TUGAS AKHIR

ANALISIS DATA MIKROTREMOR MENGGUNAKAN *METODE FLOOR SPECTRAL RATIO* (FSR) UNTUK EVALUASI KERENTANAN PADA GEDUNG FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM (*MICROTREMOR DATA ANALYSIS USING THE FLOOR SPECTRAL RATIO (FSR) METHOD FOR VULNERABILITY EVALUATION IN THE FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES BUILDING*)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

RAFI ABDURRAHMAN FAHMY
20511241

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

TUGAS AKHIR

ANALISIS DATA MIKROTREMOR MENGGUNAKAN *METODE FLOOR SPECTRAL RATIO* (FSR) UNTUK EVALUASI KERENTANAN PADA GEDUNG FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM (*MICROTREMOR DATA ANALYSIS USING THE FLOOR SPECTRAL RATIO (FSR) METHOD FOR VULNERABILITY EVALUATION IN THE FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES BUILDING*)

Disusun Oleh

Rafi Abdurrahman Fahmy

20511241

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana

Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 25 Februari 2025

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
26/2 2025	26.02.25	
Anggit Mas Arifuddin, S.T., M.T.	**Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.**	**Jafar, S.T., MURP., M.T.**
NIP : 185111304	**NIP : 165111301**	**NIP : 185111305**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

26/2 2025

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.

NIP : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian – bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang – undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 25 Februari 2025

Yang membuat pernyataan,

Rafi Abdurrahman Fahmy
(20511241)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'aalaamiin, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **"Analisis Data Mikrotremor Menggunakan *Metode Floor Spectral Ratio* (FSR) Untuk Evaluasi Kerentanan Pada Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam"**. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana (S.T.) pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Sholawat serta salam tidak lupa penulis sampaikan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari kegelapan menuju keterangan. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir banyak hambatan serta rintangan yang dihadapi penulis. Namun berkat saran, kritik serta dorongan semangat dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih atas segala yang diberikan kepada :

1. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
2. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberi arahan, bimbingan dan motivasi kepada penulis selama penyusunan tugas akhir,
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku penguji 1
4. Bapak Jafar, S.T., MURP., M.T. selaku penguji 2
5. Ayah, ibu, kedua saudari penulis, dan adik laki-laki penulis yang tidak pernah luput dalam memberikan doa serta dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir,

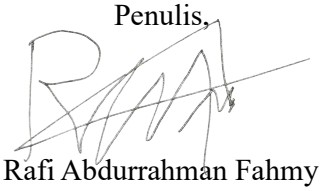
6. Wishal Dinansyah Suleman, Frisma Bella dan Ramzy Ahmad Ibrahim sebagai rekan dalam penelitian mikrotremor yang banyak membantu penulis pada proses penelitian,
7. Mas Adi Sulistio selaku operator alat seismograf yang telah berbagi ilmu kepada penulis serta membantu dalam melakukan penelitian
8. Teman – Teman "Next Trip" yang selalu memberikan semangat Kembali kepada penulis dengan berbagai agenda liburannya
9. Teman – Teman "SBS Superrr" yang selalu memberikan semangat juga dengan agenda loginnya.
10. Semua pihak yang turut terlibat dan membantu dalam penyelesaian penelitian Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 25 Februari 2025

Penulis,



Rafi Abdurrahman Fahmy

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR ii

DAFTAR ISI vi

DAFTAR TABEL x

DAFTAR GAMBAR xi

DAFTAR LAMPIRAN xiii

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xiv

ABSTRAK xv

ABSTRACT xvi

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 4

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.5 Batasan Penelitian 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7

2.1 Tinjauan Umum 7

2.2 Penelitian Terdahulu 7

2.2.1 Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Ruangan Prodi Pendidikan Fisika UST 8

2.2.2 Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi pada Gedung Perkuliahan ITS NU Pekalongan 10

2.2.3 Uji Kerentanan Bangunan Rusunawa Berdasarkan HVSR (*Horizontal To Verical Spectral Ratio*) dan FSR (*Floor Spectral Ratio*) 12
2.2.4 Memperkirakan Periode Fundamental Untuk Bangunan Thailand Menggunakan Data Getaran Ambien dengan Teknik HVSR 14
2.2.5 Mempelajari Karakteristik Bangunan Reaktor Multiguna G.A. Siwabessy menggunakan *Floor Spectral Ratio* 15
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan 17
BAB III LANDASAN TEORI 20
3.1 Gempa 20
3.1.1 Pengertian Gempa Bumi 20
3.1.2 Parameter Gempa Bumi 20
3.2 Mikrotremor 25
3.3 Metode *Floor Spectral Ratio* 25
3.4 Metode Horizontal-To-Vertikal Spectral Ratio 26
3.5 Frekuensi Natural Bangunan 27
3.6 Indeks Resonansi Bangunan 28
3.7 Indeks Kerentanan Bangunan 29
3.8 Amplifikasi Tanah (Ao) 29
3.9 Pembebanan Gempa pada Bangunan Struktur 30
3.9.1 Beban Mati 30
3.9.2 Beban Hidup 31
3.9.3 Beban Gempa 31
3.10 Respon Spektrum Gempa 36
3.10.1 Analisis Respons Spektrum 36
3.10.2 Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum 37

3.10.3 Parameter Percepatan Spektral Desain 38
3.10.4 Spektrum Respon Desain 39
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 41
4.1 Lokasi Penelitian 41
4.2 Peralatan 41
4.3 Teknik Pengumpulan Data 43
4.4 Pengolahan Data Mikrotremor 46
4.4.1 Pengolahaan Frekuensi dan Amplitudo 46
4.4.2 Perhitungan Indeks Resonansi Bangunan 47
4.4.3 Perhitungan Indeks Kerentanan Bangunan 47
4.5 Pengolahan Frekuensi Bangunan Menggunakan SAP2000 48
4.5.1 Permodelan SAP2000 48
4.6 Diagram Alur Penelitian 50
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 51
5.1 Pengambilan Data Lapangan 51
5.2 Pengolahan Fast Fourier Transform (FFT) 53
5.3 Analisis Frekuensi Natural Tanah 55
5.4 Analisis Frekuensi Natural Bangunan 60
5.5 Analisis Nilai Indeks Resonansi Bangunan 63
5.5.1 Komponen N-S Resonansi 63
5.5.2 Komponen E-W Resonansi 64
5.6 Analisis Nilai Indeks Kerentanan Bangunan 68
5.6.1 Komponen N-S Kerentanan 68
5.6.2 Komponen E-W Kerentanan 69
5.7 Analisis Frekuensi Natural SAP2000 73

5.8 Perbandingan Frekuensi Mikrotremor dan SAP2000 83
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 86
6.1 Kesimpulan 86
6.2 Saran 86
DAFTAR PUSTAKA 88
LAMPIRAN 91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Yang Akan Dilakukan 18
Tabel 3. 1 Skala Intensitas Gempa 23
Tabel 3. 2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural Oleh Kanai 27
Tabel 3. 3 Beban Mati 30
Tabel 3. 4 Beban Hidup 31
Tabel 3. 5 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa 32
Tabel 3. 6 Faktor Keutamaan Gempa 35
Tabel 3. 7 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik 35
Tabel 3. 8 Koefisien Situs Fa 38
Tabel 3. 9 Koefisien Situs Fv 38
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Analisis FFT Pada Bangunan 54
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Rasio Frekuensi Natural Tanah Pengolahan H/V 57
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Frekuensi Natural Tanah Pengolahan Spektrum 59
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Frekuensi Natural Bangunan 60
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Nilai Indeks Resonansi Bangunan 65
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Nilai Indeks Kerentanan Bangunan 70
Tabel 5. 9 Periode Modal dan Frekuensi 82
Tabel 5. 10 Tabel Perbandingan Analisis 83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Spectrum Frekuensi *Open Ground* 9
Gambar 2. 2 Spektrum Hasil Pengolahan Data 9
Gambar 2. 3 Spektrum Frekuensi Pada Tempat Parkir Belakang (*Open Ground)* 11
Gambar 2. 4 Spektrum Frekuensi komponen Utara-Selatan dan Timur-Barat Pada Ruang LPPM 11
Gambar 2. 5 Grafik Frekuensi Alami Bangunan (fb) dan Amplitudo (A0), A. Komponen arah EW, B. Komponen arah NS 13
Gambar 2. 6 Grafik Resonansi Gedung Rusunawa Universitas Jambi 13
Gambar 2. 7 Model 3D SAP2000 Bangunan no. 1 Dengan Dan Tanpa Dinding Pengisi. 15
Gambar 2. 8 Frekuensi Natural dan Kerapatan Spektral Daya Searah Komponen N dan E 16
Gambar 3. 2 Rekaman Data Mikrotremor Pada Software Geopsy 25
Gambar 3. 3 Grafik FSR komponen NS dan EW 26
Gambar 3. 4 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi 30
Gambar 3. 5 Peta Parameter Gerak Tanah (Ss) Periode 0,2 Detik 37
Gambar 3. 6 Peta Parameter Gerak Tanah (S1) Periode 1 Detik 37
Gambar 3. 7 Spektrum Respons Desain 40
Gambar 3. 8 Peta Transisi Periode Panjang, TL 40
Gambar 4. 1 Lokasi Gedung FMIPA UII 41
Gambar 4. 2 Peralatan Yang Digunakan 42
Gambar 4. 3 Denah FMIPA Lantai Basement 43
Gambar 4. 4 Denah FMIPA Lantai 1 44
Gambar 4. 5 Denah FMIPA Lantai 2 44
Gambar 4. 6 Denah FMIPA Lantai 3 44
Gambar 4. 7 Denah FMIPA Lantai 4 45
Gambar 4. 8 Pengambilan Data Mikrotremor Bangunan 45

Gambar 4. 9 Windowing Signal 46
Gambar 4. 10 Hasil Analisis FFT 47
Gambar 4. 11 Diagram Alur Penelitian 50
Gambar 5. 1 Titik Pengukuran Lantai Basement 51
Gambar 5. 2 Titik Pengukuran Lantai 1 52
Gambar 5. 3 Titik Pengukuran Lantai 2 52
Gambar 5. 4 Titik Pengukuran Lantai 3 52
Gambar 5. 5 Titik Pengukuran Lantai 4 53
Gambar 5. 6 Hasil Pengolahan FFT Titik L2.3D 54
Gambar 5. 7 Windowing H/V Tanah 2 56
Gambar 5. 8 Pengaturan Pengolahan H/V Tanah 2 56
Gambar 5. 9 Hasil Pengolahan H/V Tanah 2 57
Gambar 5. 10 Windowing Spektrum Tanah 2 58
Gambar 5. 11 Pengaturan Pengolahan Spektrum Tanah 2 58
Gambar 5. 12 Hasil Pengolahan Spektrum Tanah 2 59
Gambar 5. 13 Grafik Respon Spektrum Yogyakarta 75
Gambar 5. 14 Modifikasi Grid 75
Gambar 5. 15 Spesifikasi Material Beton mutu 30 MPa 76
Gambar 5. 16 Spesifikasi Tulangan Deform 400 MPa 76
Gambar 5. 17 Spesifikasi Tulangan Polos 240 MPa 77
Gambar 5. 18 Balok B1 Lapangan 77
Gambar 5. 19 Kolom K2 Lapangan 78
Gambar 5. 20 Desain Pelat Lantai 78
Gambar 5. 21 Desain Dinding Pengisi 78
Gambar 5. 22 Desain *Shear Wall* 79
Gambar 5. 23 Pengaturan Beban 80
Gambar 5. 24 Pengaturan Partisipasi Massa 80
Gambar 5. 25 Pengaturan *Constrain Diafragma* 81
Gambar 5. 26 Permodelan Gedung FMIPA 81
Gambar 5. 27 Grafik Perbandingan Hasil Analisis 83

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Kurva Hasil Pengukuran Data Mikrotremor 92
Lampiran 2 Output SAP2000 107
Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian 108
Lampiran 4 Surat Perizinan Pemakaian Alat Laboratorium 109
Lampiran 5 Surat Izin Penelitian Di Gedung Perkuliahan FMIPA UII 110
Lampiran 6 Surat Balasan Izin Penelitian Di Gedung Perkuliahan FMIPA UII 111

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

FMIPA UII	= Fakultas Matematikan dan Ilmu Pengetahuan Alam
FSR	= *Floor Spectral Ratio*
HVSR	= *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*
FFT	= *Fast Fourier Transform*
SNI	= Standar Nasional Indonesia
PPIUG	= Peraturan Pembebanan Untuk Indonesia Untuk Gedung
f_b	= Frekuensi Bangunan
f_b (FSR)	= Frekuensi Bangunan Berdasarkan Metode FSR
f_t	= Frekuensi Tanah
f_t (FSR)	= Frekuensi Tanah Berdasarkan Metode FSR
A	= Amplifikasi
R	= Indeks Resonansi Bangunan
Kb	= Indeks Kerentanan Bangunan
N – S	= Rekaman Data Mikrotremor Komponen Utara – Selatan
E – W	= Rekaman Mikrotremor Komponen Timur – Barat

ABSTRAK

Indonesia, sebagai negara yang terletak di jalur Cincin Api Pasifik, memiliki risiko gempa bumi yang tinggi. Hal ini menuntut desain bangunan yang tahan gempa, terutama untuk bangunan strategis seperti gedung pendidikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kerentanan seismik Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta terhadap gempa bumi menggunakan metode Floor Spectral Ratio (FSR) dan Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR). Data mikrotremor dikumpulkan dari 25 titik di dalam gedung dan 2 titik di tanah, kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak Geopsy untuk menentukan frekuensi alami, indeks resonansi, dan indeks kerentanan bangunan. Selain itu, dilakukan pemodelan struktur bangunan menggunakan SAP2000 untuk memvalidasi hasil analisis mikrotremor.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa frekuensi alami bangunan FMIPA UII lebih tinggi daripada frekuensi alami tanah, yaitu 3,156 Hz (komponen N-S) dan 3,282 Hz (komponen E-W), sehingga bangunan dikategorikan aman. Indeks resonansi bangunan berada dalam kategori sedang, dengan nilai rata-rata 18,791 % (komponen N-S) dan 20,418 % (komponen E-W). Sementara itu, indeks kerentanan bangunan menunjukkan nilai di bawah ambang batas kerusakan (100 m/s^2), yang mengindikasikan bahwa bangunan aman dari potensi kerusakan akibat gempa. Perbandingan antara frekuensi alami bangunan dari analisis mikrotremor dan SAP2000 menunjukkan selisih yang relatif kecil, yaitu 0,253 Hz.

Kata Kunci : Mikrotremor, frekuensi, indeks resonansi, indeks kerentanan dan SAP2000.

ABSTRACT

Indonesia, as a country located on the Pacific Ring of Fire, has a high risk of earthquakes. This requires earthquake-resistant building designs, especially for strategic buildings such as education buildings. This study aims to evaluate the seismic vulnerability of the Faculty of Mathematics and Natural Sciences (FMIPA) Building of the Islamic University of Indonesia (UII) Yogyakarta to earthquakes using the Floor Spectral Ratio (FSR) and Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) methods. Microtremor data was collected from 25 points inside the building and 2 points on the ground, then analyzed using Geopsy software to determine the natural frequency, resonance index, and vulnerability index of the building. In addition, building structure modeling was carried out using SAP2000 to validate the results of microtremor analysis.

The results of the study show that the natural frequency of FMIPA UII buildings is higher than the natural frequency of the soil, which is 3.156 Hz (N-S component) and 3.282 Hz (E-W component), so that the building is categorized as safe. The resonance index of buildings is in the medium category, with an average value of 18,791 % (N-S component) and 20.418 % (E-W component). Meanwhile, the building vulnerability index shows values below the damage threshold (100 m/s²), indicating that the building is safe from potential earthquake damage. The comparison between the natural frequencies of buildings from microtremor and SAP2000 analysis showed a relatively small difference, which was 0.253 Hz.

***Keywords** : Microtremor, frequency, resonance index, vulnerability index and SAP2000.*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan risiko gempa bumi yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh posisi geografisnya yang berada di jalur Cincin Api Pasifik, sebuah kawasan yang dikenal dengan aktivitas tektonik dan vulkanik yang intens. Secara geografis, Indonesia terletak di titik pertemuan tiga lempeng tektonik utama: lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik, yang menciptakan zona subduksi dan memicu gempa bumi serta aktivitas vulkanik (BMKG, 2020).

Zona subduksi di sepanjang pantai barat Sumatera dan selatan Jawa sering kali menjadi sumber gempa bumi besar yang dapat menimbulkan tsunami. Selain itu, pergerakan lempeng juga menyebabkan aktivitas vulkanik yang tinggi, dengan banyak gunung berapi aktif tersebar di seluruh kepulauan Indonesia. Kondisi ini membuat Indonesia menjadi salah satu negara yang paling rawan terhadap bencana alam seperti gempa bumi dan letusan gunung berapi (Bappenas, 2019).

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang tidak dapat dihindari dan dapat menimbulkan dampak negatif bagi manusia dan lingkungan, termasuk kerusakan pada bangunan seperti gedung perkuliahan. Gedung perkuliahan, sebagai bangunan bertingkat dengan banyak ruangan dan fasilitas, harus dirancang dengan ketahanan dan kekuatan yang baik terhadap gempa bumi untuk memastikan keselamatan penggunanya (FEMA, 2015).

Fakultas FMIPA UII (Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Universitas Islam Indonesia) merupakan salah satu contoh bangunan pendidikan tinggi yang dibangun sejak tahun 2013. Gedung ini menjadi objek penelitian untuk dianalisis ketahanan dan kekuatannya terhadap gempa bumi. Bangunan ini memiliki nilai strategis karena digunakan untuk menunjang kegiatan akademik,

penelitian, dan pengabdian masyarakat. Selain itu, sebagai bangunan pendidikan tinggi, Gedung FMIPA UII harus memenuhi standar keselamatan yang ketat, terutama dalam hal ketahanan terhadap gempa bumi. Analisis mikrotremor dengan metode FSR (Floor Spectral Ratio) dapat digunakan untuk mengevaluasi kerentanan seismik bangunan ini, sehingga dapat direkomendasikan langkah-langkah mitigasi yang tepat untuk meningkatkan keselamatan dan ketahanannya (Gosar, 2010)

Metode FSR (*Floor Spectral Ratio*) adalah salah satu metode analisis data mikrotremor yang dikemukakan oleh Gosar, dkk (2010) dan umum digunakan oleh para peneliti untuk menganalisis kerentanan suatu bangunan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa frekuensi natural dari struktur bangunan sama dengan frekuensi natural dari tanah (*open ground*).

Metode FSR menghitung rasio antara frekuensi natural gedung dan frekuensi natural tanah untuk setiap komponen struktur bangunan (timur-barat atau utara-selatan). Rasio ini disebut sebagai *floor spectral ratio* (FSR) dan dapat digunakan untuk mengestimasi fungsi transfer dari gelombang getaran ke struktur bangunan.

Analisis mikrotremor dengan metode FSR dapat memberikan informasi tentang karakteristik dinamik struktur bangunan terhadap gempa bumi, seperti nilai rata-rata frekuensi natural, indeks resonansi, amplifikasi, pergeseran lantai, dan indeks kerentanan. Nilai-nilai ini dapat digunakan sebagai acuan untuk merencanakan tindakan mitigasi atau rehabilitasi terhadap struktur bangunan yang rentan terhadap gempa bumi.

Penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas metode FSR dalam berbagai aplikasi. Misalnya, studi oleh Nakamura (1989) memperkenalkan konsep Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) yang kemudian berkembang menjadi dasar bagi metode FSR. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode FSR dapat mengidentifikasi frekuensi alami bangunan, yang merupakan indikator penting dalam evaluasi kerentanan seismik.

Selanjutnya, penelitian oleh Gosar (2007) yang mengaplikasikan metode FSR pada bangunan bersejarah di Slovenia menemukan bahwa metode ini mampu mengidentifikasi kerentanan struktur secara akurat, khususnya dalam mengungkapkan perbedaan respons antara lantai-lantai dalam bangunan yang sama. Hasil studi ini memberikan bukti empiris bahwa FSR adalah alat yang dapat diandalkan dalam menilai stabilitas struktur bangunan.

Di Indonesia, penelitian oleh Prabowo (2020) mengaplikasikan metode FSR pada bangunan di daerah rawan gempa di Yogyakarta. Penelitian ini menemukan bahwa metode FSR dapat mengungkapkan variasi kerentanan bangunan berdasarkan perbedaan konstruksi dan material yang digunakan. Studi ini juga menyoroti pentingnya analisis mikrotremor dalam upaya mitigasi risiko gempa di kawasan perkotaan yang padat.

Meskipun demikian, terdapat kesenjangan penelitian yang perlu diisi, khususnya pada bangunan pendidikan tinggi seperti gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Penelitian sebelumnya umumnya fokus pada bangunan bersejarah atau perumahan, sementara gedung-gedung pendidikan dengan struktur dan fungsi yang spesifik belum banyak diteliti. Struktur bangunan pendidikan tinggi seringkali lebih kompleks karena memiliki ruang-ruang besar seperti auditorium, laboratorium, dan perpustakaan, yang memerlukan desain arsitektur dan rekayasa struktural yang khusus. Fungsi bangunan ini juga krusial karena digunakan untuk kegiatan akademik, penelitian, dan pengabdian masyarakat, sehingga kerusakan akibat gempa dapat mengganggu aktivitas vital tersebut. Hal ini menimbulkan kebutuhan untuk melakukan evaluasi kerentanan seismik pada gedung-gedung pendidikan tinggi menggunakan metode yang telah terbukti efektif seperti FSR.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode FSR dalam analisis data mikrotremor pada Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Dengan melakukan evaluasi kerentanan seismik pada gedung ini, diharapkan dapat diperoleh informasi yang mendalam mengenai respons dinamis bangunan dan identifikasi potensi kerusakan yang dapat terjadi akibat gempa. Penelitian ini juga akan mempertimbangkan aspek struktur dan fungsi

spesifik gedung pendidikan tinggi, seperti distribusi beban, penggunaan ruang, dan kebutuhan keselamatan yang lebih tinggi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam upaya mitigasi risiko gempa serta meningkatkan keselamatan dan kesiapan bangunan pendidikan tinggi di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang yang telah diuraikan, beberapa permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana tingkat kerentanan bangunan berdasarkan nilai frekuensi natural bangunan (f_0), nilai indeks resonansi (R)dan nilai indeks kerentanan bangunan (K_b) pada Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam?
2. Bagaimana perbandingan antara nilai frekuensi natural bangunan dari data mikrotremor dengan nilai frekuensi natural bangunan dari permodelan SAP2000 pada Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah yang telah tersusun, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Mengetahui tingkat kerentanan bangunan berdasarkan nilai frekuensi natural bangunan (f_0), nilai indeks resonansi (R) dan nilai indeks kerentanan bangunan (K_b) pada Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
2. Mengetahui perbandingan antara nilai frekuensi natural bangunan dari data mikrotremor dengan nilai frekuensi natural bangunan dari permodelan SAP2000 pada Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Penelitian ini dapat memberikan informasi tentang tingkat kerentanan gedung fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan UII terhadap gempa

bumi, yang dapat digunakan untuk mengambil langkah-langkah mitigasi bencana, seperti perbaikan, penguatan, atau renovasi bangunan. Hal ini dapat mengurangi risiko kerusakan, kerugian, atau korban jiwa akibat gempa bumi, serta meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna bangunan, seperti mahasiswa, dosen, staf, dan pasien.

2. Penelitian ini menggunakan metode FSR yang berdasarkan pada analisis data mikrotremor, yang merupakan metode yang mudah, cepat, dan murah untuk mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa bumi. Metode ini tidak memerlukan peralatan yang mahal, instalasi yang rumit, atau gangguan yang besar pada aktivitas bangunan. Metode ini juga dapat menghasilkan hasil yang akurat dan dapat dipercaya, tanpa memerlukan data gempa bumi yang jarang terjadi.
3. Penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan ilmiah tentang karakteristik dinamik bangunan, khususnya gedung fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam UII, yang dapat digunakan untuk merancang, membangun, atau memelihara bangunan yang lebih tahan gempa. Penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan metode FSR dan aplikasinya di Indonesia, serta memperkaya literatur ilmiah di bidang teknik sipil.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian untuk tugas akhir ini dilakukan di Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia
2. *Software* yang digunakan dalam analisis data mikrotremor adalah *geopsy*.
3. *Software* yang digunakan dalam pemodelan adalah SAP2000
4. Alat yang digunakan untuk pengambilan data mikrotremor adalah *Lunitek Digital Seismic Sensors*
5. Metode yang digunakan dalam pengolahan data mikrotremor adalah metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) dan *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR).

6. Metode dan *software Geopsy* digunakan untuk memperoleh nilai frekuensi natural bangunan (f_0), nilai indeks resonansi bangunan (R) dan nilai indeks kerentanan bangunan (K_b).
7. Penelitian ini terbatas pada informasi nilai frekuensi natural bangunan (f_0), nilai indeks resonansi bangunan (R), dan nilai indeks kerentanan bangunan (K_b).
8. Penelitian ini berfokus pada bangunan gedung bertingkat, sehingga tidak membahas geologi setempat
9. Permodelan SAP2000 mengacu pada dokumen Laporan Akhir Gambar Kerja Struktural Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Tahun 2013
10. Analisis Permodelan SAP2000 mengacu pada SNI 1726 – 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung dan SNI 1727 – 2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain dan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1987).
11. Klasifikasi perbandingan nilai Frekuensi SAP2000 dan Frekuensi Natural Bangunan melalui analisis data mikrotremor menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan dan kekuatan gedung perkuliahan terhadap gempa bumi dengan menggunakan metode analisis mikrotremor. Mikrotremor adalah gelombang getaran kecil yang terjadi pada struktur bangunan akibat gempa bumi. Metode FSR (*Floor Spectral Ratio*) adalah metode yang menghitung rasio antara frekuensi natural gedung dan frekuensi natural tanah untuk setiap komponen struktur bangunan. Dengan metode ini, dapat diperoleh informasi tentang karakteristik dinamik struktur bangunan, seperti frekuensi natural, indeks resonansi, amplifikasi, pergeseran lantai, dan indeks kerentanan.

Penelitian ini dilakukan dengan mengukur mikrotremor pada beberapa titik di gedung perkuliahan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam sebagai contoh kasus. Data mikrotremor kemudian dianalisis dengan metode FSR untuk mendapatkan nilai-nilai yang diinginkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang kondisi gedung perkuliahan tersebut terhadap gempa bumi dan memberikan rekomendasi untuk tindakan mitigasi atau rehabilitasi jika diperlukan.

2.2 Penelitian Terdahulu

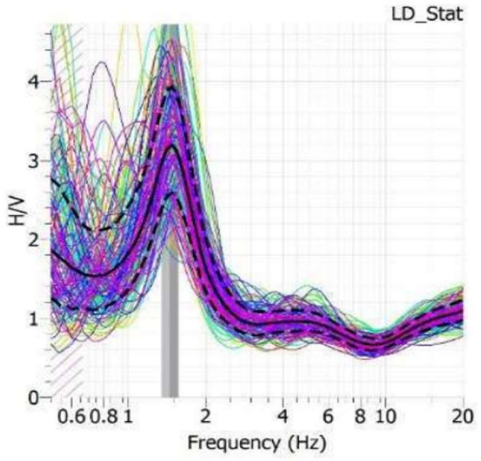
Pada Penelitian terkait Analisis data Mikrotremor menggunakan metode FSR, penulis mengambil referensi dari beberapa jurnal penelitian terdahulu. Beberapa penelitian terdahulu yaitu diantara lain adalah Prabowo dkk (2020), Yuniarto, Kiswanto (2021), Larasati, Farid, Juventa (2022), Ranaweera, Ornthammarath (2022), Agung Satriyo dkk (2023).

2.2.1 Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Ruangan Prodi Pendidikan Fisika UST

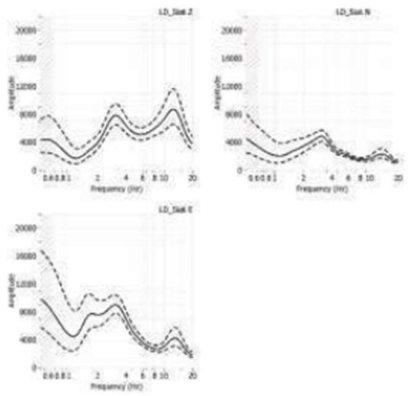
Universitas Sarjanawijayata Tamansiswa (UST) adalah salah satu universitas yang terletak di Yogyakarta, sebuah daerah yang memiliki potensi gempa bumi yang sangat besar. Hal ini disebabkan oleh lokasinya yang berada di dekat zona subduksi antara lempeng Eurasia dan Lempeng Hindia Australia (Broptopuspito, dkk. 2006). Oleh karena itu, penelitian tentang analisis data mikrotremor di ruang Prodi Pendidikan Fisika Universitas Sarjanawijayata Tamansiswa dilakukan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan tingkat kerawanan bangunan berdasarkan hasil analisis data mikrotremor dengan menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) yang dapat menghasilkan nilai frekuensi natural, indeks kerawanan bangunan, dan indeks resonansi bangunan. Penelitian ini dilaksanakan di ruang prodi Pendidikan Fisika yang dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah bagian utama gedung yang merupakan bangunan pertama di lingkungan FKIP UST yang terdiri dari ruang kuliah, ruang administrasi, ruang dosen di lantai 1 dan ruang kuliah di lantai 2. Bagian kedua adalah ruang dosen di lantai 2 yang baru saja dibangun.

Data mikrotremor diukur dengan bantuan alat Portable Digital Seismograph TDL 303S yang ditempatkan pada 10 titik di dalam Gedung dan 1 titik di luar Gedung dengan waktu pengukuran 45 menit untuk setiap titiknya. Data mikrotremor yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak Geopsy untuk mendapatkan nilai frekuensi natural bangunan. Kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai indeks resonansi bangunan (R) dan Indeks Kerawanan Bangunan. Nilai indeks resonansi yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan Tingkat kerawanan yang diusulkan oleh Gosar, dkk. (2010), sedangkan nilai indeks kerawanan bangunan ditentukan berdasarkan persamaan yang diusulkan oleh Nakamura, dkk. (2009 dalam Sungkono dkk. 2011). Berikut merupakan hasil dari pengolahan data mikrometer.



Gambar 2. 1 Spectrum Frekuensi *Open Ground*
(Sumber : Prabowo dkk, 2020)



Gambar 2. 2 Spektrum Hasil Pengolahan Data
(Sumber : Prabowo dkk, 2020)

Tanah di luar ruangan prodi Pendi Fisika UST memiliki frekuensi natural 1,473 Hz seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Pada lantai 1, frekuensi natural ruangan prodi Pendi Fisika UST untuk komponen barat-timur berada di antara 2.99 dan 3.10 Hz, sedangkan untuk lantai 2 berada di antara 3.22 dan 3.47 Hz dengan rata-rata semua ruangan sebesar 3.19 Hz. Untuk komponen utara-selatan, frekuensi natural ruangan prodi Pendi Fisika UST pada lantai 1 berada di antara 2.99 dan 3.22 Hz, dan pada lantai 2 rata-rata 3.34 Hz untuk semua ruangan dengan rata-rata keseluruhan bangunan 3.22 Hz. Frekuensi Natural yang didapat nilainya sudah sesuai dengan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan

Gedung SNI (2002) yaitu lebih dari 2,78 Hz dan juga lebih besar daripada frekuensi natural tanah sebesar 1,473 Hz.

Untuk komponen barat-timur, ruangan prodi Pendidikan Fisika UST memiliki Indeks Resonansi antara 103,40 dan 110,88 % di lantai 1, dan antara 119,05 dan 136,05 % di lantai 2. Untuk komponen utara-selatan, ruangan prodi Pendidikan Fisika UST memiliki Indeks Resonansi antara 103,40 dan 119,05 % di lantai 1, dan sebesar 127,21 % di lantai 2. Menurut klasifikasi yang diusulkan oleh Gosar, dkk. (2010), ruangan prodi Pend Fisika UST memiliki nilai indeks resonansi yang rendah dan berpotensi mengalami resonansi karena nilainya lebih dari 25%.

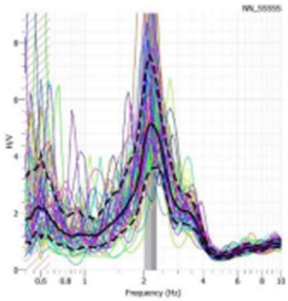
Penentuan nilai indeks kerentanan bangunan dilakukan setelah memfilter data dengan bandpass filter untuk menghilangkan noise yang mempengaruhi amplitudo spektrum. Indeks kerentanan bangunan diukur berdasarkan amplifikasi lantai bangunan paling atas dengan persamaan yang diusulkan oleh Sungkono, dkk. (2011). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan prodi Pendidikan Fisika UST memiliki nilai indeks kerentanan yang bervariasi antara 0,26 - 0,65, termasuk dalam kategori sedang hingga tinggi. Bangunan dengan frekuensi dominan tinggi atau rendah lebih rentan terhadap gempa.

2.2.2 Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi pada Gedung Perkuliahan ITS NU Pekalongan

Gedung perkuliahan ITS NU Pekalongan merupakan bangunan bertingkat dengan 3 lantai.dan berlokasikan di kabupaten Pekalongan. Kondisi geografis dan geologis daerah Pekalongan yang berada di jalur sesar gempa, sehingga memiliki potensi gempa bumi yang tinggi.

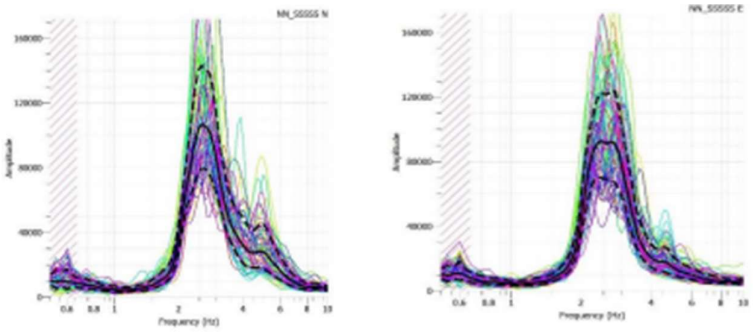
Penelitian ini menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) untuk mendapatkan frekuensi natural dan tingkat resonansi bangunan. Penelitian ini menggunakan peralatan set seismometer Sara Velbox SL06 dengan spesifikasi 3 komponen yaitu komponen vertical, komponen timurbarat dan komponen utara-selatan. Pengambilan data pada penelitian ini sekitar 20-30 menit pada setiap titik. Titik pengukuran sebanyak 5 titik pada setiap lantai dan 1 titik di luar gedung.. Untuk mengolah data mikrometer digunakan perangkat lunak Geopsy dan mendapatkan nilai frekuensi natural dan indeks resonansi bangunan. Penelitian ini

bertujuan untuk mengetahui ketahanan dan kekuatan dari struktur bangunan terhadap gempa bumi.



Gambar 2. 3 Spektrum Frekuensi Pada Tempat Parkir Belakang (*Open Ground)*

(*Sumber : Yuniarto dan Kiswanto 2021*)



Gambar 2. 4 Spektrum Frekuensi komponen Utara-Selatan dan Timur-Barat Pada Ruang LPPM

(*Sumber : Yuniarto dan Kiswanto 2021*)

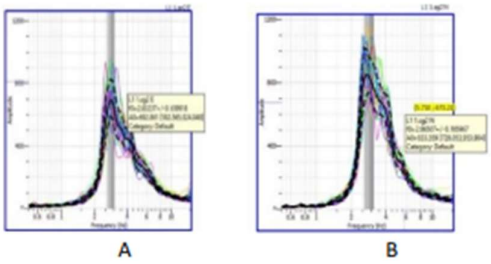
Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata nilai frekuensi natural pada gedung perkuliahan ITS NU Pekalongan adalah 2,53 Hz untuk komponen timur-barat, dan 2,60 Hz untuk komponen utara-selatan. Nilai ini lebih besar daripada nilai frekuensi natural pada tanah (*open ground*) yang adalah 2,17 Hz, sehingga menunjukkan bahwa gedung dalam kondisi yang baik. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa rata-rata nilai indeks resonansi pada gedung perkuliahan ITS NU Pekalongan adalah 16,62% untuk komponen timur-barat, dan 20% untuk komponen utara-selatan. Nilai ini termasuk dalam kategori sedang, yang berarti bahwa gedung memiliki potensi mengalami resonansi akibat getaran gempa bumi.

2.2.3 Uji Kerentanan Bangunan Rusunawa Berdasarkan HVSR (*Horizontal To Vertical Spectral Ratio*) dan FSR (*Floor Spectral Ratio*)

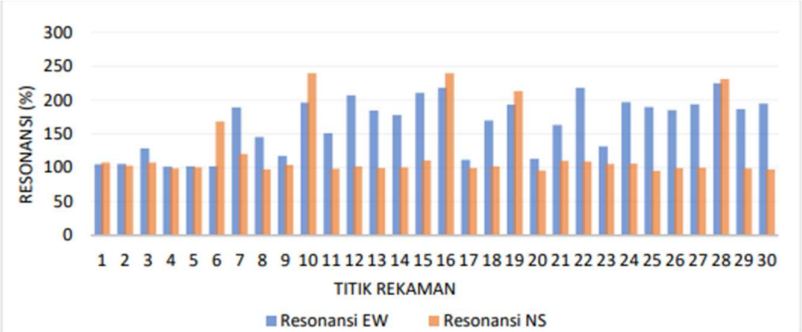
Salah satu perguruan tinggi negeri di Provinsi Jambi adalah Universitas Jambi, yang didirikan pada tanggal 23 Maret 1963. Universitas ini memiliki beberapa lokasi kampus, salah satunya berada di Kawasan Mendalo, yang termasuk dalam wilayah Kecamatan Jambi Luar Kota. Di dalam kawasan kampus, terdapat asrama untuk mahasiswa (Rusunawa), yang memiliki 5 lantai dan 96 kamar. Asrama ini memiliki tinggi 18 m dan luas 1620 m2 (Universitas Jambi, 2022). Lokasi penelitian terletak di formasi Muaraenim, formasi ini merupakan bagian dari batuan sedimen (TMPM) Tersier, Miosen, Pliosen Muaraenim yang terdiri terutama dari batupasir dengan ketebalan lapisan antara 500-1000 m.

Gempa bumi dapat dipicu oleh aktivitas lempeng tektonik. Gedung Rusunawa berjarak cukup dekat dengan pusat gempa bumi yang berada di Kabupaten Batanghari sekitar 83 km, Kabupaten Merangin sekitar 180 km, dan Kabupaten Kerinci sekitar 415,2 km. Tingkat kerusakan akibat gempa di suatu wilayah juga dipengaruhi oleh kondisi geologinya.

Untuk melakukan pengujian, digunakan Seismograf 3 komponen MAE A6000S dengan waktu perekaman 45 menit di setiap titik pengukuran. Jumlah titik pengukuran sebanyak 34 titik dengan jarak antara titik 16,7 m. Gedung yang diuji memiliki tinggi 30 meter dan luas area 1620 m2. Data mikrotremor yang didapatkan menunjukkan kecepatan getaran bangunan dalam domain waktu. Data tersebut diproses dengan menggunakan perangkat lunak Geopsy. Selanjutnya dianalisis dengan menggunakan HVSR (Horizontal to Spectral Ratio) dan FSR (Floor Spectral Rasio). Perangkat lunak Geopsy digunakan untuk mengolah data mikrotremor. Untuk pengukuran Gedung ditinjau sebanyak 30 titik.



Gambar 2. 5 Grafik Frekuensi Alami Bangunan (fb) dan Amplitudo (A0), A. Komponen arah EW, B. Komponen arah NS
(*Sumber : Larasati dkk 2022*)



Gambar 2. 6 Grafik Resonansi Gedung Rusunawa Universitas Jambi
(*Sumber : Larasati dkk 2022*)

Pengolahan kurva spektrum data frekuensi natural bangunan, didapatkan 60 data dari dua komponen (EW dan NS) dengan 30 titik pengukuran. Nilai frekuensi rata-rata lantai 1 sampai lantai 5 untuk komponen East – West (EW) adalah 3,773 Hz, sedangkan untuk komponen North – South (NS) adalah 3,0193 Hz. Titik pengukuran dengan nilai frekuensi tertinggi adalah L2 4, L3 4, dan L5 4. Nilai amplitudo rata-rata bangunan untuk komponen East – West (EW) adalah 7,326024 dan untuk komponen North – South (NS) adalah 6,188906. Nilai frekuensi natural dan amplitudo gedung rusunawa Universitas Jambi memiliki nilai yang lebih tinggi.

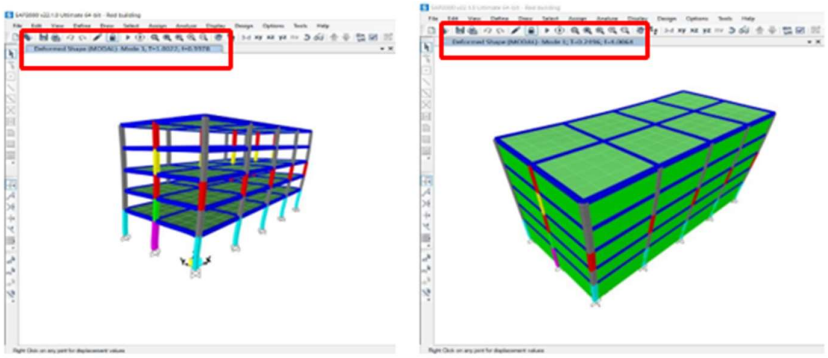
Berdasarkan grafik indeks kerentanan bangunan komponen (EW dan NS) untuk lantai 1 sampai lantai 5 dengan 60 data dari komponen (EW) dan komponen (NS). Nilai tertinggi terdapat pada lantai 4 di titik L4 2 dengan nilai 19.20723 m/s2. Nilai ini masih di bawah 100 m/s2 yang menunjukkan bahwa titik L4 2 di lantai 4 masih dalam kondisi aman jika terjadi gempa bumi.

2.2.4 Memperkirakan Periode Fundamental Untuk Bangunan Thailand Menggunakan Data Getaran Ambien dengan Teknik HVSR

Penelitian ini dilakukan pengukuran mikrotremor pada 15 bangunan struktur beton bertulang (RC). Bangunan-bangunan tersebut pada kisaran 5 hingga lima belas lantai dan untuk estimasi ketinggian bangunan antara 16 hingga 60 meter.

Dari Agustus 2020 sampai Januari 2021, pengukuran awal sudah selesai dilaksanakan. Semua pengukuran menggunakan alat yang sama, yaitu *tri-directional accelerometer,* yang merupakan seismometer beresolusi tinggi dengan dinamika 24-bit yang cocok untuk rentang amplitudo yang sangat kecil. Di setiap lokasi, Data mikrotremor disampel selama kurang lebih 45 menit dengan frekuensi survei 128 Hz. Pengukuran dilakukan dengan sumbu alat yang sejajar dengan arah utama gedung. Secara khusus, arah Utara-Selatan disesuaikan dengan ukuran gedung terpanjang dalam rancangan (arah y menurut alat), sementara arah Timur-Barat disesuaikan dengan sisi yang tegak lurus (arah x menurut alat).

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti korelasi antara periode getaran dasar dan tinggi bangunan dengan menggunakan metode eksperimen dan analitik. Untuk tujuan ini, model numerik 3D yang seluruhnya elastis dibuat untuk mengestimasi periode alami dari beberapa bangunan yang dipilih yang sudah ada. Analisis elastis model numerik dilaksanakan dengan memakai paket software SAP2000. Sebagai contoh, gedung fakultas Teknik Sipil MU yang telah dimodelkan dengan memperhitungkan pengaruh dinding pengisi dan hasilnya ditampilkan sebagai berikut.



Gambar 2. 7 Model 3D SAP2000 Bangunan no. 1 Dengan Dan Tanpa Dinding Pengisi.
(*Sumber : Ranaweera dan Ornthammarath 2022*)

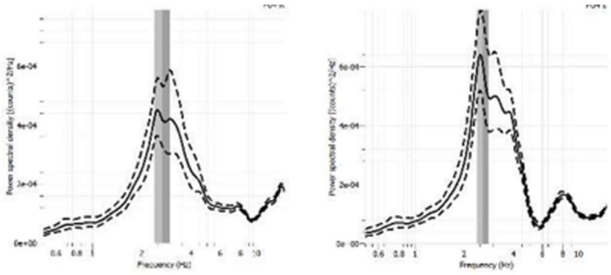
Data yang digunakan sebagai perbandingan yaitu bangunan no.1 yaitu Gedung Fakultas Teknik Sipil MU dimana didapatkan melalui analisis data mikrotremor menggunakan metode HVSR periode alami bangunan sebesar 0.3051 detik dan melalui analisis numerik menggunakan perangkat lunak SAP2000 didapatkan periode alami bangunan dengan dinding pengisi adalah Tn = 0,3051 detik dan untuk model tanpa dinding pengisi didapat periode fundamentalnya sebesar 1,0022 detik. Ini menunjukkan bahwa nilai periode dasar mode utama dengan dinding pengisi di dalam model lebih sesuai dengan nilai data getaran ambien dengan metode HVSR.

2.2.5 Mempelajari Karakteristik Bangunan Reaktor Multiguna G.A. Siwabessy menggunakan *Floor Spectral Ratio*

Reaktor G.A. Siwabessy merupakan objek nasional vital infrastruktur nuklir Indonesia. Ini bukan hanya fasilitas penting yang membuat klasifikasi ini vital, tetapi juga karena risiko besar yang dapat mengganggu stabilitas nasional suatu negara jika fasilitas tersebut terkena bencana yang tak terduga. Kawasan Nuklir Serpong yang terletak di Kawasan Iptek B.J. Habibie, Setu, Tangerang Selatan, Banten adalah salah satu kawasan fasilitas nuklir terluas yang dimiliki Indonesia. Karena lokasinya, fasilitas nuklir serpong rentan terhadap bahaya gempa, kemungkinan terjadinya gempa berkekuatan tinggi pada wilayah tersebut cukup tinggi dan dapat memberikan resiko yang cukup besar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah pada instalasi reaktor G.A. Siwabessy, dan bangunan (bangunan reaktor dan bangunan tangga) yang meliputi nilai frekuensi alami tanah dan bangunan, serta nilai amplifikasi tanah pada area lokasi reaktor. Informasi ini akan memberikan ilustrasi tentang arah pergerakan struktur menggunakan metode FSR, serta kekuatan tanah (lokasi reaktor) untuk menahan bangunan agar tetap tegak berdasarkan hasil analisis metode HVSR di kawasan KNS. Berdasarkan hasil ini, diharapkan dapat menetapkan karakteristik respons struktur. Selanjutnya dalam perkembangannya, informasi karakteristik dinamis struktur bangunan digunakan sebagai parameter kuantitatif untuk menentukan ketahanan struktur bangunan terhadap mitigasi bencana gempa bumi.

Dalam pengambilan data mikrotremor menggunakan seismometer dari Lennartz Electronic LE-3D/20s. Seismometer memiliki tiga komponen shingga mampu mendeteksi getaran dari tiga arah yaitu dua arah horizontal (NS, EW) dan satu arah vertical (Z). Pengambilan data dilakukan mulai pada tanggal 8 Januari 2023 hingga 19 Januari 2023. Perekaman data mikrotremor dilakukan selama 31 menit dan sampel pada 100 Hz.



Gambar 2. 8 Frekuensi Natural dan Kerapatan Spektral Daya Searah Komponen N dan E
(*Sumber : Satriyo dkk 2023*)

Didapatkan nilai setelah melakukan analisis pengujian yaitu rentang frekuensi alami yang diperoleh untuk perambatan gelombang berdasarkan arah komponen NS berada pada kisaran 1,423 Hz hingga 4,726 Hz dengan nilai frekuensi rata-rata pada arah tersebut 2,547 Hz. Untuk propagasi gelombang pada struktur dengan arah komponen EW, memiliki nilai f0 pada rentang 1,280 Hz hingga 9,753 Hz dan nilai rata-rata f0 pada arah tersebut adalah 2,957 Hz.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa kondisi reaktor instalasi tidak membutuhkan rekomendasi mitigasi atau rekayasa struktur, berdasarkan nilai lokasi penempatan reaktor.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Dari penelitian-penelitian yang sudah dijabarkan diatas dirangkumlah kedalam tabel sebagai berikut ini :

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Yang Akan Dilakukan

Peneliti	**Prabowo dkk**	**Yuniarto dan Kiswanto**	**Larasati dkk**	**Ranaweera dan Ornthammarath**	**Satriyo dkk**	**Rafi A. Fahmy**
Tahun	2020	2021	2022	2022	2023	2024
Judul Penelitian	Analisis Mikrotremor untuk mengevaluasi Kerentanan Gempa Bumi Ruangan Prodi Pendidikan Fisika UST	Analisis Mikrotremor Untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Pada Gedung Perkuliahan ITS NU Pekalongan	Uji Kerentanan Bangunan Rusunawa Berdasarkan HVSR (*Horizontal To Spectral Ratio*) Dan FSR (*Floor Spectral Ratio*)	*Estimating Fundamental Periods For Thai Buildings Using Ambien Vibration Data With HVSR Technique.*	*Study Characteristics Of a Multipurpose Reactor Building G.A. Siwabessy Using Floor Spectral Ratio*	Analisis Data Mikrotremor Menggunakan Metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) Untuk Evaluasi Kerentanan Pada Gedung
Tujuan Penelitian	Mengetahui Tingkat kerentanan bangunan berdasarkan pengukuran mikrotremor dengan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR)	Mengetahui frekuensi natural tanah, frekuensi natural bangunan dan Tingkat resonansi bangunan terhadap gempa bumi	Dapat mengetahui kekuatan dan kualitas bangunan berdasarkan analisis HVSR dan Analisis FSR	Untuk mengetahui korelasi antara periode getaran dasar dan tinggi bangunan dengan menggunakan metode eksperimen dan analitik.	Untuk mengidentifikasi karakteristik tanah dan bangunan yang meliputi nilai frekuensi alami tanah dan bangunan, serta nilai amplifikasi tanah.	Mengetahui Tingkat kerentanan bangunan berdasarkan nilai frekuensi natural, indeks resonansi, dan nilai indeks kerentanan serta mengetahui perbandingan nilai frekuensi natural antara analisis mikrotremor dan SAP2000

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Yang Akan Dilakukan

Peneliti	Prabowo dkk	Yuniarto dan Kiswanto	Larasati dkk	Ranaweera dan Ornthammarath	Satriyo dkk	Rafi A. Fahmy
Hasil Penelitian	1. Nilai frekuensi natural tanah sebesar 1,473 Hz 2. Nilai frekuensi natural ruangan Pendidikan UST sebesar 3,19 untuk komponen barat – timur dan 3,22 Hz untuk komponen utara-selatan. 3. Nilai indeks resonansi pada komponen barat-timur berkisar 103,4% - 110,88% dan lantai 2 berkisar 119,05%-136,05% dan pada komponen utara-selatan antara 103,40%-119,05% untuk lantai 1 dan 127,21% pada lantai 2 4. Nilai indeks kerentanan bangunan lantai 2 berkisar antara 4,24-18,79	1. Frekuensi natural bangunan pada komponen timur-barat adalah 2,53 Hz dan pada komponen utara-selatan 2,60 Hz. 2. Nilai indeks resonansi komponen timur-barat adalah 16,62% dan untuk komponen utara-selatan adalah 20%.	1. Frekuensi natural bangunan rata-rata dari lantai 1-5 pada komponen timur-barat adalah 3,773 Hz dan pada komponen utara-selatan adalah 3,0193 Hz. 2. Nilai amplitudo rata-rata bangunan untuk komponen timur-barat adalah 7,326024 dan untuk komponen utara-selatan adalah 6,188906.	1. Periode alami bangunan dengan metode HVSR didapat Tn = 0,3051. 2. Analisis numerik menggunakan perangkat lunak SAP2000 didapat periode alami bangunan dengan dinding pengisi sebesar Tn = 0,3051 detik dan tanpa dinding pengisi sebesar Tn = 1,0022 detik	1. Frekuensi natural bangunan pada komponen timur-barat pada rentang kisaran 1,423 Hz-4,726 Hz dengan rata-rata 2,547 Hz dan pada komponen utara-selatan pada rentang kisaran 1,280 Hz-9,753 Hz dengan rata-rata 2,957 Hz	1. Frekuensi natural gedung perkuliahan 2. Nilai indeks resonansi 3. Nilai indeks kerentanan 4. Perbandingan periode getar bangunan dari permodelan SAP2000

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Gempa

3.1.1 Pengertian Gempa Bumi

Gempa bumi adalah berguncangnya bumi yang diakibatkan oleh adanya patahan aktif, aktivitas gunung api, runtuhan batuan, dan tumbukan akibat pergerakan lempeng bumi (Supartoyo *dkk.,* 2016). Definisi lain tentang gempabumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi karena pelepasan energi dari dalam secara mendadak yang menghasilkan gelombang seismik (BMKG, 2020). Gempabumi umumnya disebabkan oleh pergeseran kerak bumi (lempeng bumi). Frekuensi suatu wilayah menunjukkan jenis dan ukuran gempa bumi yang terjadi selama periode waktu tertentu. Gempa bumi diukur dengan menggunakan alat Seismometer. Moment magnitudo adalah skala yang paling umum untuk mengetahui lokasi gempabumi terjadi untuk seluruh dunia. Skala Richter adalah skala yang dilaporkan oleh observatorium seismologi nasional yang diukur pada skala besarnya lokalnya 5 magnitude. Kedua skala tersebut sama selama rentang angka keduanya valid. Gempa 3 magnitude atau lebih sebagian besar tidak terasa tetapi gempa yang besarnya 7 magnitude lebih berpotensi menyebabkan kerusakan parah di daerah yang luas tergantung pada kedalaman gempa (BMKG, 2020).

3.1.2 Parameter Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi yang terkumpul di dalam bumi. Parameter gempa bumi adalah informasi yang berkaitan dengan kejadian gempa bumi. Parameter gempa bumi ini meliputi waktu kejadian, lokasi episenter, kedalaman sumber gempa bumi, dan magnitude (Arifudin, 2018).

1. Waktu Kejadian Gempa Bumi

Waktu kejadian gempa bumi adalah waktu pelepasan akumulasi tegangan yang berwujud penjalaran gelombang gempa bumi dan dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit dan detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinated*) (Arifudin, 2018).

2. Episenter Gempa Bumi

   Episenter adalah titik dipermukaan bumi yang merupakan pantulan tegak lurus dari hiposenter atau focus gempa bumi. Lokasi episenter dibuat dalam sistem koordinat kartesian bola bumi atau sistem koordinat geografis dan dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur (Arifudin, 2018).

3. Hiposenter Gempa Bumi

   Hiposenter adalah titik di dalam bumi yang menjadi pusat terjadinya gempa bumi. Hiposenter juga disebut sebagai focus gempa bumi. Hiposenter merupakan tempat pelepasan energi akibat pergeseran atau patahan batuan di dalam bumi. Energi yang dilepaskan ini menimbulkan gelombang seismik yang menjalar ke segala arah, termasuk ke permukaan bumi. Jarak antara hiposenter dan permukaan bumi disebut sebagai kedalaman gempa bumi. Kedalaman gempa bumi dapat mempengaruhi intensitas dan dampak gempa bumi. Gempa bumi dangkal (kurang dari 70 km) cenderung lebih kuat dan merusak daripada gempa bumi dalam (lebih dari 300 km) (Novianti & Santosa, 2016).

4. Kekuatan Gempa Bumi atau Magnitudo

   Magnitudo gempa bumi adalah ukuran energi yang dilepaskan oleh gempa bumi. Skala Richter adalah skala logaritma yang artinya setiap kenaikan satu angka pada skala Richter menunjukkan peningkatan energi sebesar 10 kali lipat. Klasifikasi gempa dalam satuan skala richter dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Gempa Dalam Satuan Skala Richter

Tingkat	Deskripsi	Skala Mercalli	Rata-rata efek gempa	Rata-rata frekuensi gempa perkiraan
1,0-1,9	Tak terasa	I	Tidak ada gempa bumi yang dideteksi oleh seismograf.	Berkelanjutan
2,0-2,9	Kecil	I - II	Gempa dirasakan oleh beberapa orang saja, dan tidak berdampak pada bangunan	1 dari 1 juta pertahun
3,0-3,9	Kecil	III – IV	Manusia dapat merasakan gempa, tetapi jarang mengakibatkan kerusakan. Getaran dapat terasa dalam bangunan	> 100.000 per tahun
4,0-4,9	Ringan	IV – VI	Getaran terasa di dalam ruangan dan menimbulkan suara. Getaran dapat dirasakan di wilayah sekitar	10.000–50.000 per tahun
5,0-5,9	Sedang	VI - VII	Gempa dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan dengan konstruksi buruk. Selebihnya, gempa tidak dapat menimbulkan kerusakan, dirasakan oleh siapa saja	1000-1500 per tahun
6,0-6,9	Kuat	VIII - X	Kerusakan timbul pada bangunan berkonstruksi baik, tetapi bangunan tahan gempa tidak akan berpengaruh banyak.	100-150 per tahun
7,0-7,9	Besar	X atau lebih	Kerusakan berdampak pada sebagian besar gedung, dan bangunan dengan konstruksi baik juga kena. Terasa hingga 250 km dari pusat gempa	10-20 per tahun
8,0-8,9	Sangat Besar	X atau lebih	Sebagian besar Gedung hancur, kerusakan dan getaran dalam wilayah yang luas	1 per tahun
>9,0	Sangat besar	X atau lebih	Kerusakan sangat parah dan seluruh bangunan hancur	1 per 10-50 tahun

(*Sumber : United States Geological Survey*)

Gempa bumi dengan magnitudo 2,5 atau kurang biasanya tidak terasa oleh manusia. Gempa bumi dengan magnitudo 3,5-4,5 dapat dirasakan oleh manusia, tetapi biasanya tidak menyebabkan kerusakan. Gempa bumi dengan magnitudo 5,5-6,5 dapat menyebabkan kerusakan ringan pada bangunan. Gempa bumi dengan magnitudo 7,0-7,9 dapat menyebabkan kerusakan serius pada bangunan dan infrastruktur. Gempa bumi dengan magnitudo 8,0 atau lebih dapat menyebabkan kerusakan besar dan tsunami (Richter, C. F., & Gutenberg, B.1935).

5. Intensitas Gempa Bumi

Intensitas gempa bumi merupakan ukuran gempa bumi yang pertama kali digunakan untuk menyatakan besar gempa bumi sebelum manusia dapat mengukur besarnya gempa bumi dengan alat. Ukuran ini dapat diketahui dengan cara melakukan pengamatan langsung efek gempa bumi terhadap manusia, struktur bangunan dan lingkungan pada suatu lokasi tertentu. Intensitas gempabumi dinyatakan dalam skala *Mercally* yang biasa disebut MMI (*Modified Mercally Intensity*). Skala gempabumi MMI bersifat kualitatif, skala intensitas ini sangat subjektif dan bergantung pada kondisi lokasi dimana gempa terjadi. Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menetapkan skala intensitas gempa bumi terbaru yang disesuaikan dengan wilayah Indonesia (Arifudin, 2018). Skala intensitas gempa dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Skala Intensitas Gempa

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	TIDAK DIRASAKAN (*Not Felt*)	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat.	I-II	<2,9

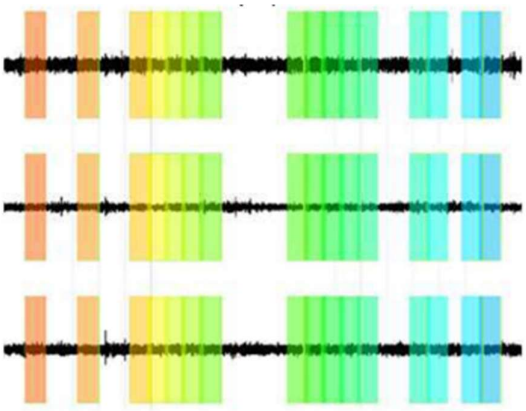
Lanjutan Tabel 3. 2 Skala Intensitas Gempa

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
II	Hijau	DIRASAKAN (*Felt*)	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda-benda ringan yang digantung bergoyang dan jendela kaca bergetar.	III-IV	2,9-88
III	Kuning	KERUSAKAN RINGAN (*Slight Damage*)	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, genteng bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan.	VI	89-167
IV	Jingga	KERUSAKAN SEDANG (*Moderate Damage*)	Banyak Retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar genteng bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang.	VII-VIII	168-564
V	Merah	KERUSAKAN BERAT (*Heavy Damage*)	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.	IX-XII	>564

(*Sumber : BMKG, 2016*)

3.2 Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran tanah alami yang terjadi secara terus-menerus dengan amplitudo rendah sekitar 0,1 hingga 1 mikron akibat pergerakan di bawah permukaan. Mikrotremor biasa disebut juga ambient noise merupakan getaran konstan yang kecil pada tanah dan lantai yang diakibatkan oleh angin kencang, pasang surut gelombang laut dan lain sebagainya (Sungkono, dkk., 2011). Analisis mikrotremor berguna untuk mengidentifikasi frekuensi tanah, frekuensi bangunan, resonansi bangunan, dan struktur tanah di bawahnya. Salah satu keunggulan pengukuran mikrotremor adalah kemampuannya untuk dilakukan tanpa merusak struktur bangunan. Data rekaman mikrotremor pada setiap titik tinjauan digunakan sebagai acuan dalam pengolahan data untuk menjelaskan karakteristik tanah atau bangunan yang ditinjau (Larasati, 2022).

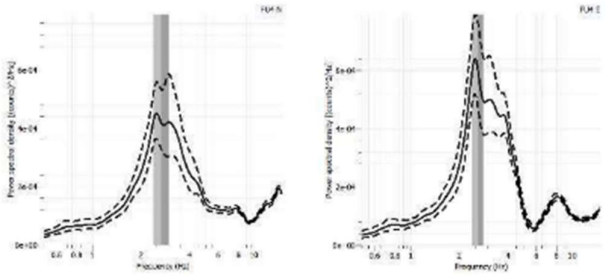


Gambar 3. 1 Rekaman Data Mikrotremor Pada Software Geopsy
(*Sumber : Satriyo, dkk 2023*)

3.3 Metode *Floor Spectral Ratio*

Metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) adalah metode yang digunakan untuk menganalisis data mikrotremor yang direkam di berbagai lantai suatu bangunan. Metode ini menghitung rasio antara spektrum amplitudo gelombang horizontal di lantai atas dengan spektrum amplitudo gelombang horizontal di lantai bawah. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan frekuensi natural, amplifikasi, dan indeks kerentanan bangunan akibat gempa bumi. Metode ini juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kekuatan dan kekakuan struktur bangunan (Satriyo, dkk. 2023).

Analisis dengan metode FSR dilakukan dengan mengubah data rekaman mikrotremor dari domain waktu ke domain frekuensi pada tiga komponen pengukuran: vertikal, N-S (utara-selatan), dan E-W (timur-barat). Hasil analisis FFT pada software geopsy kemudian digunakan untuk menentukan nilai frekuensi dan amplitudo maksimum. Berikut adalah contoh analisis FFT menggunakan metode FSR pada software geopsy.



Gambar 3. 2 Grafik FSR komponen NS dan EW
(*Sumber : Satriyo, dkk 2023*)

3.4 Metode Horizontal-To-Vertikal Spectral Ratio

Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) dikembangkan oleh Yutaka Nakamura pada tahun 1989. Metode ini adalah salah satu yang paling sederhana dan efektif untuk mengestimasi karakteristik dinamika lapisan permukaan tanah melalui frekuensi natural dan amplifikasi berdasarkan data mikrotremor. Nakamura mengembangkan metode ini berdasarkan pengalamannya dalam penelitian tentang perambatan gelombang geser akibat gempa, dengan membandingkan spektrum komponen horizontal dan vertikal dari data mikrotremor (Nakamura, dkk. 2000).

Nilai frekuensi natural tanah dapat dibandingkan dengan nilai frekuensi natural bangunan untuk menentukan tingkat resonansi bangunan. Penentuan nilai frekuensi natural tanah dipengaruhi oleh ketebalan sedimen di daerah tersebut (Syihabuddin, 2020). Frekuensi rendah menunjukkan lapisan sedimen yang tebal, sedangkan frekuensi tinggi menunjukkan lapisan sedimen yang tipis. Karakteristik batuan di bawah permukaan tanah dapat diketahui dari nilai frekuensi yang terukur, menggunakan klasifikasi nilai frekuensi natural oleh Kanai yang dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural Oleh Kanai

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	**Jenis**			
IV	I	6,7 – 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan *hard sandy, gravel,* dll.	Ketebalan sedimen permukaannya sangan tipis, didominasi oelh batuan keras.
	II	4 – 6,7	Batuan alluvial dengan ketebalan 5 m. terdiri dari *sandy-gravek, sandy hard clay, loam,* dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10 meter.
III	III	2,5 – 4	Batuan alluvial dengan ketebalan >5 m. terdiri dari *sandy-gravek, sandy hard clay, loam,* dll.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter.
II	IV	<2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, *top soil*, lumpur, dll. dengan ketebalan 30 m atau lebih.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal.
I				

(Sumber : Syihabuddin, 2020)

3.5 Frekuensi Natural Bangunan

Frekuensi natural bangunan adalah frekuensi getaran yang terjadi pada bangunan akibat pengaruh gaya luar, seperti gempa bumi, angin, atau beban dinamis lainnya. Frekuensi natural bangunan dipengaruhi oleh massa, kekakuan, dan bentuk bangunan. Frekuensi natural bangunan dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kerusakan dan kerentanan bangunan akibat gempa bumi. Frekuensi natural bangunan dapat diukur dengan menggunakan data mikrotremor yang direkam di berbagai lantai bangunan (Prabowo, dkk. 2020).

Mengetahui nilai frekuensi natural bangunan dibandingkan dengan frekuensi natural tanah adalah salah satu cara untuk memperkirakan potensi

kerusakan bangunan akibat gempa bumi. Jika frekuensi tanah di sekitar bangunan lebih rendah daripada frekuensi bangunan, maka bangunan dianggap aman dari kerusakan akibat gempa bumi. Sebaliknya, jika frekuensi bangunan lebih rendah daripada frekuensi tanah, maka bangunan dianggap tidak aman dari kerusakan akibat gempa bumi (Gosar, 2010). Nilai frekuensi natural bangunan ditentukan melalui analisis spektrum setiap lantai bangunan terhadap tanah di bawahnya. Penentuan nilai frekuensi natural bangunan berdasarkan analisis FSR dilakukan dengan menggunakan persamaan yang diusulkan oleh Prakorsa (Sarkowi, 2022).

$$\boldsymbol{F_L\ (\mathrm{FSR}) = \frac{f_L\, NS}{f_t\, NS}} \tag{3.1}$$

$$\boldsymbol{F_L\ (FSR) = \frac{f_L\, EW}{f_t\, EW}} \tag{3.2}$$

Keterangan :

$F_L\ (FSR)$ = Rasio Frekuensi Natural Pada Lantai

f_L = Hasil FFT Frekuensi Pada Lantai (Hz)

f_t = Hasil FFT Frekuensi Tanah (Hz)

3.6 Indeks Resonansi Bangunan

Indeks resonansi bangunan adalah rasio antara frekuensi natural bangunan dengan frekuensi natural tanah di bawahnya. Indeks resonansi bangunan dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kerusakan dan kerentanan bangunan akibat gempa bumi. Indeks resonansi bangunan dapat diukur dengan menggunakan data mikrotremor yang direkam di berbagai lantai bangunan (Ayi & Bahri., 2020).

Indeks resonansi bangunan (R) pada komponen Timur- Barat dan komponen Utara-Selatan diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\boldsymbol{R = \left| \frac{Fb - ft}{ft} \right|} \tag{3.3}$$

dengan fb adalah frekuensi natural pada bangunan, ft adalah frekuensi pada tanah. Gosar, dkk mengklasifikasikan nilai indeks resonansi menjadi 3 yaitu :

1. Resonansi Bangunan Rendah
   (R > 25%)
2. Resonansi Bangunan Sedang
   (15% < R < 25%)
3. Resonansi Bangunan Tinggi
   (R < 15%)

Jika nilai resonansi bangunan yang didapat rendah maka nilai tersebut mendekati frekuensi natural tanah dan rawan untuk terjadinya kecelakaan.

3.7 Indeks Kerentanan Bangunan

Indeks kerentanan bangunan adalah ukuran yang menunjukkan seberapa besar kemungkinan bangunan mengalami kerusakan akibat gempa bumi. Indeks kerentanan bangunan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti frekuensi natural, amplifikasi, kekuatan, kekakuan, bentuk, dan kualitas bangunan. Menurut Sato dkk., (2008), Indeks kerentanan dapat diperkirakan dari deformasi struktur yang berkaitan dengan pergerakan seismik dari permukaan tanah ke struktur. Mengetahui nilai indeks kerentanan yang dikemukakan oleh Nakamura, dkk (2009 dalam Sungkono, dkk., 2011) ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{Kb = \frac{A}{(2\pi f)^2 x\, H}\, X\, 10.000} \tag{3.4}$$

dimana, Kb adalah nilai rata-rata struktur, A adalah amplitudo, f adalah frekuensi alami, H adalah ketinggian bangunan, 10-6 atau 10.000 adalah efek noise. untuk memperkirakan kerentanan bangunan itu mengalami runtuh pada nilai indeks kerentanan di atas 100 m/s2 – 200 m/s2. Sehingga jika nilai indeks kerentanan di bawah 100 m/s2 bangunan aman terhadap kerusakan (Hadianfard dkk., 2017).

3.8 Amplifikasi Tanah (Ao)

Gelombang seismik adalah getaran yang merambat di dalam bumi akibat adanya gangguan atau pergeseran pada kerak bumi. Gelombang seismik dapat dipantulkan, dibiaskan, atau ditransmisikan ketika bertemu dengan batas antara dua medium yang berbeda. Amplifikasi adalah proses peningkatan amplitudo atau kekuatan gelombang seismik ketika berpindah dari medium yang memiliki

kepadatan atau kecepatan gelombang tinggi ke medium yang memiliki kepadatan atau kecepatan gelombang rendah. Amplifikasi dapat menyebabkan kerusakan yang lebih besar pada bangunan atau struktur yang berada di atas medium yang lebih lembut (Riyantiyo, dkk. 2017).

Zona	Klasifikasi	Nilai faktor amplifikasi
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$
4	Sangat Tinggi	$A \geq 9$

Gambar 3. 3 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi
(*Sumber : Setiawan, 2009)*

Faktor amplifikasi atau amplitudo memberikan gambaran tentang perubahan percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke permukaan. Semakin besar nilai faktor amplifikasi akan menimbulkan intensitas gempa yang lebih besar (Wibowo & Huda, 2020).

3.9 Pembebanan Gempa pada Bangunan Struktur

Pembebanan yang digunakan untuk menganalisis Gedung yaitu beban hidup,beban mati, dan beban gempa dengan penjelasan sebagai berikut :

3.9.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban yang tetap atau konstan pada bangunan akibat berat sendiri bangunan, termasuk berat struktur, dinding, lantai, atap, plafon, instalasi, dan peralatan yang permanen. Beban mati harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur bangunan agar bangunan dapat menahan beban tersebut tanpa mengalami kerusakan atau kegagalan. Beban mati ditentukan berdasarkan berat jenis dan volume bahan bangunan, seperti beton, dan baja. Beban mati dihitung dengan satuan kN/m atau kN (SNI 1726-2019). Dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 3. 4 Beban Mati

Komponen	Berat Volume		Tebal	Berat Total
	Nilai	Satuan	*(m)*	*(kN/m^2)*
Keramik	17	*Kg/m^2*		0,167
Mortar Spesi	21	*Kg/m^2*		0,206

Lanjutan Tabel 3. 4 Beban Mati

Komponen	Berat Volume		Tebal	Berat Total
	Nilai	Satuan	*(m)*	*(kN/m²)*
Pasir	1800	*Kg/m³*	0,04	0,706
Plafond	24	*Kg/m²*		0,235
Rangka Plafond	0,3	*Kg/m²*		0,069
Pelat Lantai	2400	*Kg/m³*	0,12	2,825
Plumbing & Elektrikal	0,3	*kN/m²*		0,300

(Sumber : PPIUG - 1987)

3.9.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang bervariasi atau berubah-ubah pada bangunan akibat pengaruh manusia, barang, hewan, angin, salju, atau beban lainnya yang tidak permanen. Beban hidup harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur bangunan agar bangunan dapat menahan beban tersebut tanpa mengalami kerusakan atau kegagalan. Beban hidup ditentukan berdasarkan pemanfaatan bangunan, seperti perkantoran, perumahan, pendidikan, olahraga, atau industri. Beban hidup dihitung dengan satuan kN/m2 atau kPa (SNI 1726-2019). Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. 5 Beban Hidup

Penggunaan	Beban Hidup *(kN/m²)*
Auditorium	5,0
Koridor	4,0
Toilet	2,5
Ruang Kelas	3,0
Ruang Dosen dan Kantor	2,5

(Sumber : SNI 1727 – 2020)

3.9.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang dihasilkan oleh gempa bumi yang berpengaruh pada struktur bangunan gedung dan non-gedung. Beban gempa terdiri

dari beban gempa statis dan beban gempa dinamis. Beban gempa statis adalah beban yang dihitung berdasarkan gaya inersia yang ditimbulkan oleh percepatan tanah akibat gempa. Beban gempa dinamis adalah beban yang dihitung berdasarkan respon spektrum gempa yang menggambarkan karakteristik getaran tanah akibat gempa. Beban gempa harus diperhitungkan dalam perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung agar bangunan dapat menahan gempa tanpa mengalami keruntuhan atau kerusakan yang signifikan (SNI 1726-2019).

Klasifikasi kategori resiko struktur bangunan Gedung dan nongedung diatur dalam SNI 1726-2019 yang dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3. 6 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi dibatasi untuk, antara lain : - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang Penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

Lanjutan Tabel 3. 6 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan nongedung yang mewakili risiko terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

Lanjutan Tabel 3. 6 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas Kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV	IV

(Sumber : SNI 1726-2019)

Berikut merupakan faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada tabel 3.7 berikut.

Tabel 3. 7 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726-2019)

Untuk pemilihan jenis sistem rangka pada suatu struktur bangunan yang memiliki Tingkat risiko gempa yang tinggi yaitu menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus yang menggunakan prinsip *Strong Column Weak Beam* yaitu seperti yang tercantum pada tabel 3.8 berikut.

Tabel 3. 8 Faktor R, Cd, dan Ω₀ Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik		**R**	**Ω₀**	**Cd**	**Batasan sistem struktur dan Batasan tinggi struktur**				
					Kategori desain seismik				
					B	**C**	**D**	**E**	**F**
Sistem dinding penumpu	Dinding geser beton bertulang khusus	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
	Dinding geser beton bertulang biasa	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
Sistem rangka bangunan	Dinding geser beton bertulang khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
	Dinding geser beton bertulang biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
Sistem rangka pemikul momen	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI

Lanjutan Tabel 3. 7 Faktor R, Cd, dan Ω₀ Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik		R	Ω₀	Cd	Batasan sistem struktur dan Batasan tinggi struktur				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D	E	F
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan	Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
	Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5½	TB	TB	TI	TI	TI
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismic yang ditetapkan	Dinding geser beton bertulang khusus	6 ½	2½	5	TB	TB	48	30	30
	Dinding geser beton bertulang biasa	5 ½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI

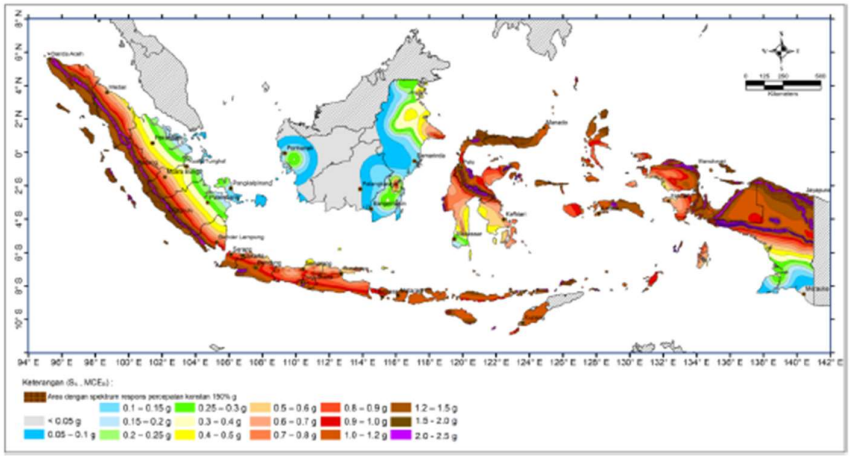
(Sumber : SNI 1726-2019)

3.10 Respon Spektrum Gempa

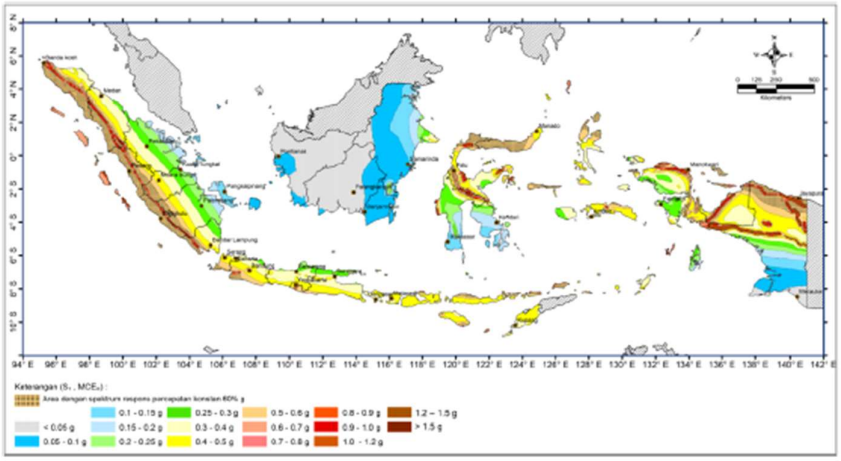
Respon spektrum gempa adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara periode getaran struktur bangunan dengan nilai percepatan, kecepatan, atau perpindahan yang dihasilkan oleh gempa bumi. Respon spektrum gempa dapat digunakan untuk menganalisis perilaku dinamis struktur bangunan akibat gempa bumi dengan menggunakan metode analisis respon spektrum. Respons spektrum merupakan grafik hubungan nilai puncak respons struktur percepatan akibat eksitasi gempa sebagai fungsi dari periode alamiah sistem struktur. Spektrum gempa dibuat berdasarkan peta gempa Indonesia 2010. Pembuatan spektrum gempa disesuaikan dengan letak geografis dan kategori kelas jenis situs tanah bangunan (Fauzan, dkk. 2016).

3.10.1 Analisis Respons Spektrum

Menentukan Nilai SS dan S1 daerah tinjauan dari gambar berikut



Gambar 3. 4 Peta Parameter Gerak Tanah (Ss) Periode 0,2 Detik
(*Sumber : SNI 1726-2019*)



Gambar 3. 5 Peta Parameter Gerak Tanah (S1) Periode 1 Detik
(*Sumber : SNI 1726-2019*)

3.10.2 Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum

Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, dan ditentukan dengan persamaan berikut ini:

$$\boldsymbol{S_{MS}} = \text{Fa.Ss} \quad (3.5)$$

$$S_{M1} = \text{Fv..S1} \quad (3.6)$$

Keterangan :

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk

Periode pendek

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk Periode 1,0 detik

Fa = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek.

Fv = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik.

Koefisien nilai situs Fa dan Fv dapat dilihat pada tabel 3.9 dan 3.10 berikut.

Tabel 3. 9 Koefisien Situs Fa

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

(*Sumber : SNI 1726-2019*)

Tabel 3. 10 Koefisien Situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

(*Sumber : SNI 1726-2019*)

3.10.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spectral desain untuk periode 0,2 detik, SDS dan pada periode 1 detik, SD1, yaitu dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.7)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.8)$$

3.10.4 Spektrum Respon Desain

Jika dalam membuat grafik respons spektrum desain menggunakan cara tersebut tanpa menggunakan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva respons spektrum desain harus mengacu dan mengikuti ketentuan sebagai berikut :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari *T0*, spektrum respons percepatan desain, *Sa*, harus diambil dari persamaan :

$$Sa = S_{DS} (0{,}4 + 0{,}6 \frac{T}{T_0}) \quad (3.9)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T0 dan lebih kecil dari atau sama dengan Ts, spektrum respons percepatan desain, Sa, sama dengan SDS,
3. Untuk periode lebih besar dari Ts tetapi lebih kecil dari atau sama dengan TL, respons spektral percepatan desain, Sa, diambil berdasarkan persamaan:

$$Sa = (\frac{S_{D1}}{T1}) \quad (3.10)$$

4. Untuk periode lebih besar dari TL, respons spektral percepatan desain, Sa, diambil berdasarkan persamaan :

$$Sa = (\frac{S_{D1} T_L}{T^2}) \quad (3.11)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek

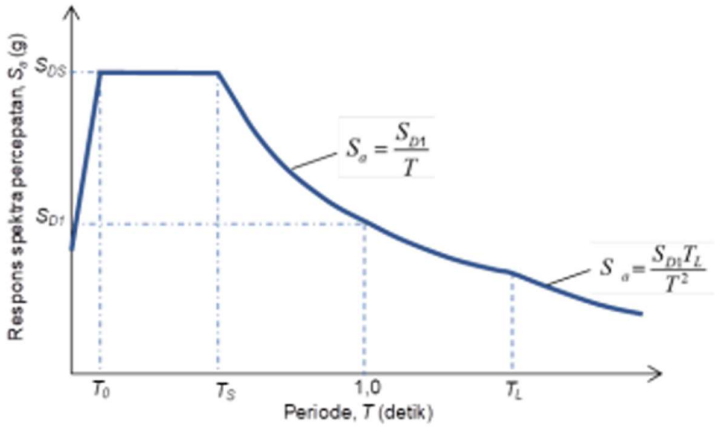
S_{D1} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

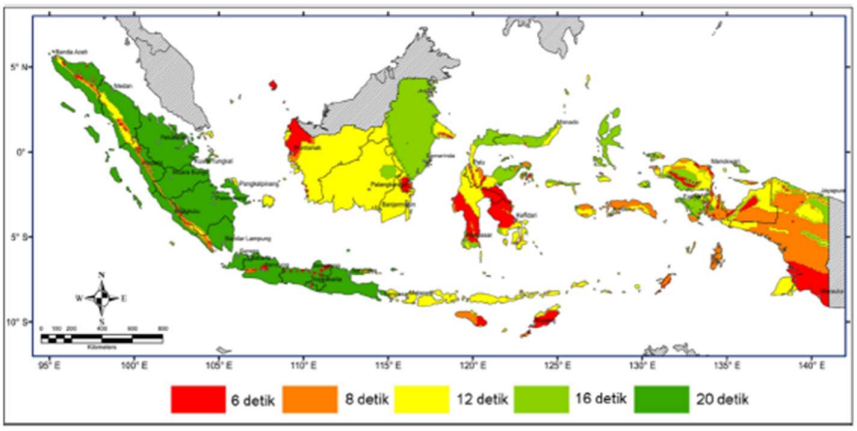
T_0 = $0{,}2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

T_s = $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

T_L = Peta transisi periode Panjang, Dimana nilainya diambil dari gambar 3.10



Gambar 3. 6 Spektrum Respons Desain
(*Sumber : SNI 1726-2019*)



Gambar 3. 7 Peta Transisi Periode Panjang, TL
(*Sumber : SNI 1726-2019*)

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Universitas Islam Indonesia Khususnya pada Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Gedung ini memiliki 4 lantai dan 1 basement. Lantai 1 banyak difungsikan sebagai ruang kelas dan Sebagian ruangan pendidik. Sedangkan lantai 2 digunakan sebagai tempat kantor bagi pendidik. Untuk lantai 3 dan 4 digunakan sebagai ruang kelas dan auditorium. Dan lantai basement digunakan sebagai tempat pelayanan mahasiswa. Adapun denah lokasi pelaksanaan sebagai berikut :

Gambar 4. 1 Lokasi Gedung FMIPA UII
(Sumber : Google Earth)

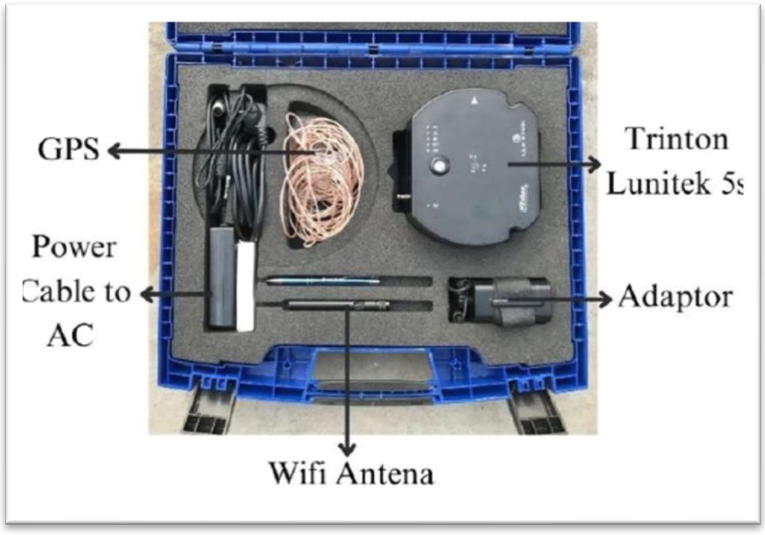
4.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua peralatan dan perangkat, yaitu perangkat lunak dan perangkat keras.

1. Perangkat Lunak (*Software*)
   a. *Geopsy*

b. *Google Earth*
c. Autocad 2024 berfungsi untuk memodelkan Gedung pada 2 dimensi
d. SAP2000 berfungsi untuk menganalisis periode getar bangunan
e. *Microsoft Excel* berfungsi untuk pengolahan data
f. *Microsoft Word* berfungsi untuk penyusunan laporan

2. Perangkat Keras (*Hardware*)
   a. *Lunitek Trinton 5s Digital seismic Sensor* berfungsi untuk merekam data mikrotremor pada titik penelitian
   b. *Blue Suitcase* berfungsi sebagai tempat penyimpanan alat *Lunitek trinton digital seismic sensor*
   c. *WIFI antenna* atau *Ethernet Cable* berfungsi sebagai penghubung antara alat *Lunitek Trinton 5s* dan Laptop
   d. *Power Cable to AC + Adaptor* sebagai sumber daya alat lunitek
   e. *Battery type 18650 3400mAh 3,7 v* sebagai sumber daya alat lunitek
   f. *USB Flashdisk* digunakan untuk penyimpanan data mikrotremor
   g. *Kompas* digunakan untuk menunjukan arah mata angin
   h. Laptop sebagai penghubung dan analisis data



Gambar 4. 2 Peralatan Yang Digunakan
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.3 Teknik Pengumpulan Data

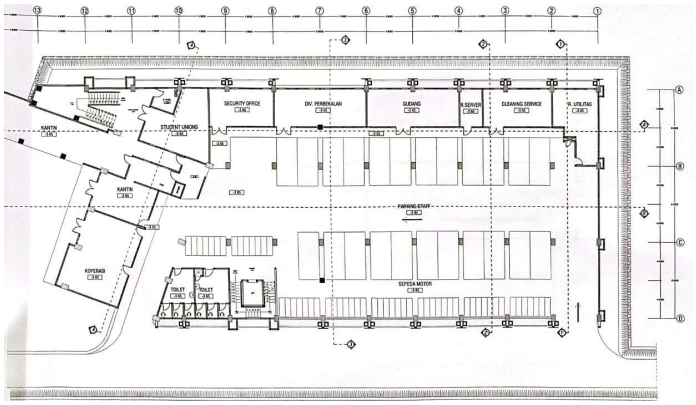
Teknik pengumpulan data dilakukan langsung pada titik-titik lokasi yang akan diteliti dengan memperoleh data mikrotremor lalu dianalisis menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) dan untuk kebutuhan data bangunan dilakukan dengan mengambil studi literatur. Untuk lokasi tempat yang akan dilakukan pengujian pada tiap 5 titik pengujian untuk menentukan titik berat bangunan pada tiap lantainya.

1. Tahap Studi Literatur

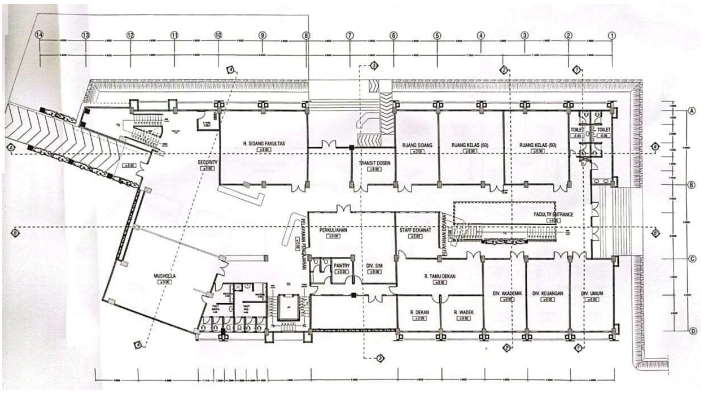
   Tahap studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan materi, konsep, dan standar yang relevan dengan penelitian, termasuk lokasi penelitian, denah bangunan, serta penerapan metode FSR. Tahapan ini krusial untuk memahami proses penelitian serta struktur dan tata letak fisik bangunan.

2. Tahap survey

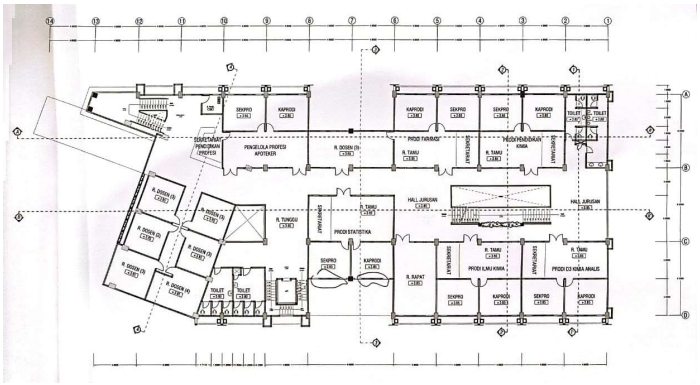
   Pengukuran Mikrotremor dilakukan pada beberapa titik lokasi yaitu terdapat didalam dan diluar gedung dengan diwakili beberapa titik pada setiap lantainya. Untuk penjelasan yang baik, digunakanlah denah yang didapat dari hasil studi literatur. Berikut merupakan denah Lokasi yang telah diperoleh.



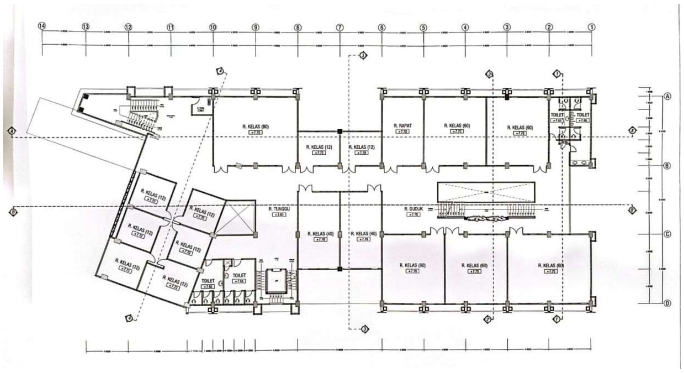
Gambar 4. 3 Denah FMIPA Lantai Basement
(*Sumber : Dokumen PFK UII*)



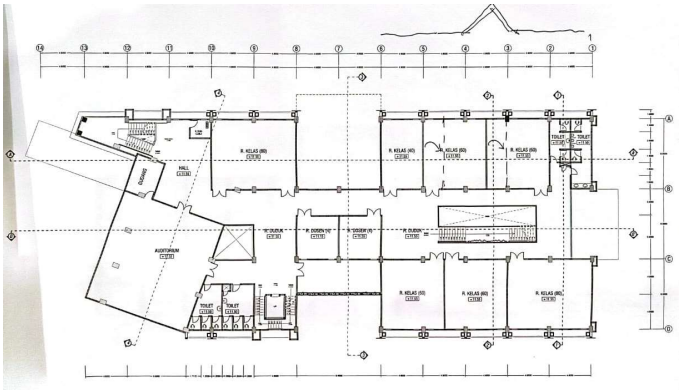
Gambar 4. 4 Denah FMIPA Lantai 1
(*Sumber : Dokumen PFK UII*)



Gambar 4. 5 Denah FMIPA Lantai 2
(*Sumber : Dokumen PFK UII*)



Gambar 4. 6 Denah FMIPA Lantai 3
(*Sumber : Dokumen PFK UII*)



Gambar 4. 7 Denah FMIPA Lantai 4
(*Sumber : Dokumen PFK UII*)

3. Tahap Pengambilan Data

   Tahap pengambilan data dilakukan pada waktu libur perkuliahan agar gedung dalam kondisi senyap dan sunyi akan aktifitas dalam ruangan. Hal tersebut dilakukan agar tidak ada rekaman getaran yang terdeteksi akibat getaran yang bukan dihasilkan dari bangunan. Pengukuran dilakukan pada setiap titik dengan perekaman mikrotremor ±30 menit menggunakan frekuensi *sampling* 100Hz.

Gambar 4. 8 Pengambilan Data Mikrotremor Bangunan

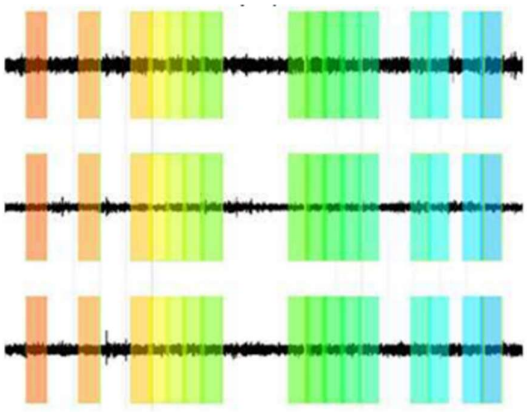
4.4 Pengolahan Data Mikrotremor

Pengolahan hasil rekaman mikrotremor dilakukan menggunakan software *geopsy* untuk mendapatkan nilai frekuensi dan amplitude bangunan dan tanah. Untuk menentukan nilai indeks resonansi bangunan dan indeks kerentanan bangunan menggunakan bantuan software *Microsoft excel*. Pengolahan dilakukan secara bertahap, berikut merupakan tahapan dalam pengolahan serta analisis data mikrotremor.

4.4.1 Pengolahaan Frekuensi dan Amplitudo

Rekaman mikrotremor yang diperoleh dari gedung dan tanah mencakup tiga komponen, yaitu utara-selatan (N–S), timur-barat (E–W), dan vertikal (V). Data mikrotremor dari gedung kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak Geopsy dengan metode Fast Fourier Transform (FFT) melalui pendekatan Floor Spectral Ratio (FSR) untuk menentukan nilai frekuensi dan amplitudo. Berikut adalah tahapan analisis FFT dengan metode FSR (Sungkono, 2011).

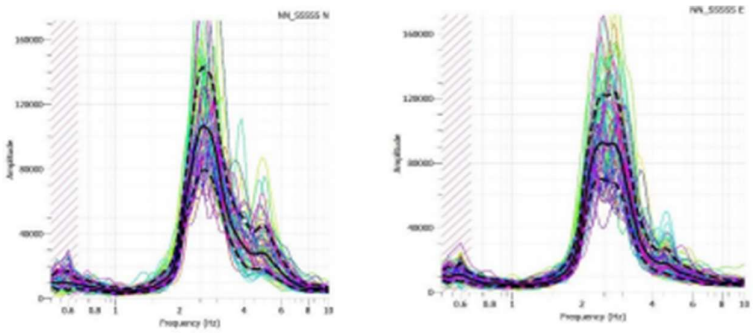
1. Dilakukan *Windowing* (pemotongan signal) dengan setiap 20 detik pada setiap *windowing signal*.



Gambar 4. 9 Windowing Signal
(Sumber : Satriyo dkk, 2023)

2. Penghalusan data menggunakan tipe *smoothing* Konno & Ohmachi, 1998 dengan *bandwith* 40 dan parameter tapering 5%
3. *Output* frekuensi sampling 1 – 10 Hz

4. Merubah data tiap *window* kawasan waktu menjadi data dalam Kawasan frekuensi spektrum melalui metode *Fast Fourier Transform* (FFT)



Gambar 4. 10 Hasil Analisis FFT
(Sumber : Yuniarto & Kiswanyo, 2021)

Proses pengolahan data mikrotremor tanah menggunakan metode H/V dan Spektrum pada perangkat lunak Geopsy mengikuti alur yang hampir sama dengan metode FSR. Setelah memperoleh spektrum getaran pada bangunan dan tanah, tahap selanjutnya adalah membandingkan frekuensi dominan dari kedua spektrum tersebut. Perbandingan ini dilakukan secara terpisah untuk arah utara-selatan dan timur-barat, dengan menggunakan persamaan yang telah ditetapkan (Persamaan 3.1 dan 3.2). Hasil akhir dari perhitungan ini adalah nilai frekuensi natural bangunan yang diperoleh melalui metode FSR.

4.4.2 Perhitungan Indeks Resonansi Bangunan

Untuk mengetahui seberapa rentan suatu bangunan terhadap gempa bumi, dalam penelitian ini dilakukan perhitungan indeks resonansi menggunakan Persamaan 3.3. Hasil perhitungan indeks resonansi ini kemudian dikategorikan berdasarkan kriteria kerentanan yang telah ditetapkan oleh Gosar, dkk (2010).

4.4.3 Perhitungan Indeks Kerentanan Bangunan

Nilai kerentanan suatu bangunan terhadap gempa bumi dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan 3.4. Persamaan ini didapatkan dari model deformasi struktur yang memperhitungkan pengaruh gerakan tanah terhadap bangunan (Sato, 2008). Berdasarkan penelitian sebelumnya (Hadianfard, 2016), bangunan dengan nilai indeks kerentanan di atas 100-200 m/s^2 cenderung mengalami kerusakan parah hingga runtuh saat terjadi gempa.

Sebaliknya, bangunan dengan nilai indeks kerentanan di bawah 100 m/s² umumnya dianggap aman.

4.5 Pengolahan Frekuensi Bangunan Menggunakan SAP2000

Dalam penelitian ini, perangkat lunak SAP2000 berperan sebagai alat analisis struktur untuk melakukan verifikasi terhadap hasil pengukuran mikrotremor. Model struktur yang digunakan dalam SAP2000 mengacu pada gambar kerja struktural gedung yang diperoleh dari Pengelola Fasilitas Kampus (PFK) Badan Wakaf UII. Data-data penting yang digunakan dalam analisis SAP2000, seperti geometri struktur, sifat material, dan kondisi penyangga, diperoleh secara langsung dari laporan gambar kerja tersebut, antara lain :

1. Mutu Beton ($f'c$) = 30 MPa
2. Mutu Baja Tulangan
   a. Tulangan Ulir(fy) = 400 MPa
   b. Tulangan Polos(fy)= 240 MPa

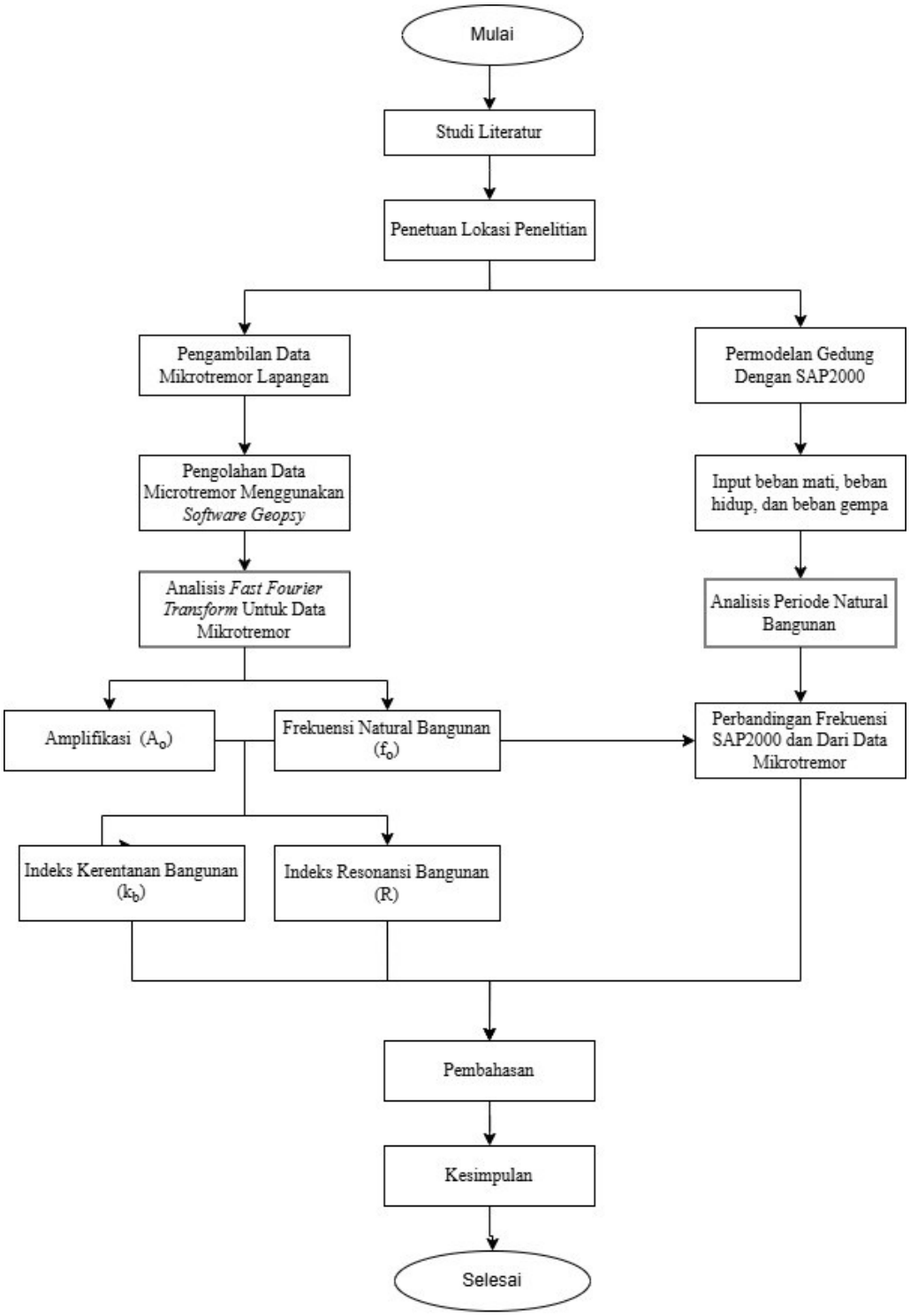
4.5.1 Permodelan SAP2000

Pemodelan struktur gedung FMIPA UII pada SAP2000 mengacu pada detail gambar kerja struktural yang tercantum dalam Bundel Laporan Akhir. Elemen-elemen struktur utama seperti kolom, balok, plat lantai, dinding, dan tangga dimodelkan secara berurutan sehingga dapat menghasilkan perhitungan yang lebih akurat. Berikut merupakan langkah – langkah yang dilakukan untuk permodelan SAP2000.

1. Pilih menu “New Model” lalu pilih “Grid Only”. Lakukan penyesuaian grid pada gambar dengan “edit grid data” pada “Define Grid System Data”
2. Lakukan pengaturan material yang akan digunakan yaitu beton dan baja tulangan sesuai dengan mutu yang digunakan.
3. Desain struktur kolom, balok, plat, dan dinding sesuai dengan gambar structural. Lalu lakukan permodelan struktur sesuai dengan gambar structural dengan bantuan grid dan struktur yang telah didesain

4. Lakukan input pembebanan meliputi beban mati tambahan, beban hidup, beban gempa dinamik, dan kombinasi beban.
5. Lakukan pengidentifikasian diafragma. Setelah itu permodelan siap dijalankan.

4.6 Diagram Alur Penelitian

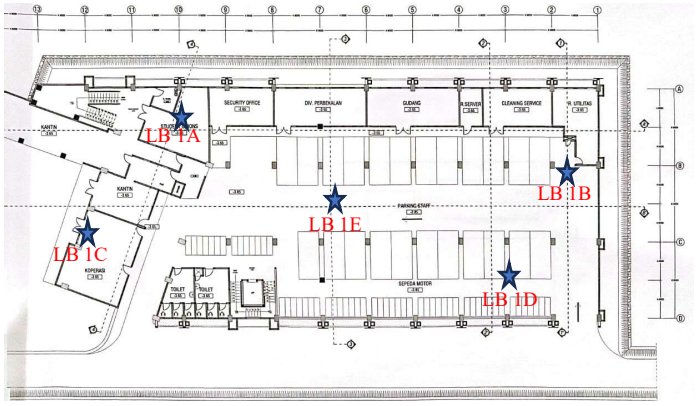


Gambar 4. 11 Diagram Alur Penelitian

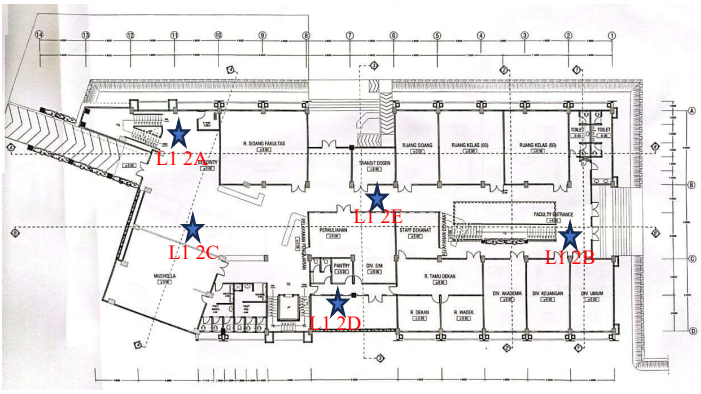
BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengambilan Data Lapangan

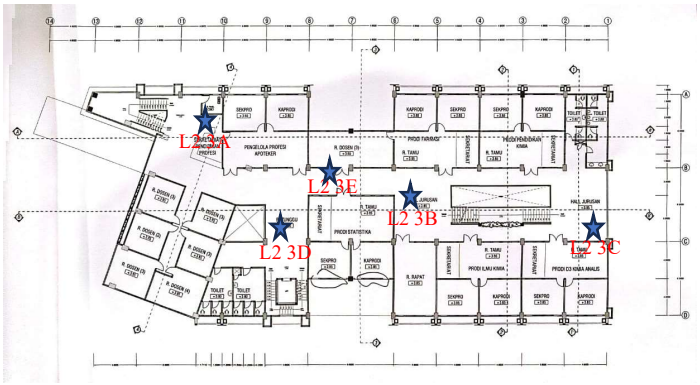
Pengambilan data dilakukan pada hari libur perkuliahan, yaitu pada Sabtu dan Minggu, dengan merekam mikrotremor yang dihasilkan oleh getaran bangunan. Perekaman dilakukan dengan meletakkan perangkat di lantai bangunan dan membiarkannya merekam selama sekitar 30 menit. Total, terdapat 25 titik perekaman di dalam gedung dan 2 titik di tanah. Setiap Lantai terdapat 5 titik perekaman. Data yang dihasilkan berupa data mentah dalam format file SHE.mseed, SHN.mseed, dan SHZ.mseed. Berikut ini adalah lokasi titik-titik perekaman tersebut.



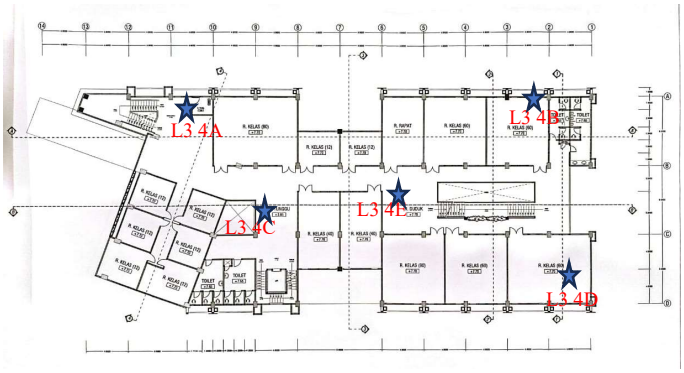
Gambar 5. 1 Titik Pengukuran Lantai Basement



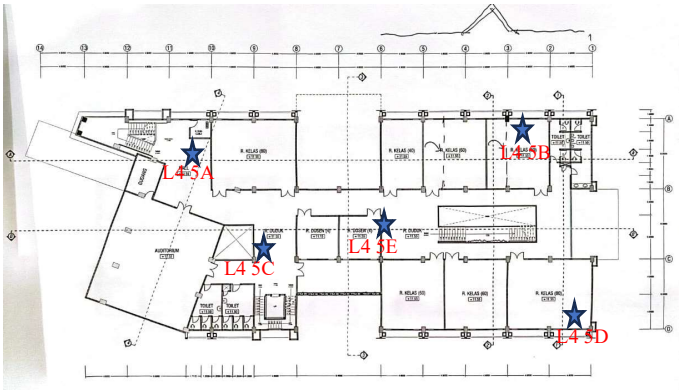
Gambar 5. 2 Titik Pengukuran Lantai 1



Gambar 5. 3 Titik Pengukuran Lantai 2



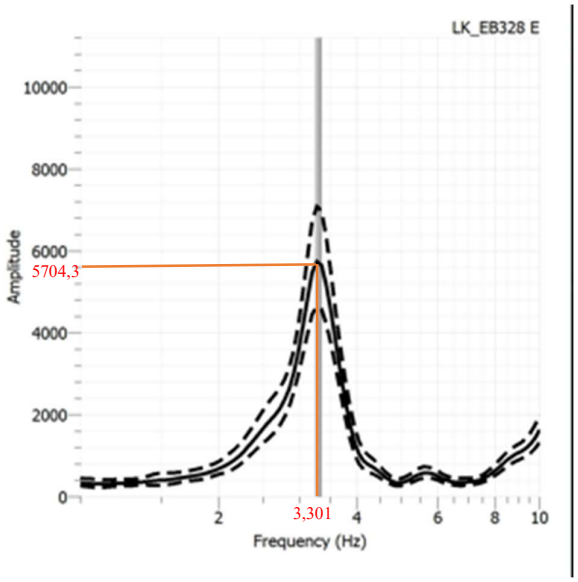
Gambar 5. 4 Titik Pengukuran Lantai 3

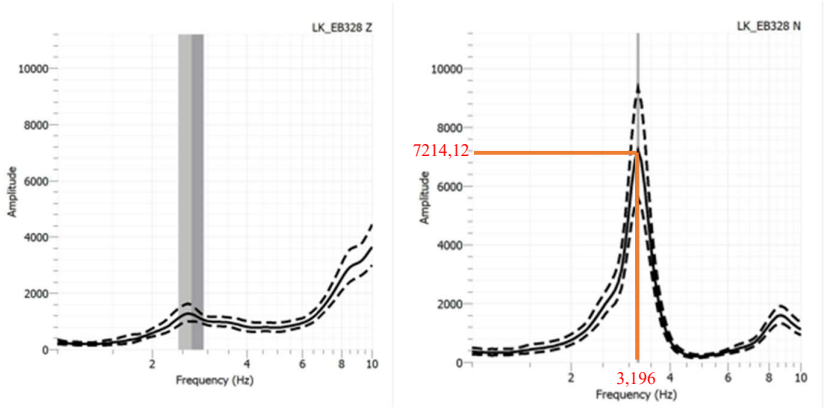


Gambar 5. 5 Titik Pengukuran Lantai 4

5.2 Pengolahan Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) adalah metode pengolahan data menggunakan perangkat lunak Geopsy, di mana data mikrotremor dalam domain waktu diubah menjadi data dalam domain frekuensi untuk setiap komponen pengukuran mikrotremor (N-S, E-W, dan Z). Hasil akhir dari proses FFT berupa grafik yang menunjukkan hubungan antara frekuensi dan amplifikasi. Pengolahan data ini dilakukan pada rekaman mikrotremor di lantai bangunan dan tanah. Terdapat dua metode pengolahan yang digunakan, yaitu spektrum dan H/V. Pengolahan spektrum diterapkan pada rekaman dari lantai bangunan maupun tanah, sedangkan metode H/V hanya diterapkan pada rekaman dari tanah.





Gambar 5. 6 Hasil Pengolahan FFT Titik L2.3D

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Analisis FFT Pada Bangunan

Titik	Komponen N-S		Komponen E-W	
	F0 (Hz)	A0 (m/s^2)	F0 (Hz)	A0 (m/s^2)
LANTAI BASEMENT				
LB.1A	2,956	550,542	2,966	573,683
LB.1B	2,880	590,802	2,973	506,291
LB.1C	2,922	421,013	3,134	469,157
LB.1D	2,975	508,313	2,875	436,280
LB.1E	2,854	479,115	2,916	562,390
LANTAI 1				
L1.2A	3,205	2295,710	3,313	2510,690
L1.2B	3,196	2208,410	3,260	2626,820
L1.2C	3,160	2700,820	3,339	2369,560
L1.2D	3,202	3106,650	3,373	2668,620
L1.2E	3,159	2523,610	3,264	2641,830
LANTAI 2				
L2.3A	3,207	7438,170	3,299	7960,38
L2.3B	3,211	9489,810	3,368	11948,80

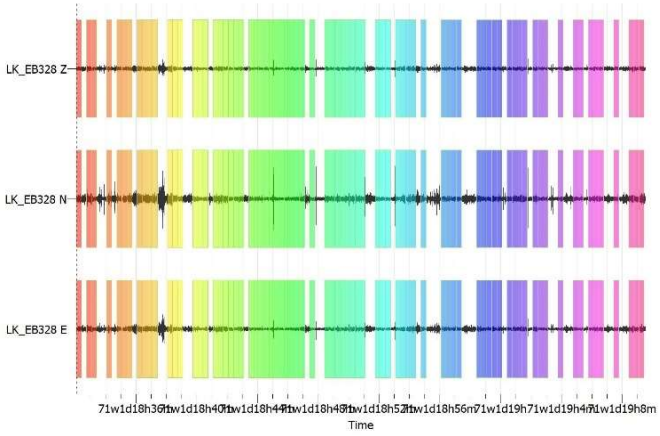
Lanjutan Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Analisis FFT Pada Bangunan

Titik	Komponen N-S		Komponen E-W	
	F0 (Hz)	A0 (m/s^2)	F0 (Hz)	A0 (m/s^2)
L2.3C	3,192	7668,780	3,507	5650,92
L2.3D	3,196	7214,120	3,301	5704,30
L2.3E	3,199	4298,720	3,328	4006,07
LANTAI 3				
L3.4A	3,222	13044,400	3,31	11547,00
L3.4B	3,287	9703,760	3,26	12068,40
L3.4C	3,192	6272,920	3,46	4112,79
L3.4D	3,255	6504,200	3,47	4089,28
L3.4E	3,213	5144,930	3,30	3991,88
LANTAI 4				
L4.5A	3,23854	9136,49	3,33715	7982
L4.5B	3,29603	8051,12	3,3311	9218,43
L4.5C	3,20305	8301,99	3,54823	6416,73
L4.5D	3,26928	8522,49	3,50962	5787,75
L4.5E	3,20191	7835,27	3,32155	5876,78

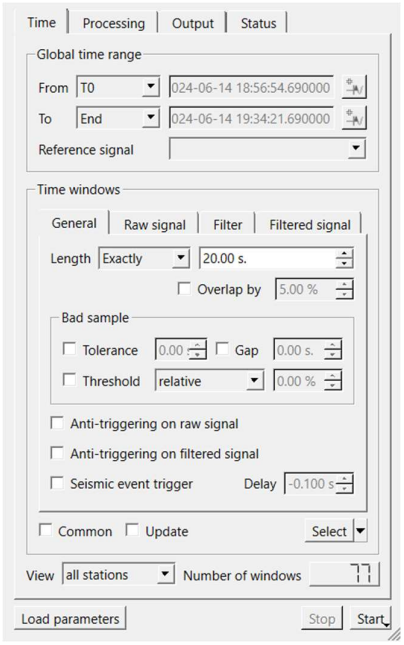
5.3 Analisis Frekuensi Natural Tanah

Analisis frekuensi natural tanah dilakukan dengan dua metode, yaitu analisis spektrum dan analisis H/V. Hasil analisis spektrum memberikan nilai frekuensi tanah yang digunakan untuk membandingkan dengan nilai frekuensi pada bangunan. Perbandingan ini bertujuan untuk menentukan rasio frekuensi natural bangunan menggunakan metode FSR. Sementara itu, nilai rasio frekuensi natural tanah dari analisis H/V digunakan sebagai acuan dalam penghitungan indeks resonansi bangunan.

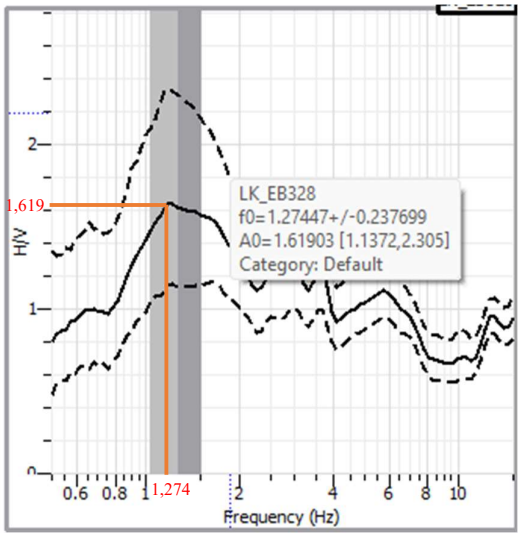
Proses pengolahan data H/V melibatkan pemotongan sinyal dengan teknik pengelompokan *windowing* selama 20 detik. Data yang dihasilkan kemudian dihaluskan menggunakan metode *smoothing* Konno & Ohmachi (1998) dengan lebar pita (*bandwidth*) sebesar 40 dan parameter tapering sebesar 50%. Frekuensi sampling yang dianalisis berada dalam rentang 0,2–15 Hz. Berikut ini adalah salah satu contoh hasil pengolahan H/V pada tanah.



Gambar 5. 7 Windowing H/V Tanah 2



Gambar 5. 8 Pengaturan Pengolahan H/V Tanah 2

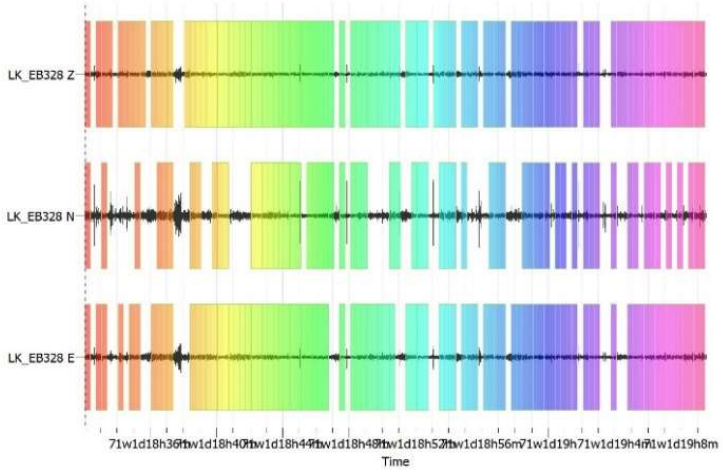


Gambar 5. 9 Hasil Pengolahan H/V Tanah 2

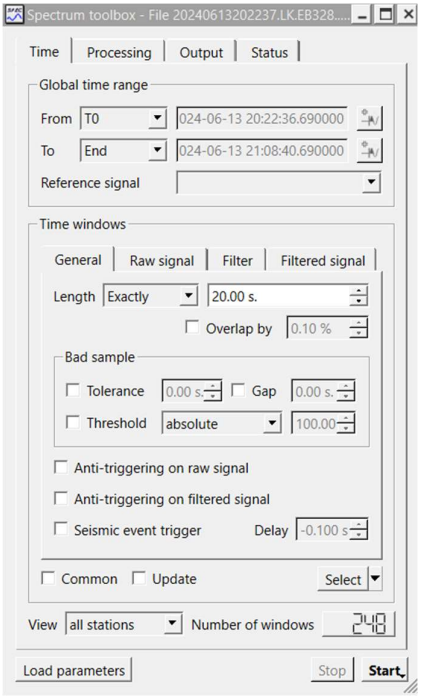
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Rasio Frekuensi Natural Tanah Pengolahan H/V

Titik	*ft*
Tanah 1	1,20815
Tanah 2	1,27447
Rata - Rata	1,24131

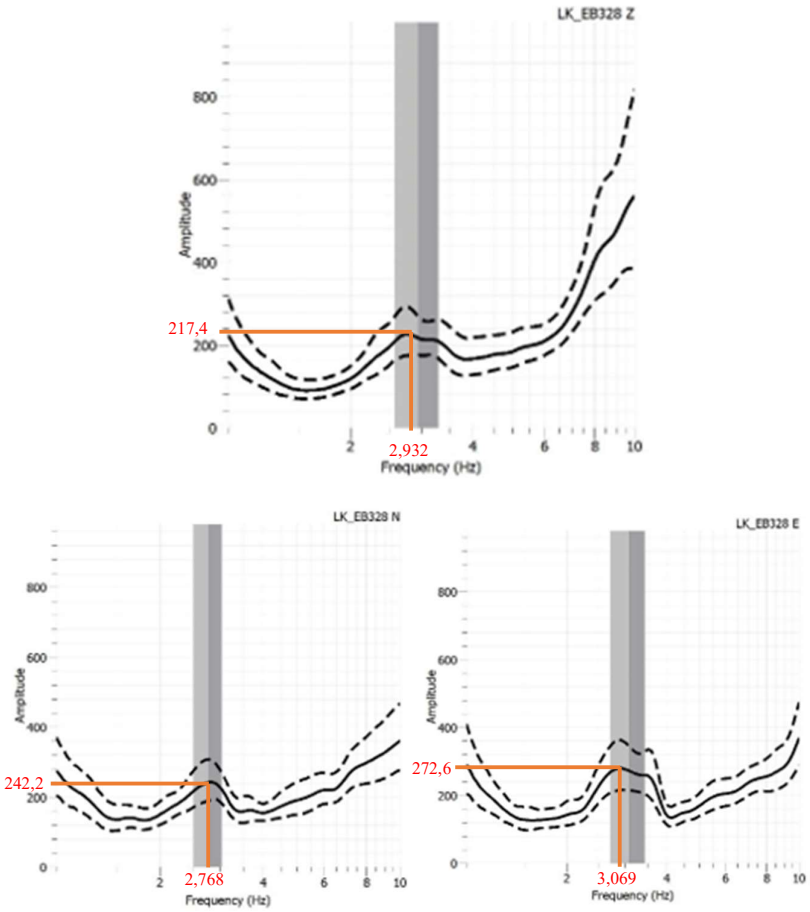
Proses pengolahan spektrum pada tanah mencakup pemotongan sinyal dengan menggunakan teknik *windowing* selama 20 detik. Data yang dihasilkan kemudian dihaluskan menggunakan metode *smoothing* Konno & Ohmachi (1998) dengan lebar pita (*bandwidth*) sebesar 40 dan parameter tapering sebesar 50%. Frekuensi sampling yang dianalisis berada dalam rentang 1–10 Hz. Berikut ini adalah salah satu contoh hasil pengolahan spektrum pada tanah.



Gambar 5. 10 Windowing Spektrum Tanah 2



Gambar 5. 11 Pengaturan Pengolahan Spektrum Tanah 2



Gambar 5. 12 Hasil Pengolahan Spektrum Tanah 2

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Frekuensi Natural Tanah Pengolahan Spektrum

Titik	*Ft* (Hz)		
	(N-S)	(E-W)	(Z)
Tanah 1	2,634	2,664	2,553
Tanah 2	2,768	3,069	2,932
Rata - Rata	2,701	2,866	2,742

Tabel 5.3 menyajikan nilai rasio frekuensi natural tanah yang digunakan dalam penghitungan indeks resonansi bangunan untuk melengkapi informasi mengenai rasio frekuensi natural bangunan (*ft*). Selain itu, tabel tersebut juga memuat nilai frekuensi natural tanah untuk setiap komponen, yang selanjutnya

digunakan dalam analisis frekuensi natural bangunan guna memperoleh nilai rasio frekuensi natural bangunan.

5.4 Analisis Frekuensi Natural Bangunan

Perhitungan frekuensi natural bangunan menggunakan metode FSR dilakukan untuk setiap komponen secara terpisah. Metode ini menghitung nilai dengan membagi frekuensi bangunan yang diperoleh dari pengolahan spektrum dengan frekuensi tanah hasil pengolahan spektrum untuk masing-masing komponen. Berikut ini disajikan salah satu contoh perhitungan frekuensi natural bangunan untuk komponen N-S dan E-W pada titik L1.2A. Perhitungan tersebut dilakukan pada setiap titik di setiap lantai dan direkap pada Tabel 5.4.

1. Titilk L1.2A komponen N-S

   F_L (FSR) $= \frac{f_b NS}{f_t NS}$

   $= \frac{3{,}204}{2{,}701} = 1{,}186$

2. Titik L1.2A Komponen E-W

   F_L (FSR) $= \frac{f_b EW}{f_t EW}$

   $= \frac{3{,}313}{2{,}866} = 1{,}156$

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Frekuensi Natural Bangunan

Titik	Komponen N-S			Komponen E-W		
	f_L (FFT) (Hz)	*ft* (FFT) (Hz)	f_L (FSR)	f_L (FFT) (Hz)	*ft* (FFT) (Hz)	f_L (FSR)
Lantai Basement						
LB.1A	2,955	2,701	1,094	2,966	2,866	1,0346
LB.1B	2,879	2,701	1,066	2,973	2,866	1,037
LB.1C	2,922	2,701	1,081	3,134	2,866	1,093
LB.1D	2,975	2,701	1,101	2,874	2,866	1,002
LB.1E	2,853	2,701	1,056	2,916	2,866	1,017

Lanjutan Tabel 5. 4 Rekapitulasi Frekuensi Natural Bangunan

Titik	Komponen N-S			Komponen E-W		
	f_L (FFT) (Hz)	*ft* (FFT) (Hz)	f_L (FSR)	f_L (FFT) (Hz)	*ft* (FFT) (Hz)	f_L (FSR)
Lantai 1						
L1.2A	3,204	2,701	1,186	3,313	2,866	1,155
L1.2B	3,196	2,701	1,183	3,259	2,866	1,137
L1.2C	3,160	2,701	1,170	3,339	2,866	1,164
L1.2D	3,201	2,701	1,185	3,373	2,866	1,176
L1.2E	3,159	2,701	1,169	3,264	2,866	1,138
Lantai 2						
L2.3A	3,206	2,701	1,187	3,299	2,866	1,150
L2.3B	3,211	2,701	1,188	3,367	2,866	1,174
L2.3C	3,191	2,701	1,181	3,506	2,866	1,223
L2.3D	3,196	2,701	1,183	3,301	2,866	1,151
L2.3E	3,199	2,701	1,184	3,327	2,866	1,160
Lantai 3						
L3.4A	3,222	2,701	1,192	3,305	2,866	1,153
L3.4B	3,287	2,701	1,217	3,259	2,866	1,137
L3.4C	3,192	2,701	1,181	3,455	2,866	1,205
L3.4D	3,255	2,701	1,205	3,472	2,866	1,211
L3.4E	3,212	2,701	1,189	3,295	2,866	1,149
Lantai 4						
L4.5A	3,238	2,701	1,198	3,337	2,866	1,164
L4.5B	3,296	2,701	1,220	3,331	2,866	1,162
L4.5C	3,203	2,701	1,185	3,548	2,866	1,237
L4.5D	3,269	2,701	1,210	3,509	2,866	1,224

Lanjutan Tabel 5. 4 Rekapitulasi Frekuensi Natural Bangunan

Titik	Komponen N-S			Komponen E-W		
	f_L (FFT) (Hz)	ft (FFT) (Hz)	f_L (FSR)	f_L (FFT) (Hz)	ft (FFT) (Hz)	f_L (FSR)
L4.5E	3,201	2,701	1,185	3,321	2,866	1,158
Rata-Rata	3,156	-	-	3,282	-	-

Hasil pengukuran mikrotremor pada lima titik di setiap lantai Gedung FMIPA UII menunjukkan bahwa nilai frekuensi antar titik tidak memiliki perbedaan signifikan. Dengan demikian, nilai frekuensi rata-rata dari seluruh lantai dapat digunakan sebagai nilai representatif untuk menentukan karakteristik frekuensi bangunan secara keseluruhan, seperti yang disarankan oleh Sungkono (2011).

Nilai rata-rata yang diperoleh dari seluruh titik perekaman pada lantai tersebut digunakan sebagai parameter untuk menganalisis frekuensi alami bangunan. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan frekuensi alami tanah yang diperoleh dari pengolahan spektrum untuk setiap komponennya. Perbandingan dilakukan untuk mengidentifikasi nilai yang lebih besar atau lebih kecil di antara keduanya.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Hariyadi (2009), hasil pengukuran mikrotremor dapat dimanfaatkan untuk menilai tingkat keamanan bangunan berdasarkan frekuensi alami tanah dan bangunan. Pengukuran tersebut mengelompokkan bangunan di lokasi penelitian ke dalam tiga kategori, yaitu aman, rawan, dan berbahaya. Bangunan dikategorikan aman jika memiliki frekuensi alami yang lebih tinggi daripada frekuensi alami tanah. Kategori rawan berlaku jika frekuensi alami bangunan sama dengan frekuensi alami tanah, sedangkan kategori berbahaya ditetapkan jika frekuensi alami bangunan lebih rendah dibandingkan frekuensi alami tanah.

Mikrotremor dapat dimanfaatkan dalam perancangan bangunan tahan gempa dengan mengidentifikasi frekuensi alami tanah di lokasi tersebut untuk

mencegah terjadinya resonansi. Saat bangunan menerima getaran, frekuensi tanah dan gempa akan merambat bersamaan. Respon bangunan sangat dipengaruhi oleh hubungan antara frekuensi alami bangunan dan tanah. Ancaman muncul ketika bangunan digerakkan oleh gaya inersia yang bekerja padanya, menyebabkan percepatan getaran bangunan meningkat. Oleh karena itu, frekuensi alami bangunan memainkan peran penting dalam menentukan respon dinamisnya terhadap getaran.

Berdasarkan Hasil Rekapitulasi Tabel 5.4 bahwa rata-rata nilai keseluruhan frekuensi natural bangunan sebesar 3,156 Hz untuk komponen N-S dan 3,282 untuk komponen E-W lebih besar dari pada nilai frekuensi natural tanah untuk komponen N-S dan E-W yaitu sebesar 2,701 dan 2,866, sehingga bangunan gedung fakultas FMIPA UII dapat diklasifikasikan aman.

5.5 Analisis Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Frekuensi alami bangunan yang diperoleh melalui metode FSR dan frekuensi alami tanah yang dihitung menggunakan analisis H/V dengan perangkat Geopsy digunakan sebagai parameter untuk menganalisis indeks resonansi bangunan. Perhitungan indeks ini dilakukan menggunakan Persamaan 3.3 Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan indeks resonansi bangunan pada titik L1.2A dan L1.2B untuk komponen N-S serta komponen E-W.

5.5.1 Komponen N-S Resonansi

1. Titik L1.2A

   $$R = \left|\frac{f_b - f_t}{f_t}\right| \text{x } 100\%$$

   $$= \left|\frac{1{,}18642 - 1{,}43632}{1{,}43632}\right| \text{x } 100\% = 17{,}3987$$

2. Titik L1.2B

   $$R = \left|\frac{f_b - f_t}{f_t}\right| \text{x } 100\%$$

   $$= \left|\frac{1{,}1834 - 1{,}43632}{1{,}43632}\right| \text{x } 100\% = 17.6077$$

3. Nilai Indeks Resonansi Bangunan

   $$R = \frac{R\,(L1.2A) + R(L1.2B)}{2}$$

   $$= \frac{17{,}3987 \quad 17.6077}{2} = 17{,}5032$$

5.5.2 Komponen E-W Resonansi

1. Titik L1.2A

$$R = \left|\frac{f_b - f_t}{f_t}\right| \text{x } 100\%$$

$$= \left|\frac{1{,}1556 - 1{,}43632}{1{,}43632}\right| \text{x } 100\% = 19{,}5396$$

2. Titik L1.2B

$$R = \left|\frac{f_b - f_t}{f_t}\right| \text{x } 100\%$$

$$= \left|\frac{1{,}1370 - 1{,}43632}{1{,}43632}\right| \text{x } 100\% = 20{,}8348$$

3. Nilai Indeks Resonansi Bangunan

$$R = \frac{R\ (L1.2A) + R(L1.2B)}{2}$$

$$= \frac{19{,}5396 + \ \ ,8348}{2} = 20{,}186$$

Indeks resonansi yang dihitung dari rata-rata nilai resonansi pada setiap lantai kemudian dikategorikan berdasarkan tingkat kerentanan resonansi bangunan. Menurut Gosar (2010), kerentanan resonansi terhadap gempa bumi dibagi menjadi tiga tingkat: rendah, sedang, dan tinggi. Kerentanan rendah terjadi jika indeks resonansi bangunan melebihi 25%, sedang jika nilai indeks berada di rentang 15% hingga 25%, dan tinggi jika indeks resonansi kurang dari 15%.

Berdasarkan contoh perhitungan pada titik L1.2A dan L1.2B untuk lantai 1, indeks resonansi bangunan pada komponen N-S sebesar 17,503%, yang termasuk dalam klasifikasi sedang karena berada dalam rentang 15% hingga 25%. Sementara itu, untuk komponen E-W, nilai indeks resonansi adalah 20,186%, yang juga masuk kategori sedang karena berada pada rentang yang sama. Perhitungan dan klasifikasi ini dilakukan untuk setiap titik perekaman di setiap lantai, dengan hasil yang disajikan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Titik	Komponen N-S				Komponen E-W			
	f_b (FSR)	ft (H/V)	R (%)	Kategori	f_b (FSR)	ft (H/V)	R (%)	Kategori
Lantai Basement								
LB.1A	1,094	1,436	23,816	Sedang	1,034	1,436	27,966	Rendah
LB.1B	1,066	1,436	25,775	Rendah	1,037	1,436	27,789	Rendah
LB.1C	1,081	1,436	24,680	Sedang	1,093	1,436	23,876	Sedang
LB.1D	1,101	1,436	23,313	Sedang	1,002	1,436	30,183	Rendah
LB.1E	1,056	1,436	26,438	Rendah	1,017	1,436	29,178	Rendah
Lantai 1								
L1.2A	1,186	1,436	17,398	Sedang	1,155	1,436	19,539	Sedang
L1.2B	1,183	1,436	17,607	Sedang	1,137	1,436	20,832	Sedang
L1.2C	1,170	1,436	18,537	Sedang	1,164	1,436	18,902	Sedang
L1.2D	1,185	1,436	17,474	Sedang	1,176	1,436	18,075	Sedang
L1.2E	1,169	1,436	18,565	Sedang	1,138	1,436	20,718	Sedang
Lantai 2								
L2.3A	1,187	1,436	17,346	Sedang	1,150	1,436	19,875	Sedang

Lanjutan Tabel 5. 5 Rekapitulasi Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Titik	Komponen N-S				Komponen E-W			
	f_b (FSR)	ft (H/V)	R (%)	Kategori	f_b (FSR)	ft (H/V)	R (%)	Kategori
L2.3B	1,188	1,436	17,228	Sedang	1,174	1,436	18,210	Sedang
L2.3C	1,181	1,436	17,722	Sedang	1,223	1,436	14,824	Tinggi
L2.3D	1,183	1,436	17,607	Sedang	1,151	1,436	19,816	Sedang
L2.3E	1,184	1,436	17,529	Sedang	1,160	1,436	19,177	Sedang
Lantai 3								
L3.4A	1,192	1,436	16,946	Sedang	1,153	1,436	19,714	Sedang
L3.4B	1,217	1,436	15,261	Sedang	1,137	1,436	20,834	Sedang
L3.4C	1,181	1,436	17,717	Sedang	1,205	1,436	16,077	Sedang
L3.4D	1,205	1,436	16,087	Sedang	1,211	1,436	15,669	Sedang
L3.4E	1,189	1,436	17,188	Sedang	1,149	1,436	19,949	Sedang
Lantai 4								
L4.5A	1,198	1,436	16,523	Sedang	1,164	1,436	18,949	Sedang
L4.5B	1,220	1,436	15,041	Sedang	1,162	1,436	19,096	Sedang
L4.5C	1,185	1,436	17,437	Sedang	1,237	1,436	13,822	Tinggi

Lanjutan Tabel 5. 5 Rekapitulasi Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Titik	Komponen N-S				Komponen E-W			
	f_b (FSR)	ft (H/V)	R (%)	Kategori	f_b (FSR)	ft (H/V)	R (%)	Kategori
L4.5D	1,210	1,436	15,730	Sedang	1,224	1,436	14,760	Tinggi
L4.5E	1,185	1,436	17,467	Sedang	1,158	1,436	19,328	Sedang

Salah satu faktor yang digunakan untuk memprediksi risiko gempa bumi pada sebuah bangunan adalah pengukuran resonansi antara frekuensi alami bangunan dan frekuensi alami tanah di bawahnya. Jika frekuensi alami bangunan mendekati frekuensi alami tanah, getaran seismik dapat menyebabkan terjadinya resonansi. Semakin besar perbedaan antara frekuensi alami bangunan dan tanah, semakin rendah klasifikasi resonansi. Sebaliknya, semakin kecil perbedaan frekuensi tersebut, semakin tinggi klasifikasi resonansi yang terjadi.

Berdasarkan Hasil Rekapitulasi pada Tabel 5.5 bahwa indeks resonansi bangunan yang didapat untuk komponen N-S dan E-W didapatkan nilai rata-rata 18,791 % untuk komponen N-S dan 20,418 % untuk komponen E-W yang diklasifikasikan sedang pada rentang 15-25%, pada beberapa titik saja terdapat nilai yang mengindikasikan rendah dan tinggi sehingga dapat diklasifikasikan secara keseluruhan bahwa bangunan Gedung Fakultas FMIPA UII dapat dikategorikan Sedang.

5.6 Analisis Nilai Indeks Kerentanan Bangunan

Indeks kerentanan bangunan mencerminkan tingkat potensi kerusakan yang dapat terjadi pada bangunan akibat gempa. Semakin tinggi nilai kerentanan suatu bangunan, semakin besar pula risiko kerusakan yang mungkin dialami (Sato, 2008). Perhitungan indeks kerentanan bangunan dilakukan menggunakan Persamaan 3.4. Berikut ini adalah contoh perhitungan indeks kerentanan bangunan pada lantai 1 untuk komponen N-S dan E-W.

5.6.1 Komponen N-S Kerentanan

1. Titik L1.2A

   Kb $= \frac{A}{(2.\pi.fb)^2} \; x \; \frac{10000}{H}$

   $= \frac{2,2957}{(2.\pi.3,2046)^2} \; x \; \frac{10000}{4,05}$ =13,9818 m/s^2

2. Titik L1.2B

   Kb $= \frac{A}{(2.\pi.fb)^2} \; x \; \frac{10000}{H}$

   $= \frac{2,20841}{(2.\pi.3,19646)^2} \; x \; \frac{10000}{4,05}$ =13,5184 m/s^2

5.6.2 Komponen E-W Kerentanan

1. Titik L1.2A

$$Kb = \frac{A}{(2.\pi.fb)^2} \; x \; \frac{10000}{H}$$

$$= \frac{2,5107}{(2.\pi.3,3128)^2} \; x \; \frac{10000}{4,05} = 14,3079 \text{ m/s}^2$$

2. Titik L1.2B

$$Kb = \frac{A}{(2.\pi.fb)^2} \; x \; \frac{10000}{H}$$

$$= \frac{2,6268}{(2.\pi.3,2596)^2} \; x \; \frac{10000}{4,05} = 15,4626 \text{ m/s}^2$$

Menurut Sato (2008), indeks kerentanan bangunan dihitung berdasarkan deformasi struktur yang dipengaruhi oleh pergerakan seismik pada permukaan tanah tempat bangunan berdiri. Secara umum, kerentanan bangunan diperkirakan dengan mempertimbangkan ambang indeks kerentanan antara 100 m/s² hingga 200 m/s². Oleh karena itu, jika nilai indeks kerentanan berada di bawah 100 m/s², bangunan dianggap aman dari potensi kerusakan (Hadianfard, 2016).

Berdasarkan pada contoh perhitungan yang dilakukan pada titik L1.2A dan L1.2B untuk lantai 1, nilai indkes kerentanan bangunan komponen N-S yaitu 13,9818 m/s^2 dan 13,5184 m/s^2 sedangkan untuk komponen E-W didapatkan nilai 14,3079 m/s^2 dan 15,4626 m/s^2 yang artinya diklasifikasikan aman karena nilai tersebut tidak melebihi rentang yang telah ditentukan yaitu antara 100 m/s^2 – 200 m/s^2. Perhitungan ini dilakukan pada setiap titik perekaman yang dilakukan disetiap lantai yang ditampilkan pada Tabel 5.6 berikut

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Nilai Indeks Kerentanan Bangunan

Titik	Komponen N-S					Komponen E-W				
	f_b	A	H	K_b	Kategori	f_b	A	H	K_b	Kategori
Lantai Basement										
LB.1A	2,955	0,550	0,2	79,821	Aman	2,965	0,573	0,2	82,599	Aman
LB.1B	2,879	0,590	0,2	90,238	Aman	2,973	0,506	0,2	72,537	Aman
LB.1C	2,922	0,421	0,2	62,448	Aman	3,134	0,469	0,2	60,484	Aman
LB.1D	2,975	0,508	0,2	72,733	Aman	2,874	0,436	0,2	66,867	Aman
LB.1E	2,853	0,479	0,2	74,505	Aman	2,915	0,562	0,2	83,768	Aman
Lantai 1										
L1.2A	3,204	2,295	4,05	13,981	Aman	3,312	2,510	4,05	14,307	Aman
L1.2B	3,196	2,208	4,05	13,518	Aman	3,259	2,626	4,05	15,462	Aman
L1.2C	3,160	2,700	4,05	16,912	Aman	3,339	2,369	4,05	13,292	Aman
L1.2D	3,201	3,106	4,05	18,955	Aman	3,373	2,668	4,05	14,669	Aman
L1.2E	3,159	2,523	4,05	15,813	Aman	3,264	2,641	4,05	15,506	Aman
Lantai 2										
L2.3A	3,206	7,438	7,9	23,194	Aman	3,299	7,960	7,9	23,451	Aman

Lanjutan Tabel 5. 6 Rekapitulasi Nilai Indeks Kerentanan Bangunan

Titik	Komponen N-S					Komponen E-W				
	f_b	A	H	K_b	Kategori	f_b	A	H	K_b	Kategori
L2.3B	3,211	9,489	7,9	29,507	Aman	3,367	11,948	7,9	33,783	Aman
L2.3C	3,191	7,668	7,9	24,133	Aman	3,506	5,650	7,9	14,732	Aman
L2.3D	3,196	7,214	7,9	22,639	Aman	3,301	5,704	7,9	16,780	Aman
L2.3E	3,199	4,298	7,9	13,464	Aman	3,327	4,006	7,9	11,599	Aman
Lantai 3										
L3.4A	3,222	13,044	11,75	27,086	Aman	3,305	11,547	11,75	22,780	Aman
L3.4B	3,287	9,703	11,75	19,355	Aman	3,259	12,068	11,75	24,487	Aman
L3.4C	3,192	6,272	11,75	13,270	Aman	3,455	4,112	11,75	7,425	Aman
L3.4D	3,255	6,504	11,75	13,230	Aman	3,472	4,089	11,75	7,312	Aman
L3.4E	3,212	5,144	11,75	10,745	Aman	3,295	3,991	11,75	7,921	Aman
Lantai 4										
L4.5A	3,238	9,136	15,6	14,144	Aman	3,337	7,982	15,6	11,637	Aman
L4.5B	3,296	8,051	15,6	12,033	Aman	3,331	9,218	15,6	13,489	Aman
L4.5C	3,203	8,301	15,6	13,139	Aman	3,548	6,416	15,6	8,275	Aman

Lanjutan Tabel 5. 6 Rekapitulasi Nilai Indeks Kerentanan Bangunan

Titik	Komponen N-S					Komponen E-W				
	f_b	A	H	K_b	Kategori	f_b	A	H	K_b	Kategori
L4.5D	3,269	8,522	15,6	12,947	Aman	3,509	5,787	15,6	7,629	Aman
L4.5E	3,201	7,835	15,6	12,409	Aman	3,321	5,876	15,6	8,649	Aman

Parameter yang digunakan untuk menghitung indeks kerentanan bangunan meliputi amplifikasi (A), frekuensi alami bangunan (fb), dan ketinggian bangunan (H). Nilai amplifikasi dan frekuensi alami bangunan diperoleh dari grafik perbandingan hasil analisis FFT menggunakan perangkat lunak Geopsy. Perhitungan dilakukan pada setiap titik pengukuran untuk masing-masing komponen, dan nilai rata-rata dari semua pengukuran pada setiap lantai digunakan sebagai representasi indeks kerentanan bangunan untuk lantai tersebut.

Berdasarkan Hasil Rekapitulasi pada tabel 5.6 Nilai Indeks Kerentanan Bangunan pada setiap lantainya didapatkan nilai keseluruhan di bawah standar yang telah ditetapkan sehingga keseluruhan bangunan Gedung fakultas FMIPA dapat diklasifikasikan aman.

5.7 Analisis Frekuensi Natural SAP2000

Analisis menggunakan SAP2000 dilakukan dengan menmodelkan keseluruhan struktur bangunan Gedung fakultas FMIPA UII Dimana pemodelan tersebut terbatas pada struktur sloof, kolom, balok, plat, dinding pengisi, dan tangga. Hal ini dilakukan dengan menyesuaikan data yang tersedia pada model struktur. Berikut merupakan Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis SAP2000.

1. Melakukan Analisis Pembebanan

   Analisis Pembebanan pada struktur meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Beban mati dan hidup mengacu pada PBI 1983 dan SNI 1727 2020. Sedangkan beban gempa mengacu pada SNI 1726 2019.

   a. Beban Mati

      Dikarenakan beban mati langsung seperti beban balok, kolom, plat, dan dinding dihitung langsung oleh aplikasi SAP2000 sebagai beban mati sendiri, maka hanya diinput beban mati tambahan yaitu keramik, mortar spesi, pasir, plafond, dan rangka plafond seperti yang tercantum pada Tabel 3.4

   b. Beban Hidup

Beban hidup dimasukan pada area plat plantai yaitu meliputi ruang kelas, ruang dosen, koridor, dan aula sesuai dengan SNI 1727 2020 seperti yang tercantum pada Tabel 3.5 terkait beban hidup.

c. Beban Gempa

Beban gempa dihitung menggunakan pendekatan metode dinamik.dimana metode dinamik memperhitungkan respons struktur terhadap gempa yang berubah seiring waktu menggunakan analisis respon spektrum.

a) Beban Gempa Respon Spektrum

Lokasi = Yogyakarta

Kelas Situs = Tanah Sedang (SD)

Ss = 1,008 (RSA Ciptakarya)

S1 = 0,4647 (RSA Ciptakarya)

Fa = 1,188

Fy = 1,918

S_{DS} = 0,798

S_{D1} = 0,594

T0 = 0,2 (Sd1/Sds)

= 0,2 x (0,594/0,798)

= 0,149

Ts = Sd1/Sds

= 0,798/0,594

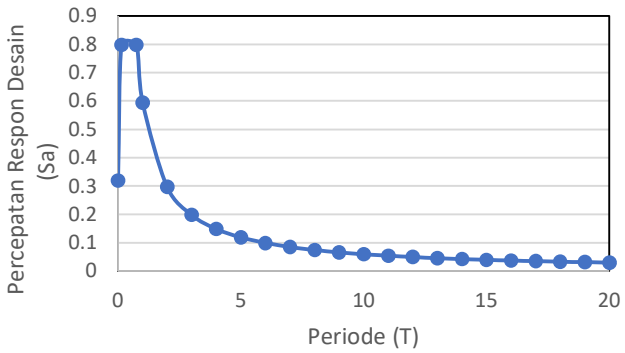
= 0,744

Sa = Sds (0,4 +0,6 $\frac{T}{T0}$)

= 0,798 (0,4 +0,6 $\frac{0T}{0,149}$)

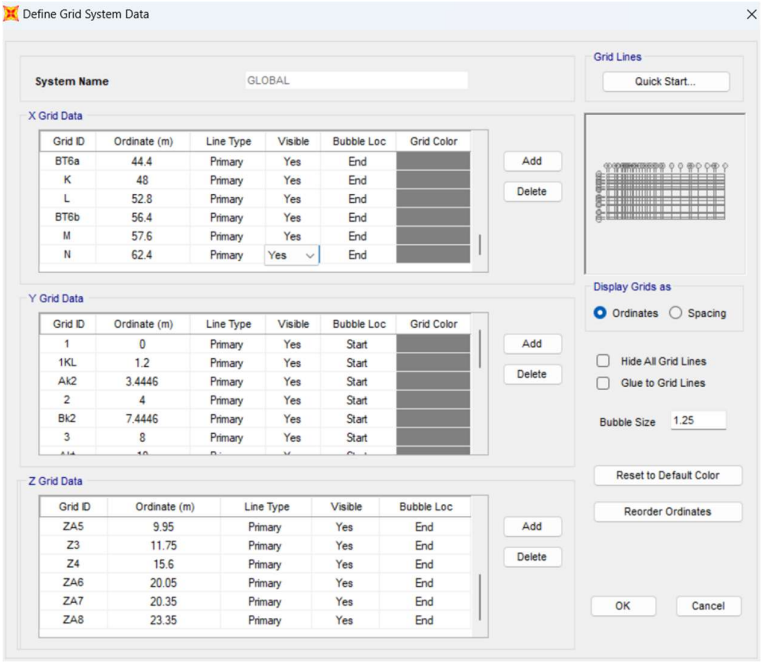
= 0,319

TL = 20 detik



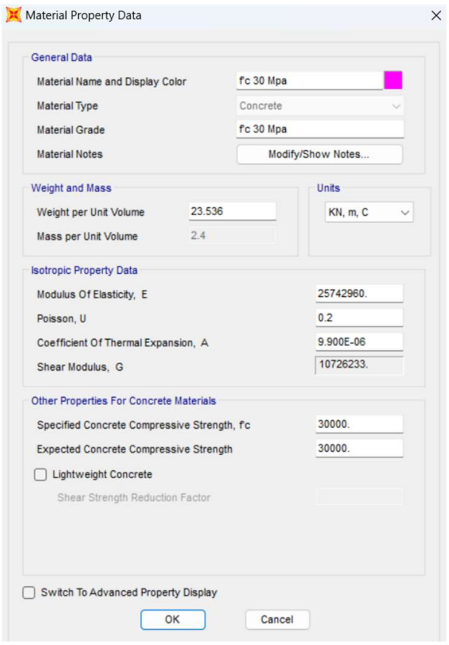
Gambar 5. 13 Grafik Respon Spektrum Yogyakarta

2. Melakukan pengaturan grid pada gambar permodelan dengan memodifikasi grid global dari model "Grid Only"

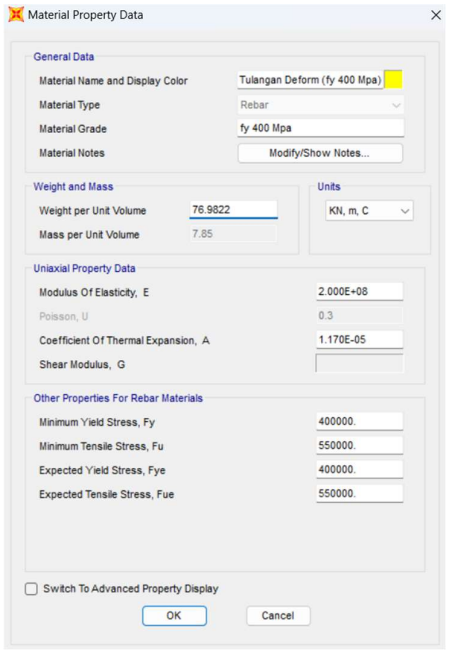


Gambar 5. 14 Modifikasi Grid

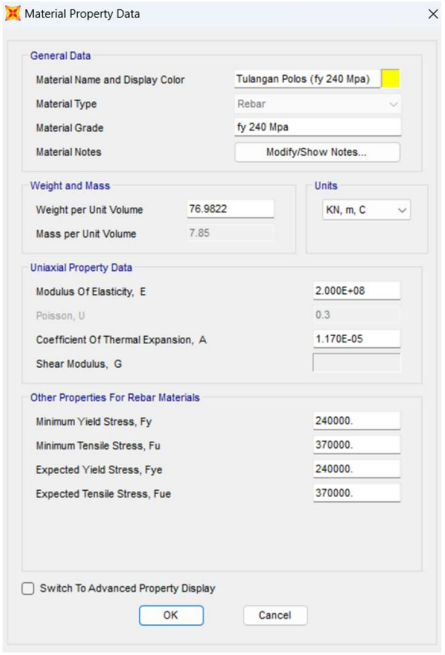
3. Mengatur spesifikasi material yang akan digunakan meliputi beton mutu 30 MPa, Tulangan Deform 400 MPa dan Tulangan polos 240 MPa.



Gambar 5. 15 Spesifikasi Material Beton mutu 30 MPa

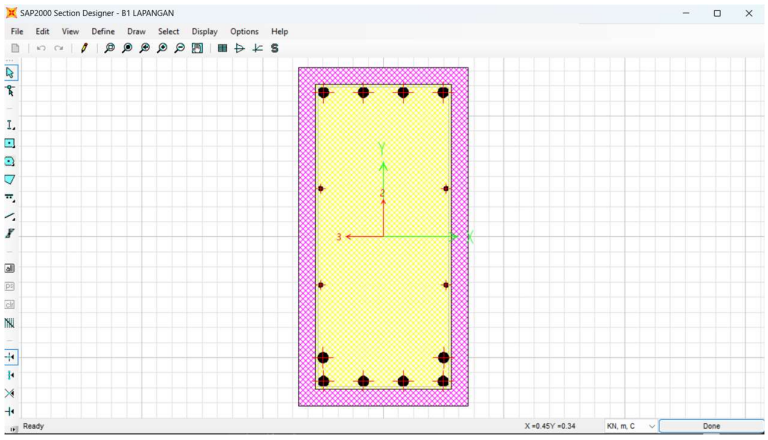


Gambar 5. 16 Spesifikasi Tulangan Deform 400 MPa

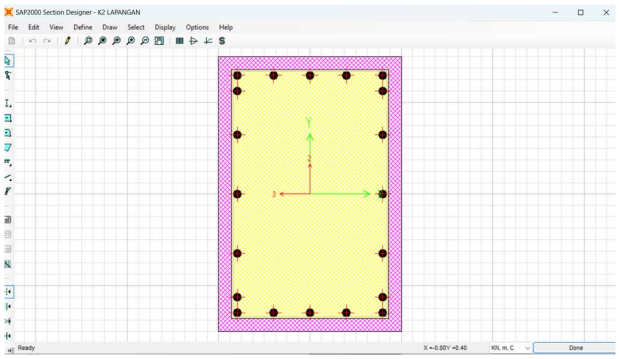


Gambar 5. 17 Spesifikasi Tulangan Polos 240 MPa

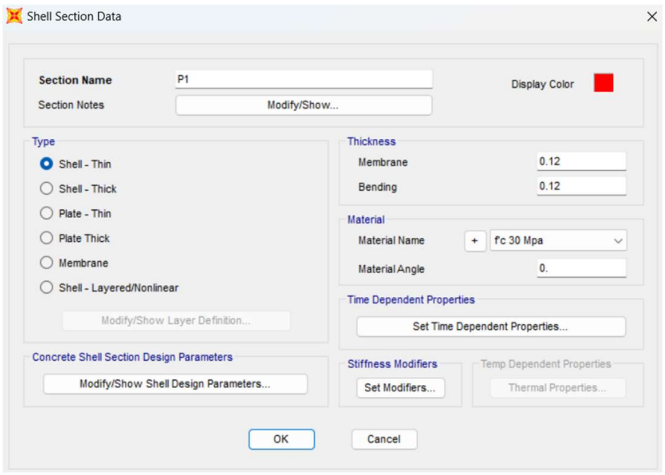
4. Struktur sloof, balok, dan kolom didefinisikan menggunakan frame "Section Designer", lalu desain tersebut meliputi dimensi struktur, tulangan utama dan tulangan geser. Sedangkan plat, dinding pengisi dan Shearwall didefinisikan menggunakan shell area section.



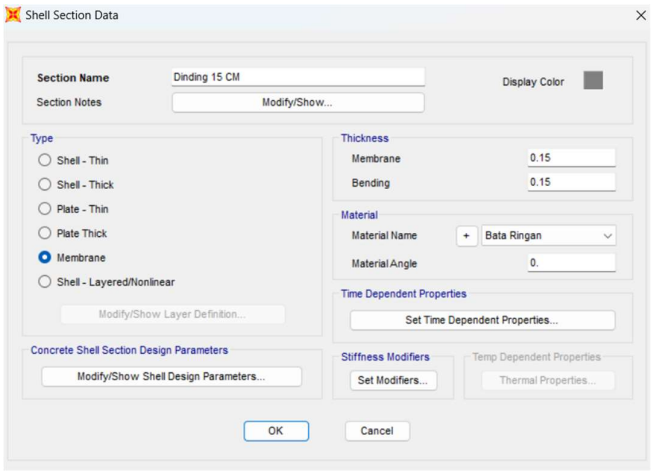
Gambar 5. 18 Balok B1 Lapangan



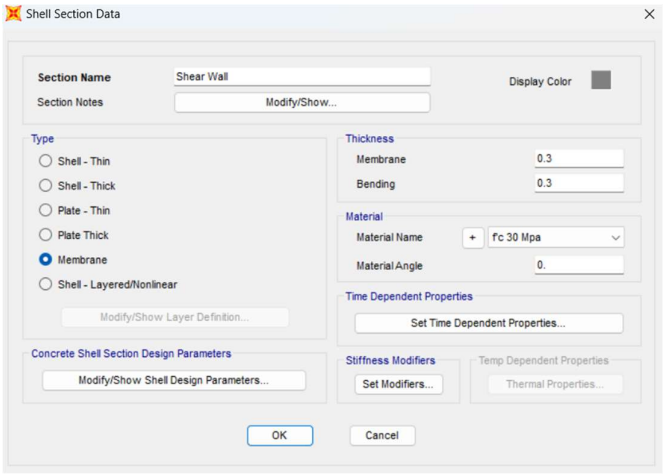
Gambar 5. 19 Kolom K2 Lapangan



Gambar 5. 20 Desain Pelat Lantai

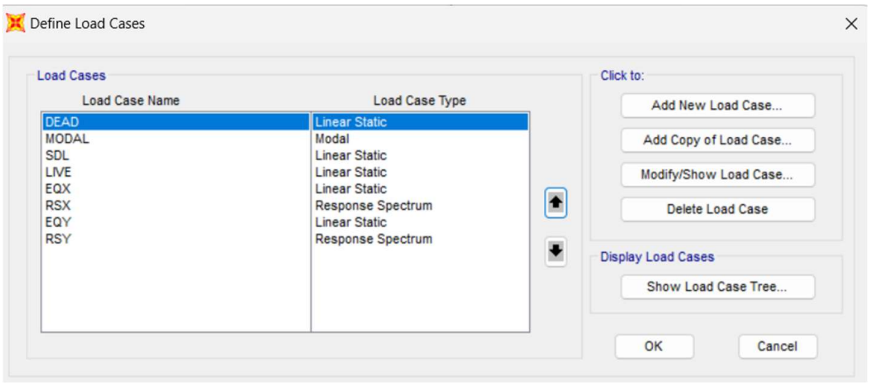


Gambar 5. 21 Desain Dinding Pengisi



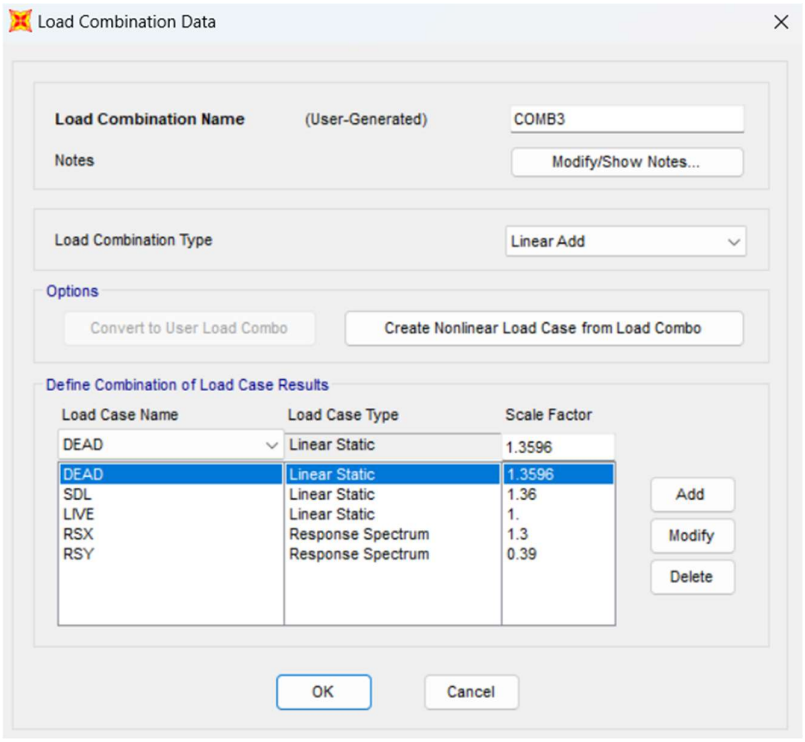
Gambar 5. 22 Desain *Shear Wall*

5. Setelah struktur sloof, balok, kolom, plat, dinding pengisi dan Shear Wall telah terdefinisi, dilakukan permodelan struktur dengan menyesuaikan pada Laporan Akhir Model Struktural Gedung Perkuliahan FMIPA UII.
6. Setelah permodelan struktur telah selesai, dilakukan “Automatic Frame Mesh” dan “Assign Diaphfragma” agar memastikan setiap frame dan shell area yang dimodelkan saling terhubung.
7. Mendefinisikan beban mati tambahan, beban hidup dan beban gempa dinamik. Beban mati yang diinput berdasarkan Tabel 3.4, beban hidup yang diinput berdasarkan Tabel 3.5 dengan menyesuaikan fungsi ruang, dan beban gempa dinamik yang diinput berdasarkan hasil respon spektrum pada website Desain Spektral Indonesia seperti yang tercantum pada Gambar 5.13.



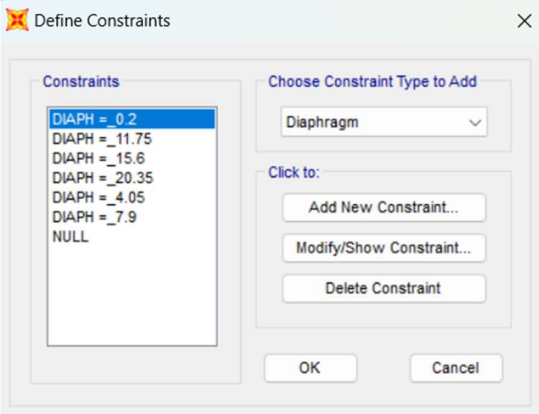
Gambar 5. 23 Pengaturan Beban

8. Mendefinisikan partisipasi massa menggunakan Mass Source



Gambar 5. 24 Pengaturan Partisipasi Massa

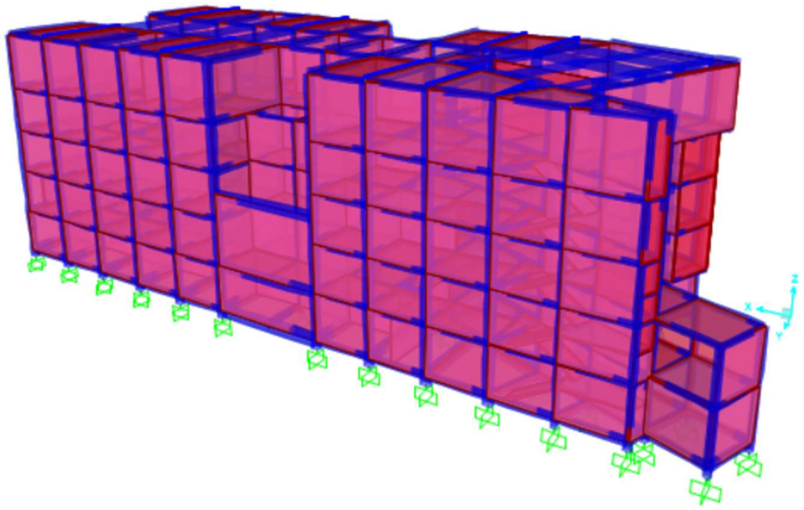
9. Mendefinisikan diafragma bangunan menggunakan constrain diafragma



Gambar 5. 25 Pengaturan *Constrain Diafragma*

5.7.1 Analisis SAP2000 Gedung FMIPA

Analisis SAP2000 pada Gedung FMIPA dilakukan sesuai dengan Langkah-langkah yang telah dijelaskan sebelumnya. Kemudian hasil permodelan di *running* untuk mendapatkan hasil periode dan frekuensi. Berikut merupakan hasil dari permodelan struktur 3 dimensi dan tabel hasil *running* yang didapat dari analisis SAP2000.



Gambar 5. 26 Permodelan Gedung FMIPA

Tabel 5. 7 Periode Modal dan Frekuensi

TABLE : Modal Periods And Frequencies				
OutputCase	**StepType**	**StepNum**	**Period**	**Frequency**
Text	**Text**	**Unitless**	**Sec**	**Cyc/sec**
MODAL	Mode	1	0,337	2,966
MODAL	Mode	2	0,295	3,388
MODAL	Mode	3	0,294	3,396
MODAL	Mode	4	0,294	3,399
MODAL	Mode	5	0,293	3,412
MODAL	Mode	6	0,275	3,632
MODAL	Mode	7	0,248	4,030
MODAL	Mode	8	0,192	5,197
MODAL	Mode	9	0,186	5,349
MODAL	Mode	10	0,184	5,431
MODAL	Mode	11	0,183	5,445
MODAL	Mode	12	0,182	5,486

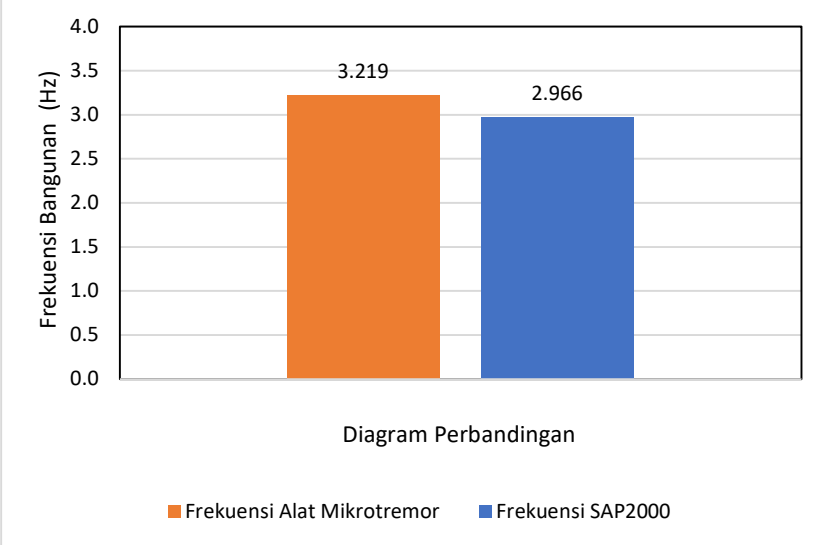
Berdasarkan hasil *running* pada permodelan Gedung FMIPA didapatkanlah nilai periode bangunan serta frekuensi bangunan. Hasil yang didapatkan untuk periode bangunan adalah 0,337 detik dan frekuensi natural bangunan sebesar 2,966 Hz. Berdasarkan analisis yang dilakukan, pemilihan modal 1 dalam evaluasi periode modal dan frekuensi struktur menggunakan SAP2000 didasarkan pada beberapa alasan kunci. Pertama, modal 1 memiliki frekuensi natural terendah, yang paling relevan dalam menentukan respons struktur terhadap beban dinamik seperti gempa bumi (Chopra, 2012). Kedua, modal 1 biasanya memberikan kontribusi terbesar terhadap perpindahan dan gaya dalam struktur, dengan partisipasi massa yang dominan, terutama pada arah gempa utama (FEMA, 2015). Ketiga, fokus pada modal 1 memungkinkan analisis yang lebih efisien dan sederhana tanpa mengorbankan akurasi yang signifikan, terutama dalam tahap awal desain atau evaluasi struktur (Gosar, 2010). Sehingga dipilih modal 1 sebagai nilai acuan.

5.8 Perbandingan Frekuensi Mikrotremor dan SAP2000

Setelah dilakukan analisis data mikrotremor untuk menentukan nilai frekuensi alami bangunan, dilakukan proses validasi terhadap hasil yang diperoleh. Validasi ini dilakukan dengan membandingkan nilai periode getar bangunan yang diperoleh melalui pengukuran mikrotremor dengan hasil analisis menggunakan perangkat lunak SAP2000. Jika kedua hasil tersebut menunjukkan nilai yang mendekati atau hampir sama, maka hasil pengukuran dan analisis dapat dianggap tervalidasi (Khadka, 2018). Berikut disajikan tabel dan grafik yang menunjukkan perbandingan antara frekuensi bangunan yang diperoleh dari alat mikrotremor dan perangkat lunak SAP2000.

Tabel 5. 8 Tabel Perbandingan Analisis

Lokasi	Frekuensi Mikrotremor		Rata-Rata Frekuensi	Frekuensi SAP2000	Selisih Frekuensi
	Komponen N-S	Komponen E-W	(Hz)	(Hz)	(Hz)
Gedung FMIPA	3,156	3,282	3,219	2,966	0,253



Gambar 5. 27 Grafik Perbandingan Hasil Analisis

Frekuensi mikrotremor diperoleh dari pengukuran lapangan yang mempertimbangkan dua komponen utama, yaitu komponen Utara-Selatan (N-S) dan Timur-Barat (E-W). Nilai rata-rata dari kedua komponen tersebut digunakan sebagai representasi frekuensi mikrotremor pada setiap lantai. Sebaliknya, frekuensi hasil analisis SAP2000 didapatkan melalui perhitungan numerik menggunakan perangkat lunak SAP2000, yang umumnya digunakan untuk menganalisis struktur bangunan dan memprediksi perilaku dinamisnya (Khadka, 2018).

Pada grafik histogram menunjukkan hasil selisih frekuensi antara pengukuran mikrotremor dan analisis SAP2000 yaitu sebesar 0,253 Hz. Selisih hasil antara analisis SAP2000 dan pengukuran mikrotremor diatas terdapat selisih yang sangat kecil. Jika dikonversi ke dalam persentase, perbedaan ini setara dengan 7,86% dari nilai frekuensi natural yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor. Dalam analisis dinamik struktur, perbedaan frekuensi natural hingga 10-15% masih dianggap dapat diterima (Chopra, 2012). sehingga terdapat kesesuaian antara kedua metode untuk mendapatkan frekuensi natural bangunan. Untuk sedikit perbedaan antara kedua hasil tersebut dapat dilakukan tinjauan mengenai beberapa faktor yang menyebabkan perbedaan tersebut.

Perbedaan kecil antara hasil frekuensi natural yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor dan analisis SAP2000 dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, asumsi model struktur dalam SAP2000 mungkin tidak sepenuhnya sesuai dengan kondisi aktual bangunan. SAP2000 menggunakan model matematis yang disederhanakan, termasuk asumsi tentang kekakuan elemen, tumpuan, dan distribusi massa. Jika asumsi ini tidak akurat, hasil analisis dapat berbeda dari pengukuran lapangan (Chopra, 2012). Kedua, ketidakpastian material seperti modulus elastisitas beton atau baja yang digunakan dalam SAP2000 mungkin tidak konsisten dengan kondisi material di lapangan. Variasi kualitas material ini dapat memengaruhi frekuensi natural yang dihitung (FEMA, 2015).

Selain itu, interaksi tanah-struktur juga berperan penting. Analisis SAP2000 sering kali mengabaikan atau menyederhanakan pengaruh tanah terhadap struktur, sementara pengukuran mikrotremor menangkap respons aktual struktur yang sudah

dipengaruhi oleh kondisi tanah (Gosar, 2010). Di sisi lain, kualitas data mikrotremor juga memengaruhi hasil. Pengukuran mikrotremor sangat bergantung pada durasi pengukuran, lokasi sensor, dan kondisi lingkungan (seperti gangguan noise). Jika data yang diambil tidak ideal, hasil frekuensi natural mungkin kurang akurat (Nakamura, 1989).

Dengan demikian, perbedaan kecil antara kedua metode tersebut dapat dijelaskan melalui faktor-faktor di atas. Untuk mengurangi perbedaan ini, perlu dilakukan validasi model SAP2000 dengan data lapangan serta mempertimbangkan faktor-faktor seperti interaksi tanah-struktur, dan kualitas data mikrotremor dalam analisis.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data mikrotremor pada Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia, didapatkan beberapa Kesimpulan sebagai berikut.

1. Kerentanan bangunan dianalisis berdasarkan tiga parameter utama, yaitu frekuensi alami bangunan, indeks resonansi bangunan, dan indeks kerentanannya, yang dijelaskan sebagai berikut.
   a. Berdasarkan nilai frekuensi bangunan yang didapatkan pada Gedung FMIPA untuk setiap masing-masing komponen nilai frekuensi bangunan lebih besar daripada nilai frekuensi tanah sehingga bangunan dikatakan aman
   b. Berdasarkan hasil klasifikasi nilai indeks resonansi bangunan yang didapatkan pada Gedung FMIPA dikategorikan untuk komponen N-S dan E-W dengan rata-rata keseluruhan sedang.
   c. Berdasarkan hasil klasifikasi indeks kerentanan bangunan yang didapatkan pada Gedung FMIPA didapatkan kategori aman untuk keseluruhan lantai pada Gedung tersebut
2. Perbandingan nilai frekuensi bangunan dari data mikrotremor dan nilai frekuensi bangunan dari permodelan SAP2000 dengan nilai selisih relatif kecil yaitu sebesar 0,253 Hz yang jika dikonversikan kedalam persen didapat sebesar 7,86% dan dapat diklasifikasikan sesuai.

6.2 Saran

Setelah dilakukannya seluruh rangkaian penelitian, beberapa saran yang dapat penulis berikan dalam pengembangan penelitian ini kedepannya.

1. Penelitian ini dapat terus dikembangkan lagi dengan membandingkan hasil penelitian ini dengan metode yang lain pada pengolahan mikrotremor
2. Perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut terhadap faktor-faktor yang menyebabkan frekuensi bangunan lebih baik terhadap parameter SAP2000 Maupun dalam kondisi parameter mikrotremor di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Arifudin, A. M. (2018). Karakteristik Situs dan Kerentanan seismik di kabupaten Klaten dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) dari Data Mikrotremor. 146. *Tesis*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Ayi, V. W., & Bahri, S. (2012). Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kekuatan Bangunan kasus gedung perpustakaan ITS. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1(1).

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2020). *Geological and seismological characteristics of Indonesia*. BMKG.

Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2019). *National disaster management plan 2020-2024*. Bappenas.

Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering* (4th ed.). Pearson Education.

Desmita, S. C., Muksin, U., Idris, Y. (2022). Kajian Respon Gempa dan Kerentanan Bangunan Publik Berdasarkan Data Mikrotremor di Aceh Utara. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan UNSYIAH*, 5(3), 236-246.

Fauzan, S. A., Erizal, E., & Sapei, A. (2016). Design Analysis of Solterra Pejaten Reinforced Concrete Structure 8-Story School in Jakarta With SRPMK Method Based on SNI 03-1726-2012. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, *3*(1), 11–24.

Federal Emergency Management Agency. (2015). *Guidelines for earthquake-resistant building design*. FEMA

Gosar, A. (2010). Site Effects And Soil-Structure Resonance Study In The Kobarid Basin (NW Slovenia) Using Microtremors. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 761-772.

Hadianfard, M. A., Rabiee, R., & Sarshad, A. (2016). Assessment of Vulnerability and Dynamic Characteristics of a Historical Building Using Microtremor Measurements. *Iran University of Science and Technology*.

Hariyadi, A. (2009). Studi Kongfigurasi Bangunan Pada Rumah Hunian Pasca Gempa Di Bantul Yogyakarta Menggunakan Alat Accelerometer GPL-6A3P. *Program Studi Teknik Arsitektur Jurusan Teknik Arsitektur dan Perencanaan, Yogyakarta*.

Khadka, T. B. (2018). Determination Of Natural Frequency Of The Building Using The Microtremor Measurement And Comparison Its Result With SAP Analysis. *International Journal Of Advance Research, Ideas And Innovations In Technology*, 326-334.

Larasati, N. (2022). Uji Kerentanan Bangunan Rusunawa Berdasarkan Hvsr (Horizontal To Spectral Ratio) Dan Fsr (Floor Spectral Ratio). *Jurnal Geosaintek*, *8*(1), 151.

Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Q.R of R.T.I 30-1* , 25-33.

Nakamura, Y., Gurler, E., Saita, J., Rovelli, A., & Donati, S. (2000). Vulnerability Investigation Of Roman Collisseum Using Microtremor. *Proceedings of 12th WCEE, New Zealand*.

Novianti, C. C., & Santosa, B. J. (2016). Penentuan Hiposenter Gempabumi dan Model Kecepatan Lokal di Wilayah Jawa Timur Menggunakan Metode Double Difference. *Jurnal Sains Dan Seni Its*, *5*(2), 59–64.

Prabowo, U. N., Budhi, W., & Amalia, A. F. (2020). Analisis Mikrotremor untuk mengevaluasi kerentanan gempa bumi ruangan prodi pend FIsika UST. *SCIENCE TECH : Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 6(1), 10-16.

Putra, R. R., Khairan, A. (2023). Assessment Tingkat Kerentanan Pada Bangunan Perpustakaan Pusat UNP Menggunakan Gelombang Rayleigh dan Screening Method. *Jurnal Applied Science in Civil Engineering UNP*, 5(1).

Putra, R. R., Khumairah, R. (2023). Assessment Tingkat Kerentanan Bangunan Bertingkat Di Gedung Klinik Kesehatan Prodia Padang Menggunakan Rayleigh Wave. *Jurnal Applied Science in Civil Engineering UNP*, 4(3)

Ranaweera, J., & Ornthammarath, T. (2022). Estimating fundamental periods for Thai buildings using ambient vibration data with HVSR Technique. *KKU International Engineering Conference 2021 (KKU-IENC2021)* May 12-14, 2021 – Khon Kaen, Thailand.

Richter, C. F. (1935). An instrumental earthquake magnitude scale. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 25(1), 1–32.

Riyantiyo, N. D., Widodo, A., Bahri, S., Geofisika, D. T., Teknik, F., Teknologi, I., & Nopember, S. (2017). Identifikasi Patahan Lokal Menggunakan Metode Mikrotremor. *Jurnal Teknik ITS,* 6(2), 194–198.

Sato, T., Nakamura, Y., & Saita, J. (2008). The Change Of The Dynamic Characteristics Using Microtremor . *The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China*.

Satriyo, A., Suryanto, W., Anggono, T., Al Kamali, M. L., & Yufi, H. S. (2023). Study Characteristics of a Multipurpose Reactor Building G.A. Siwabessy using *Floor Spectral Ratio*. *E3S Web of Conferences*, *468*, 09003.

Sungkono, & B. S. (2011). Karateristik Kurva Horizontal To Vertical Spectral Ratio : Kajina Literatur Dan Permodelan. *Jurnal Neutrino*, 1-13.

Sungkono, W. D. (2011). Evaluation of Building Strength From Mikrotremor Analyses. *International Journal of Civil and Enviromental Engineering* , 93-99.

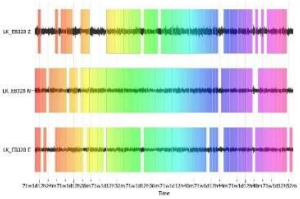
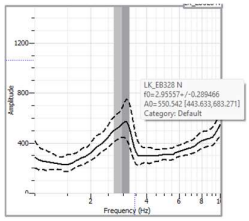
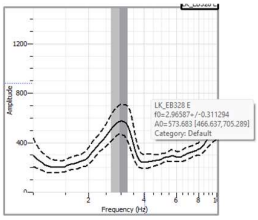
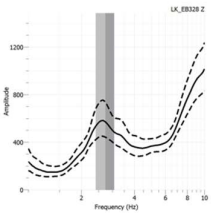
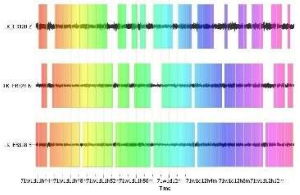
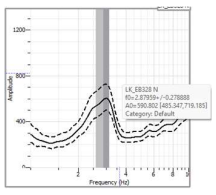
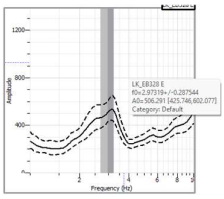
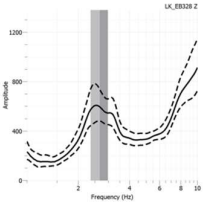
Syihabuddin, A. A. (2020). Analisis Kerentanan Bangunan Berdasarkan Data Mikrotremor Studi Kasus : PT Solusi Bangun Indonesia Tuban Plant. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.

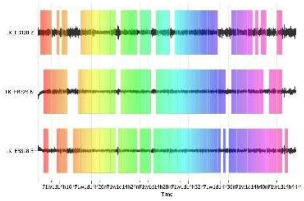
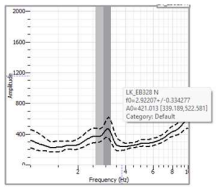
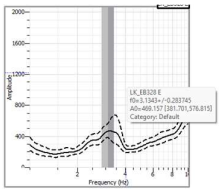
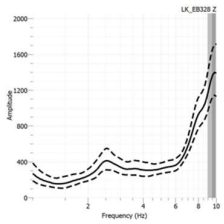
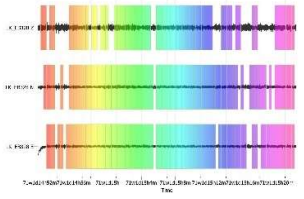
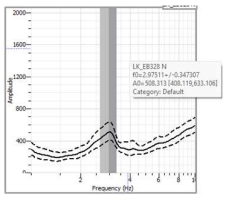
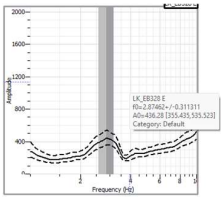
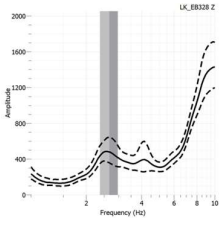
Wibowo, N. B., & Huda, I. (2020). Analysis Of Amplification, Seismic Vulnerability Index And Soil Clasification Based On Vs30 In Yogyakarta. *Buletin Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika*, *1*(2), 21–31.

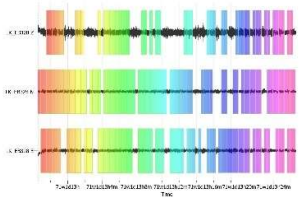
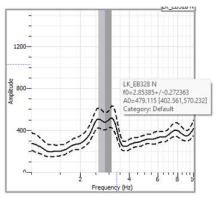
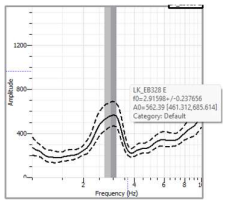
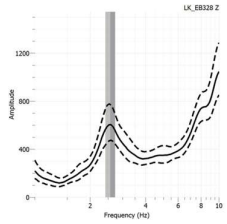
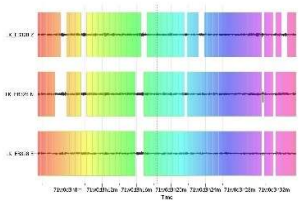
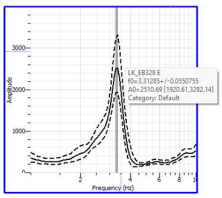
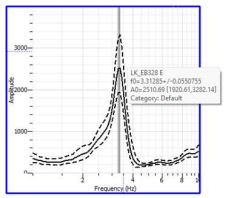
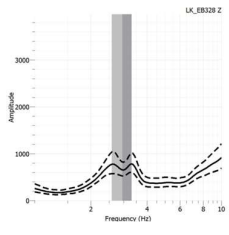
Yuniarto, A. H. P., & Kiswanto, H. (2021). Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi pada Gedung Perkuliahan ITS NU Pekalongan. *Wahana Fisika*, *6*(2), 151–159.

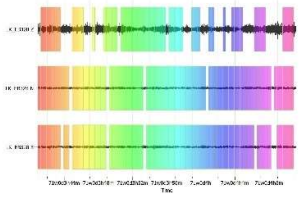
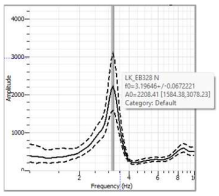
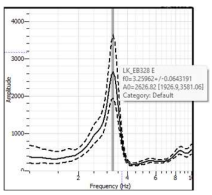
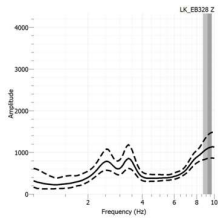
LAMPIRAN

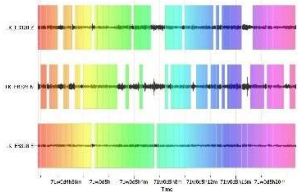
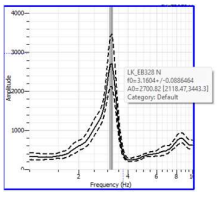
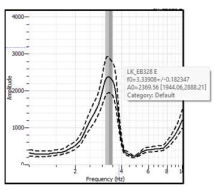
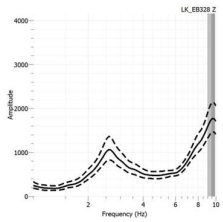
Lampiran 1 Gambar Kurva Hasil Pengukuran Data Mikrotremor

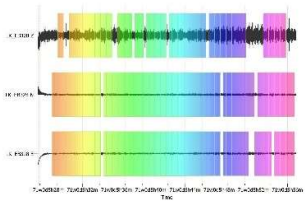
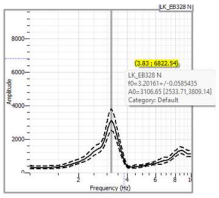
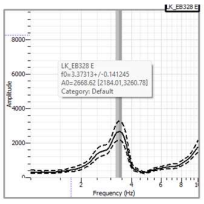
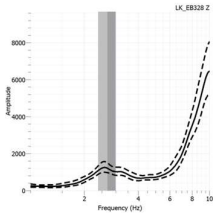
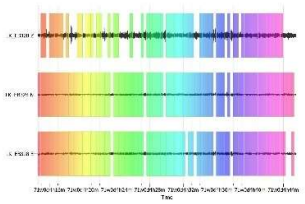
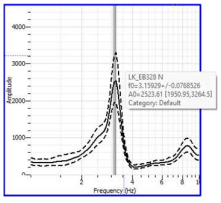
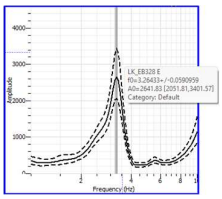
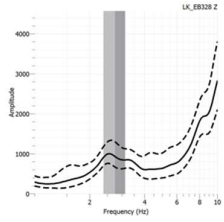
Titik LB.1A

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z
Titik LB.1B

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik LB.1C

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z
Titik LB.1D

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

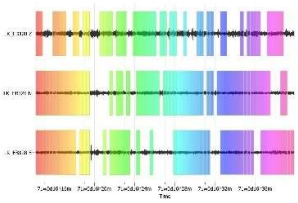
Titik LB.1E

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z
Titik L1.2A

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik L1.2B

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

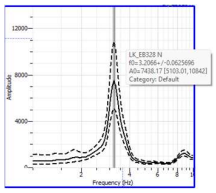
Titik L1.2C

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

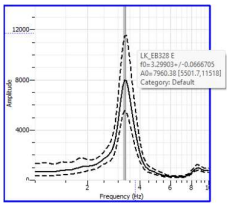
Titik L1.2D

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z
Titik L1.2E

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

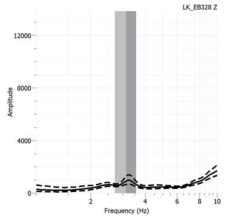
Titik L2.3A



(a)



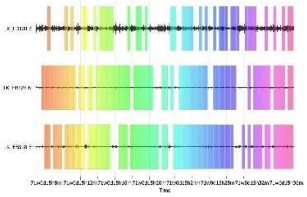




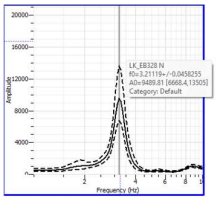
(b)

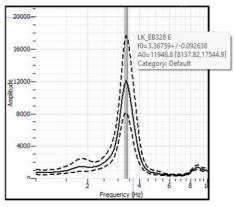
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

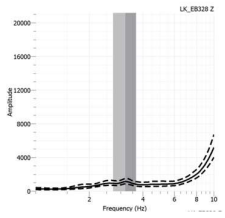
Titik L2.3B



(a)



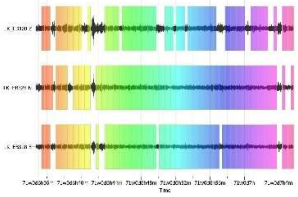




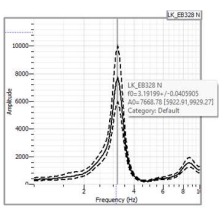
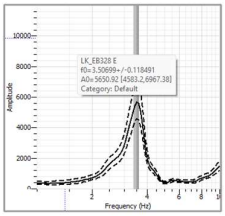
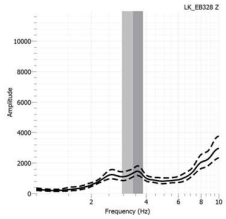
(b)

Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik L2.3C



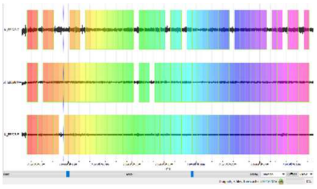
(a)

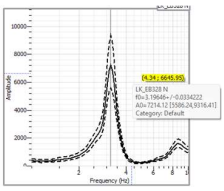
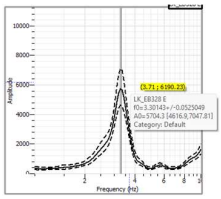
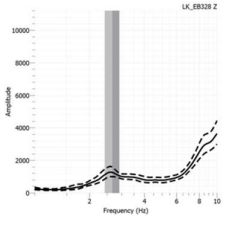
(b)

Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik L2.3D



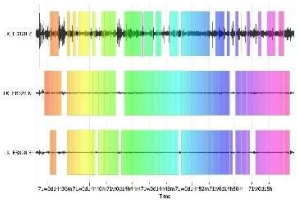
(a)

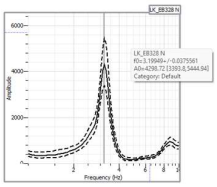
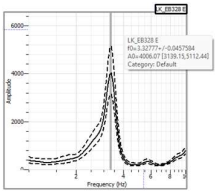
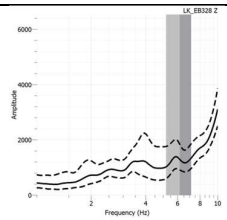
(b)

Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik L2.3E



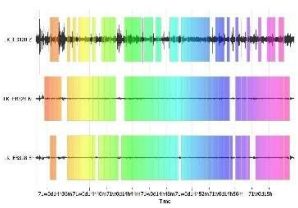
(a)

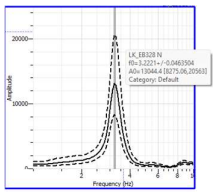
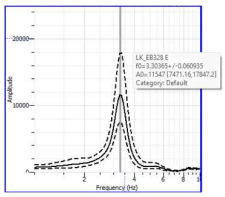
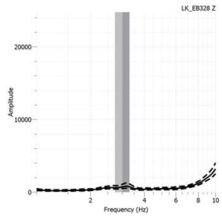
(b)

Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik L3.4A

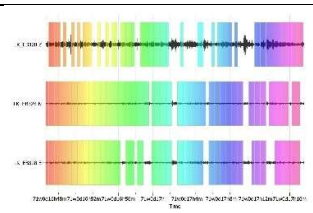
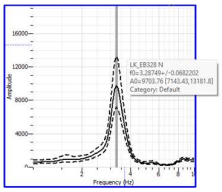
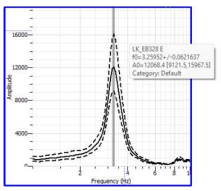
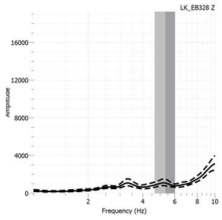
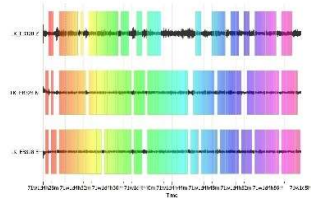
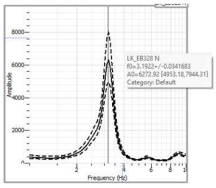
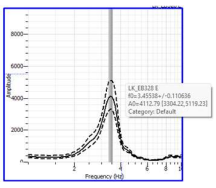
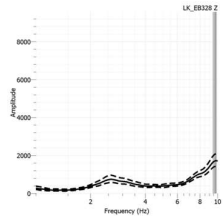


(a)

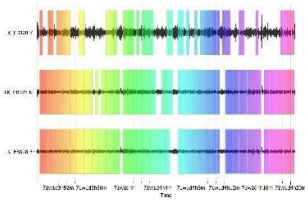




(b)

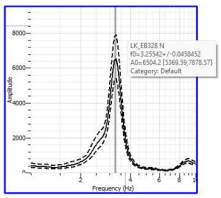
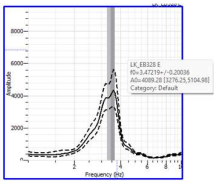
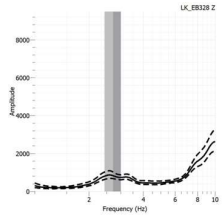
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik L3.4B

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z
Titik L3.4C

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik L3.4D



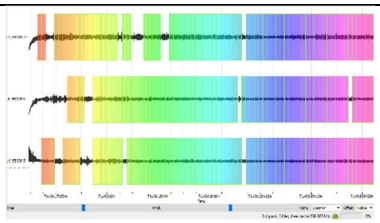
(a)

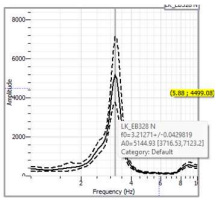
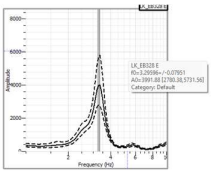
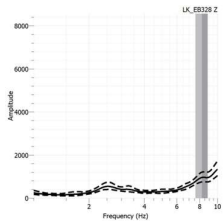
(b)

Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik L3.4E

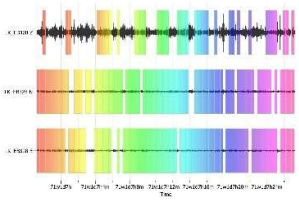
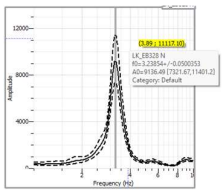
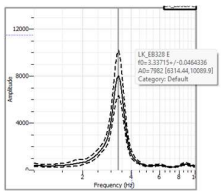
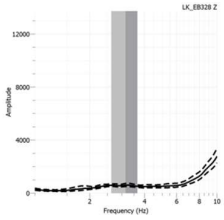
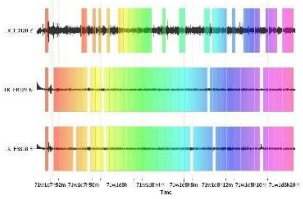
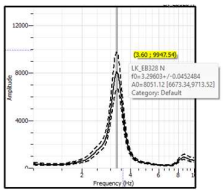
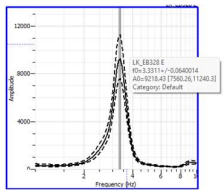
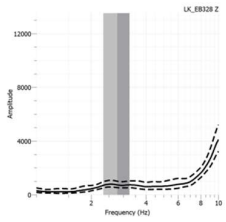


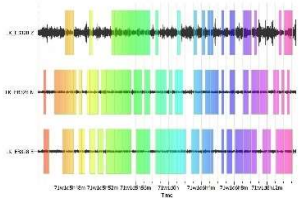
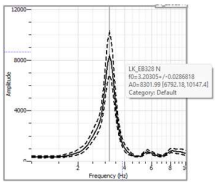
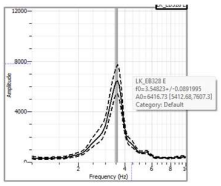
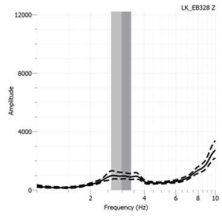
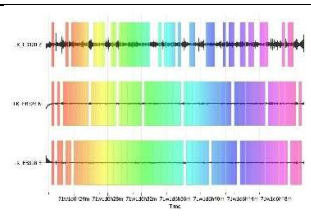
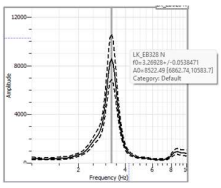
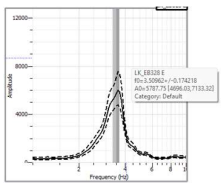
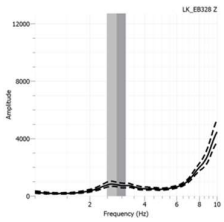
(a)

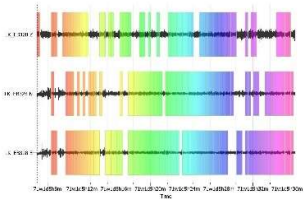
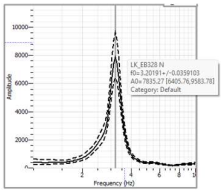
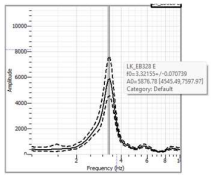
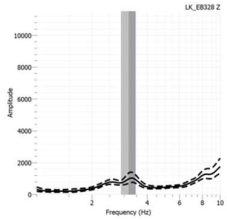




(b)

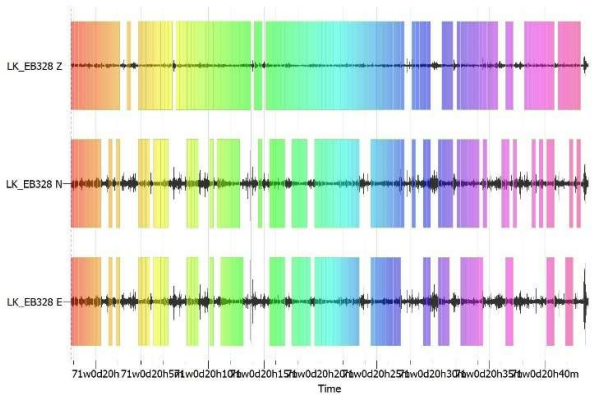
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik L4.5A

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z
Titik L4.5B

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

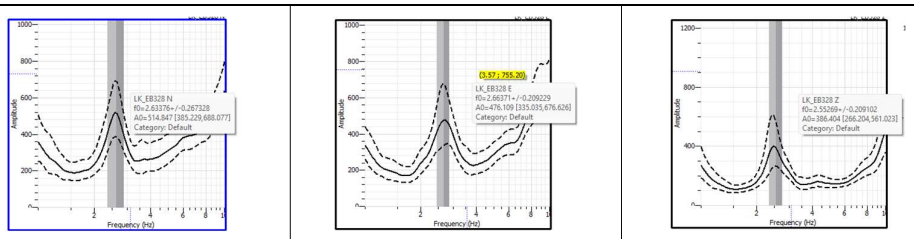
Titik L4.5C

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z
Titik L4.5D

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik L4.5E

(a)
  
(b)
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik Tanah 1

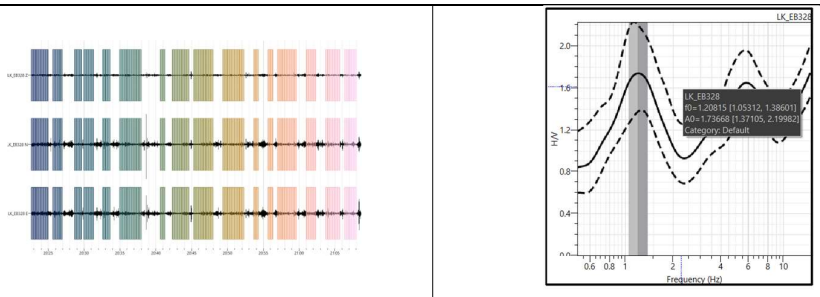


(a)



(b)

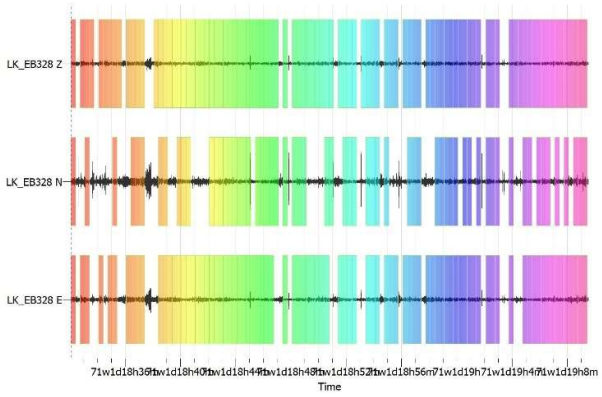
Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z



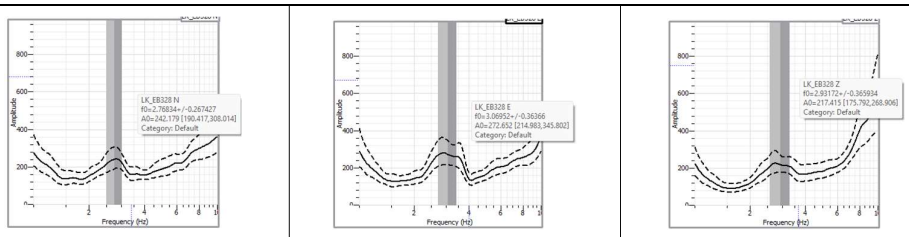
(a) **(b)**

Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva HVSR Tanah

Titik Tanah 2



(a)



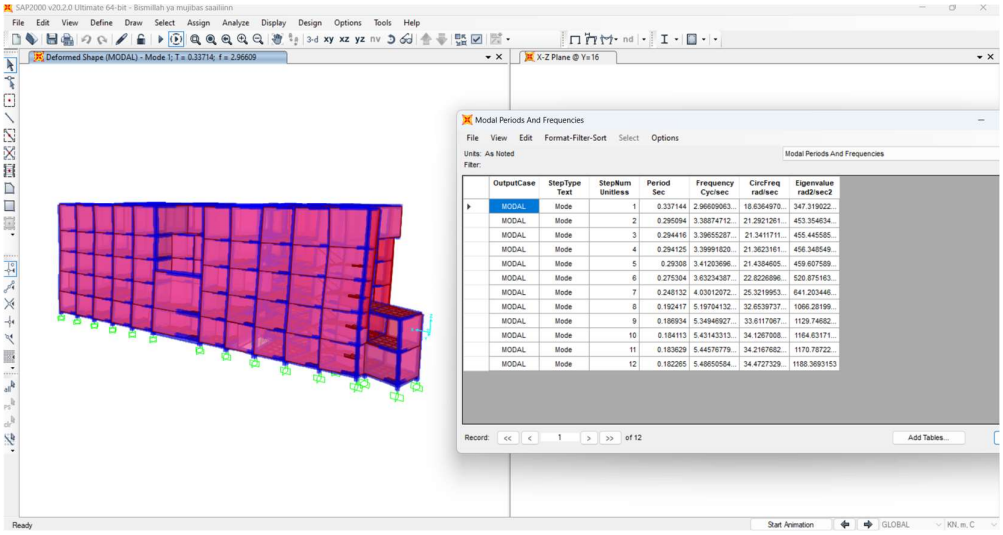
(b)

Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

(a) **(b)**

Keterangan Gambar : (a) Sinyal Mikrotremor & Windowing, (b) Kurva HVSR Tanah

Lampiran 2 Output SAP2000



Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian

Gambar L-3.1 Dokumentasi Penelitian

Lampiran 4 Surat Perizinan Pemakaian Alat Laboratorium

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Nomor : 106/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VI/2024
Hal : **Permohonan Izin Peminjaman Laboratorium**

Kepada Yth:
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Sehubungan dengan Penelitian untuk menyusun Tugas Akhir, maka melalui surat ini kami bermaksud mengajukan permohonan bantuan bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

Nama	:	**Rafi Abdurrahman Fahmy**
NIM	:	**20511241**
CP mahasiswa	:	**0812 3568 4975**
Judul Tugas Akhir	:	**Analisis Data Mikrotremor Menggunakan Metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) Untuk Evaluasi Kerentanan Pada Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

Melalui surat ini, kami mohon bantuan untuk dapat mengajukan permohonan izin peminjamaan peralatan di GIS dan Seismik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang akan dipergunakan pada tanggal 15-16 Juni 2024.

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN YOGYAKARTA

Dinia Anggraheni, S.T., M. Eng

Yogyakarta, 11 Juni 2024
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T

Lampiran 5 Surat Izin Penelitian Di Gedung Perkuliahan FMIPA UII

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Nomor : 105/Sek. Prodi/20/FTSP/VI/2024
Hal : **Permohonan Izin Penelitian Tugas Akhir**

Kepada Yth.
Prof. Riyanto, S. Pd., M. Si., Ph.D
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Universitas Islam Indonesia
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Dalam rangka mempersiapkan mahasiswa untuk menempuh ujian Tugas akhir/Skripsi maka setiap mahasiswa diwajibkan untuk menyusun Tugas Akhir/skripsi. Sehubungan dengan hal tersebut diatas maka diperlukan data-data, baik dari instansi Pemerintah BUMN, ataupun dari perusahaan swasta/Proyek.

Berdasarkan alasan-alasan tersebut diatas, maka dengan ini kami mohon bantuannya untuk dapat memberikan bantuan untuk dapat memberikan izin pengambilan data yang akan digunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, yang akan dilaksanakan pada tanggal **15-16 Juni 2024**. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

Nama	:	**Rafi Abdurrahman Fahmy**
NIM	:	**20511241**
CP mahasiswa	:	**0812 3568 4975**
Judul Tugas Akhir	:	**Analisis Data Mikrotremor Menggunakan Metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) Untuk Evaluasi Kerentanan Pada Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 11 Juni 2024

Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,

Dinia Anggraheni, S.T., M. Eng

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.

Lampiran 6 Surat Balasan Izin Penelitian Di Gedung Perkuliahan FMIPA UII

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
MATEMATIKA &
ILMU PENGETAHUAN ALAM

Gedung Prof. Dr. H. Zanzawi Soejoeti, M.Sc.
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 3040, 3041
F. (0274) 896439
E. fmipa@uii.ac.id
W. fmipa.uii.ac.id

Nomor : 451/Dek-FMIPA/20/DAURT/VI/2024
Hal : **Jawaban izin penelitian tugas akhir**

Yth. **Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana**
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakaatuh,

Semoga Ibu senantiasa diberikan kesehatan, kemudahan dan kelancaran serta barokah Allah SWT dalam menjalankan amanah dimanapun bertugas. Aamiin.

Memperhatikan surat Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana Nomor: 105/Sek. Prodi/20/FTSP/VI/2024 tertanggal 11 Juni 2024 perihal pada pokok surat, sehubungan dengan permohonan izin pengambilan data yang akan digunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, oleh mahasiswa tersebut di bawah ini:

Nama	: Rafi Abdurrahman Fahmy
NIM	: 20511241
CP Mahasiswa	: 0812 3568 4975
Judul Tugas Akhir	: Analisis Data Mikrotremor Menggunakan Metode Floor Spectral Rotio (FSR) Untuk Evaluasi Kerentanan Pada Gedung Fakultas Matematika dan llmu Pengetahuan Alam
Fakultas	: Teknik Sipil dan Perencanaan
Dosen Pembimbing	: Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
Wakyu pelaksanaan	: 15-16 Juni 2024

Bersama surat ini kami sampaikan bahwa pada dasarnya kami **memberikan izin penelitian tugas akhir** bagi mahasiswa tersebut, dengan catatan:
1. Mengikuti ketentuan yang berlaku (tidak mengganggu kegiatan proses belajar mengajar atau kegiatan administrasi yang sedang berlangsung);
2. Setelah selesai penelitian diharapkan yang bersangkutan menyerahkan satu eksemplar hasil penelitian ke Fakultas MIPA UII.

Demikian, atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakaatuh.

Yogyakarta, 5 Dzulhijah 1445 H
12 Juni 2024 M

https://science.uii.ac.id/v/REG770601

Dekan,

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA ★ YOGYAKARTA ★ FAKULTAS MIPA

Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D.

Tembusan:
- Sdr. Rafi Abdurrahman Fahmy
- Unit terkait (untuk dilayani)