensi natural hasil RDM berad pada rentang 4,34-4,78 Hz, sedangkan rasio redaman berkisar 4,88-6,11% pada hampir seluruh titik

pengukuran. Rentang nilai frekuensi natural yang relatif seragam menunjukkan bahwa karakteristik dinamis struktur bangunan cenderung homogen pada setiap lantai, sehingga tidak terdapat perubahan kekakuan struktur yang signifikan. Selain itu, nilai rasio redaman yang berada pada kisaran tersebut mengindikasikan bahwa bangunan masih memiliki kemampuan yang baik dalam meredam energi getaran, sehingga respons struktur terhadap beban dinamis diperkirakan masih berada dalam kondisi yang stabil.



Gambar 5. Hasil Kurva Data Rekaman Bangunan Dumping Komponen NS dan EW Analisis RDM

Kurva RDM menunjukkan peluruhan amplitudo getaran secara bertahap yang menggambarkan karakteristik redaman struktur bangunan. Bentuk kurva yang stabil menunjukkan bahwa proses ekstraksi *Random Decrement Signature* berhasil menghasilkan sinyal representatif untuk analisis redaman.

Nilai frekuensi natural hasil RDM relatif konsisten dengan hasil FSR meskipun terdapat sedikit perbedaan karena kedua metode menggunakan pendekatan analisis yang berbeda. Nilai rasio redaman pada sebagian besar titik berada pada kisaran bangunan beton bertulang dalam kondisi baik. Satu nilai anomali ditemukan pada titik L3_4 komponen NS dengan nilai 9,14%, yang diduga dipengaruhi oleh gangguan aktivitas di sekitar lokasi pengukuran sehingga diperlakukan sebagai data pencilan (*outlier*).

Analisis Resonansi Tanah–Bangunan

Potensi resonansi dievaluasi dengan membandingkan frekuensi dominan tanah hasil analisis HVSR terhadap frekuensi natural bangunan hasil analisis FSR. Semakin besar perbedaan kedua frekuensi tersebut, semakin kecil kemungkinan terjadinya resonansi.

Tabel 4. Hasil Analisis Resonansi Tanah–Bangunan

Lantai	f_b (Hz)	f_t (Hz)	R (%)	Komponen Kategori	
Lantai 1	4,10	1,75	134,29	EW & NS	Rendah
Lantai 2	4,43	1,75	153,14	EW / NS	Rendah
	(EW) / 4,41 (NS)		152,00		
Lantai 3	5,38	1,75	207,43	EW / NS	Rendah
	(EW) / 5,35 (NS)		205,71		

Berdasarkan tabel 4, seluruh lantai memiliki nilai resonansi (R) lebih dari 25%, yaitu antara 134,29% hingga 207,43%, sehingga termasuk kategori resonansi rendah. Nilai resonansi terbesar terdapat pada lantai tiga, menunjukkan bahwa frekuensi natural bangunan semakin menjauh dari frekuensi dominan tanah seiring bertambahnya ketinggian lantai. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kemungkinan terjadinya resonansi yang

dapat memperbesar respons getaran bangunan relatif kecil. Hasil tersebut menunjukkan bahwa karakteristik dinamis bangunan tidak berimpit dengan karakteristik dinamis tanah, sehingga risiko terjadinya penguatan getaran akibat resonansi dapat diminimalkan. Dengan demikian, dari aspek resonansi tanah–bangunan, Gedung Engineering Laboratory Universitas Jambi memiliki tingkat keamanan struktur yang baik terhadap pengaruh getaran seismik pada kondisi eksisting.

Analisis Indeks Kerentanan Bangunan

Indeks Kerentanan Bangunan (K_b) dihitung berdasarkan hasil analisis *Floor Spectral Ratio* (FSR) untuk menggambarkan tingkat kerentanan struktur terhadap pengaruh getaran seismik. Parameter ini merepresentasikan respons dinamis bangunan berdasarkan hubungan antara frekuensi natural dan amplitudo getaran yang diperoleh dari hasil analisis mikrotremor. Nilai K_b digunakan sebagai salah satu indikator dalam mengevaluasi tingkat keamanan struktur, di mana nilai yang semakin kecil menunjukkan bangunan memiliki respons dinamis yang lebih baik terhadap beban gempa. Nilai K_b pada setiap titik pengukuran disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Indeks Kerentanan Bangunan (K_b)

Titik	Lantai	EW			NS		
		A_0	f_0	K_b	A_0	f_0	K_b
L1_1	1	7,57	4,07	14,08	7,57	4,09	14,02
L1_2		8,34	4,06	17,13	7,73	4,04	14,79
L1_3		10,40	4,15	26,05	11,02	4,16	29,18
L1_4		10,72	4,15	27,70	11,66	4,11	33,09
L2_1	2	8,81	4,23	18,37	10,09	4,18	24,31
L2_2		4,09	4,04	4,14	4,40	4,05	4,78
L2_3		8,74	4,72	16,19	8,58	4,68	15,72
L2_4		8,93	4,71	16,94	8,88	4,73	16,67
L3_1	3	8,71	4,21	18,03	9,65	4,19	22,23
L3_2		12,00	5,43	26,50	12,50	5,38	29,04
L3_3		9,68	5,94	15,78	10,80	5,90	19,78
L3_4		12,32	5,92	25,65	13,30	5,90	29,99

Berdasarkan tabel 5, nilai K_b berada pada rentang 4,14–33,09 m/s^2 , yang masih jauh di bawah ambang batas 100 m/s^2 . Nilai terendah diperoleh pada titik L2_2,

sedangkan nilai tertinggi berada pada titik L1_4 komponen NS. Meskipun nilai K_b cenderung meningkat pada lantai yang lebih tinggi akibat bertambahnya amplitudo

getaran, seluruh nilai masih berada pada kategori aman. Hasil ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa Gedung Engineering Laboratory Universitas Jambi memiliki karakteristik dinamis yang baik, ditunjukkan oleh nilai kerentanan tanah yang rendah, potensi resonansi yang kecil, serta rasio redaman struktur yang masih berada dalam kisaran normal. Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis HVSR, FSR, RDM, resonansi, dan indeks kerentanan bangunan, struktur gedung secara umum memiliki tingkat keamanan yang memadai terhadap pengaruh getaran seismik.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengevaluasi karakteristik dinamis Gedung Engineering Laboratory Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR), *Floor Spectral Ratio* (FSR), dan *Random Decrement Method* (RDM) berbasis data mikrotremor. Hasil analisis HVSR menunjukkan bahwa frekuensi dominan tanah berada pada rentang 1,3-2,1 Hz, dengan nilai amplifikasi 1,2-1,8 dan indeks kerentanan seismik (K_g) sebesar 0,85-1,54, yang mengindikasikan kondisi tanah relatif stabil dengan tingkat penguatan gelombang seismik yang rendah.

Analisis FSR menghasilkan frekuensi natural bangunan sebesar 4,04-5,94 Hz, sedangkan analisis RDM menunjukkan rasio redaman struktur berkisar 4,88-6,11%. Perbedaan yang cukup besar antara frekuensi dominan tanah dan frekuensi natural bangunan menghasilkan nilai resonansi pada kategori rendah, sehingga potensi terjadinya resonansi antara tanah dan bangunan relatif kecil. Selain itu, nilai Indeks Kerentanan Bangunan (K_b) berada pada rentang 4,14-33,09 m/s^2 , yang masih jauh di bawah batas aman 100 m/s^2 , sehingga menunjukkan bahwa tingkat kerentanan struktur terhadap pengaruh getaran seismik tergolong rendah.

Secara keseluruhan, Gedung Engineering Laboratory Universitas Jambi

memiliki karakteristik dinamis yang baik berdasarkan parameter frekuensi dominan tanah, frekuensi natural bangunan, rasio redaman, potensi resonansi, dan indeks kerentanan bangunan. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam evaluasi kondisi struktur bangunan secara non-destruktif serta mendukung upaya mitigasi risiko gempa dan perencanaan pemeliharaan bangunan secara berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- [1] P. Supendi, A. D. Nugraha, and S. Rohadi, "Seismic hazard evaluation in Sumatra region," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1120, no. 1, Art. no. 012001, 2018.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1120/1/012001>
- [2] M. Michel, C. Guéguen, and P. L. Bonilla, "Ambient vibration measurements in an irregular building," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 141, Art. no. 106484, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106484>
- [3] T. A. Ryanto, E. R. Iswanto, S. Sunarko, S. Suryanto, H. Suntoko, Yuliasuti, and H. Susiati, "Site characterization study with microtremor data: A case study at the West Borneo NPP potential site," *Near Surface Geophysics*, vol. 20, no. 5, pp. 531–543, 2022.
<https://doi.org/10.1002/nsg.12233>
- [4] SESAME Project, *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. European Commission, 2004.
- [5] U. Kumar, S. Marcou, and R. M. Allen, "Ambient vibration analysis of high-rise buildings using MyShake smartphone data," *Journal of Building Engineering*, vol. 106, Art. no. 112496, Jul, 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.112496>

- [6] E. Ates, and O. Uyanik, "Comparison of soil–structure interaction obtained from spectral ratio methods applied to earthquake and microtremor records," *Journal of Applied Geophysics*, vol. 234, Art. no. 105645, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2025.105645>
- [7] A. M. Arifudin and W. D. Suleman, "Evaluasi kerentanan bangunan berdasarkan metode Floor Spectral Ratio (FSR) dari perekaman data mikrotremor," *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 15, no. 2, pp. 429–442, 2025. <https://doi.org/10.29103/tj.v15i2.1277>
- [8] J. A. Jimenez Capilla, S.-K. Au, J. M. W. Brownjohn, and E. Hudson, "Ambient vibration testing and operational modal analysis of monopole telecoms structures," *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, vol. 11, pp. 1077–1091, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13349-021-00499-4>
- [9] W. D. Suleman and A. M. Arifudin, "Evaluasi kerentanan bangunan bertingkat menggunakan data mikrotremor: Studi kasus pada Gedung FTI UII," *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, vol. 9, no. 1, pp. 144–154, 2025. <https://doi.org/10.31289/jcebt.v9i1.13158>
- [10] Y. Yang, L. Shi, and J. Huang, "Regional mapping of sediment thickness using microtremor HVSR spatial variability," *Discover Geoscience*, vol. 3, Art. no. 73, 2025. <https://doi.org/10.1007/s44288-025-00185-8>
- [11] A. F. Pohan et al., "Vulnerability analysis of Andalas University Library Building using microtremor HVSR method," *Journal of the Physical Society of Indonesia*, vol. 1, no. 1, pp. 36–44, 2025. <https://doi.org/10.35895/jpsi.1.1.36-44.2025>
- [12] S. Molnar et al., "A review of the microtremor horizontal-to-vertical spectral ratio (MHVSR) method," *Journal of Seismology*, vol. 26, pp. 653–685, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10950-021-10062-9>
- [13] A. Entezami et al., "A novel data-driven method for structural health monitoring under ambient vibration and high-dimensional features by robust multidimensional scaling," *Structural Health Monitoring*, vol. 20, no. 5, pp. 2758–2777, 2021. <https://doi.org/10.1177/1475921720973953>
- [14] C. Amaddeo, M. Dorn, and L. Martinelli, "Initial monitoring of a six-story lightweight timber frame building under different environmental conditions," *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, vol. 15, pp. 371–393, 2025. <https://doi.org/10.1007/s13349-024-00867-w>
- [15] W. D. Suleman and A. M. Arifudin, "Evaluasi Kerentanan Bangunan Bertingkat Menggunakan Data Mikrotremor: Studi Kasus pada Gedung FTI UII," *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, vol. 9, no. 1, pp. 144–154, 2025. <https://doi.org/10.31289/jcebt.v9i1.13158>
- [16] A. F. Pohan et al., "Vulnerability Analysis of Andalas University Library Building Using Microtremor HVSR Method," *Journal of the Physical Society of Indonesia*, vol. 1, no. 1, pp. 36–44, 2025. <https://doi.org/10.35895/jpsi.1.1.36-44.2025>
- [17] M. G. Febrinzaghi, S. Syafier, and I. Sudarsono, "Safety Analysis of Gedebage Station Equipment Building against Vibration with Microtremor and PPV Methods," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 14, no. 2, 2025.

- <https://doi.org/10.24815/jts.v14i2.47840>
- [18] R. Yuliana, Sulistiawaty, and A. Susanto, “Analisis kerentanan Gedung Menara FMIPA UNM berdasarkan pengukuran mikrotremor dengan metode FSR (Floor Spectra Ratio),” *Progressive Physics Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 381–392, 2024.
<https://doi.org/10.30872/ppj.v5i1.1238>
- [19] A. M. Arifudin and W. D. Suleman, “Evaluasi kerentanan bangunan berdasarkan metode Floor Spectral Ratio (FSR) dari perekaman data mikrotremor,” *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 15, no. 2, pp. 429–442, 2025.
<https://doi.org/10.29103/tj.v15i2.1277>
- [20] R. R. Putra, J. Kiyono, Y. Ono, and D. Saputra, “Seismic Performance Assessment of Sustainable Shelter Building Using Microtremor Method,” *Civil Engineering Journal*, vol. 10, no. 11, 2024
<https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-11-06>
- [21] M. Senkaya, “Feasibility of Utilizing Continuous Records from Weak and Strong-Motion Recorder Channels of Permanent Stations for Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) Analysis During Calm-Day Conditions,” *Pure and Applied Geophysics*, vol. 182, no. 2, pp. 537–555, 2025.
<https://doi.org/10.1007/s00024-025-03669-3>