

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DATA MIKROTREMOR UNTUK EVALUASI
KERENTANAN GEMPA BUMI PADA GEDUNG
LABORATORIUM FTI UII MENGGUNAKAN METODE
FLOOR SPECTRAL RATIO (FSR)
*(ANALYSIS OF MICROTREMOR DATA FOR
EARTHQUAKE VULNERABILITY EVALUATION OF UII
FTI LABORATORY BUILDING USING FLOOR SPECTRAL
RATIO (FSR))***

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



**Frisma Bella Fatmasari
20511212**

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

TUGAS AKHIR

ANALISIS DATA MIKROTREMOR UNTUK EVALUASI KERENTANAN GEMPA BUMI PADA GEDUNG LABORATORIUM FTI UII MENGUNAKAN METODE *FLOOR SPECTRAL RATIO (FSR)* (*ANALYSIS OF MICROTREMOR DATA FOR EARTHQUAKE VULNERABILITY EVALUATION OF UII FTI LABORATORY BUILDING USING FLOOR SPECTRAL RATIO (FSR)*)

Disusun Oleh

Friska Bella Fatmasari
20511212

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 19 Februari 2025

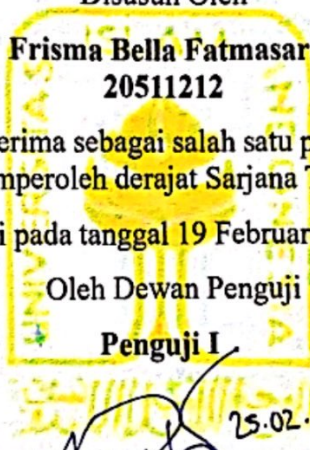
Oleh Dewan Penguji

Penguji I

Penguji II

Pembimbing 25/2/2025

Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIP : 185111304



25.02.25

Astria Hardawati, S.T., M.Eng.
NIP : 165111301

26/2/2025

Elvis Saputra, S.T., M.T.
NIP : 205111302

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



27/2/2025

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D
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, 30 Januari 2025

Yang membuat pernyataan,



Frisma Bella Fatmasari

(20511212)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul Analisis Data Mikrotremor Untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Pada Gedung Laboratorium FTI UII Menggunakan Metode *Floor Spectral Ratio* (FSR). Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik dalam menyelesaikan program studi sarjana di Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

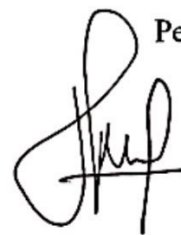
Tugas Akhir dapat terselesaikan dengan bantuan, bimbingan, dan saran dari banyak pihak. Terkait hal ini, penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih kepada pihak-pihak terkait.

1. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph. D., 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 memberikan banyak bimbingan, arahan, saran, nasihat, serta motivasi selama penyusunan tugas akhir.
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng selaku dosen penguji 1.
4. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T selaku dosen penguji 2.
5. Kedua orang tua penulis sebagai panutan yang telah memberikan dukungan material, semangat, dan doa hingga selesainya tugas akhir ini.
6. Kepada seseorang terdekat yang telah memberikan dukungan, semangat, dan bantuan dalam proses perkuliahan dari awal hingga selesai perkuliahan.
7. Wishal Dinansyah Suleman dan Rafi Abdurrahman Fahmy selaku partner yang telah membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir.
8. Nuraini Laksitorini, Mahayani Farhatul Aulia, Rifdatun Nabilah, dan teman-teman “Con Mahay” yang telah memberikan bantuan serta dukungan dalam proses pengerjaan proposal sampai penyusunan skripsi selesai.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas Akhir.

Penulis berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 30 Januari 2025

Penulis,


Friska Bella Fatmasari

20511212

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.1.1 Penentuan Frekuensi Natural Bangunan Menggunakan Pengukuran Mikrotremor dan Membandingkan Hasilnya Dengan Analisis SAP	6
2.1.2 Analisis Mikrotremor Untuk Mengevaluasi Kerentanan Gempabumi Ruang Prodi Pend Fisika UST	7
2.1.3 Uji Kerentanan Bangunan Rusunawa Berdasarkan HVSR (<i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>) dan FSR (<i>Floor Spectral Ratio</i>)	9
2.1.4 Memperkirakan Periode Fundamental Untuk Bangunan di Thailand Menggunakan Data Getaran Sekitar Dengan Teknik HVSR	12

2.1.5	Analisis Kerentanan Gedung Rektorat UIN Mataram Terhadap Gempa Bumi Berdasarkan Data Mikrotremor	14
2.1.6	Analisis Frekuensi Struktur Menara Masjid Raya Al-Aqsa Kabupaten Merauke	16
2.2	Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	17
BAB III LANDASAN TEORI		21
3.1	Gempa	21
3.1.1	Pengertian Gempa Bumi	21
3.1.2	Parameter Gempa Bumi	22
3.2	Mikrotremor	24
3.3	Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> (HVSr)	25
3.4	Metode <i>Floor Spectral Ratio</i> (FSR)	26
3.5	Frekuensi Natural Tanah	27
3.6	Frekuensi Natural Bangunan	28
3.7	Amplifikasi	28
3.8	Indeks Resonansi Bangunan	29
3.9	Indeks Kerentanan Bangunan	30
3.10	Pembebanan Pada Bangunan Struktur	31
3.10.1	Beban Mati	31
3.10.2	Beban Hidup	32
3.10.3	Beban Gempa	32
3.11	Respon Spektrum	35
3.11.1	Analisis Respon Spektrum	35
3.11.2	Spektrum Respon Desain	38
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		40
4.1	Lokasi Penelitian	40
4.2	Peralatan	40
4.3	Teknik Pengumpulan Data	42
4.4	Pengolahan Data Mikrotremor	44
4.4.1	Pengolahan Frekuensi dan Amplitudo	45

4.4.2	Perhitungan Indeks Resonansi Bangunan	46
4.4.3	Perhitungan Indeks Kerentanan Bangunan	46
4.5	Pemodelan Struktur	46
4.6	Diagram Alur	47
BAB V ANALISIS, HASIL, DAN PEMBAHASAN		49
5.1	Pengambilan Data di Lapangan	49
5.2	Pengolahan Data Mikrotremor	51
5.3	Analisis Frekuensi Natural Tanah	54
5.4	Analisis Nilai Frekuensi Natural Bangunan	58
5.5	Analisis Nilai Indeks Resonansi Bangunan	61
5.6	Analisa Nilai Indeks Kerentanan Bangunan	67
5.7	Analisis Frekuensi Natural Bangunan <i>SAP2000</i>	71
5.7.1	Pemodelan Struktur	71
5.7.2	Hasil Analisis <i>SAP2000</i>	76
5.8	Perbandingan Frekuensi Mikrotremor dengan <i>SAP2000</i>	78
5.9	Implementasi Penelitian Dalam Bidang Teknik Sipil	79
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		81
6.1	Kesimpulan	81
6.2	Saran	82
DAFTAR PUSTAKA		83
LAMPIRAN		86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	18
Tabel 3.1 Intensitas Gempa Bumi Skala MMI (<i>Modified Mercally Intensity</i>)	23
Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural Menurut Kanai	27
Tabel 3.3 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi	29
Tabel 3.4 Beban Mati	31
Tabel 3.5 Beban Hidup	32
Tabel 3.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa	32
Tabel 3.7 Faktor Keutamaan Gempa	35
Tabel 3.8 Koefisien Situs, F_a	37
Tabel 3.9 Koefisien Situs, F_v	37
Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Analisis Spektrum Pada Bangunan	53
Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Analisis Spektrum Tanah	56
Tabel 5.3 Rekapitulasi Nilai Frekuensi Natural Tanah Analisis H/V	58
Tabel 5.4 Rekapitulasi Nilai Frekuensi Natural Bangunan	59
Tabel 5.5 Klasifikasi Tingkat Resiko Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural	60
Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai Indeks Resonansi Bangunan	63
Tabel 5.7 Rekapitulasi Rata-Rata Nilai Indeks Resonansi Bangunan	66
Tabel 5.8 Rekapitulasi Indeks Kerentanan Bangunan	68
Tabel 5.9 Rekapitulasi Rata-Rata Indeks Kerentanan Bangunan	71
Tabel 5.10 Rekapitulasi Periode dan Frekuensi Hasil SAP2000	77
Tabel 5.11 Perbandingan Hasil Frekuensi Alat Mikrotremor dan SAP2000	79
Tabel 5.12 Momen Inersia dan Luas Penampang yang Diizinkan	80
Tabel 5.13 Klasifikasi Tingkat Resiko Pada Bangunan yang Mengalami Penurunan Kekuatan	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Model 3D Dalam <i>SAP2000</i>	7
Gambar 2.2 Hasil Pengolahan HVSR	8
Gambar 2.3 Spektrum Hasil Pengolahan Data 1-1	8
Gambar 2.4 Hasil Rekaman Mikrotremor	10
Gambar 2.5 Kurva H/V Tanah T1	10
Gambar 2.6 Kurva Spektrum (a) Komponen Arah E-W, (b) Komponen Arah N-S	11
Gambar 2.7 Grafik Resonansi Gedung Rusunawa Universitas Jambi	11
Gambar 2.8 Model 3D Tanpa Dinding Pengisi	13
Gambar 2.9 Model 3D Dengan Dinding Pengisi	13
Gambar 2.10 Grafik Nilai Frekuensi Natural Komponen N-S	14
Gambar 2.11 Grafik Nilai Frekuensi Natural Komponen E-W	15
Gambar 2.12 Grafik Indeks Kerentanan Bangunan Komponen N-S	15
Gambar 2.13 Grafik Indeks Kerentanan Bangunan Komponen E-W	16
Gambar 3.1 Ilustrasi Teori <i>Elastic Rebound</i>	21
Gambar 3.2 Titik Episentrum dan Hiposentrum	22
Gambar 3.3 Hasil Rekaman Mikrotremor	25
Gambar 3.4 Kurva HVSR	25
Gambar 3.5 Grafik Spektrum Arah EW dan NS Lantai 2	26
Gambar 3.6 Peta Parameter Gerak Tanah (S_s) Periode 0,2 Detik	35
Gambar 3.7 Peta Parameter Gerak Tanah (S_1) Periode 1 Detik	36
Gambar 3.8 Spektrum Respons Desain	39
Gambar 3.9 Peta Transisi Periode Panjang (T_L) Wilayah Indonesia	39
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian	40
Gambar 4.2 Perangkat Keras yang Digunakan	41
Gambar 4.3 Denah Lantai <i>Basement</i>	43
Gambar 4.4 Denah Lantai 1	43

Gambar 4.5 Denah Lantai 2	43
Gambar 4.6 Denah Lantai 3	44
Gambar 4.7 Denah Lantai 4	44
Gambar 4.8 Proses Pemilihan Sinyal Titik 9	45
Gambar 4.9 Hasil FFT Lantai 4	46
Gambar 4.10 Diagram Alur Penelitian	48
Gambar 5.1 Titik Pengukuran Lantai Basement	49
Gambar 5.2 Titik Pengukuran Lantai 1	49
Gambar 5.3 Titik Pengukuran Lantai 2	50
Gambar 5.4 Titik Pengukuran Lantai 3	50
Gambar 5.5 Titik Pengukuran Lantai 4	50
Gambar 5.6 Data Rekaman Mikrotremor Titik L3-4.1 Dalam Kawasan Waktu	51
Gambar 5.7 Pengaturan Pengolahan Spektrum Titik L4-5.1	52
Gambar 5.8 Windowing Data Mikrotremor Titik L4-5.1	52
Gambar 5.9 Grafik Analisis Spektrum Titik L4-5.1	53
Gambar 5.10 Pengaturan Pengolahan Spektrum Titik Tanah 1	55
Gambar 5.11 Windowing Data Mikrotremor Titik Tanah 1	55
Gambar 5.12 Grafik Analisis Spektrum Titik Tanah 1	56
Gambar 5.13 Pengaturan Analisis H/V Titik Tanah 2	57
Gambar 5.14 Windowing Data Mikrotremor Tanah 2	57
Gambar 5.15 Grafik H/V Titik Tanah 2	57
Gambar 5.17 Tampilan Modifikasi Grid	72
Gambar 5.18 Material Property Beton Mutu 30 Mpa	72
Gambar 5.19 Material Property Baja Tulangan Pokok	73
Gambar 5.20 Material Property Baja Tulangan Sengkang	73
Gambar 5.21 Material Property Dinding Pengisi	73
Gambar 5.22 Desain B3 Tumpuan	74
Gambar 5.23 Desain K1 Tumpuan	74
Gambar 5.24 Desain Pelat Lantai	74
Gambar 5.25 Desain Dinding	75
Gambar 5.26 Pengaturan Load Patterns Beban	75

Gambar 5.27 Pengaturan Load Cases Beban	75
Gambar 5.28 Pengaturan Massa Struktur	76
Gambar 5.29 Pengaturan Diaphragm	76
Gambar 5.30 Pemodelan Struktur Gedung Laboratorium FTI Universitas Islam Indonesia	77
Gambar 5.31 Grafik Perbandingan Frekuensi Mikrotremor dan SAP2000	79

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Kurva Hasil Pengolahan Data Mikrotremor	87
Lampiran 2 Gambar Struktur Gedung Laboratorium FTI UII	102
Lampiran 3 Output <i>SAP2000</i>	105
Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian	106
Lampiran 5 Surat Perizinan Pemakaian Alat Laboratorium	108
Lampiran 6 Surat Izin Penelitian	109
Lampiran 7 Surat Balasan Izin Penelitian	110

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_0	=	Amplifikasi (m/s^2)
E-W	=	Rekaman mikrotremor komponen timur-barat
FFT	=	<i>Fast Fourier Transform</i>
FSR	=	<i>Floor Spectral Ratio</i>
f_{0b}	=	Frekuensi Natural Bangunan (Hz)
$f_{0(FSR)}$	=	Frekuensi Natural Bangunan Metode <i>Floor Spectral Ratio</i> (Hz)
f_{0t}	=	Frekuensi Natural Tanah (Hz)
H	=	Tinggi bangunan (m)
HVSR	=	<i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>
K_b	=	Indeks Kerentanan Bangunan (m/s^2)
Lab FTI UII	=	Laboratorium Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia
N-S	=	Rekaman mikrotremor komponen utara-selatan
R	=	Indeks Resonansi Bangunan (%)
SNI	=	Standar Nasional Indonesia

ABSTRAK

Gedung Laboratorium FTI UII yang beroperasi sejak 1996 di Yogyakarta cenderung mengalami penurunan kekuatan akibat getaran gempa bumi. Gempa besar terjadi di Bantul tahun 2006 dan di laut selatan Kota Wates tahun 2023 menyebabkan kerusakan bangunan serta ratusan korban jiwa. Mengingat dampak yang ditimbulkan, penting untuk mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa guna meningkatkan keselamatan dan ketahanan bangunan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa menggunakan data mikrotremor untuk memperoleh nilai frekuensi natural bangunan (f_{0b}), nilai indeks resonansi bangunan (R), dan nilai indeks kerentanan bangunan (K_b) dengan menggunakan data mikrotremor. Titik perekaman mikrotremor sebanyak 27 titik terdiri 3 titik di tanah dan 24 titik di lantai bangunan. Perekaman data dilakukan menggunakan lunitek digital seismic sensor. Analisis dengan menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) untuk analisis data mikrotremor bangunan dan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk analisis data mikrotremor tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai frekuensi natural bangunan Gedung Laboratorium FTI UII relatif aman terhadap frekuensi natural tanah sehingga kecil kemungkinan terjadi resonansi, indeks resonansi tergolong sedang, dan indeks kerentanan bangunan menunjukkan bahwa bangunan masih dalam kondisi aman. Perbandingan frekuensi antara data mikrotremor dengan model *SAP2000* menunjukkan selisih sebesar 5,07% yang memperkuat keakuratan data yang diperoleh. Dengan hasil ini, penelitian dapat menjadi dasar dalam upaya mitigasi risiko gempa.

Kata Kunci: Mikrotremor, Frekuensi Natural, FSR, *SAP2000*

ABSTRACT

The FTI UII Laboratory Building, which has been in operation since 1996 in Yogyakarta, tends to experience a decrease in strength due to earthquake vibrations. Large earthquakes occurred in Bantul in 2006 and in the south sea of Wates City in 2023 causing building damage and hundreds of casualties. Given the impacts, it is important to evaluate the vulnerability of buildings to earthquakes in order to improve building safety and resilience.

This research aims to evaluate the vulnerability of buildings to earthquakes using microtremor data to obtain the value of the natural frequency of the building (f_{0b}), the value of the building resonance index (R), and the value of the building vulnerability index (K_b) using microtremor data. There were 27 microtremor recording points consisting of 3 points on the ground and 24 points on the building floor. Data recording was carried out using a Lunitek digital seismic sensor. Analysis using the Floor Spectral Ratio (FSR) method for building microtremor data analysis and the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method for soil microtremor data analysis.

The results showed that the value of the natural frequency of the FTI UII Laboratory Building is relatively safe against the natural frequency of the soil so that there is little possibility of resonance, the resonance index is moderate, and the building vulnerability index shows that the building is still in a safe condition. Frequency comparison between microtremor data and SAP2000 model shows a difference of 5.07% which strengthens the accuracy of the data obtained. With these results, the research can serve as a basis for earthquake risk mitigation efforts.

Keywords: *Microtremor, Natural Frequency, FSR, SAP2000*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Yogyakarta merupakan daerah rawan gempa bumi karena terletak di pertemuan Lempeng Eurasia di sebelah utara dan Lempeng Indo-Australia di sebelah selatan yang merupakan bagian dari jalur cincin api pasifik. Jalur ini dikenal sebagai kawasan aktif secara tektonik sehingga sering terjadi gempa bumi dan letusan gunung berapi. Selain itu, keberadaan sesar aktif seperti Sesar Opak di Dusun Potrobayan, Srihardono, Pundong, Bantul turut memicu potensi gempa.

Gempa bumi merupakan peristiwa berguncangnya bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba dari dalam kerak bumi yang merambat sampai ke permukaan bumi sebagai gelombang. Biasanya disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik, aktivitas vulkanik, atau patahan pada lapisan bumi. Peristiwa ini sulit diprediksi baik dari segi datangnya, lokasi, maupun kekuatannya. Salah satu peristiwa gempa bumi terjadi pada 27 Mei 2006 dengan kekuatan magnitudo 6,3 yang dipicu oleh aktivitas Sesar Opak memberikan dampak besar khususnya masyarakat Bantul. Total korban meninggal mencapai 5.782 jiwa dan luka berat, dan ringan mencapai 26.299 jiwa. Sementara sebanyak 71.763 rumah rusak total, 71.371 rusak berat, dan 66.359 rusak ringan (BPBD Bantul, 2006). Gempa kembali terjadi pada 30 Juni 2023 dengan kekuatan magnitudo 6,4 berlokasi di laut jarak 81 km arah Selatan Kota Wates pada kedalaman 67 km yang dipicu oleh guncangan gempa tektonik. Kerusakan mencapai 172 bangunan rusak, 15 jiwa terluka, 1 jiwa meninggal dunia, dan penyintas 5 KK di Padukuhan Kuwon Tengah, Pacarejo, Semanu, Gunung Kidul (BPBD DIY, 2023).

Bangunan bertingkat seperti gedung laboratorium, perkuliahan, dan fasilitas umum lainnya dapat mengalami penurunan kekuatan akibat beberapa faktor, salah satunya adalah getaran yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Getaran tersebut dapat mempengaruhi kestabilan struktur bangunan. Tanpa perencanaan yang tepat, gempa dapat memperburuk kondisi bangunan bahkan dapat menyebabkan

kerusakan pada elemen struktural dan non struktural yang membahayakan keselamatan penghuninya.

Objek penelitian dalam studi ini adalah Gedung Laboratorium Fakultas Teknik Industri di Kampus Universitas Islam Indonesia yang telah beroperasi sejak tahun 1996. Gedung ini memiliki 5 lantai yang difungsikan sebagai sarana pendukung dalam proses pembelajaran, baik teori maupun praktik bagi mahasiswa dan dosen. Mengingat pentingnya fungsi gedung ini, diperlukan analisis untuk mengetahui tingkat kerentanan bangunan tersebut terhadap gempa guna memastikan keamanan dan kelayakan dalam mendukung aktivitas pembelajaran.

Pengukuran mikrotremor dilakukan untuk menganalisis kerentanan bangunan dengan merekam *ambient noise* pada tanah dan lantai gedung. Mikrotremor memberikan hasil yang stabil, sangat efektif, cepat, dan akurat untuk menentukan fungsi transfer seperti frekuensi, resonansi, dan indeks kerentanan bangunan (Sungkono dkk, 2011) serta karakteristik kondisi geologi lokal termasuk frekuensi dan amplifikasi tanah (Prabowo dkk, 2020). Data dianalisis menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) untuk bangunan dan *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk tanah (Setia dkk, 2019). Metode HVSr yang disempurnakan oleh Nakamura (2000) digunakan untuk mengidentifikasi frekuensi natural dan amplifikasi tanah, sedangkan metode FSR yang dikembangkan oleh Gosar, dkk (2010) digunakan untuk menentukan frekuensi alami dan resonansi pada bangunan yang diterapkan pada bangunan bersejarah di Slovenia.

Prabowo dkk (2020) telah melakukan penelitian analisis kerentanan Bangunan Prodi Pend Fisika UST. Penelitian dengan pengukuran mikrotremor menggunakan metode FSR. Hasil frekuensi bangunan komponen E-W sebesar 3,18 Hz dan komponen N-S sebesar 3,22 Hz. Indeks resonansi berkisar 103,40%-136,05% tergolong rendah dan indeks kerentanan berkisar 4,24-18,79 dengan nilai terendah pada ruangan kelas R. 218.

Larasati (2022) telah melakukan analisis kerentanan bangunan rusunawa di Universitas Jambi. Metode yang digunakan HVSr dan FSR. Nilai frekuensi bangunan berkisar 2,703-4,485 Hz komponen E-W dan 2,702-4,687 Hz komponen N-S. Frekuensi natural tanah berkisar 0,62-1,38 Hz. Indeks resonansi nilai tertinggi

sebesar 239,676% yang tergolong rendah sedangkan indeks kerentanan tertinggi dengan nilai 19,207 m/s^2 . Dari hasil menunjukkan bahwa gedung rusunawa aman terhadap kerusakan. Hal ini membuktikan bahwa metode efektif untuk menilai kerentanan bangunan terhadap gempa.

Hasil penelitian mengenai tingkat kerentanan bangunan Laboratorium FTI UII dapat digunakan sebagai dasar dalam mitigasi risiko gempa. Informasi ini dapat dimanfaatkan untuk perencanaan perkuatan struktur, seperti perbaikan elemen struktural guna meningkatkan ketahanan terhadap gempa. Selain itu, hasil ini juga berguna dalam pemantauan dan evaluasi berkala untuk memastikan kondisi bangunan tetap aman serta dapat dijadikan referensi bagi bangunan sejenis di lingkungan kampus.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana tingkat kerentanan bangunan Laboratorium Fakultas Teknik Industri UII terhadap gempa bumi berdasarkan nilai frekuensi natural bangunan (f_{0b}), indeks resonansi bangunan (R), dan indeks kerentanan bangunan (K_b)?
2. Bagaimana validasi hasil analisis frekuensi natural bangunan menggunakan data mikrotremor dibandingkan dengan pemodelan *SAP2000*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

1. Memahami tingkat kerentanan Gedung Laboratorium Fakultas Teknik Industri UII berdasarkan nilai frekuensi natural bangunan (f_{0b}), indeks resonansi bangunan (R), dan indeks kerentanan bangunan (K_b).
2. Mengetahui kesesuaian hasil analisis frekuensi natural bangunan yang diperoleh dari data mikrotremor dengan hasil pemodelan *SAP2000*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai kerentanan Gedung Laboratorium Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia terhadap gempa bumi berdasarkan nilai frekuensi natural bangunan (f_{0b}), indeks resonansi bangunan (R), dan indeks kerentanan bangunan (K_b).
2. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai bahan literatur atau acuan dan bahan evaluasi untuk penelitian yang akan datang.
3. Berguna sebagai pedoman atau acuan dalam perencanaan mitigasi dan penanggulangan bencana khususnya gempa bumi.
4. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi kepada masyarakat mengenai penggunaan metode mikrotremor sebagai salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengetahui kerentanan bangunan gedung bertingkat terhadap gempa bumi.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan-batasan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Pengambilan data mikrotremor untuk tugas akhir ini dilakukan di Gedung Laboratorium Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Penelitian ini berfokus pada gedung, sehingga tidak membahas lebih lanjut kondisi geologi setempat.
3. Alat yang digunakan untuk merekam getaran dilapangan adalah *Digital Portable Seismograph* tipe 303S.
4. Pengolahan data mikrotremor menggunakan *software Geopsy*. Metode yang digunakan dalam pengolahan data adalah metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) dan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Metode dan *software* digunakan untuk memperoleh nilai frekuensi dan amplitudo yang nantinya nilai tersebut digunakan untuk perhitungan nilai frekuensi natural bangunan, indeks resonansi bangunan, dan indeks kerentanan bangunan.
5. Pemodelan struktur menggunakan *software SAP2000*.

6. Tingkat kerentanan ditinjau berdasarkan nilai frekuensi natural bangunan, indeks resonansi bangunan, dan indeks kerentanan bangunan.
7. Pemodelan *SAP2000* sesuai dengan Gambar Kerja yang diperoleh dari PFK Universitas Islam Indonesia.
8. Pemodelan struktur dan analisis beban gempa mengacu pada SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Pembebanan mengacu pada SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Untuk Bangunan Gedung dan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1987.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

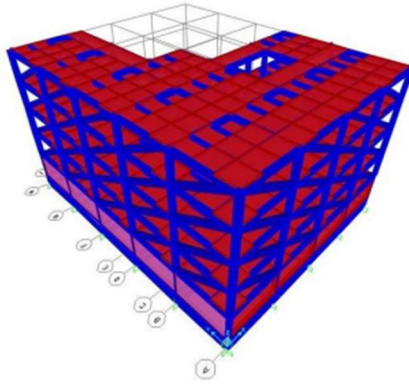
Beberapa peneliti sebelumnya yang telah melakukan penelitian mengenai topik evaluasi kerentanan bangunan gedung bertingkat terhadap gempa bumi atau metode yang digunakan antara lain adalah Khadka (2018), Prabowo dkk (2020), Larasati (2022), Ornthammarath dkk (2021), Ilham (2023), dan Setiawan dkk (2023).

2.1.1 Penentuan Frekuensi Natural Bangunan Menggunakan Pengukuran Mikrotremor dan Membandingkan Hasilnya Dengan Analisis SAP

Khadka (2018) melakukan pengukuran mikrotremor untuk menentukan frekuensi natural bangunan kemudian dibandingkan dengan hasil dari *SAP2000* pada Gedung tipe RC, di Kampus Teknik Thapathali, Kathmandu, Nepal. Beban dan kekuatan pasangan bata pada balok dipertimbangkan dalam penelitian ini. Penelitian ini dilakukan karena risiko yang ditimbulkan akibat gempa bumi di Nepal sangat tinggi dan pengendapan sedimen seperti lapisan pasir, endapan lempung, dan lanau menyebabkan frekuensi akibat gempa diperkuat sehingga menyebabkan resonansi.

Titik pengukuran mikrotremor sebanyak 40 titik dengan 8 titik di setiap sudut lantai. Durasi perekaman selama 2-3 menit. Sumber getaran mikrotremor berasal dari aktivitas manusia, kendaraan, efek angin, dan fasilitas industri. Nilai frekuensi rata-rata bangunan didapatkan sebesar 2,48 Hz arah memanjang dan 2,37 Hz arah melintang.

Dilakukan proses validasi apakah hasil dari data mikrotremor sesuai dengan analisis getar atau tidak. Kekakuan dan kekuatan pasangan batu bata dimodelkan menggunakan penyangga diagonal tunggal dengan bantuan *software SAP2000*. Bangunan dimodelkan dengan 3D. Model denah gedung dapat dilihat pada **Gambar 2.1** dibawah ini.



Gambar 2.1 Model 3D Dalam SAP2000

(Sumber : Khadka, 2018)

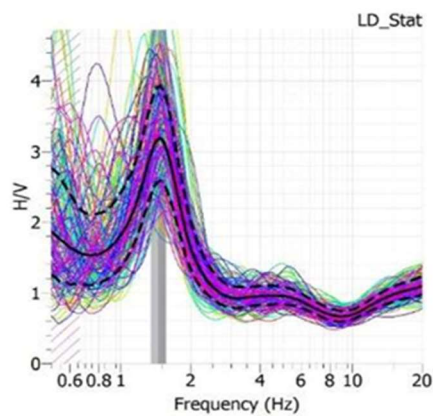
Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh nilai frekuensi natural bangunan dari analisis mikrotremor sebesar 2,48 Hz dan diubah dalam bentuk periode waktu sebesar 0,403 detik. Nilai frekuensi yang diperoleh dari *SAP2000* sebesar 2,372 Hz dan periode waktu sebesar 0,422 detik. Hal ini membuktikan bahwa frekuensi gedung dari analisis mikrotremor dengan *SAP2000* hampir sama. Perbedaan antara hasil analisis disebabkan karena kesalahan instrumen, presisi dan operasional.

2.1.2 Analisis Mikrotremor Untuk Mengevaluasi Kerentanan Gempabumi Ruang Prodi Pend Fisika UST

Prabowo dkk (2020) melakukan pengukuran mikrotremor pada Gedung Prodi Pend Fisika UST. Tujuan dari penelitian ini untuk mengkaji kerentanan bangunan tersebut terhadap gempa bumi sebagai salah satu upaya dalam mitigasi bencana gempa bumi. Hal ini didasari karena gedung ini menjadi tempat berlangsungnya kegiatan belajar mengajar, ruang kerja dosen dan tata usaha. Selain itu, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa (UST) berada di Yogyakarta yang rawan terhadap gempa bumi.

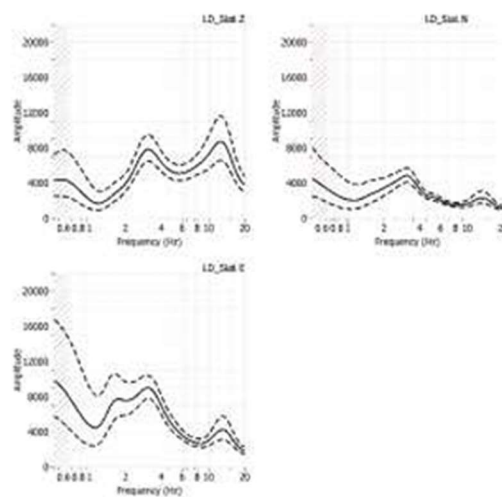
Analisis data mikrotremor menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) diperoleh nilai frekuensi natural bangunan, indeks resonansi, dan indeks kerentanan bangunan. Nilai frekuensi natural tanah didapatkan dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk dibandingkan dengan nilai frekuensi natural bangunan agar mengetahui pengaruh getaran seismik terhadap

bangunan. Tingkat kerentanan bangunan ditinjau dari indeks resonansi bangunan yang diklasifikasikan menurut Gosar, dkk (2010) dan indeks kerentanan dihitung menggunakan persamaan yang dikemukakan Nakamura, dkk. Alat yang digunakan berupa *Portable Digital Seismograph* TDL 303S dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 10 titik di dalam gedung dan 1 titik di luar gedung dengan durasi selama 45 menit setiap titik. Pengolahan data mikrotremor dibantu *software geopsy*.



Gambar 2.2 Hasil Pengolahan HVSr

(Sumber : Prabowo dkk, 2020)



Gambar 2.3 Spektrum Hasil Pengolahan Data 1-1

(Sumber : Prabowo dkk, 2020)

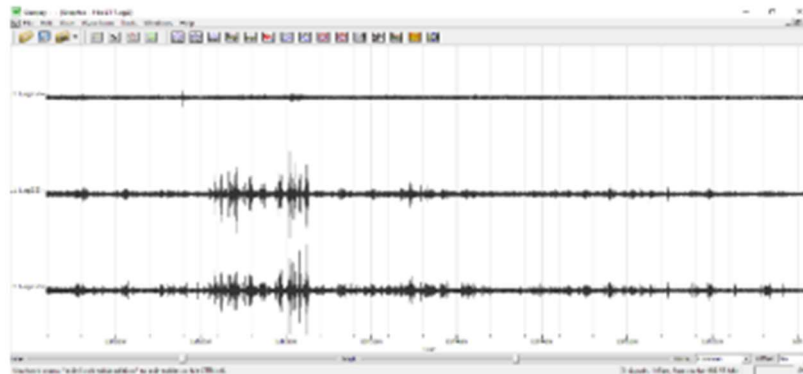
Berdasarkan hasil pengolahan data mikrotremor didapatkan nilai rata-rata frekuensi natural bangunan sebesar 3,19 Hz (E-W) dan 3,22 Hz (N-S). Nilai rata-rata dari seluruh lantai dapat digunakan untuk mewakili frekuensi natural bangunan secara keseluruhan (Sungkono, dkk 2011). Nilai frekuensi natural tanah sebesar 1,473 Hz. Sesuai Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI (2002) nilai frekuensi natural rata-rata sudah sesuai yakni lebih dari 2,87 Hz dan juga sudah lebih besar daripada frekuensi natural tanah.

Nilai indeks resonansi lantai 1 pada komponen barat-timur berkisar 103,40% - 110,88% dan lantai 2 berkisar 119,05% - 136,05%. Sedangkan, komponen utara-selatan lantai 1 sebesar 103,40% - 119,05% dan lantai 2 sebesar 127,21%. Nilai indeks resonansi termasuk kategori rendah menurut klasifikasi Gosar,dkk (2010) yakni >25% maka bangunan aman terhadap getaran seismik gempa. Menurut hasil indeks resonansi, R.Dosen 1.2, R.120, dan R.101 mengalami kerusakan paling besar.

Indeks kerentanan bangunan yang diperoleh berkisar 4,24 – 18,79. Nilai terbesar pada R. Dosen 1.2 dan terendah di ruang kelas R.218. Dapat disimpulkan bahwa ruang kelas R.218 yang berpotensi mengalami kerusakan paling tinggi saat gempa bumi.

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

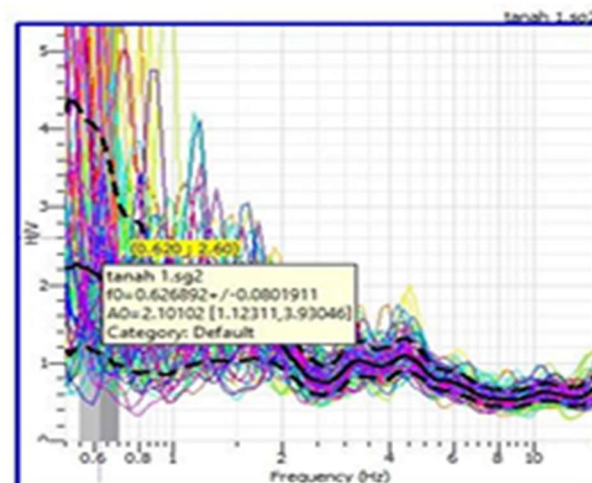
Larasati (2022) melakukan penelitian pada Gedung Rusunawa Universitas Jambi 5 lantai dengan 96 kamar untuk mengetahui kekuatan dan kualitas Gedung Rusunawa berdasarkan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dan *Floor Spectral Ratio* (FSR). Penelitian ini dilakukan karena Universitas Jambi berada pada Formasi Muaraenim dan terletak pada zona Pegunungan Barisan yang memicu aktivitas tektonik. Alat yang digunakan adalah *Seismograf* MAE A6000S. Jumlah titik pengukuran sebanyak 30 titik di dalam gedung dan 6 titik di luar gedung selama 45 menit setiap titik.



Gambar 2.4 Hasil Rekaman Mikrotremor

(Sumber : Larasati, 2022)

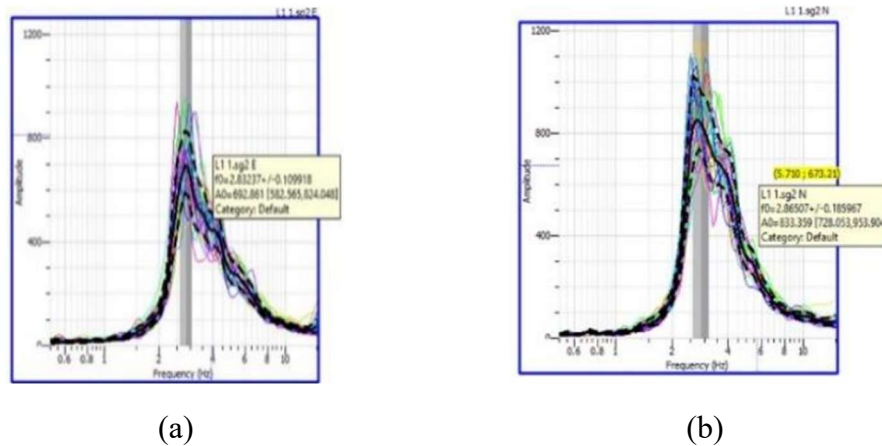
Hasil rekaman mikrotremor terdapat dua getaran yaitu getaran transien dan getaran stasioner dapat dilihat pada **Gambar 2.4**. Gelombang transien memiliki amplitudo sangat tinggi yang disebabkan oleh aktivitas manusia pada 45 menit perekaman. Kemudian dilakukan proses pemisahan getaran dengan metode HVSR didapatkan kurva H/V dan FSR didapatkan kurva spektrum. Didapatkan nilai frekuensi natural tanah berkisar 0,62 Hz – 1,38 Hz.



Gambar 2.5 Kurva H/V Tanah T1

(Sumber : Larasati, 2022)

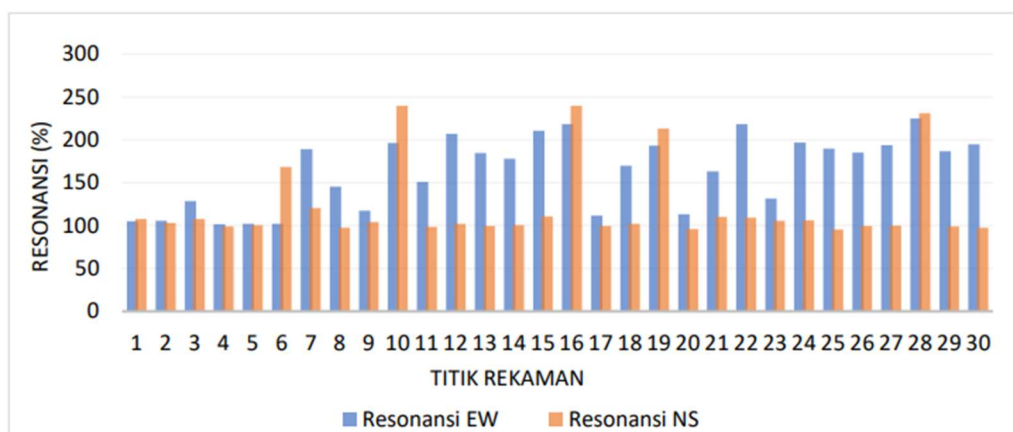
Hasil analisis FSR diperoleh kurva hubungan antara frekuensi natural bangunan dengan amplifikasi menggunakan *software geopsy* dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Kurva Spektrum (a) Komponen Arah E-W, (b) Komponen Arah N-S

(Sumber : Larasati, 2022)

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh nilai frekuensi natural bangunan rata-rata lantai 1-5 komponen E-W sebesar 3,773 Hz dan komponen N-S sebesar 3,0193 Hz. Nilai frekuensi natural tanah dan bangunan diakumulasikan untuk mendapatkan nilai dan grafik resonansi bangunan.



Gambar 2.7 Grafik Resonansi Gedung Rusunawa Universitas Jambi

(Sumber : Larasati, 2022)

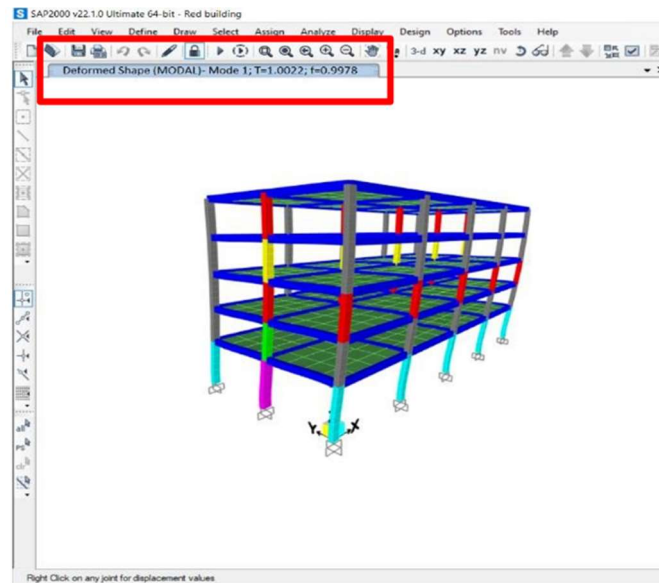
Tingkat resonansi bangunan diklasifikasikan menurut Gosar, dkk (2010). **Gambar 2.7** menunjukkan nilai resonansi tertinggi berada di titik rekaman 10 dan titik 16 dengan nilai 239,64% dan resonansi terendah pada titik 25 dengan nilai 95,65% pada komponen N-S. Sedangkan, komponen E-W resonansi tertinggi pada titik 25 dengan nilai 225% dan terendah pada titik 4 dengan nilai 101,67%. Tingkat resonansi bangunan dikategorikan rendah karena >25% maka bangunan kokoh.

Indeks kerentanan diperkirakan apabila nilai kurang dari 100 m/s^2 maka bangunan aman terhadap kerusakan (Hadianfard dkk, 2017). Hasil menunjukkan titik perekaman tertinggi untuk indeks kerentanan bangunan berada di titik 20 dengan nilai $19,21 \text{ m/s}^2$ dan dinyatakan aman terhadap kerusakan apabila terjadi gempa bumi karena masih dibawah 100 m/s^2 . Bangunan dikatakan aman terhadap kerusakan.

2.1.4 Memperkirakan Periode Fundamental Untuk Bangunan di Thailand Menggunakan Data Getaran Sekitar Dengan Teknik HVSR

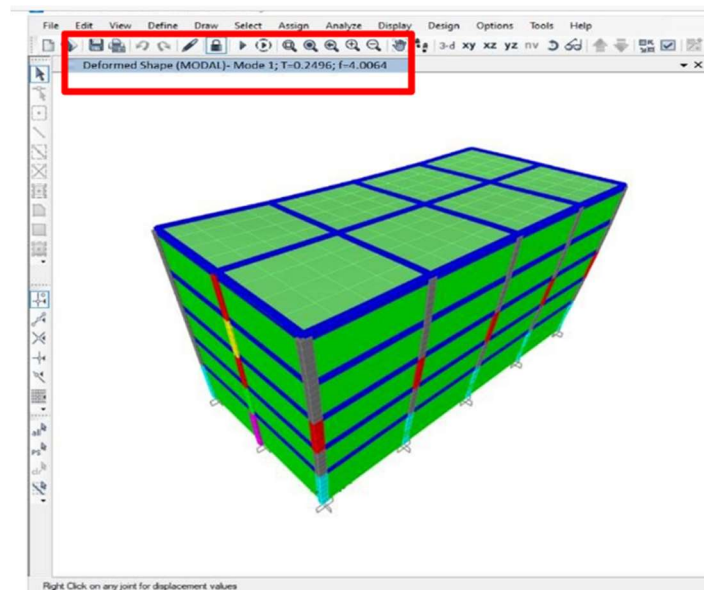
Ornthammarath dkk (2021) melakukan penelitian untuk mengkaji hubungan antara tinggi berbagai jenis bangunan beton bertulang, struktur, dan monumen bersejarah di Thailand dengan periode getaran dan frekuensinya menggunakan metode eksperimental dan analitis. Akurasi hasil eksperimen juga diperiksa dengan hasil pemodelan 3D. Pengukuran dilakukan pada 15 gedung beton bertulang terdiri dari 5 – 15 lantai dengan ketinggian sekitar 16 hingga 60 m. Alat yang digunakan adalah *digital tri-directional accelerometer*. Metode HVSR yang digunakan untuk merekam getaran.

Pemodelan 3D menggunakan *software SAP2000*. Dinding yang terbuat dari partisi ringan dimodelkan sebagai rangka tanpa dinding pengisi dan partisi yang terbuat dari dinding kuat seperti beton bertulang maka dimodelkan dinding pengisi. Gedung Fakultas Teknik Sipil MU telah dimodelkan dengan dinding pengisi pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.8 Model 3D Tanpa Dinding Pengisi

(Sumber : Ornthammarath dkk, 2021)



Gambar 2.9 Model 3D Dengan Dinding Pengisi

(Sumber : Ornthammarath dkk, 2021)

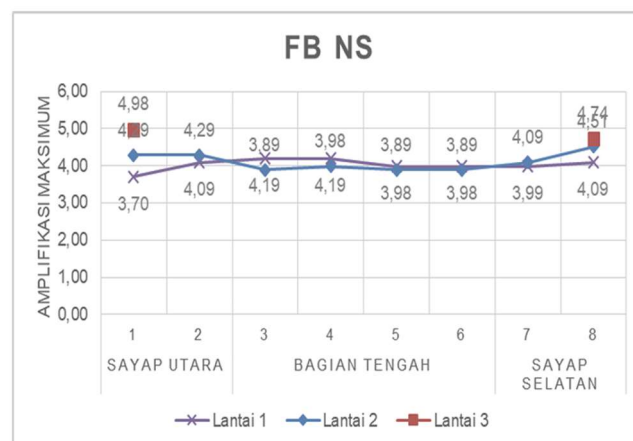
Analisis menggunakan pemodelan *SAP2000* diperoleh nilai periode alami bangunan dengan dinding pengisi $T_n = 0,2469$ detik dan tanpa dinding pengisi periode $T_n = 1,0022$ detik. Sedangkan nilai periode dan frekuensi dengan analisis

HVSR didapatkan $T_n = 0,3051$ detik dan $F_n = 3,2776$ Hz. Nilai periode analisis HVSR dan *SAP2000* memiliki selisih yang kecil. Dapat disimpulkan nilai periode pada model dinding pengisi lebih akurat dengan data getaran metode HVSR.

2.1.5 Analisis Kerentanan Gedung Rektorat UIN Mataram Terhadap Gempa Bumi Berdasarkan Data Mikrotremor

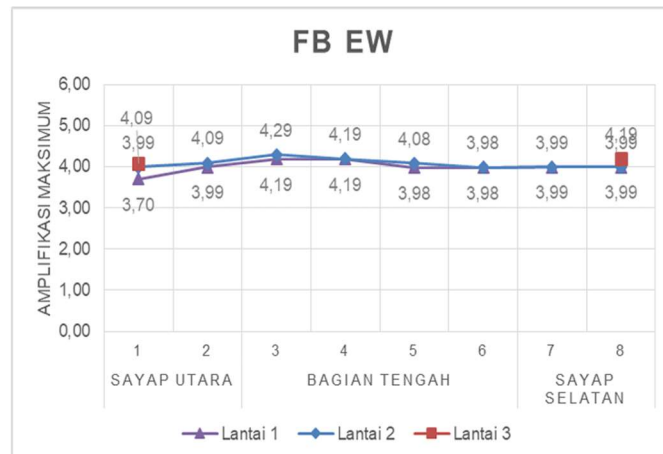
Ilham (2023) menganalisis tingkat kerentanan bangunan baru dengan data mikrotremor pada Gedung Rektorat UIN Mataram sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi. Hal yang mendasari penelitian ini dilakukan karena Pulau Lombok terletak di bagian selatan Indonesia yang kemungkinan terdampak ancaman gempa bumi dan di bagian utara terdampak Sesar Naik Flores yang menyebabkan gempa dangkal dengan magnitudo besar.

Bangunan sangat kompleks, maka dibagi menjadi 3 bagian yaitu sayap utara, bagian tengah, dan sayap selatan. Jumlah titik perekaman sebanyak 18 titik di dalam gedung dan 3 titik di tanah sekitar gedung dengan menggunakan alat *Digital Portable Seismograph* 3 komponen tipe TDL 303S. Durasi perekaman 40 menit dengan *sampling rate* 100 Hz. Analisis data mikrotremor menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR).



Gambar 2.10 Grafik Nilai Frekuensi Natural Komponen N-S

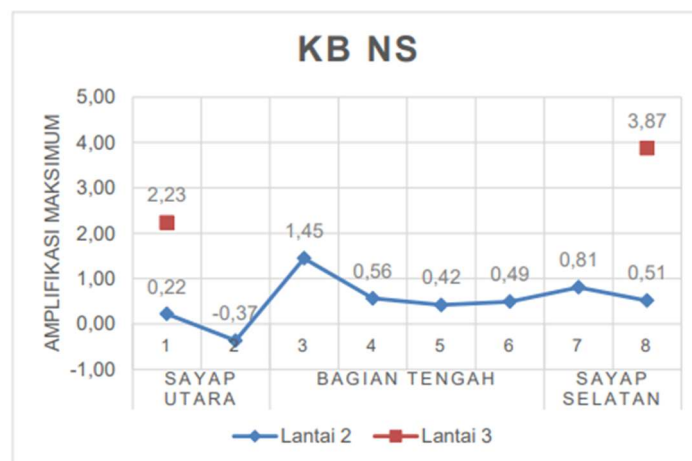
(Sumber : Ilham, 2023)



Gambar 2.11 Grafik Nilai Frekuensi Natural Komponen E-W

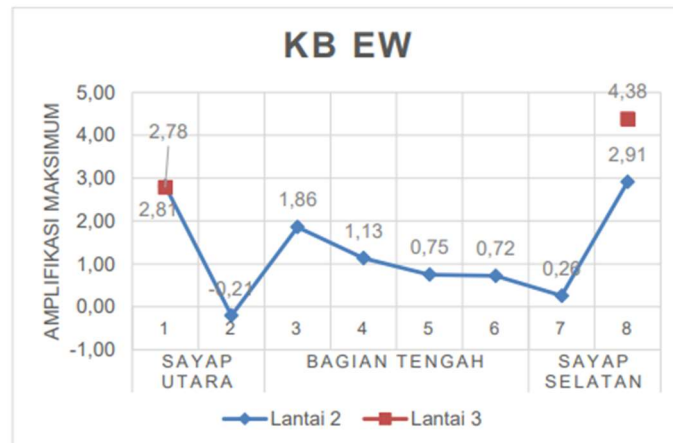
(Sumber : Ilham, 2023)

Berdasarkan **Gambar 2.10** dan **Gambar 2.11** menunjukkan nilai frekuensi natural tidak adanya perbedaan signifikan. Frekuensi rata-rata dari seluruh lantai dapat mewakili nilai frekuensi natural bangunan (Sungkono, 2011). Nilai rata-rata frekuensi natural bangunan komponen N-S sebesar 4,15 Hz dan komponen E-W sebesar 4,05 Hz. Berdasarkan SNI 2002, nilai frekuensi memenuhi standar yakni lebih dari 2,083 Hz maka tergolong aman.



Gambar 2.12 Grafik Indeks Kerentanan Bangunan Komponen N-S

(Sumber : Ilham, 2023)



Gambar 2.13 Grafik Indeks Kerentanan Bangunan Komponen E-W

(Sumber : Ilham, 2023)

Gambar 2.12 dan **Gambar 2.13** menunjukkan komponen E-W lebih tinggi dari komponen N-S artinya bangunan yang akan mengalami dampak kerusakan pada sayap timur-barat. Nilai indeks kerentanan berkisar antara -0,37 – 4,38. Nilai negatif disebabkan karena amplifikasi maksimum pada titik B2 mengalami penurunan dibanding titik A2.

Nilai resonansi didapatkan pada komponen N-S berkisar 460,6% - 654,54% dan komponen E-W berkisar 460,6%-550% berarti masuk dalam kategori rendah yaitu >25%. Hal ini menunjukkan Gedung UIN Mataram aman terhadap guncangan gempa bumi.

2.1.6 Analisis Frekuensi Struktur Menara Masjid Raya Al-Aqsa Kabupaten Merauke

Setiawan dkk (2023) melakukan penelitian pada menara Masjid Raya Al-Aqsa Kabupaten Merauke, Papua Selatan untuk mengetahui frekuensi struktur menggunakan metode analitik dan *software SAP2000* dan mengetahui apakah frekuensi struktur menara memenuhi persyaratan SNI 1726-2019 atau belum. Hal yang mendasari penelitian ini adalah getaran yang ditimbulkan akibat gempa yang menyebabkan kegagalan struktur pada bangunan dengan ketinggian lebih dari 25 m dan kondisi daerah rawan dengan tanah lunak pada Kota Merauke.

Hasil penelitian menunjukkan perhitungan frekuensi menggunakan metode analitik diperoleh sebesar 4,3681 rad/detik dan nilai periode sebesar 1,4376 detik. Sedangkan menggunakan *software SAP2000* nilai frekuensi diperoleh 4,3700 rad/detik dan periode sebesar 1,4377 detik. Sesuai dengan persyaratan SNI 1726-2019 tentang ketahanan gempa untuk struktur, frekuensi alami Menara masjid Raya Al-Aqsa memenuhi persyaratan melalui perbandingan waktu getar alami dan batas izinnya secara analitik sebesar 1,4376 detik \leq 2,06 detik dan melalui *software SAP2000* sebesar 1,4377 detik \leq 2,06 detik. Berdasarkan waktu getar, bangunan dalam kondisi aman.

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Beberapa penelitian yang sudah dijabarkan, dirangkum dalam Tabel dibawah ini.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Peneliti	Khadka	Prabowo dkk	Larasati	Ornthammarath dkk	Ilham	Setiawan dkk	Bella
Tahun	2018	2020	2022	2021	2023	2023	2025
Judul Penelitian	<i>Determination of Natural Frequency of The Building Using The Microtremor Measurement and Comparison Its Result With SAP Analysis</i>	Analisis Mikrotremor Untuk Mengevaluasi Kerentanan Gempa bumi Ruangan Prodi Pend Fisika UST	Uji Kerentanan Bangunan Rusunawa Berdasarkan HVSR (<i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>) dan FSR (<i>Floor Spectral Ratio</i>)	<i>Estimating Fundamental Periods For Thai Buildings Using Ambient Vibration Data With HVSR Technique</i>	Analisis Kerentanan Gedung Rektorat UIN Mataram Terhadap Gempa Bumi Berdasarkan Data Mikrotremor	Analisis Frekuensi Struktur Menara Masjid Raya Al-Aqsa Kabupaten Merauke	Analisis Mikrotremor Untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Pada Gedung Laboratorium FTI UII Menggunakan Metode <i>Floor Spectral Ratio</i> (FSR)
Tujuan Penelitian	Mengetahui perbandingan nilai frekuensi natural bangunan dari pengukuran mikrotremor dengan hasil analisis <i>SAP2000</i> .	Mengkaji kerentanan bangunan dengan berdasarkan nilai frekuensi natural bangunan, indeks resonansi dan indeks kerentanan.	Mengetahui tingkat kerentanan bangunan rusunawa dengan metode HVSR dan FSR.	Mengetahui hubungan antara tinggi bangunan dengan periode getaran dan frekuensinya menggunakan metode eksperimental dan analitis.	Menganalisis tingkat kerentanan berdasarkan nilai frekuensi natural bangunan, indeks kerentanan bangunan, dan nilai resonansi.	Mengetahui nilai frekuensi struktur dengan metode analitik dan <i>software SAP2000</i> .	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui tingkat kerentanan Gedung Lab FTI UII berdasarkan nilai frekuensi natural, indeks resonansi, dan indeks kerentanan bangunan. 2. Mengetahui perbandingan nilai frekuensi natural bangunan menggunakan analisis mikrotremor dan analisis <i>SAP2000</i>.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Peneliti	Khadka	Prabowo dkk	Larasati	Ornthammarath dkk	Ilham	Setiawan dkk	Bella
Tahun	2018	2020	2022	2021	2023	2023	2025
Hasil Penelitian	<p>Nilai frekuensi natural bangunan dari analisis mikrotremor sebesar 2,48 Hz dan analisis <i>SAP2000</i> sebesar 2,372 Hz. Nilai yang didapatkan hampir sama.</p>	<p>1. Nilai frekuensi natural bangunan sebesar 3,19 Hz (E-W) dan 3,22 Hz (N-S). 2. Nilai frekuensi natural tanah sebesar 1,473 Hz. Nilai indeks resonansi lantai 1 pada E-W berkisar 103,40%-110,88% dan lantai 2 berkisar 119,05%-136,05%. Sedangkan lantai 1 pada N-S berkisar 103,40%-119,05% dan lantai 2 berkisar 127,21%. termasuk dalam kategori</p>	<p>1. Nilai frekuensi natural tanah berkisar 0,62 Hz-1,38 Hz. 2. Nilai frekuensi natural bangunan sebesar 3,773 Hz (E-W) dan 3,0193 Hz (N-S). Nilai resonansi tertinggi sebesar 239,64% dan terendah sebesar 95,65% (N-S) dan resonansi tertinggi sebesar 225% dan terendah sebesar 101,67% (E-</p>	<p>1. Nilai periode dengan dinding pengisi dari analisis <i>SAP2000</i> $T_n = 0,2469$ detik dan tanpa dinding pengisi $T_n = 1,0022$ detik. 2. Nilai periode HVSR $T_n = 0,3051$ detik. Nilai periode dengan dinding pengisi lebih akurat dengan data getaran HVSR.</p>	<p>1. Nilai frekuensi natural bangunan pada komponen N-S sebesar 4,15 Hz dan komponen E-W sebesar 4,05 Hz. 2. Nilai indeks kerentanan berkisar -0,37-4,38. 3. Nilai resonansi pada komponen N-S berkisar 460,6%-654,54% dan komponen E-W berkisar 460,6%-550% termasuk kategori rendah.</p>	<p>1. Nilai frekuensi natural diubah ke periode melalui perbandingan batas izinnnya. Nilai periode metode analitik sebesar 1,4376 detik dan metode <i>SAP2000</i> sebesar 1,4377 detik dengan batas izinnnya sebesar 2,06 detik. Bangunan dalam kondisi aman.</p>	<p>1. Nilai frekuensi natural tanah HVSR sebesar 1,378 Hz. Sedangkan, spektrum N-S sebesar 2,632 Hz dan E-W sebesar 2,710 Hz. Indeks resonansi komponen N-S berkisar 5,091%-23,808% dan komponen E-W berkisar 15,320%-24,549%. Termasuk kategori tinggi untuk komponen N-S dan komponen E-W sedang. 2. Indeks kerentanan bangunan komponen N-S berkisar 5,855 - 13,014 m/s².</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Peneliti	Khadka	Prabowo dkk	Larasati	Ornthammarath dkk	Ilham	Setiawan dkk	Bella
Tahun	2018	2020	2022	2021	2023	2023	2025
Hasil Penelitian		rendah. 3. Nilai indeks kerentanan bangunan berkisar 4,23-18,79 m/s ² maka aman.	W). Tingkat resonansi dalam kategori rendah. 3. Indeks kerentanan tertinggi sebesar 19,21 m/s ² maka dinyatakan aman.				Komponen E-W berkisar 8,670 m/s ² -18,601 m/s ² maka bangunan berkategori aman. 3. Selisih perbandingan frekuensi mikrotremor dan <i>SAP2000</i> sebesar 0,157 Hz.

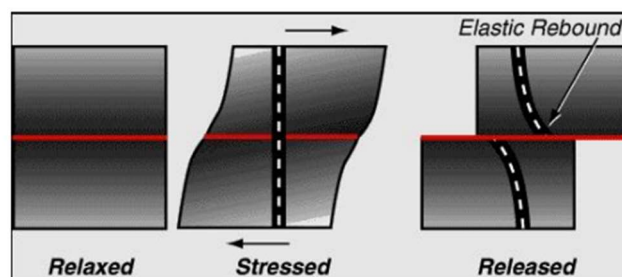
BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Gempa

3.1.1 Pengertian Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba di kerak bumi yang menyebabkan gelombang merambat sampai ke permukaan bumi. Pemicu gempa disebabkan patahan aktif, aktivitas gunung api, runtuhannya batuan, dan tumbukan akibat pergerakan lempeng bumi. Pelepasan energi menghasilkan energi berupa gelombang yang dipancarkan ke segala arah sehingga efeknya dirasakan sampai ke permukaan bumi.

Teori *Elastic Rebound* menyatakan mekanisme terjadinya gempa bumi akibat pelepasan energi regangan elastis batuan. Terdapat 2 gaya yang bekerja dengan arah berlawanan pada batuan kulit bumi. Batuan akan mengalami deformasi. Gaya yang bekerja pada batuan dalam waktu yang lama dan terus menerus, maka lama kelamaan daya dukung pada batuan mencapai batas maksimum sehingga akan mulai terjadi pergeseran. Akibatnya, batuan mengalami patahan secara tiba-tiba sepanjang bidang patahan kemudian batuan akan kembali stabil, namun mengalami perubahan bentuk dan posisi. Energi *stress* yang tersimpan akan dilepaskan dalam bentuk getaran sebagai gempa bumi (Ari Sungkowo, 2016).



Gambar 3.1 Ilustrasi Teori *Elastic Rebound*

(Sumber : Shohaya dkk, 2013)

3.1.2 Parameter Gempa Bumi

Parameter gempa bumi merupakan informasi yang berkaitan dengan gempa bumi seperti besaran dan letak terjadinya gempa bumi. Adapun parameter gempa bumi sebagai berikut (Shohaya dkk, 2013).

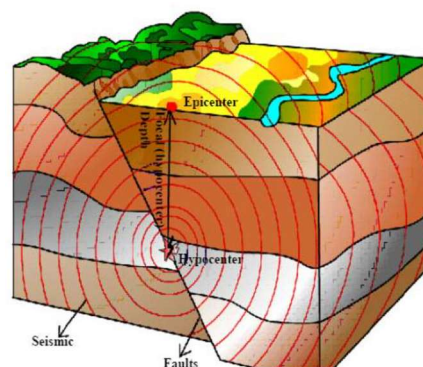
1. Waktu terjadinya gempa bumi

Waktu yang dimaksud adalah waktu saat terjadinya pelepasan akumulasi tegangan yang berupa gelombang. Dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, dan detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinated*).

2. Hiposenter

Hiposenter merupakan titik pusat sumber gempa sekaligus sumber asal gelombang seismik. Apabila hiposenter gempa semakin dalam, gempa yang dihasilkan tidak terlalu signifikan. Semakin dalam lapisan bumi, batuan semakin tidak rapuh dan lebih elastis sehingga gempa terjadi terlalu dalam tidak akan terlalu terasa. Kedalaman sumber gempa adalah jarak hiposenter yang dihitung tegak lurus dari permukaan dinyatakan dalam kilometer. Adapun gempa berdasarkan kedalaman hiposenter dibagi menjadi 3 yaitu sebagai berikut.

- a. Gempa dangkal (normal) dengan kedalaman < 70 km.
- b. Gempa sedang dengan kedalaman $70 - 300$ km.
- c. Gempa dalam dengan kedalaman $300 - 700$ km.



Gambar 3.2 Titik Episentrum dan Hiposentrum

(Sumber : *Seismological Center*)

3. Episenter

Episenter merupakan titik yang berada di permukaan bumi saat gempa terasa. Letak titik episentrum berada di atas titik hiposentrum tetapi berada di permukaan bumi. Pada titik ini mengalami dampak paling parah akibat gelombang seismik gempa.

4. Kekuatan gempa bumi atau magnitudo

Skala Magnitudo merupakan besaran kekuatan gempa yang menggambarkan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempa. Magnitudo 2,5 – 5,4 menyebabkan kerusakan ringan, magnitudo 5,5 – 6,0 mengakibatkan kerusakan ringan bangunan, magnitudo 6,1 – 6,9 menyebabkan kerusakan di daerah padat penduduk, magnitudo 7,0 – 7,9 tergolong gempa besar mengakibatkan kerusakan serius, dan magnitudo lebih dari 8,0 termasuk gempa besar yang menghancurkan wilayah pusatnya (Michigan Technological University, 2024).

5. Intensitas Gempa Bumi

Intensitas gempa bumi merupakan besaran kerusakan gempa dan efeknya terhadap sarana dan prasarana yang ditentukan berdasarkan pengamatan visual langsung. Intensitas gempa bumi dinyatakan dalam skala MMI (*Modified Mercally Intensity*). Adapun skala dapat dilihat pada **Tabel 3.1** dibawah ini.

Tabel 3.1 Intensitas Gempa Bumi Skala MMI (*Modified Mercally Intensity*)

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	Tidak dirasakan (<i>not felt</i>)	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat.	I – II	< 2,9
II	Hijau	Dirasakan (<i>felt</i>)	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda – benda ringan yang	III – V	2,9 - 88

Lanjutan Tabel 3.1 Skala Intensitas Gempa Bumi

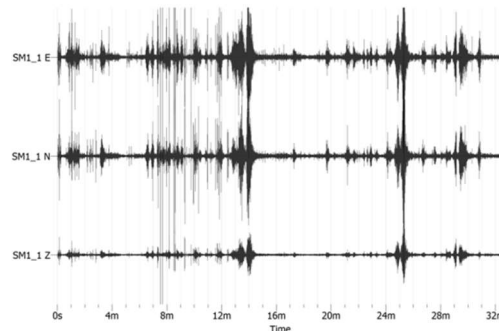
Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
			digantung bergoyang dan jendela kaca bergetar.		
III	Kuning	Kerusakan ringan (<i>slight damage</i>)	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, genteng bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan.	VI	89 – 167
IV	Jingga	Kerusakan sedang (<i>moderate damage</i>)	Banyak retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar atap bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang	VII – VIII	168 – 564
V	Merah	Kerusakan berat (<i>heavy damage</i>)	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.	IX – XII	> 564

(Sumber : BMKG, 2016)

3.2 Mikrotremor

Menurut Herak (2011), analisis mikrotremor merupakan metode mengetahui karakteristik bangunan tanpa merusak strukturnya dengan merekam getaran di setiap lantai. Mikrotremor atau *ambient noise* adalah getaran kecil secara konstan pada tanah dan lantai akibat angin kencang, pasang surut air laut, efek angin, aktivitas manusia, dan lainnya (Sungkono dkk, 2011). Hasil perekaman data mikrotremor digunakan untuk mendapatkan nilai frekuensi natural, indeks resonansi, dan indeks kerentanan bangunan (Prabowo dkk, 2020).

Perekaman mikrotremor menghasilkan sinyal dalam bentuk domain waktu dengan tiga komponen yaitu horizontal N-S, horizontal E-W, dan vertikal Z yang dapat dilihat pada gambar dibawah.

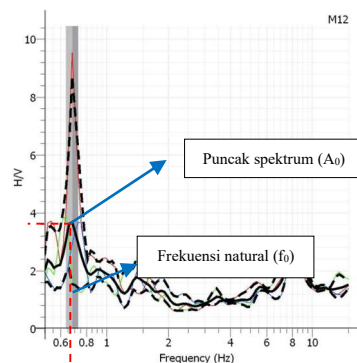


Gambar 3.3 Hasil Rekaman Mikrotremor

(Sumber : Partono dkk, 2013)

3.3 Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr)

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) merupakan metode yang pertama kali diperkenalkan oleh Nogoshi dan Irigashi (1971) dan disempurnakan oleh Nakamura (1989) untuk mengetahui kondisi geologi setempat. Metode ini membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap vertikal dari gelombang mikrotremor (Nakamura, 2000). Data mikrotremor yang terdiri dari tiga komponen diolah dengan HVSr untuk menghasilkan grafik H/V. Grafik tersebut memberikan nilai frekuensi natural dan amplifikasi yang digunakan untuk menghitung resonansi bangunan.



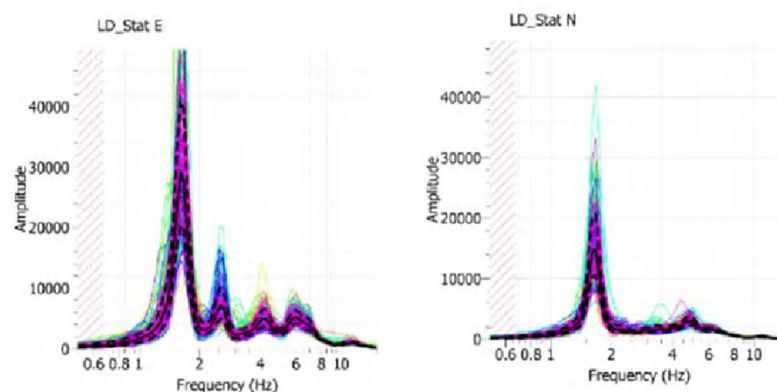
Gambar 3.4 Kurva HVSr

(Sumber : Partono dkk, 2013)

Dari **Gambar 3.4** menunjukkan hubungan dua parameter yaitu sumbu x mewakili nilai frekuensi (f_0) dan sumbu y mewakili amplifikasi (A_0). Nilai amplifikasi dapat diketahui dengan melihat puncak tertinggi pada spektrum kurva H/V. Untuk mengetahui nilai frekuensi natural dengan menarik garis lurus ke bawah dari titik puncak tertinggi spektrum.

3.4 Metode *Floor Spectral Ratio* (FSR)

Metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) adalah metode yang dikemukakan Gosar, dkk (2010) untuk menentukan nilai frekuensi natural bangunan dan resonansi bangunan yang menggambarkan karakteristik bangunan terhadap gempa bumi dengan memanfaatkan gelombang mikroseismik alami dari bangunan (Yuniarto dan Kiswanto, 2021). Nilai frekuensi natural dalam analisis FSR diperoleh dengan membandingkan spektrum setiap komponen lantai dengan spektrum tanah (Ilham, 2023). Data hasil rekaman mikrotremor mengalami proses *Fast Fourier Fast* (FFT) yang mengubah data dari domain waktu menjadi domain frekuensi (spektrum) untuk masing-masing komponen yaitu arah horizontal N-S, horizontal E-W, dan vertikal Z dengan menggunakan *software geopsy*. Hasil dari proses FFT ini akan menghasilkan spektrum frekuensi yang selanjutnya digunakan untuk analisis FSR. Kurva yang dihasilkan menunjukkan hubungan antara frekuensi dan amplitudo. Berikut adalah kurva hasil FFT yang digunakan dalam analisis FSR.



Gambar 3.5 Grafik Spektrum Arah EW dan NS Lantai 2

(Sumber : Prastowo dan Prabowo, 2017)

3.5 Frekuensi Natural Tanah

Frekuensi natural tanah merupakan banyaknya gelombang yang sering muncul pada suatu wilayah. Dengan kata lain, nilai frekuensi natural dapat menggambarkan jenis dan karakteristik lapisan tanah atau batuan di suatu wilayah. Penentuan rendah tingginya nilai frekuensi natural dipengaruhi oleh ketebalan sedimen. Secara umum, semakin tebal lapisan sedimen, semakin rendah nilai frekuensi natural tanah, dan sebaliknya, semakin tipis lapisan sedimen, semakin tinggi frekuensi natural yang terukur. Nilai yang diperoleh akan dibandingkan dengan frekuensi natural bangunan untuk mengetahui pengaruh resonansi terhadap bangunan. Adapun klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi natural menurut Kanai sebagai berikut.

Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural Menurut Kanai

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

(Sumber : Syihabuddin, 2020)

3.6 Frekuensi Natural Bangunan

Frekuensi natural bangunan adalah frekuensi alami bangunan untuk bergetar jika bangunan terkena gangguan. Untuk memprediksi potensi kerusakan akibat gempa dan efek lokal di sekitar bangunan dapat digunakan nilai frekuensi natural bangunan (Gosar dkk, 2010). Hal ini dilakukan dengan membandingkan frekuensi natural bangunan dengan frekuensi tanah. Jika frekuensi tanah lebih rendah dari bangunan maka bangunan aman. Namun jika frekuensi keduanya sama, resonansi dapat terjadi dan menyebabkan kerusakan. Frekuensi natural bangunan berbeda-beda sesuai tinggi bangunan karena bangunan tinggi bergetar lebih lambat dibandingkan yang rendah. Batas pengamatan mikrotremor berkisar antara 0,5-20 Hz, dengan frekuensi rendah mencapai 0,2 Hz. Frekuensi natural bangunan umumnya antara 1-8 Hz, sementara frekuensi di bawah 1 Hz diabaikan (Larasati dkk, 2022). Nilai frekuensi natural bangunan dapat ditentukan melalui analisis spektrum pada setiap lantai bangunan dibandingkan dengan tanah di bawahnya (Gosar, 2010). Untuk menentukan nilai frekuensi natural bangunan, analisis dilakukan menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) dengan persamaan yang diusulkan oleh Prakosa (2015) sebagai berikut.

$$f_0 (FSR) = \frac{f_{0b NS}}{f_{0t NS}} \quad (3.1)$$

$$f_0 (FSR) = \frac{f_{0b EW}}{f_{0t EW}} \quad (3.2)$$

Keterangan :

$f_0 (FSR)$ = Rasio Frekuensi Natural Bangunan

f_{0b} = Hasil FFT Frekuensi Natural Bangunan (Hz)

f_{0t} = Hasil FFT Frekuensi Natural Tanah (Hz)

3.7 Amplifikasi

Amplifikasi merupakan gelombang seismik yang mengalami perbesaran akibat perbedaan yang signifikan antar lapisan. Gelombang seismik yang bergerak dari satu medium ke medium lain yang lebih lunak akan mengalami pembesaran.

Semakin besar perbedaan antar medium, semakin besar pula perbesaran gelombang seismik yang terjadi.

Faktor amplifikasi menggambarkan perubahan (pembesaran) percepatan gerakan tanah dari lapisan batuan dasar menuju permukaan. Nilai amplifikasi berhubungan erat dengan kepadatan batuan. Semakin renggang batuan, maka semakin besar nilai faktor amplifikasi yang berarti percepatan gerakan tanah di permukaan semakin besar (Partono dkk, 2013). Berikut klasifikasi nilai faktor amplifikasi.

Tabel 3.3 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi

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

(Sumber : Larasati dkk, 2022)

3.8 Indeks Resonansi Bangunan

Salah satu parameter penentuan tingkat kerentanan bangunan terhadap gempa bumi adalah nilai indeks resonansi. Resonansi merupakan peristiwa ikut bergetarnya benda karena benda lain bergetar. Nilai indeks resonansi memberikan gambaran mengenai potensi bangunan mengalami resonansi akibat gempa bumi. Semakin kecil nilai indeks resonansi, maka frekuensi natural bangunan semakin mendekati (hampir sama) frekuensi tanah, sehingga bangunan rawan mengalami resonansi yang berdampak pada peningkatan kerusakan pada bangunan tersebut. Untuk memperoleh nilai indeks resonansi bangunan komponen N-S dan E-W digunakan persamaan berikut (Larasati dkk, 2022).

$$R = \left| \frac{f_{0b} - f_{0t}}{f_{0t}} \right| \times 100\% \quad (3.3)$$

Keterangan :

R = Resonansi bangunan (%)

f_{0b} = Frekuensi bangunan (Hz)

f_{0t} = Frekuensi tanah (Hz)

Tingkat kerentanan resonansi bangunan diklasifikasikan menurut Gosar (2010) sebagai berikut :

1. Resonansi bangunan rendah ($R > 25\%$)
2. Resonansi bangunan sedang ($15\% < R < 25\%$)
3. Resonansi bangunan tinggi ($R < 15\%$)

3.9 Indeks Kerentanan Bangunan

Indeks kerentanan bangunan digunakan untuk memperkirakan tingkat kerusakan akibat pergerakan seismik pada permukaan tanah. Menurut Sato, dkk (2008), indeks ini diperkirakan berdasarkan deformasi struktur bangunan yang terkait dengan pergerakan seismik. Bangunan dianggap berisiko runtuh jika nilai indeks kerentanannya antara $100 \text{ m/s}^2 - 200 \text{ m/s}^2$. Sementara, nilai dibawah 100 m/s^2 menunjukkan bangunan aman dari kerusakan (Hadianfard dkk, 2017). Amplitudo spektrum yang terekam selama pengambilan data dapat mempengaruhi perhitungan indeks kerentanan karena amplitudo yang lebih besar dapat meningkatkan kerentanan bangunan terhadap kerusakan akibat gempa.

Nilai indeks kerentanan bangunan ditentukan berdasarkan persamaan yang dikemukakan Nakamura, dkk (2009 dalam Sungkono dkk, 2011) sebagai berikut.

$$K_b = \frac{A}{(2\pi f)^2} \times \frac{10000}{H} \quad (3.4)$$

Keterangan :

K_b = Indeks kerentanan bangunan (m/s^2)

A = Amplifikasi bangunan (m/s^2)

f = Frekuensi natural bangunan (Hz)

H = Tinggi bangunan (m)

3.10 Pembebanan Pada Bangunan Struktur

Analisis pembebanan yang digunakan pada struktur ini meliputi yakni beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Adapun dasar-dasar peraturan yang berlaku di Indonesia dan digunakan dalam menganalisis pembebanan gempa pada struktur sebagai berikut :

1. SNI 1727 – 2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
2. SNI 1726 – 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
3. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983.

3.10.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat yang dihasilkan dari berat sendiri struktur dengan besaran konstan dan selalu berada pada posisi yang sama. Beban mati dapat berupa dinding, atap, komponen arsitektural, plafon, lantai, dan peralatan layan terpasang. Dalam perancangan, menentukan beban mati harus digunakan berat bahan dan konstruksi sebenarnya. Berat peralatan layan seperti *plumbing*, mekanikal elektrik, alat pemanas, ventilasi, dan pengkondisian udara harus diperhitungkan dalam menentukan beban mati rencana.

Tabel 3.4 Beban Mati

No	Komponen	Berat/ Luasan		Tebal (m)	Q (kN/m ²)
		Nilai	Satuan		
1	Keramik	24	Kg/m ²		0,235
2	Spesi	2100	Kg/m ³	0,03	0,618
3	Pasir	1600	Kg/m ³	0,05	0,785
4	MEP				0,300
5	Plafon dan rangka	14	Kg/m ²		0,137
Total Beban Mati Tambahan					2,076

(Sumber : PPIUG 1983)

3.10.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang berasal dari aktivitas pengguna bangunan atau struktur lain bersifat berubah-ubah tetapi tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, dan beban mati. Beban hidup seperti kendaraan, peralatan yang sering berpindah tempat, dan lain-lain. Perencanaan beban hidup pada bangunan disesuaikan dengan fungsi bangunan yang akan dibangun. Beban hidup pada suatu bangunan harus diambil dalam SNI 1727-2020.

Tabel 3.5 Beban Hidup

Penggunaan	Merata Psf (kN/m ²)
Ruang laboratorium	4,79
Koridor lantai pertama	4,79
Koridor diatas lantai pertama	3,83
Ruang Dosen	2,4
Gudang	6

(Sumber : SNI 1727-2020)

3.10.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada struktur bangunan yang diakibatkan oleh guncangan gempa bumi. Dalam menganalisis beban gempa, diperlukan pengelompokkan kategori risiko gempa bangunan gedung dan non gedung yang disesuaikan dengan fungsi dari masing-masing bangunan yang akan didirikan. Adapun klasifikasi kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726-2019 dapat dilihat pada **Tabel 3.6**.

Tabel 3.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :	

**Lanjutan Tabel 3.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung
Untuk Beban Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III

**Lanjutan Tabel 3.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung
Untuk Beban Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
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.	
<p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber : SNI 1726-2019 Tabel 3)

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Pengaruh

gempa rencana terhadap berbagai kategori risiko bangunan harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_e) pada **Tabel 3.7**.

Tabel 3.7 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726-2019 Tabel 4)

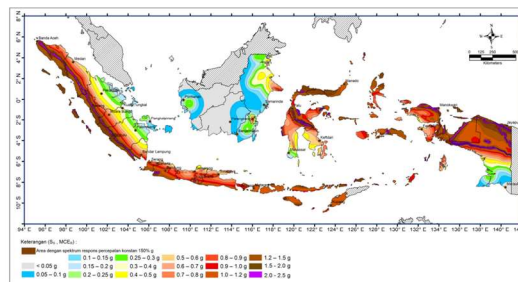
3.11 Respon Spektrum

Respons spektrum merupakan salah satu metode analisis struktur menggunakan spektrum gempa. Spektrum gempa digambarkan dalam bentuk kurva hubungan antara periode struktur bangunan (T) dengan nilai percepatan bangunan (S_a) ketika bangunan terkena beban gempa. Pada dasarnya, analisis respon spektrum menggambarkan respons dinamis struktur terhadap gempa yang diberikan. Berikut parameter-parameter dalam pembuatan respon spektrum.

3.11.1 Analisis Respon Spektrum

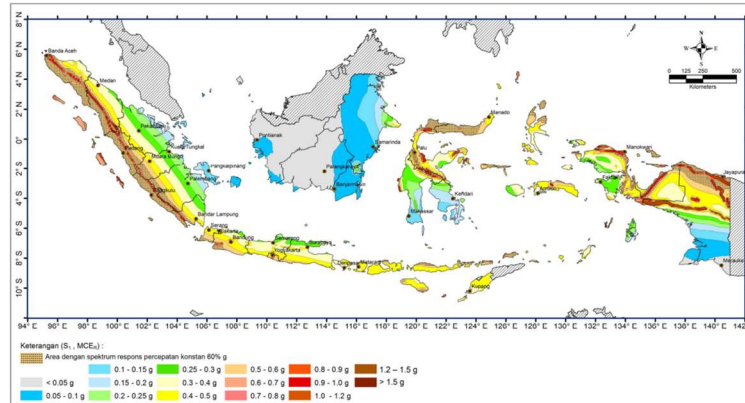
1. Parameter respons spektral percepatan (S_s dan S_1)

Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang mempertimbangkan resiko-tertarget MCE_R untuk parameter respon spektral periode pendek didapat dari peta **Gambar 3.6** dan periode 1 detik didapat dari peta pada **Gambar 3.7** atau dapat membuka *website* RSA Ciptakarya.



Gambar 3.6 Peta Parameter Gerak Tanah (S_s) Periode 0,2 Detik

(Sumber : SNI 1726-2019 Gambar 15)



Gambar 3.7 Peta Parameter Gerak Tanah (S₁) Periode 1 Detik

(Sumber : SNI 1726-2019 Gambar 16)

2. Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum

Diperlukan faktor amplifikasi terkait percepatan pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs yang ditentukan dengan persamaan berikut.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3.5)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_I \quad (3.6)$$

Keterangan :

- S_{MS} = Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek
- S_{M1} = Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik
- S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek
- S_I = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik
- F_a = Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek
- F_v = Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik

Koefisien situs F_a dan F_v dapat dilihat pada **Tabel 3.8** dan **Tabel 3.9**.

Tabel 3.8 Koefisien Situs, F_a

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 6)

Catatan :

- (a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 3.9 Koefisien Situs, F_v

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 Tabel 6)

Catatan :

- (a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons situs-spesifik

3. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) ditentukan menggunakan persamaan berikut :

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

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

3.11.2 Spektrum Respon Desain

Apabila prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respon desain dikembangkan dengan mengacu **Gambar 3.8** dan mengikuti ketentuan dibawah ini :

1. Periode lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan berikut.

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

2. Periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ,
3. Periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.10)$$

4. Periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

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

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

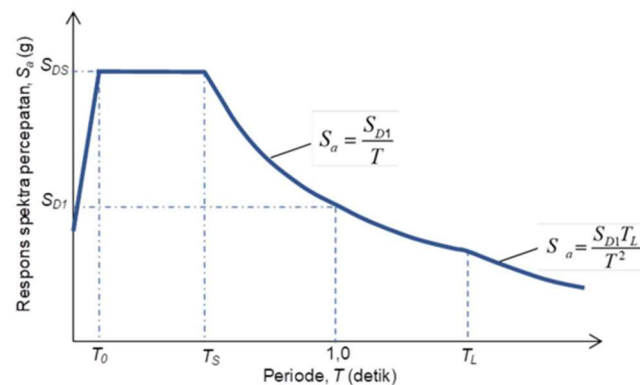
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.12)$$

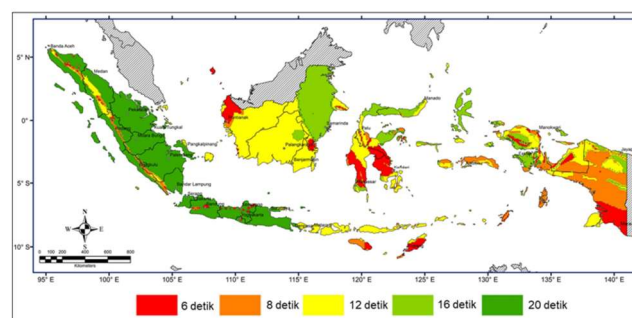
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.13)$$

T_L = Peta transisi periode panjang pada **Gambar 3.8** yang nilainya diambil dari **Gambar 3.9**.



Gambar 3.8 Spektrum Respons Desain

(Sumber : SNI 1726-2019 Gambar 3)



Gambar 3.9 Peta Transisi Periode Panjang (T_L) Wilayah Indonesia

(Sumber : SNI 1726-2019 Gambar 20)

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan di Gedung Perkuliahan Laboratorium Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

(Sumber : Google Earth)

4.2 Peralatan

Pada penelitian ini digunakan peralatan yang terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras. Adapun peralatannya sebagai berikut.

1. Perangkat lunak (*software*)
 - a. *Microsoft Word 365* berfungsi untuk menyusun laporan.
 - b. *Microsoft Excel 365* berfungsi untuk mengolah data.
 - c. *SAP2000* digunakan untuk pemodelan struktur 3D untuk menganalisis nilai frekuensi natural struktur gedung.
 - d. *AutoCad 2024* berfungsi untuk pembuatan desain gedung 2D.
 - e. *Geopsy* berfungsi untuk menganalisis sinyal mikrotremor dengan melakukan *windowing* dan *cutting*.

- f. *Web Lunitek* berfungsi untuk mengatur perangkat saat proses pengambilan data mikrotremor.
 - g. *QGis* berfungsi untuk pembuatan peta lokasi penelitian.
2. Perangkat keras (*hardware*)
- a. Laptop berfungsi untuk sarana penghubung, analisis data, dan penulisan laporan.
 - b. *Digital Portable Seismograph type 303S* berfungsi untuk merekam getaran di tanah dan lantai pada setiap titik penelitian.
 - c. Wi-Fi antenna berfungsi sebagai penghubung antar instrument.
 - d. Battery isi 6 buah type 18650 3400mAh 3.7 V berfungsi sebagai sumber energi seismograph lunitek triton 5s.
 - e. Kompas berfungsi menentukan arah utara saat pemasangan alat.
 - f. USB berfungsi untuk menyimpan dan memindahkan data penelitian.
 - g. Adaptor dan *power cable* (to AC) sebagai pengisi daya.

Adapun perangkat keras yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



Digital Portable Seismograph



Laptop



Wi-Fi Antenna



Battery



USB



Kompas



Adaptor dan *power cable* (to AC)

Gambar 4.2 Perangkat Keras yang Digunakan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.3 Teknik Pengumpulan Data

Adapun beberapa tahapan yang dilakukan sebelum dilakukan pengambilan data mikrotremor sebagai berikut.

1. Tahapan Pra-Survei

Tahapan pra-survei mencakup penentuan lokasi penelitian, pengumpulan data sekunder dan materi mengenai penelitian, serta menentukan titik-titik penelitian. Total titik pengukuran adalah 27 titik yang terdiri dari 3 titik tanah sekitar gedung dan 24 titik di setiap lantai gedung.

2. Tahapan Survei Lapangan

Selanjutnya dilakukan survei lapangan untuk menemukan titik-titik pengukuran yang sudah direncanakan agar mempermudah dalam pengambilan data.

3. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan pada saat kondisi gedung benar-benar sepi yaitu pada malam hari untuk mengurangi gangguan atau *noise*. Pengambilan data dilakukan dengan durasi 30 menit per titik. Adapun dalam penelitian ini terdapat 2 jenis data yang digunakan sebagai berikut.

a. Data Primer

Data primer yang digunakan meliputi data mikrotremor yang diambil langsung di lokasi penelitian. Data ini didapatkan melalui proses perekaman getaran di tanah dan setiap lantai.

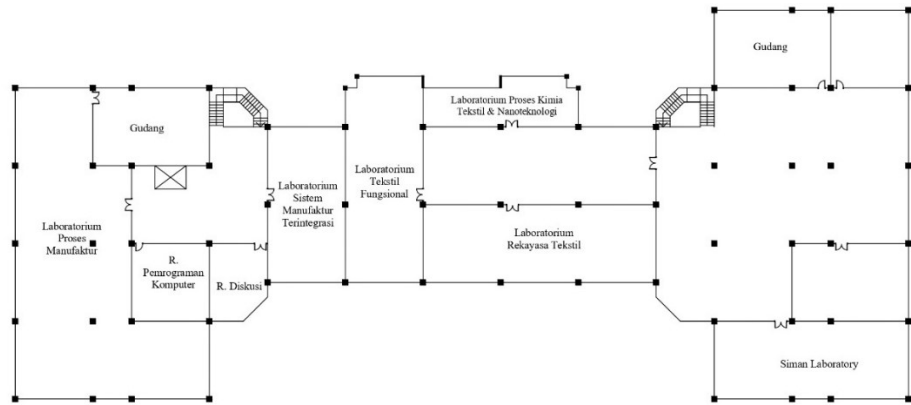
b. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan meliputi gambar arsitektur, struktur, dan data pendukung lainnya yang relevan dengan penelitian. Data ini diperoleh dari instansi terkait yang menyediakan data yang diperlukan. Berikut adalah data-data yang digunakan.

1) Gambar Arsitektur

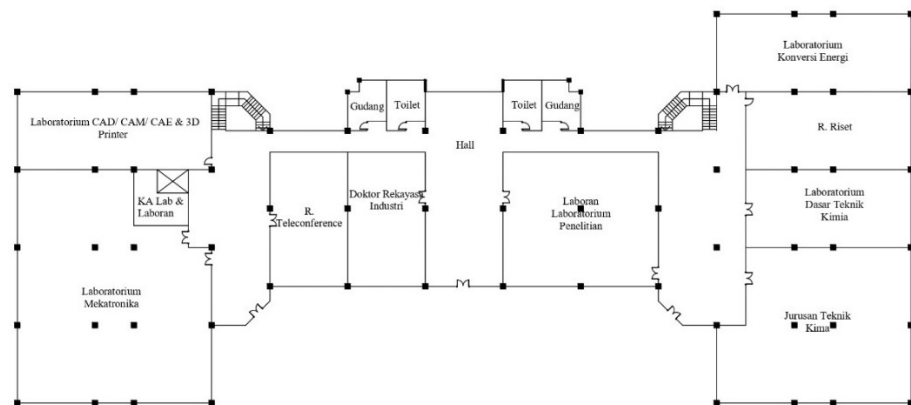
Gambar arsitektur diperlukan agar mengetahui denah lantai gedung dengan berbagai fungsi ruang dan memudahkan dalam penentuan titik pengukuran. Pentingnya untuk mengetahui fungsi ruang agar beban

ruang dapat ditentukan sesuai dengan standar SNI 1727:2020. Berikut merupakan gambar arsitektur.



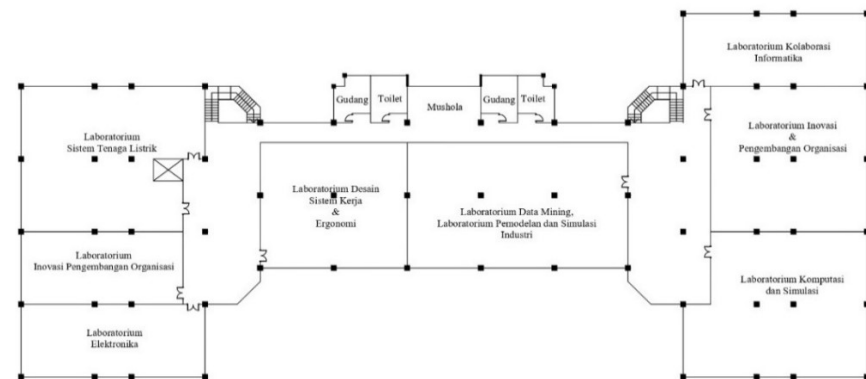
Gambar 4.3 Denah Lantai Basement

(Sumber : PFK UII)



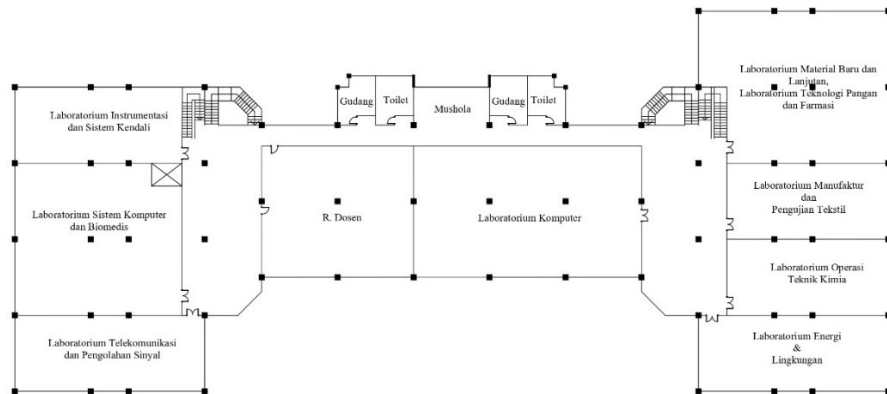
Gambar 4.4 Denah Lantai 1

(Sumber : PFK UII)



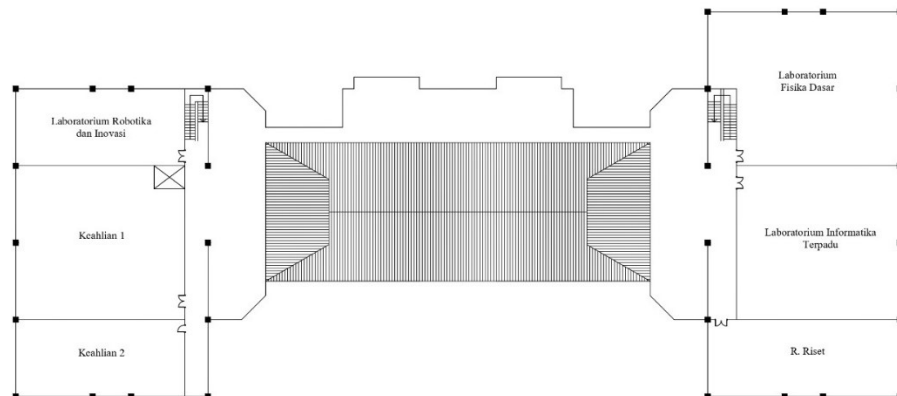
Gambar 4.5 Denah Lantai 2

(Sumber : PFK UII)



Gambar 4.6 Denah Lantai 3

(Sumber : PFK UII)



Gambar 4.7 Denah Lantai 4

(Sumber : PFK UII)

2) Gambar Struktur

Gambar struktur Gedung Laboratorium FTI Universitas Islam Indonesia lantai *basement* sampai lantai 4 terdiri denah balok, kolom, dan potongan digunakan untuk pemodelan 3D dengan bantuan perangkat lunak *SAP2000*.

4.4 Pengolahan Data Mikrotremor

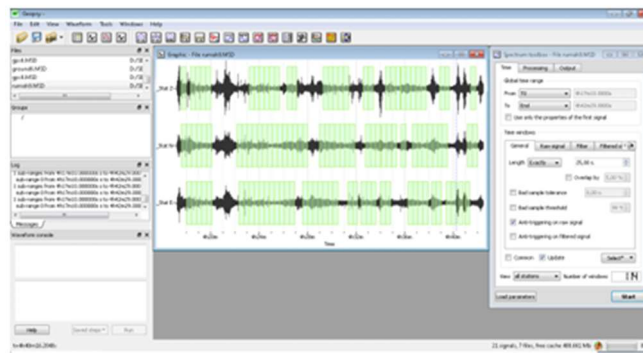
Data mikrotremor yang didapatkan dalam penelitian ini adalah sinyal yang terdiri dari tiga komponen yaitu horizontal E-W, horizontal N-S, dan vertikal Z dengan format data SHE.mseed, SHN.mseed, dan SHZ.mseed. Data tersebut diolah menggunakan *software geopsy* yang menghasilkan parameter frekuensi natural dan

amplitudo baik bangunan dan tanah. Sedangkan, indeks resonansi dan indeks kerentanan diolah menggunakan *microsoft excel*. Berikut langkah-langkah dalam pengolahan data menggunakan *software geopsy*.

4.4.1 Pengolahan Frekuensi dan Amplitudo

Data mikrotremor tanah diolah menggunakan dua analisis yakni analisis spektrum dan analisis H/V. Sedangkan data mikrotremor bangunan diolah menggunakan analisis spektrum. Kedua analisis tersebut menghasilkan kurva yang merupakan representasi dari proses *Fast Fourier Transform* (FFT). Adapun langkah-langkah dalam pengolahan data mikrotremor gedung dan tanah analisis spektrum menggunakan *software Geopsy* (Sungkono, 2011) sebagai berikut.

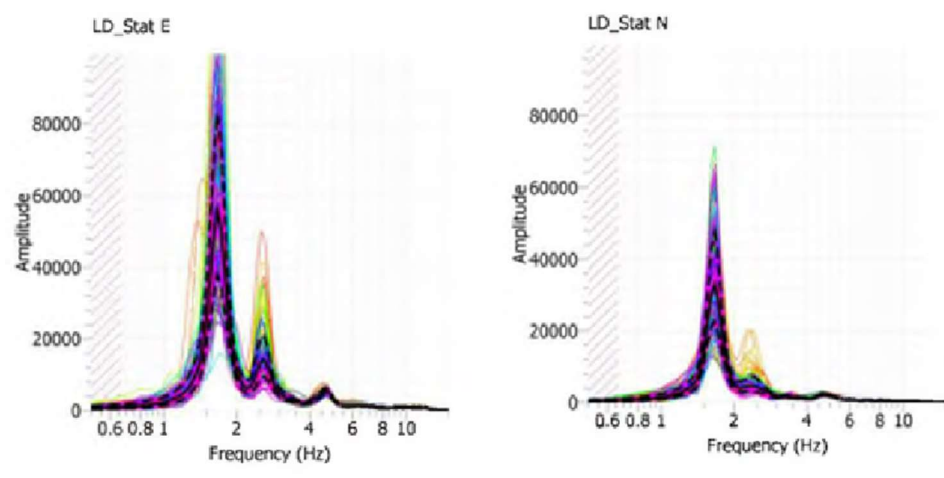
1. Input data file rekaman mikrotremor dengan format SHE.mseed, SHN.mseed, dan SHZ.mseed ke *software Geopsy*.
2. Lakukan proses *windowing* dengan memilih sinyal yang konstan menggunakan parameter lebar *window* 20 untuk memisahkan sinyal mikrotremor dari *noise*. Contoh proses *windowing* dapat dilihat pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8 Proses Pemilihan Sinyal Titik 9

(Sumber : Daristasari dkk, 2018)

3. Proses *smoothing* menggunakan Konno & Ohmachi dengan koefisien *bandwith* 40 dan fungsi taper cosinus 5%. Output frekuensi *sampling* 1-10 Hz.
4. Data akan mengalami proses *Fast Fourier Transform* (FFT) yaitu data dalam kawasan waktu diubah menjadi kawasan frekuensi (spektrum) pada setiap komponen. Berikut contoh hasil dari proses FFT.



Gambar 4.9 Hasil FFT Lantai 4

(Sumber : Prastowo dan Prabowo, 2017)

Setelah memperoleh hasil analisis spektrum, selanjutnya dilakukan analisis perhitungan FSR untuk menentukan rasio frekuensi antara bangunan dan tanah menggunakan **Persamaan 3.1** untuk komponen E-W dan **Persamaan 3.2** untuk komponen N-S. Nilai ini didapat untuk perhitungan resonansi mengisi keterangan frekuensi natural bangunan.

4.4.2 Perhitungan Indeks Resonansi Bangunan

Perhitungan nilai indeks resonansi bangunan dilakukan menggunakan **Persamaan 3.3**. Hasil analisis kemudian diklasifikasikan berdasarkan kategori nilai indeks resonansi menurut Gosar, dkk (2010).

4.4.3 Perhitungan Indeks Kerentanan Bangunan

Perhitungan nilai indeks kerentanan bangunan dilakukan menggunakan **Persamaan 3.4**. Nilai indeks kerentanan bangunan diklasifikasikan berdasarkan nilai yang dibawah 100 m/s^2 maka bangunan aman terhadap kerusakan (Hadianfard, 2016).

4.5 Pemodelan Struktur

Dalam penelitian ini, struktur bangunan dimodelkan 3D menggunakan perangkat lunak *SAP2000* untuk menentukan nilai frekuensi natural bangunan.

Nilai frekuensi natural bangunan yang diperoleh dari *SAP2000* kemudian dibandingkan dengan nilai frekuensi natural bangunan data mikrotremor. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian dan akurasi hasil pemodelan terhadap data observasi lapangan. Adapun material yang diperlukan dalam pemodelan struktur sebagai berikut.

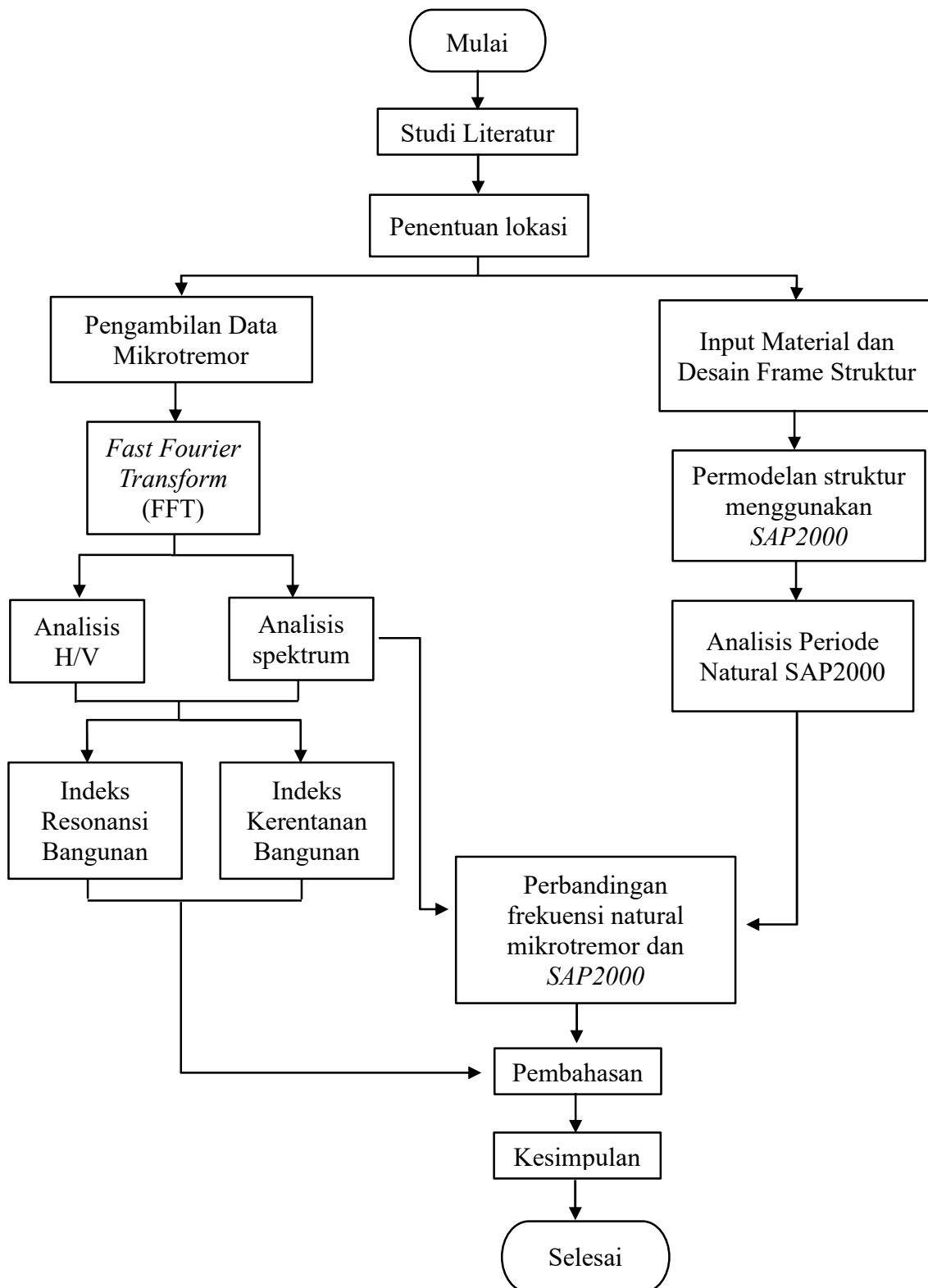
1. Mutu beton ($f'c$) = 30 Mpa
2. Mutu baja tulangan
 - a. Tulangan sengkang BjTP 280 = 280 Mpa
 - b. Tulangan pokok BjTS 420A = 420 Mpa

Berikut langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan permodelan pada *SAP2000*.

1. Buka aplikasi *SAP2000*. Pilih *New Model* lalu pilih *Grid Only*. Sesuaikan grid dengan gambar struktural.
2. Pengaturan material yang digunakan yakni beton, baja tulangan, dan dinding pengisi.
3. Perencanaan desain kolom dan balok dengan *Section Designer* sesuai gambar struktural.
4. Modelkan pelat, dinding, tangga, dan *shear wall* dengan *Shell*.
5. Input pembebanan.
6. Mengatur sumber massa dengan *Mass Source* dan mengatur *diaphragm*.
7. Lakukan *running* pemodelan.

4.6 Diagram Alur

Diagram alur pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4.10**.

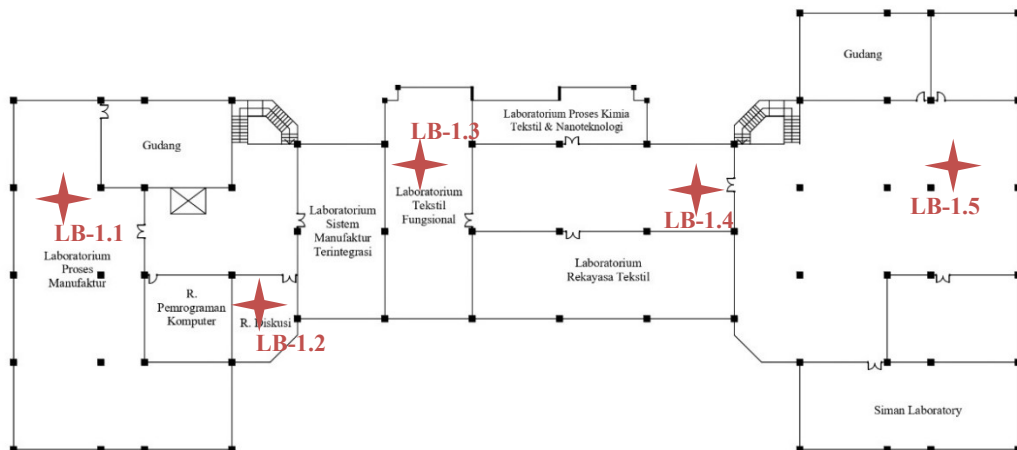


Gambar 4.10 Diagram Alur Penelitian

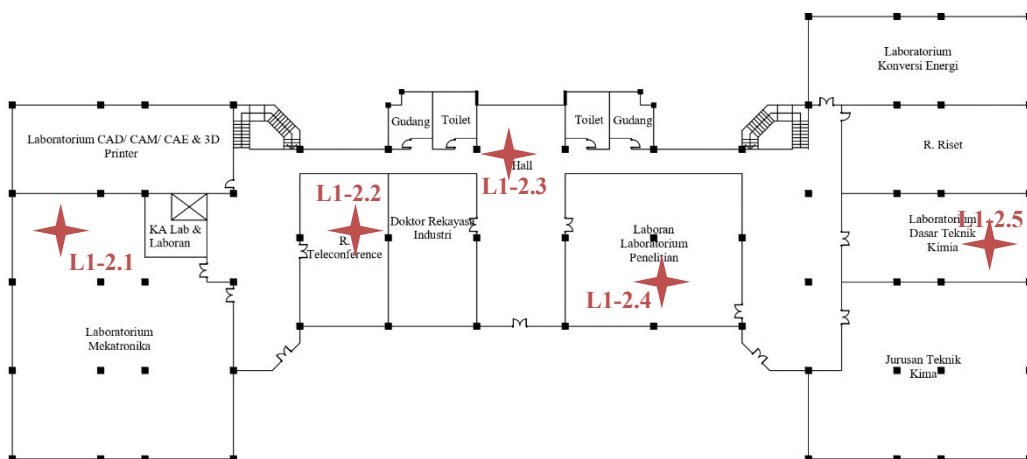
BAB V ANALISIS, HASIL, DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengambilan Data di Lapangan

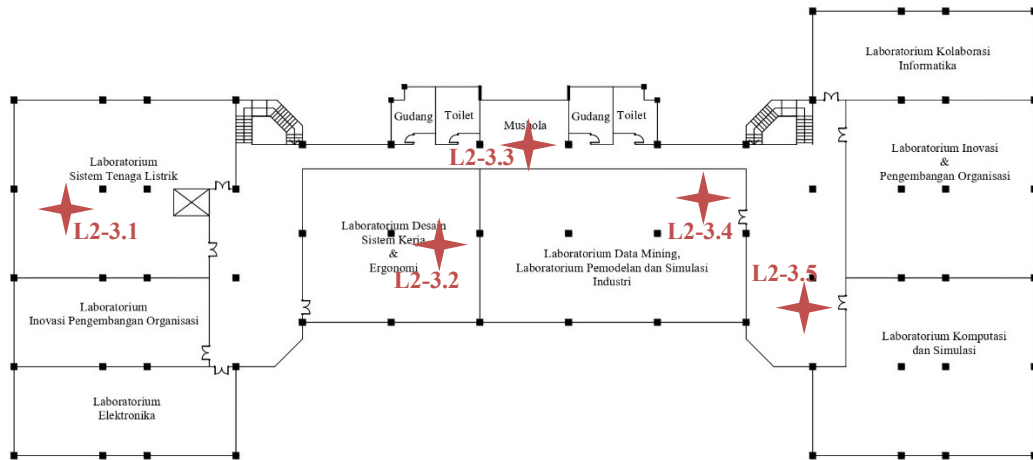
Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan pada malam hari dengan melakukan perekaman getaran secara langsung di lokasi penelitian menggunakan alat yang bernama *Seismograph Lunitek Triton 5s*. Durasi pengambilan data dilakukan 30 menit per titik. Total pengukuran sebanyak 27 titik terdiri dari 3 titik di tanah sekitar gedung dan 24 titik di lantai gedung. Data perekaman yang dihasilkan berupa data mentah yang disimpan dalam format file SHN.mseed, SHE.mseed, dan SHZ.mseed. Titik pengukuran dapat dilihat pada gambar berikut.



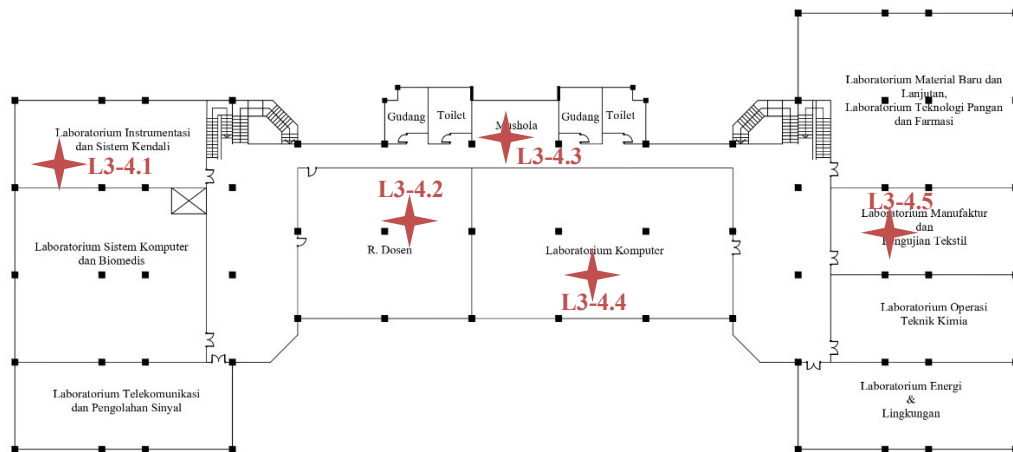
Gambar 5.1 Titik Pengukuran Lantai *Basement*



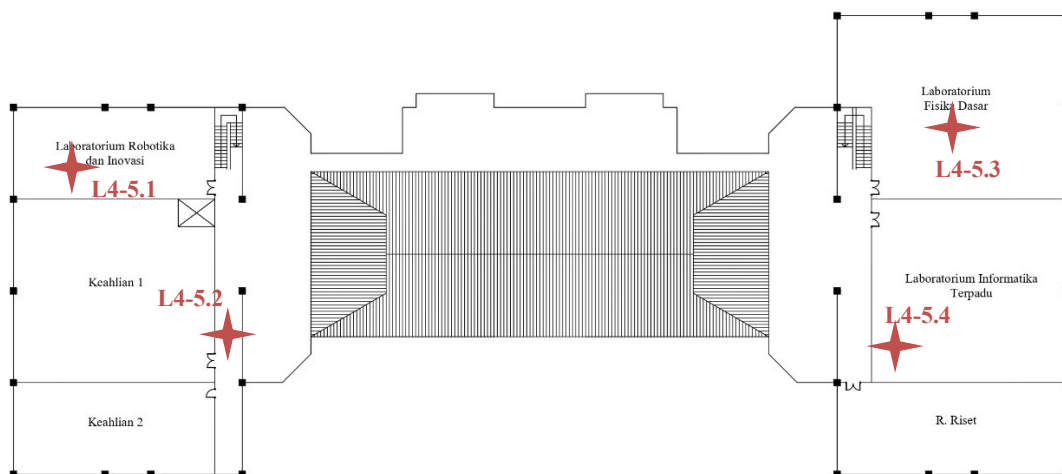
Gambar 5.2 Titik Pengukuran Lantai 1



Gambar 5.3 Titik Pengukuran Lantai 2



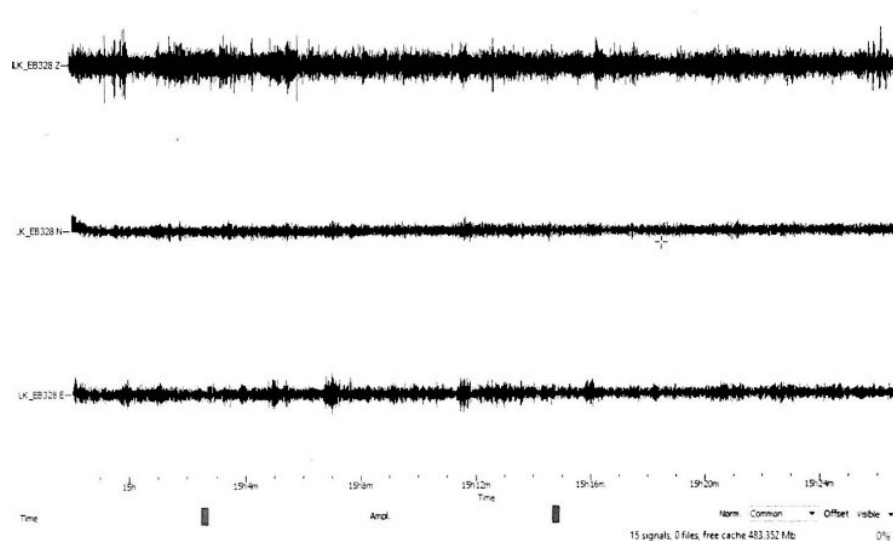
Gambar 5.4 Titik Pengukuran Lantai 3



Gambar 5.5 Titik Pengukuran Lantai 4

5.2 Pengolahan Data Mikrotremor

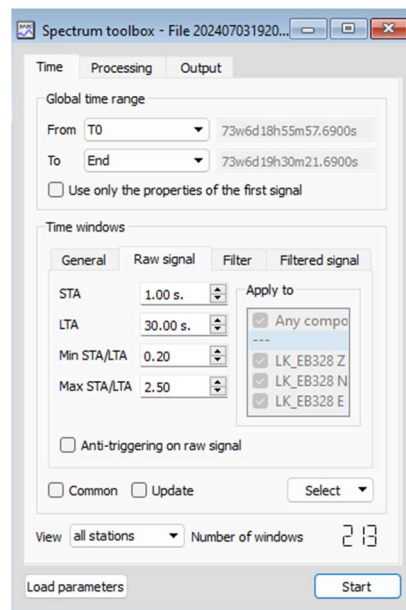
Data mikrotremor dengan format SHE.mseed, SHN.mseed, dan SHZ.mseed diolah menggunakan *software geopsy* melalui proses *Fast Fourier Transform* (FFT) yang mengubah data mikrotremor dalam kawasan waktu menjadi kawasan frekuensi untuk setiap komponen yaitu komponen horizontal N-S, horizontal E-W, dan komponen vertikal Z. Pengolahan data dilakukan dengan dua cara yaitu analisis spektrum dilakukan pada perekaman lantai bangunan dan tanah untuk memperoleh frekuensi natural bangunan kemudian dihitung menggunakan metode FSR, sedangkan H/V hanya dilakukan pada perekaman tanah untuk mendapatkan nilai frekuensi natural tanah. Nilai yang didapatkan akan digunakan untuk menghitung indeks resonansi bangunan dan indeks kerentanan bangunan. Salah satu hasil perekaman mikrotremor dapat dilihat pada gambar berikut.



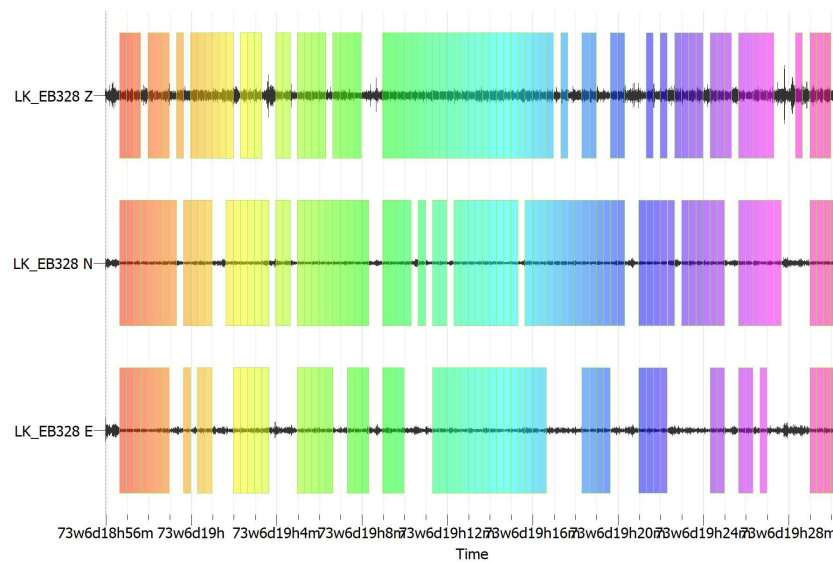
Gambar 5.6 Data Rekaman Mikrotremor Titik L3-4.1 Dalam Kawasan Waktu

Dalam pengolahan analisis spektrum bangunan, data dalam format SHN.mseed, SHE.mseed, dan SHZ.mseed diinput ke *software geopsy*, selanjutnya melakukan *windowing* secara manual untuk menghilangkan *noise* dimana rekaman terbagi menjadi kotak-kotak berwarna yang setiap warna mewakili satu *window* dengan lebar kotak 20 detik. Melakukan penghalusan data menggunakan tipe *smoothing* Konno & Ohmachi, 1988 dengan *bandwidth* 40 dan parameter *tapering* 5%

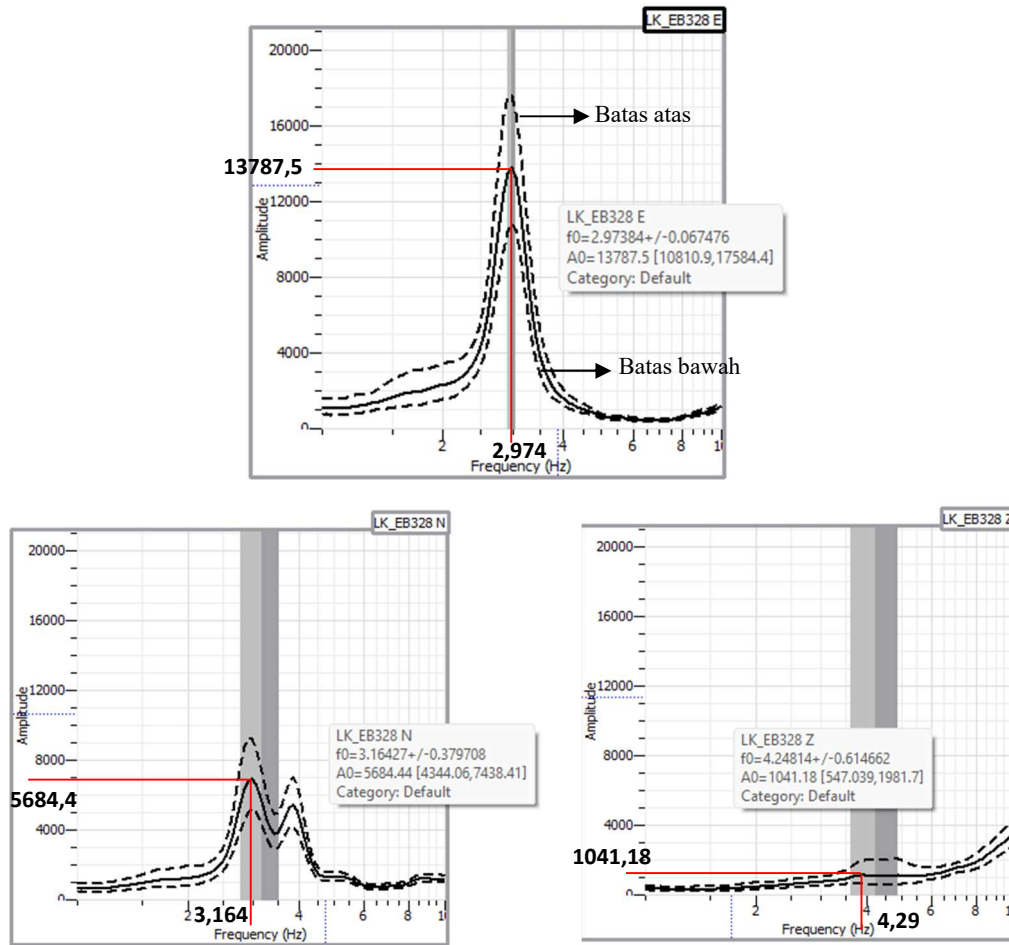
serta output frekuensi sampling 1-10 Hz. Hasil akhir yang didapatkan dari proses FFT ini adalah grafik perbandingan antara frekuensi dengan amplitudo. Adapun langkah-langkah dan hasil analisis spektrum pada bangunan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.7 Pengaturan Pengolahan Spektrum Titik L4-5.1



Gambar 5.8 Windowing Data Mikrotremor Titik L4-5.1



Gambar 5.9 Grafik Analisis Spektrum Titik L4-5.1

Rekapitulasi hasil pengolahan spektrum pada data bangunan dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Analisis Spektrum Pada Bangunan

No	Titik	Komponen N-S		Komponen E-W	
		f_{0b} (FFT) (Hz)	A_0 (m/s^2)	f_{0b} (FFT) (Hz)	A_0 (m/s^2)
LANTAI BASEMENT					
1	LB-1.1	2,679	550,0	2,735	720,5
2	LB-1.2	2,844	962,7	2,788	919,1
3	LB-1.3	2,814	822,0	2,735	816,0
4	LB-1.4	2,728	945,7	2,981	782,1
5	LB-1.5	2,754	936,3	2,849	798,4

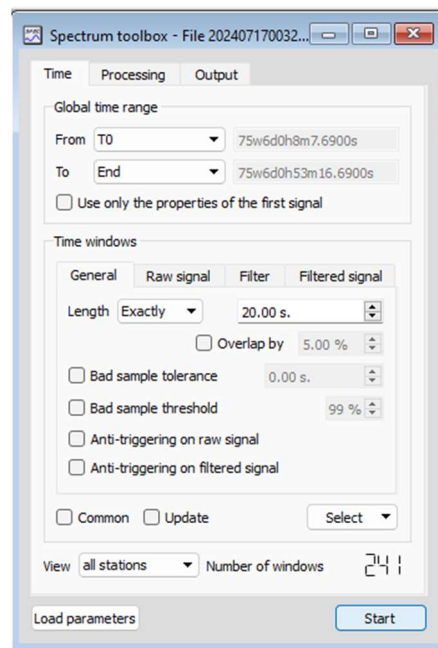
Lanjutan Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Analisis Spektrum Pada Bangunan

No	Titik	Komponen N-S		Komponen E-W	
		f_{0b} (FFT) (Hz)	A0 (m/s ²)	f_{0b} (FFT) (Hz)	A0 (m/s ²)
LANTAI 1					
6	L1-2.1	3,707	1421,2	2,958	4547,9
7	L1-2.2	3,179	1693,2	2,977	2715,5
8	L1-2.3	3,124	1840,8	3,022	2083,6
9	L1-2.4	3,330	1143,5	2,895	2647,2
10	L1-2.5	2,885	3312,7	2,896	2615,3
LANTAI 2					
11	L2-3.1	3,006	7560,5	2,977	9631,8
12	L2-3.2	3,799	2753,4	2,930	4837,2
13	L2-3.3	3,594	1786,3	3,181	1418,7
14	L2-3.4	2,898	4527,6	3,799	2658,7
15	L2-3.5	2,914	9304,8	3,053	4363,2
LANTAI 3					
16	L3-4.1	3,029	6694,3	2,986	9549,4
17	L3-4.2	3,809	3659,6	2,993	5498,9
18	L3-4.3	3,618	2612,6	3,092	2644,3
19	L3-4.4	3,740	3751,6	2,966	4024,5
20	L3-4.5	3,606	2942,2	2,915	6867,2
LANTAI 4					
21	L4-5.1	3,164	5684,4	2,974	13787,5
22	L4-5.2	2,963	10932,2	2,982	9787,4
23	L4-5.3	3,125	4837,6	2,898	11328,6
24	L4-5.4	2,940	7203,6	2,902	11025,0

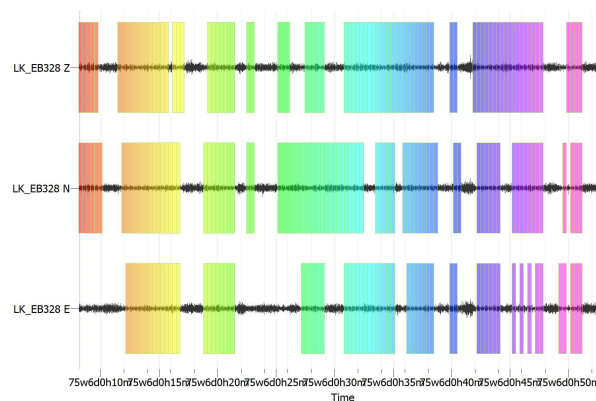
5.3 Analisis Frekuensi Natural Tanah

Dalam menentukan nilai frekuensi natural tanah dilakukan dua analisis, yaitu analisis spektrum dan analisis H/V. Analisis spektrum data mikrotremor tanah sama

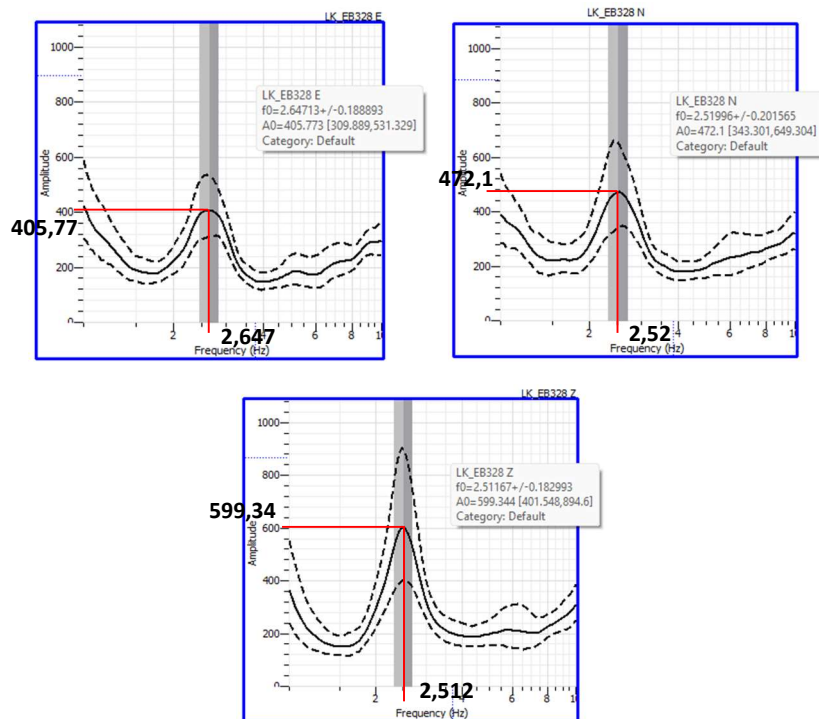
dengan pengolahan data mikrotremor bangunan. Data dalam format SHN.mseed, SHE.mseed, dan SHZ.mseed diinput ke *software geopsy*, kemudian dilakukan *windowing* secara manual untuk menghilangkan *noise*. Melakukan penghalusan data menggunakan tipe *smoothing* Konno & Ohmachi, 1988 dengan *bandwith* 40 dan parameter *tapering* 5% serta output frekuensi sampling 1-10 Hz. Adapun langkah-langkah dan hasil analisis spektrum pada tanah dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.10 Pengaturan Pengolahan Spektrum Titik Tanah 1



Gambar 5.11 Windowing Data Mikrotremor Titik Tanah 1



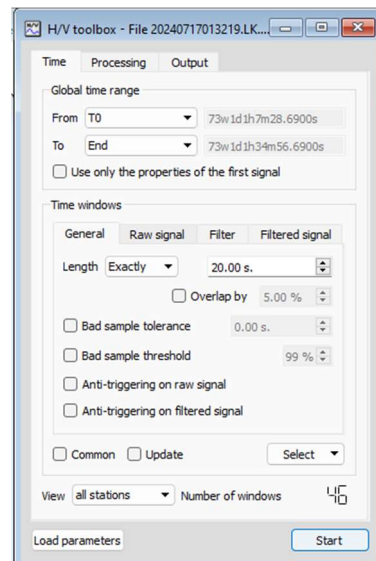
Gambar 5.12 Grafik Analisis Spektrum Titik Tanah 1

Berikut rekapitulasi frekuensi natural analisis spektrum pada tanah.

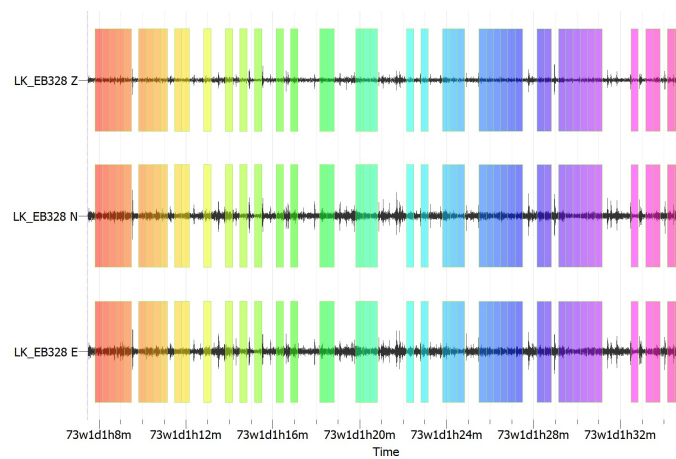
Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Analisis Spektrum Tanah

Titik	f_{0t} (FFT) (Hz)		
	N-S	E-W	Z
Tanah 1	2,520	2,647	2,512
Tanah 2	2,765	2,826	2,840
Tanah 3	2,611	2,657	2,530
Rata-rata	2,632	2,710	2,627

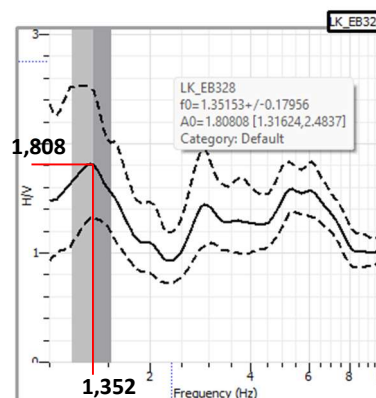
Dalam analisis H/V, data dalam format SHN.mseed, SHE.mseed, dan SHZ.mseed diinput ke *software geopsy*, selanjutnya melakukan *windowing* 20 detik. Penghalusan data menggunakan tipe *smoothing* Konno & Ohmachi, 1988 dengan *bandwith* 40 dan parameter *tapering* 5% serta output frekuensi sampling 0,2 - 15 Hz. Adapun langkah-langkah dan hasil analisis H/V dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.13 Pengaturan Analisis H/V Titik Tanah 2



Gambar 5.14 Windowing Data Mikrotremor Tanah 2



Gambar 5.15 Grafik H/V Titik Tanah 2

Didapatkan nilai frekuensi natural tanah yakni 1,352 Hz. Berikut rekapitulasi frekuensi natural tanah analisis H/V.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Nilai Frekuensi Natural Tanah Analisis H/V

Titik	f_{0t} (hvsr) (Hz)
Tanah 1	1,363
Tanah 2	1,352
Tanah 3	1,419
Rata-rata	1,378

Berdasarkan **Tabel 5.2** dan **Tabel 5.3**, diperoleh rata-rata nilai frekuensi natural tanah dengan analisis yang berbeda. Nilai rata - rata frekuensi digunakan sebagai nilai yang mewakili frekuensi natural tanah (Wahyuni, 2014). Analisis H/V menghasilkan rata-rata yakni 1,378 Hz. Nilai tersebut digunakan untuk mengisi keterangan frekuensi natural tanah. Sedangkan analisis spektrum, didapatkan rata-rata komponen N-S sebesar 2,520 Hz, E-W sebesar 2,710 Hz, dan Z sebesar 2,627 Hz. Nilai tersebut digunakan memperoleh rasio frekuensi natural bangunan dengan frekuensi natural tanah berdasarkan metode FSR untuk mengisi keterangan frekuensi natural bangunan. Kedua analisis tersebut digunakan untuk perhitungan indeks resonansi bangunan.

5.4 Analisis Nilai Frekuensi Natural Bangunan

Frekuensi natural adalah frekuensi di mana benda secara alami cenderung bergetar secara terus-menerus akibat dari faktor luar seperti kendaraan, angin yang mengganggu. Data mikrotremor pada bangunan diolah menggunakan analisis spektrum kemudian dihitung menggunakan metode FSR. Secara umum, komponen spektrum bangunan tidak ada di bawah 1 Hz. Metode FSR ditentukan dari analisis spektrum setiap lantai bangunan terhadap tanah dibawahnya (Gosar, 2010). Hasil frekuensi natural bangunan metode FSR digunakan untuk menghitung resonansi bangunan. Adapun contoh perhitungan analisis FSR pada titik LB-1.1 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 f_0 \text{ (FSR)} &= \frac{f_{0b} \text{ NS}}{f_{0t} \text{ NS}} \\
 &= \frac{2,679}{2,632} \\
 &= 1,018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_0 \text{ (FSR)} &= \frac{f_{0b} \text{ EW}}{f_{0t} \text{ EW}} \\
 &= \frac{2,735}{2,710} \\
 &= 1,009
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi nilai frekuensi natural bangunan dapat dilihat pada **Tabel 5.4** berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Nilai Frekuensi Natural Bangunan

No	Titik	Komponen NS			Komponen EW		
		f_{0b} (FFT) (Hz)	f_{0t} (FFT) (Hz)	f_0 (FSR)	f_{0b} (FFT) (Hz)	f_{0t} (FFT) (Hz)	f_0 (FSR)
LANTAI BASEMENT							
1	LB-1.1	2,679	2,632	1,018	2,735	2,710	1,009
2	LB-1.2	2,844	2,632	1,080	2,788	2,710	1,029
3	LB-1.3	2,814	2,632	1,069	2,735	2,710	1,009
4	LB-1.4	2,728	2,632	1,036	2,981	2,710	1,100
5	LB-1.5	2,754	2,632	1,046	2,849	2,710	1,051
Rata-Rata		2,763	-		2,818	-	
LANTAI 1							
6	L1-2.1	3,707	2,632	1,408	2,958	2,710	1,091
7	L1-2.2	3,179	2,632	1,208	2,977	2,710	1,098
8	L1-2.3	3,124	2,632	1,187	3,022	2,710	1,115
9	L1-2.4	3,330	2,632	1,265	2,895	2,710	1,068
10	L1-2.5	2,885	2,632	1,096	2,896	2,710	1,069
Rata-Rata		3,245	-		2,950	-	
LANTAI 2							
11	L2-3.1	3,006	2,632	1,142	2,977	2,710	1,099

Lanjutan Tabel 5.4 Rekapitulasi Nilai Frekuensi Natural Bangunan

No	Titik	Komponen NS			Komponen EW		
		f_{0b} (FFT) (Hz)	f_{0t} (FFT) (Hz)	f_0 (FSR)	f_{0b} (FFT) (Hz)	f_{0t} (FFT) (Hz)	f_0 (FSR)
12	L2-3.2	3,799	2,632	1,443	2,930	2,710	1,081
13	L2-3.3	3,594	2,632	1,365	3,181	2,710	1,174
14	L2-3.4	2,898	2,632	1,101	3,799	2,710	1,402
15	L2-3.5	2,914	2,632	1,107	3,053	2,710	1,126
Rata-Rata		3,242	-		3,188	-	
LANTAI 3							
16	L3-4.1	3,029	2,632	1,151	2,986	2,710	1,102
17	L3-4.2	3,809	2,632	1,447	2,993	2,710	1,104
18	L3-4.3	3,618	2,632	1,374	3,092	2,710	1,141
19	L3-4.4	3,740	2,632	1,421	2,966	2,710	1,095
20	L3-4.5	3,606	2,632	1,370	2,915	2,710	1,076
Rata-Rata		3,561	-		2,991	-	
LANTAI 4							
21	L4-5.1	3,164	2,632	1,202	2,974	2,710	1,097
22	L4-5.2	2,963	2,632	1,126	2,982	2,710	1,101
23	L4-5.3	3,125	2,632	1,187	2,898	2,710	1,070
24	L4-5.4	2,940	2,632	1,117	2,902	2,710	1,071
Rata-Rata		3,048	-		2,939	-	

Tabel 5.5 Klasifikasi Tingkat Resiko Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural

Lokasi	Komponen N-S		Komponen E-W		Kategori
	f_{0b} (FFT) (Hz)	f_{0t} (FFT) (Hz)	f_{0b} (FFT) (Hz)	f_{0t} (FFT) (Hz)	
Lab FTI UII	3,172	2,632	2,977	2,710	AMAN

Berdasarkan Sungkono (2011), penggunaan nilai frekuensi rata-rata dari seluruh lantai dapat dijadikan sebagai nilai yang menggambarkan frekuensi bangunan secara keseluruhan. Nilai rata-rata frekuensi natural bangunan yang diperoleh akan dibandingkan dengan nilai rata-rata frekuensi natural tanah untuk mengetahui bangunan tersebut aman atau tidaknya terhadap kerusakan.

Menurut Hariyadi (2009), tingkat risiko dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan hubungan antara frekuensi bangunan dengan frekuensi natural tanah yakni aman, rawan, dan bahaya. Bangunan dikatakan aman jika frekuensi naturalnya lebih tinggi dari frekuensi tanah, rawan jika frekuensi keduanya sama atau mendekati, dan bahaya jika frekuensi bangunan lebih rendah daripada frekuensi tanah yang dapat meningkatkan risiko kerusakan akibat resonansi gempa.

Berdasarkan perhitungan, rata-rata frekuensi natural bangunan komponen N-S adalah 3,172 Hz, sementara frekuensi natural tanah adalah 2,632 Hz. Untuk komponen E-W rata-rata frekuensi natural bangunan sebesar 2,977 Hz dan frekuensi natural tanah 2,710 Hz. Berdasarkan klasifikasi Hariyadi (2009), Gedung Laboratorium FTI UII tergolong aman.

5.5 Analisis Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Resonansi merupakan peristiwa ikut bergetarnya benda karena benda lain bergetar yang memiliki frekuensi sama atau hampir mendekati frekuensi natural benda tersebut. Hal ini berdampak pada semakin kecilnya indeks resonansi bangunan maka bangunan semakin rentan. Resonansi dihitung berdasarkan **Persamaan 3.3**. Adapun contoh perhitungan resonansi pada titik LB-1.1 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Komponen N-S

$$\begin{aligned} R &= \left| \frac{f_{ob(FSR)} - f_{ot(HVSR)}}{f_{ot(HVSR)}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1,018 - 1,378}{1,378} \right| \times 100\% \\ &= 26,151 \% \end{aligned}$$

2. Komponen E-W

$$R = \left| \frac{f_{ob(FSR)} - f_{ot(HVSR)}}{f_{ot(HVSR)}} \right| \times 100\%$$

$$\begin{aligned} &= \left| \frac{1,009 - 1,378}{1,378} \right| \times 100\% \\ &= 26,759\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, hasil rekapitulasi nilai indeks resonansi Gedung Laboratorium FTI Universitas Islam Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 5.6.**

Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Titik	Komponen N-S				Komponen E-W			
	f_{0b} (FSR) (Hz)	f_{0t} (HVSr) (Hz)	R (%)	Kategori	f_{0b} (FSR) (Hz)	f_{0t} (HVSr) (Hz)	R (%)	Kategori
LANTAI BASEMENT								
LB-1.1	1,018	1,378	26,151	Rendah	1,009	1,378	26,759	Rendah
LB-1.2	1,080	1,378	21,596	Sedang	1,029	1,378	25,332	Rendah
LB-1.3	1,069	1,378	22,419	Sedang	1,009	1,378	26,765	Rendah
LB-1.4	1,036	1,378	24,796	Sedang	1,100	1,378	20,181	Sedang
LB-1.5	1,046	1,378	24,081	Sedang	1,051	1,378	23,708	Sedang
LANTAI 1								
L1-2.1	1,41	1,38	2,191	Tinggi	1,09	1,38	20,794	Sedang
L1-2.2	1,21	1,38	12,359	Tinggi	1,10	1,38	20,285	Sedang
L1-2.3	1,19	1,38	13,874	Tinggi	1,12	1,38	19,077	Sedang
L1-2.4	1,27	1,38	8,178	Tinggi	1,07	1,38	22,475	Sedang
L1-2.5	1,10	1,38	20,472	Sedang	1,07	1,38	22,451	Sedang

Lanjutan Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Titik	Komponen N-S				Komponen E-W			
	f _{0b} (FSR) (Hz)	f _{0t} (HVSr) (Hz)	R (%)	Kategori	f _{0b} (FSR) (Hz)	f _{0t} (HVSr) (Hz)	R (%)	Kategori
LANTAI 2								
L2-3.1	1,14	1,38	17,112	Sedang	1,10	1,38	20,279	Sedang
L2-3.2	1,44	1,38	4,748	Tinggi	1,08	1,38	21,532	Sedang
L2-3.3	1,37	1,38	0,921	Tinggi	1,17	1,38	14,812	Tinggi
L2-3.4	1,10	1,38	20,093	Sedang	1,40	1,38	1,724	Tinggi
L2-3.5	1,11	1,38	19,646	Sedang	1,13	1,38	18,255	Sedang
LANTAI 3								
L3-4.1	1,15	1,38	16,481	Sedang	1,10	1,38	20,027	Sedang
L3-4.2	1,45	1,38	5,023	Tinggi	1,10	1,38	19,864	Sedang
L3-4.3	1,37	1,38	0,257	Tinggi	1,14	1,38	17,193	Sedang
L3-4.4	1,42	1,38	3,126	Tinggi	1,09	1,38	20,570	Sedang
L3-4.5	1,37	1,38	0,570	Tinggi	1,08	1,38	21,928	Sedang

Lanjutan Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Titik	Komponen N-S				Komponen E-W			
	f_{0b} (FSR) (Hz)	f_{0t} (HVSr) (Hz)	R (%)	Kategori	f_{0b} (FSR) (Hz)	f_{0t} (HVSr) (Hz)	R (%)	Kategori
LANTAI 4								
L4-5.1	1,20	1,38	12,759	Tinggi	1,10	1,38	20,365	Sedang
L4-5.2	1,13	1,38	18,302	Sedang	1,10	1,38	20,134	Sedang
L4-5.3	1,19	1,38	13,853	Tinggi	1,07	1,38	22,384	Sedang
L4-5.4	1,12	1,38	18,932	Sedang	1,07	1,38	22,279	Sedang

Tabel 5.7 Rekapitulasi Rata-Rata Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Lantai	Komponen N-S		Komponen E-W	
	R (%)	Kategori	R (%)	Kategori
<i>Basement</i>	23,808	Sedang	24,549	Sedang
1	11,415	Tinggi	21,016	Sedang
2	12,504	Tinggi	15,320	Sedang
3	5,091	Tinggi	19,916	Sedang
4	15,961	Sedang	21,291	Sedang

Ketika gelombang gempa merambat melalui tanah, frekuensi getarannya dapat mempengaruhi frekuensi natural tanah. Jika frekuensi getaran gempa hampir sama dengan frekuensi tanah, getaran tanah akan diperkuat, dan amplitudo getaran tersebut akan meningkat, memperburuk dampak pada bangunan. Selain itu, jika frekuensi natural bangunan mendekati atau hampir sama dengan frekuensi tanah, resonansi akan terjadi, di mana getaran pada tanah dan bangunan saling memperkuat, menyebabkan guncangan yang lebih besar pada bangunan sehingga dapat menyebabkan kerusakan dan kegagalan struktur. Oleh karena itu, indeks resonansi penting untuk memprediksi dan mencegah potensi kerusakan akibat resonansi pada bangunan yang terkena beban dinamis seperti gempa.

Menurut Gosar dkk (2010), tingkat resonansi diklasifikasikan menjadi tiga kategori yakni rendah berkisar $>25\%$, sedang berkisar $15\%-25\%$, dan tinggi $<15\%$. Jika nilai frekuensi bangunan mendekati nilai frekuensi natural tanah, maka getaran seismik akan membuat bangunan beresonansi. Semakin besar selisih antara frekuensi natural bangunan dan frekuensi natural tanah, maka nilai resonansi akan semakin berklasifikasi rendah. Tetapi jika nilai frekuensi natural bangunan semakin mendekati nilai frekuensi natural tanah, maka nilai resonansi akan semakin berklasifikasi tinggi. Sedangkan, resonansi klasifikasi sedang berarti selisih antara frekuensi natural bangunan dan frekuensi natural tanah tidak terlalu besar tetapi juga tidak terlalu kecil. Dengan kata lain, ada kemungkinan terjadi resonansi, tetapi efeknya tidak sekuat pada tingkat resonansi tinggi

Berdasarkan **Tabel 5.7**, indeks resonansi pada Gedung Laboratorium FTI UII dengan mempertimbangkan perolehan rata-rata pada setiap lantai untuk komponen N-S cenderung tergolong tinggi yang menunjukkan bahwa bangunan tersebut rentan terhadap gempa. Sementara itu, untuk komponen E-W indeks resonansi diklasifikasikan sedang.

5.6 Analisa Nilai Indeks Kerentanan Bangunan

Nilai indeks kerentanan bangunan menggambarkan seberapa rentan sebuah bangunan terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh gempa. Semakin tinggi nilai indeks kerentanan, maka bangunan mudah mengalami kerusakan dan sebaliknya nilai indeks rendah maka bangunan kuat. Nilai indeks kerentanan bangunan dihitung berdasarkan **Persamaan 3.4**. Adapun contoh perhitungan indeks kerentanan bangunan pada titik LB-1.1 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Komponen N-S

$$\begin{aligned} K_b &= \frac{A}{(2\pi f_{ob}(FFT))^2} \times \frac{10.000}{H} \\ &= \frac{0,550}{(2 \times \pi \times 0,679)^2} \times \frac{10.000}{3,96} \\ &= 4,903 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

2. Komponen E-W

$$\begin{aligned} K_b &= \frac{A}{(2\pi f_{ob}(FFT))^2} \times \frac{10.000}{H} \\ &= \frac{0,721}{(2 \times \pi \times 2,735)^2} \times \frac{10.000}{3,96} \\ &= 6,161 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, hasil rekapitulasi nilai indeks kerentanan bangunan di Gedung Laboratorium FTI Universitas Islam Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 5.8**.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Indeks Kerentanan Bangunan

No	Titik	Komponen N-S				Komponen E-W			
		f_{0b} (FFT) (Hz)	A	H (m)	Kb	f_{0b} (FFT) (Hz)	A	H (m)	Kb
LANTAI BASEMENT									
1	LB-1.1	2,679	0,550	3,96	4,903	2,735	0,721	3,96	6,161
2	LB-1.2	2,844	0,963	3,96	7,615	2,788	0,919	3,96	7,561
3	LB-1.3	2,814	0,822	3,96	6,641	2,735	0,816	3,96	6,978
4	LB-1.4	2,728	0,946	3,96	8,131	2,981	0,782	3,96	5,631
5	LB-1.5	2,754	0,936	3,96	7,899	2,849	0,798	3,96	6,291
LANTAI 1									
6	L1-2.1	3,707	1,421	7,92	3,309	2,958	4,548	7,92	16,626
7	L1-2.2	3,179	1,693	7,92	5,359	2,977	2,715	7,92	9,801
8	L1-2.3	3,124	1,841	7,92	6,033	3,022	2,084	7,92	7,297
9	L1-2.4	3,330	1,144	7,92	3,297	2,895	2,647	7,92	10,102
10	L1-2.5	2,885	3,313	7,92	12,734	2,896	2,615	7,92	9,974

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Indeks Kerentanan Bangunan

No	Titik	Komponen N-S				Komponen E-W			
		f _{0b} (FFT) (Hz)	A	H (m)	Kb	f _{0b} (FFT) (Hz)	A	H (m)	Kb
LANTAI 2									
11	L2-3.1	3,006	7,560	11,52	18,393	2,977	9,632	11,52	23,896
12	L2-3.2	3,799	2,753	11,52	4,194	2,930	4,837	11,52	12,387
13	L2-3.3	3,594	1,786	11,52	3,041	3,181	1,419	11,52	3,082
14	L2-3.4	2,898	4,528	11,52	11,852	3,799	2,659	11,52	4,051
15	L2-3.5	2,914	9,305	11,52	24,086	3,053	4,363	11,52	10,295
LANTAI 3									
16	L3-4.1	3,029	6,694	15,12	12,221	2,986	9,549	15,12	17,937
17	L3-4.2	3,809	3,660	15,12	4,225	2,993	5,499	15,12	10,287
18	L3-4.3	3,618	2,613	15,12	3,344	3,092	2,644	15,12	4,633
19	L3-4.4	3,740	3,752	15,12	4,492	2,966	4,024	15,12	7,663
20	L3-4.5	3,606	2,942	15,12	3,790	2,915	6,867	15,12	13,534

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Indeks Kerentanan Bangunan

No	Titik	Komponen N-S				Komponen E-W			
		f _{0b} (FFT) (Hz)	A	H (m)	Kb	f _{0b} (FFT) (Hz)	A	H (m)	Kb
LANTAI 4									
21	L4-5.1	3,164	5,684	18,72	7,682	2,974	13,788	18,72	21,095
22	L4-5.2	2,963	10,932	18,72	16,847	2,982	9,787	18,72	14,889
23	L4-5.3	3,125	4,838	18,72	6,705	2,898	11,329	18,72	18,247
24	L4-5.4	2,940	7,204	18,72	11,274	2,902	11,025	18,72	17,710

Tabel 5.9 Rekapitulasi Rata-Rata Indeks Kerentanan Bangunan

Lantai	Komponen N-S			Komponen E-W		
	Kb (m/s ²)	Syarat Aman	Kategori	Kb (m/s ²)	Syarat Aman	Kategori
<i>Basement</i>	7,038	<100	Aman	6,525	<100	Aman
1	6,146	<100	Aman	10,760	<100	Aman
2	12,313	<100	Aman	10,742	<100	Aman
3	5,615	<100	Aman	10,811	<100	Aman
4	10,627	<100	Aman	17,985	<100	Aman

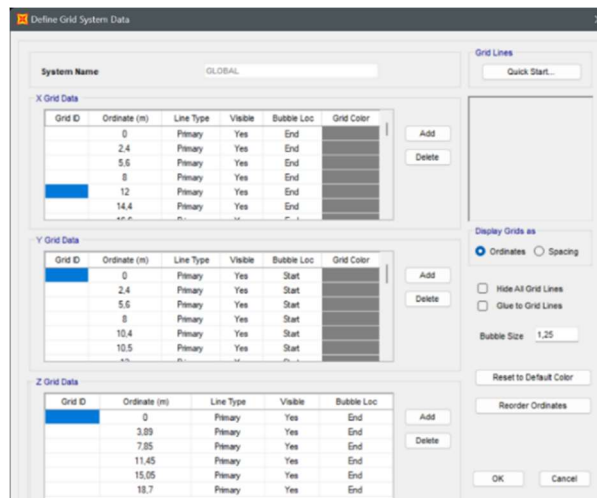
Berdasarkan **Tabel 5.9**, klasifikasi tingkat kerentanan secara keseluruhan gedung dilihat dari rata-rata tingkat kerentanannya pada setiap lantai. Umumnya, perkiraan mengalami runtuh pada kerentanan di atas 100 m/s^2 - 200 m/s^2 . Sehingga nilai indeks dibawah 100 m/s^2 bangunan aman terhadap kerusakan (Hadianfard, 2017). Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa Gedung Laboratorium FTI UII aman berdasarkan nilai indeks kerentanannya.

5.7 Analisis Frekuensi Natural Bangunan *SAP2000*

5.7.1 Pemodelan Struktur

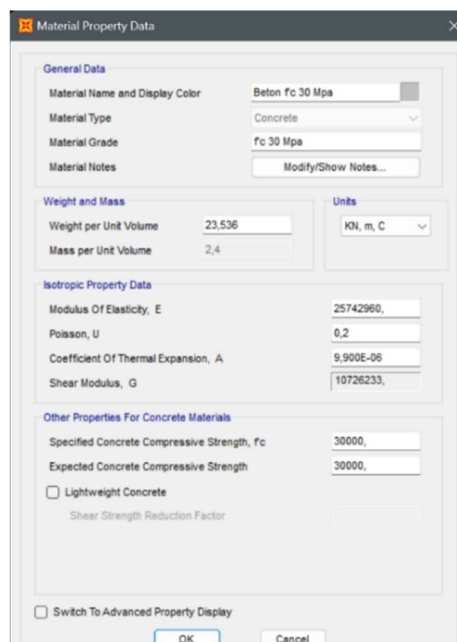
Pemodelan yang dilakukan melibatkan berbagai elemen seperti balok, kolom, pelat, tangga, dinding, dan shear wall sesuai dengan *asbuilt drawing*. Balok dan kolom dimodelkan menggunakan *frame element*, sedangkan pelat, tangga, dinding, dan shear wall dimodelkan sebagai *shell element*. Untuk dinding partisi yang terbuat dari bahan ringan dimodelkan sebagai rangka tanpa dinding pengisi dan partisi dengan dinding yang kuat (beton bertulang) dimodelkan dinding pengisi. Hasil yang didapatkan dari dinding pengisi lebih akurat dengan data getaran (Ranaweera dan Ornthammarath, 2021). Berikut langkah-langkah dalam pemodelan struktur dengan bantuan *SAP2000*.

1. Buka aplikasi *SAP2000*, pilih *new model*. Ubah satuan menjadi kN, m, c dan pilih template *Grid Only*. Sesuaikan grid dengan gambar struktur.



Gambar 5.16 Tampilan Modifikasi Grid

2. Tentukan material meliputi beton mutu 30 Mpa, baja tulangan BjTP 280 Mpa, BjTS420A, dan bata ringan mutu 20 Mpa dengan pilih *Materials*.



Gambar 5.17 Material Property Beton Mutu 30 Mpa

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Tulangan pokok

Material Type: Rebar

Material Grade: Fy 420 MPa

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76,9622

Mass per Unit Volume: 7,85

Units: KN, m, C

Uniaxial Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 2,000E+08

Poisson, U: 0,3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G:

Other Properties For Rebar Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 420000

Minimum Tensile Stress, Fu: 545000

Expected Yield Stress, Fye: 420000

Expected Tensile Stress, Fue: 545000

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Gambar 5.18 Material Property Baja Tulangan Pokok

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Tulangan senggang

Material Type: Rebar

Material Grade: Fy 200 Mpa

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76,9622

Mass per Unit Volume: 7,85

Units: KN, m, C

Uniaxial Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 2,000E+08

Poisson, U: 0,3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G:

Other Properties For Rebar Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 200000

Minimum Tensile Stress, Fu: 350000

Expected Yield Stress, Fye: 200000

Expected Tensile Stress, Fue: 350000

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Gambar 5.19 Material Property Baja Tulangan Senggang

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Dinding ringan

Material Type: Concrete

Material Grade: Fc 3000 psi Lightweight

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2,4517

Mass per Unit Volume: 0,25

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 30000000

Poisson, U: 0,2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 0,900E-06

Shear Modulus, G: 1250000

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, Fc: 20684,274

Expected Concrete Compressive Strength: 20684,274

Lightweight Concrete

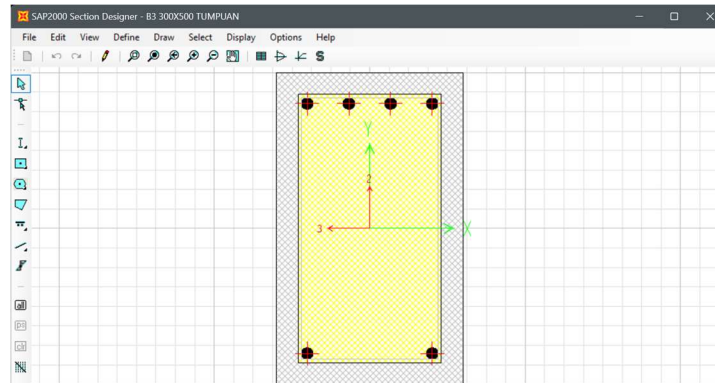
Shear Strength Reduction Factor: 0,85

Switch To Advanced Property Display

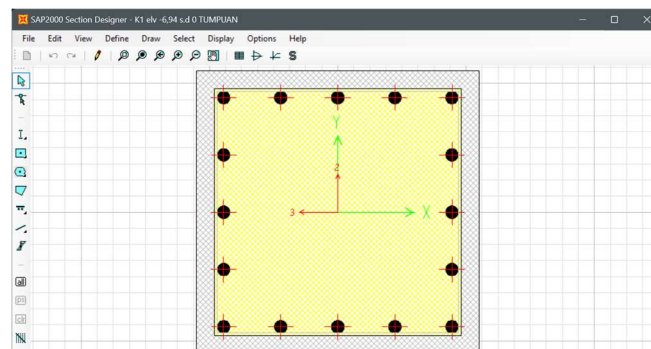
OK Cancel

Gambar 5.20 Material Property Dinding Pengisi

3. Rencanakan *Frame Section* dengan klik *Section Designer*. Sesuaikan ukuran dimensi dan tulangan dengan gambar struktur untuk balok dan kolom.

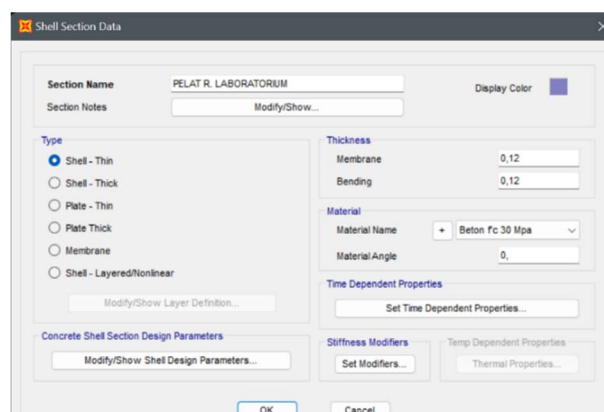


Gambar 5.21 Desain B3 Tumpuan

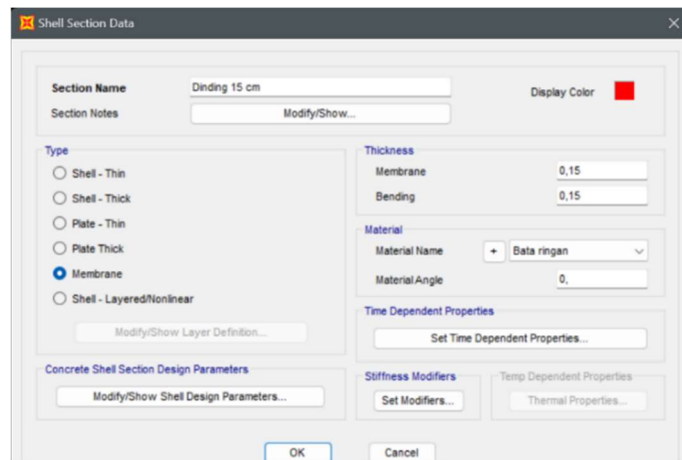


Gambar 5.22 Desain K1 Tumpuan

4. Modelkan pelat, dinding, tangga dan *shear wall* dengan *Area Sections* type *Shell*. Lakukan pemodelan semua elemen sesuai dengan denah. Meletakkan tumpuan jepit diujung kolom.

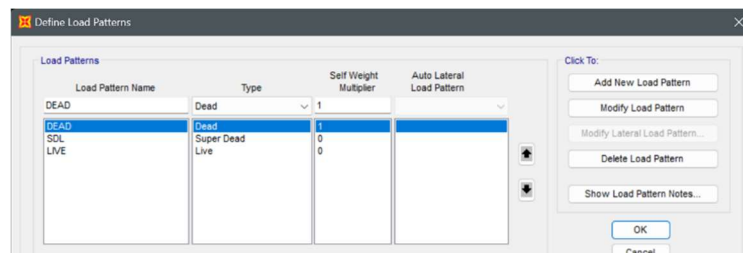


Gambar 5.23 Desain Pelat Lantai



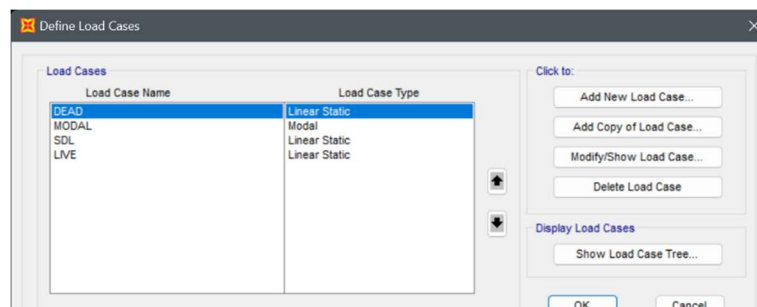
Gambar 5.24 Desain Dinding

5. Definiskan jenis-jenis beban meliputi beban mati tambahan, beban hidup, beban gempa yang akan diterapkan pada struktur dengan *Load Patterns*. *SAP2000* akan menghitung berat sendiri struktur dan untuk *selfweight multiplier* = 0 berat sendiri struktur tidak akan dihitung oleh program.



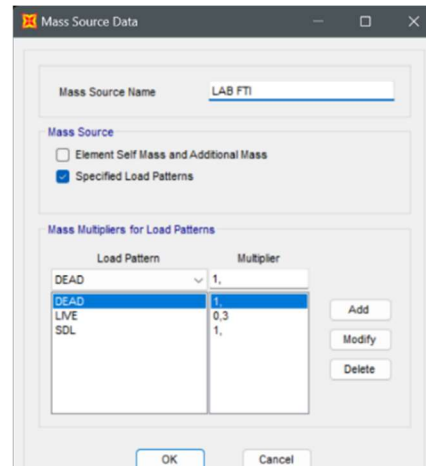
Gambar 5.25 Pengaturan Load Patterns Beban

6. Membuat kombinasi beban pada *Load Cases*. Input beban mati tambahan dan beban hidup sesuai dengan fungsi ruang.



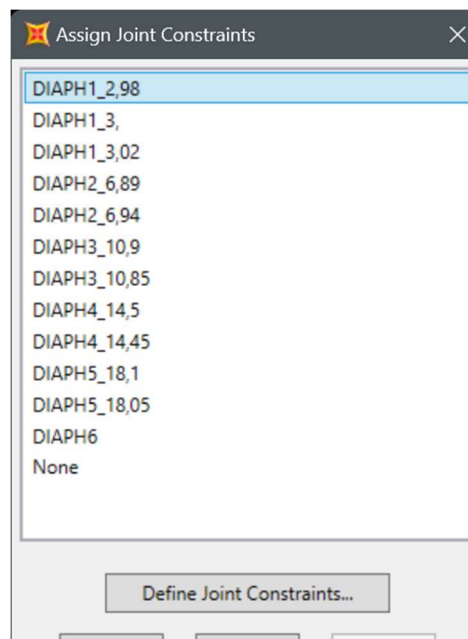
Gambar 5.26 Pengaturan Load Cases Beban

7. Mendefinisikan sumber massa yang akan digunakan dengan *Mass Source*.



Gambar 5.27 Pengaturan Massa Struktur

8. Mendefinisikan *diaphragm* dengan *constraints* pada setiap lantai.



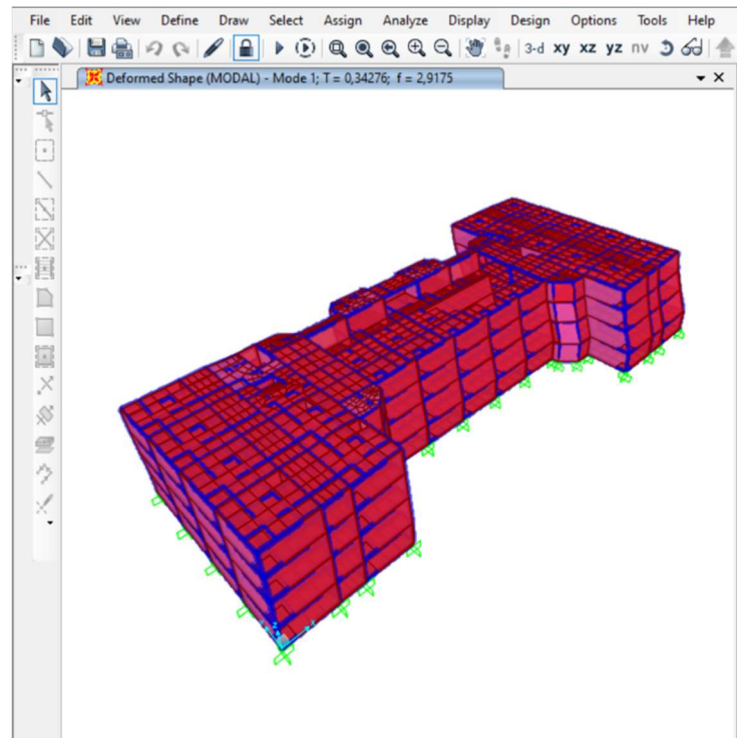
Gambar 5.28 Pengaturan *Diaphragm*

9. Lakukan *running* untuk mendapatkan nilai periode dan frekuensi.

5.7.2 Hasil Analisis SAP2000

Setelah pemodelan struktur selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan *running* model untuk mendapatkan hasil analisis berupa nilai periode

dan frekuensi. Berikut ini disajikan gambar pemodelan struktur dalam tiga dimensi beserta hasil analisis yang diperoleh.



Gambar 5.29 Pemodelan Struktur Gedung Laboratorium FTI Universitas Islam Indonesia

Tabel 5.10 Rekapitulasi Periode dan Frekuensi Hasil SAP2000

TABLE: Modal Periods And Frequencies				
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	Mode	1	0,343	2,918
MODAL	Mode	2	0,308	3,250
MODAL	Mode	3	0,274	3,644
MODAL	Mode	4	0,236	4,246
MODAL	Mode	5	0,235	4,251
MODAL	Mode	6	0,235	4,257
MODAL	Mode	7	0,234	4,280

Lanjutan Tabel 5.14 Rekapitulasi Periode dan Frekuensi Hasil *SAP2000*

TABLE: Modal Periods And Frequencies				
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	Mode	8	0,234	4,281
MODAL	Mode	9	0,233	4,285
MODAL	Mode	10	0,233	4,293
MODAL	Mode	11	0,233	4,298
MODAL	Mode	12	0,233	4,298

Nilai periode dan frekuensi diambil dari mode 1 yang digunakan sebagai acuan. Hasil analisis *SAP2000* menunjukkan bahwa nilai periode yang didapatkan sebesar 0,343 detik dan frekuensi sebesar 2,918 Hz.

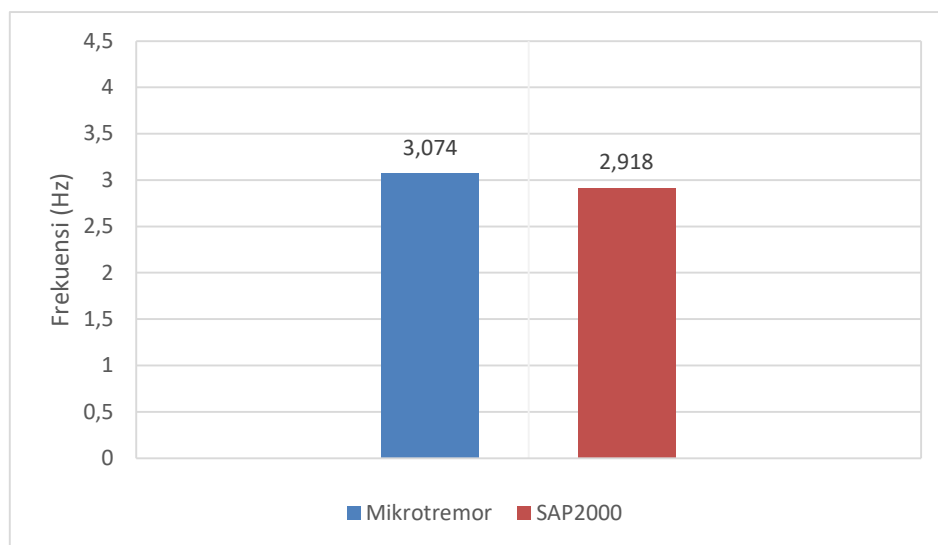
5.8 Perbandingan Frekuensi Mikrotremor dengan *SAP2000*

Frekuensi mikrotremor didapatkan dari pengukuran lapangan yang menggunakan dua komponen yakni komponen N-S dan E-W yang dirata-rata untuk mendapatkan nilai frekuensi keseluruhan yang mewakili satu gedung. Sedangkan, nilai frekuensi *SAP2000* biasanya digunakan untuk memprediksi bagaimana struktur akan merespons beban dinamis.

Output dari sub bab ini adalah untuk mengetahui kevalidan antara data mikrotremor dengan hasil *SAP2000*, khususnya pada parameter frekuensi natural bangunan. Dalam hal ini, untuk memvalidasi hasil yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor, dilakukan analisis menggunakan *SAP2000*. Menurut Khadka (2018), untuk validasi hasil yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor, dilakukan analisis menggunakan *SAP2000*. Jika hasil yang diperoleh dari semua metode ini hampir sama, maka hasil dapat dikatakan telah tervalidasi. Dengan demikian, jika hasil yang diperoleh dari kedua metode ini konsisten, maka dapat dipastikan bahwa analisis dan data dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan lebih lanjut. Berikut ini disajikan tabel dan grafik yang memperlihatkan perbandingan antara hasil frekuensi yang diperoleh dari alat mikrotremor dan *SAP2000*.

Tabel 5.11 Perbandingan Hasil Frekuensi Alat Mikrotremor dan *SAP2000*

Frekuensi Mikrotremor		Rata-Rata Frekuensi (Hz)	Frekuensi <i>SAP2000</i> (Hz)	Selisih (%)
Komponen N-S (Hz)	Komponen E-W (Hz)			
3,172	2,977	3,074	2,918	5,07



Gambar 5.30 Grafik Perbandingan Frekuensi Mikrotremor dan *SAP2000*

Berdasarkan **Gambar 5.31**, selisih antara data yang diperoleh dari mikrotremor dan *SAP2000* sebesar 5,07%. Nilai ini dianggap cukup akurat. Namun, perbedaan kecil yang ada dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang perlu diperhatikan lebih lanjut seperti perbedaan metode perhitungan, kesalahan operasional, dan kesalahan kalibrasi alat yang kurang baik.

5.9 Implementasi Penelitian Dalam Bidang Teknik Sipil

Penelitian ini dapat diterapkan dalam bidang teknik sipil, khususnya dalam evaluasi kerentanan bangunan akibat gempa bumi. Salah satunya dengan melakukan pemodelan ulang bangunan menggunakan *SAP2000* dengan mempertimbangkan efek penurunan kekakuan akibat getaran gempa.

Bangunan yang telah mengalami getaran gempa dalam jangka waktu tertentu cenderung mengalami penurunan kekuatan, baik pada elemen struktural maupun

non-struktural seperti retak pada elemen kolom dan balok. Oleh karena itu, untuk mengevaluasi tingkat kerentanan bangunan yang telah terdampak gempa, dapat dilakukan pemodelan ulang dengan mengurangi nilai momen inersia elemen struktural mengacu pada **Tabel 5.12** sesuai SNI 2847-2019. Pengurangan ini bertujuan untuk merepresentasikan penurunan kekakuan struktur yang berpengaruh terhadap perubahan frekuensi alami dan periode bangunan. Dengan langkah ini, dapat dievaluasi sejauh mana struktur mengalami penurunan kekuatan akibat gempa dan apakah bangunan masih memenuhi standar keamanan. Didapatkan hasil frekuensi yang terdampak dapat dilihat pada **Tabel 5.13**.

Tabel 5.12 Momen Inersia dan Luas Penampang yang Diizinkan

Bagian dan kondisi		Momen Inersia	Luas Penampang
Kolom		0,70 I_g	1,0 A_g
Dinding	Retak	0,70 I_g	
	Tidak Retak	0,35 I_g	
Balok		0,35 I_g	
Pelat datar		0,25 I_g	

Tabel 5.13 Klasifikasi Tingkat Resiko Pada Bangunan yang Mengalami Penurunan Kekuatan

Lokasi	Komponen N-S			Komponen E-W			Kategori
	f_{0b}	f_{0b}	f_{0t}	f_{0b}	f_{0b}	f_{0t}	
	(mikro) (Hz)	(SAP2000) (Hz)	(mikro) (Hz)	(mikro) (Hz)	(SAP2000) (Hz)	(mikro) (Hz)	
Lab FTI UII	3,172	2,918	2,632	2,977	3,644	2,710	AMAN

Berdasarkan **Tabel 5.13**, bangunan Lab FTI UII yang terdampak dengan getaran gempa tergolong kategori aman. Nilai frekuensi pada komponen N-S mengalami penurunan dari 3,172 Hz menjadi 2,918 Hz. Hal ini disebabkan kemungkinan adanya retak elemen struktural yang berdampak pada penurunan kekuatan. Nilai frekuensi perolehan SAP2000 mendekati nilai frekuensi natural tanah tetapi masih dalam kategori aman. Komponen E-W mengalami kenaikan frekuensi bangunan dari 2,977 Hz ke 3,644 Hz. Hal ini disebabkan getaran gempa dominan ke arah N-S.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data mikrotremor untuk menentukan kerentanan Gedung Laboratorium FTI Universitas Islam Indonesia dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Evaluasi kerentanan Gedung dilakukan berdasarkan 3 parameter yakni frekuensi natural bangunan, indeks resonansi bangunan, dan indeks kerentanan bangunan dengan hasil sebagai berikut.
 - a. Nilai frekuensi natural bangunan komponen N-S dan E-W secara berurutan sebesar 3,172 Hz dan 2,977 Hz. Sedangkan tanah masing-masing sebesar 2,632 Hz dan 2,710 Hz. Karena frekuensi natural bangunan lebih besar dari frekuensi natural tanah, gedung dapat dikategorikan aman.
 - b. Nilai indeks resonansi pada lantai basement sebesar 23,808% (N-S) dan 24,549% (E-W), lantai 1 nilai resonansi masing-masing sebesar 11,415% (N-S) dan 21,016% (E-W), lantai 2 sebesar 12,504% (N-S) dan 15,320% (E-W), lantai 3 memiliki nilai 5,091% (N-S) dan 19,916% (E-W), sementara lantai 4 menunjukkan nilai 15,961% (N-S) dan 21,291% (E-W). Berdasarkan hasil dikategorikan komponen N-S tinggi dan komponen E-W sedang.
 - c. Nilai indeks kerentanan pada lantai basement diperoleh 9,253 m/s² (N-S) dan 8,670 m/s² (E-W), lantai 1 sebesar 7,014 m/s² (N-S) dan 12,279 m/s² (E-W), lantai 3 sebesar 5,855 m/s² (N-S) dan 11,273 m/s² (E-W), serta lantai 4 sebesar 10,991 m/s² (N-S) dan 18,601 m/s² (E-W). Berdasarkan hasil ini, gedung Laboratorium FTI UII dapat dikategorikan aman.
2. Hasil analisis frekuensi natural bangunan dengan mikrotremor menunjukkan nilai 3,074 Hz, sedangkan hasil dari SAP2000 adalah 2,918 Hz. Selisih antara keduanya adalah 5,07%.

6.2 Saran

Setelah seluruh rangkaian penelitian selesai, terdapat beberapa saran yang dapat penulis sampaikan untuk pengembangan penelitian di masa mendatang.

1. Penelitian diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mempertimbangkan kondisi geologi lokal untuk memberikan gambaran lebih lengkap mengenai kerentanan terhadap gempa.
2. Disarankan pada penelitian selanjutnya agar pemodelan dikembangkan dengan memasukkan dinding pengisi sebagai elemen struktural yang dimodelkan menggunakan pendekatan strut diagonal.

DAFTAR PUSTAKA

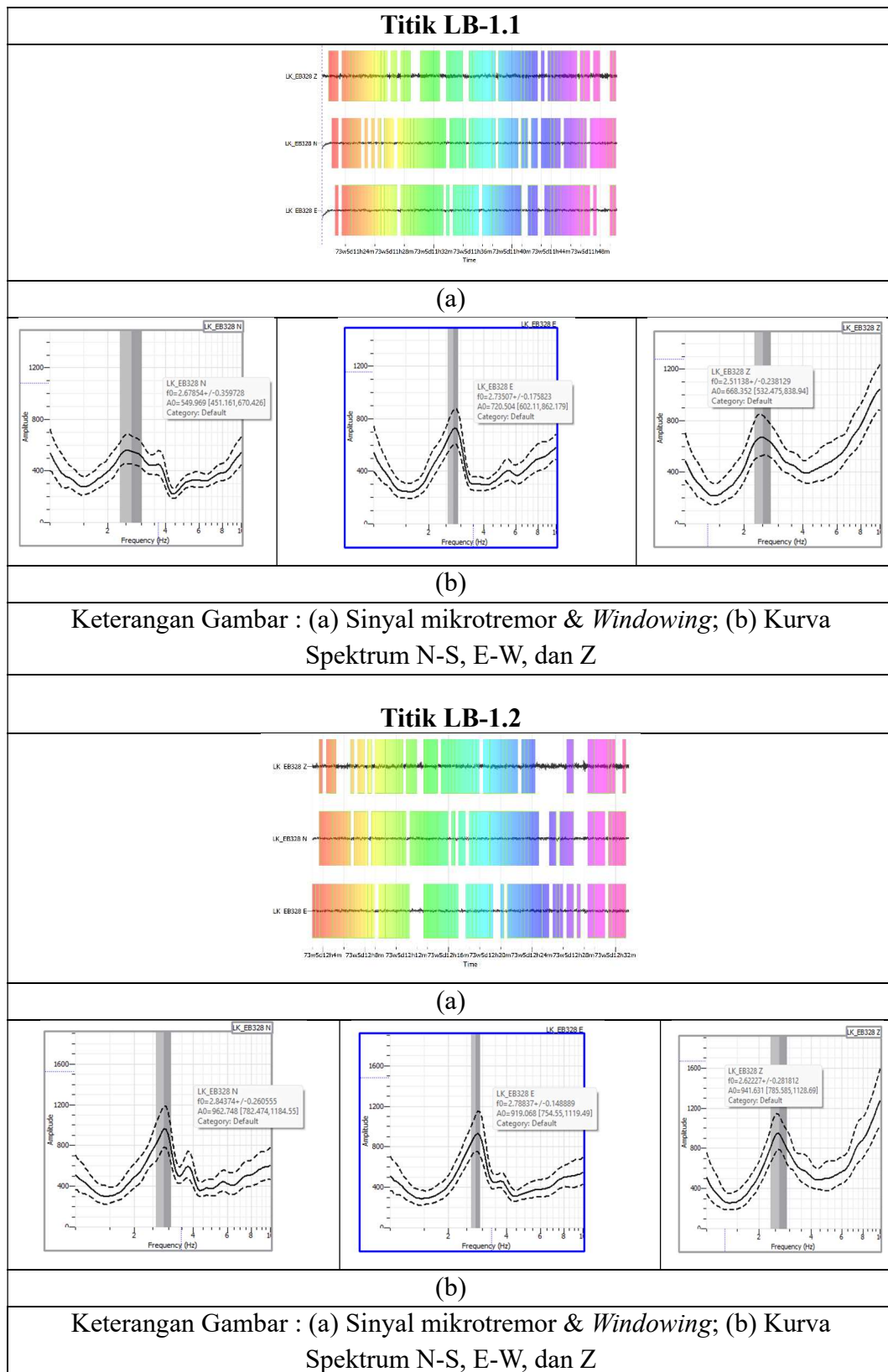
- Darastasari, P. (2018). Resonansi Bangunan Dengan Analisis Mikrotremor di Dusun Patuk Kabupaten Gunung Kidul. *Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Gosar, A. (2010). Site effects and soil-structure resonance study in the Kobarid basin (NWSlovenia) using microtremors. *Natural Hazards and Earth System 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 Konfigurasi Bangunan Pada Rumah Hunian Pasca Gempa Di Bantul Yogyakarta Menggunakan Alat Accelerometer GPL-6A3P. *Program Studi Teknik Arsitektur Jurusan Teknik Arsitektur dan Perencanaan, Yogyakarta*.
- Herak, M. (2011). Overview of recent ambient noise measurements in Croatia in free-field and in buildings. *Geofizika*, 21-40.
- Ilham. (2023). Vulnerability Analysis of Rectorate Building of UIN Mataram against Earthquakes Based on Microtremor Data . *Berkala Sainstek*, 1-11.
- 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., Farid, F., & Juventa. (2022). Uji Kerentanan Bangunan Rusunawa Berdasarkan HVSR (Horizontal to Spectral Ratio) dan FSR (Floor Spectral Ratio). *Jurnal Geosaintek*, 151-160.
- Nakamura, Y., Gurler, E. D., Saita, J., Rovelli, A., & Donati, S. (2000). Vulnerability Investigation of Roman Colosseum Using Microtremor. *Proceedings of 12th WCEE, New Zealand*.
- Partono, W., Irsyam, M., & Maarif, S. (2013). Aplikasi Metode HVSR pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang. *Jurnal Ilmu dan Terapan Bidang Teknik Sipil*, 125-134.

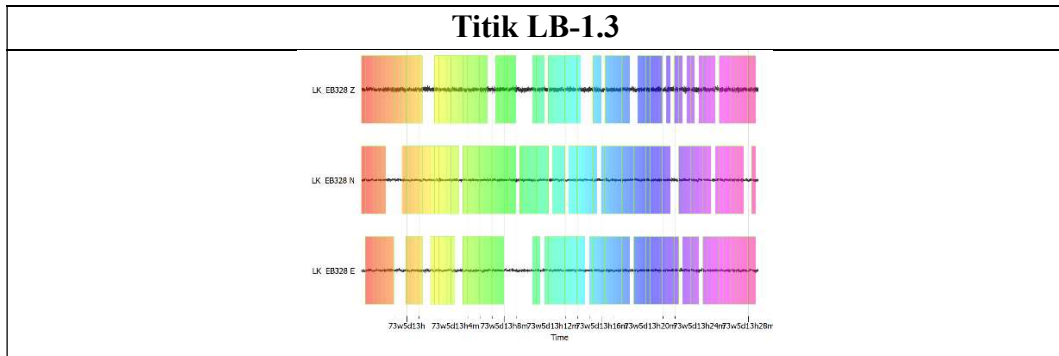
- Prabowo, U. N., Budhi, W., & Amalia, A. F. (2020). Analisis Mikrotremor Untuk Mengevaluasi Kerentanan Gempabumi Ruang Prodi Pend Fisika UST. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 10-16.
- Prakosa, P. T., Ibad, M. I., Kafi, M. S., Burhanudin, M. A., & Rahmania, A. (2015). Earthquake Microzonation and Strength Building Evaluation at Gelora Bung Tomo Stadium Surabaya Using Micro-Tremor Method . *Atlantis Press*, 14-20.
- Prastowo, R., & Prabowo, U. N. (2017). Evaluasi Kerentanan Gedung Rektorat STTNAS Terhadap Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Mikrotremor. *Jurnal Angkasa*, 83-92.
- Ranaweera, J. K., & Ornthammarath, T. (2021). Estimating fundamental periods for Thai buildings using ambient vibration data with HVSR Technique. *KKU International Engineering Conference 2021 (KKU-IENC2021)*, 1-15.
- Sato, T., Nakamura, Y., & Saita, J. (2008). The Change Of The Dynamic Characteristics Using Mikrotremor. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering* .
- Setia, T. N., Afifuddin, M., & Idris, Y. (2019). Identifikasi Frekuensi Natural dan Damping Ratio Dengan Menggunakan Mikrotremor Pada Gedung Evakuasi Bencana Desa Ulee Lheue dan Desa Alue Deah Teungoh. *Journal of The Civil Engineering Student*, 162-168.
- Setiawan, A., Doloksaribu, B., & Doloksaribu, A. (2023). Analisis Frekuensi Struktur Menara Masjid Raya Al-Aqsa Kabupaten Merauke. *Musamus Journal of Civil Engineering*, 61-66.
- Shohaya, J. N., Chasanah, U., P, L. W., & Madlazim. (2013). Survey dan Analisis Seismisitas Wilayah Jawa Timur Berdasarkan Data Gempa Bumi Periode 1999-2013 Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 18-27.
- Sungkono, Warnana, D. D., Triwulan, & Utama, W. (2011). Evaluation of Buildings Strength from Mikrotremor Analyses. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, 108-114.

- Sungkowo, A. (2016). Studi Kerentanan Seismik dan Karakteristik Dinamik Tanah di Kota Yogyakarta dari Data Mikrotremor. *Universitas Islam Indonesia*.
- Syihabuddin, A. A. (2020). Analisis Kerentanan Bangunan Berdasarkan Data Mikrotremor Studi Kasus : PT Solusi Bangun Indonesia Tuban Plant. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Wahyuni, A. (2014). Pengukuran Frekuensi Natural Pada Gedung Bertingkat Menggunakan Accelerometer GPL-6A3P. *Jurusan Fisika UIN Alauddin Makassar*, 12-17.
- Yuniarto, A. H., & Kiswanto, H. (2021). Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi pada Gedung Perkuliahan ITS NU Pekalongan. *Wahana Fisika*, 151-159.

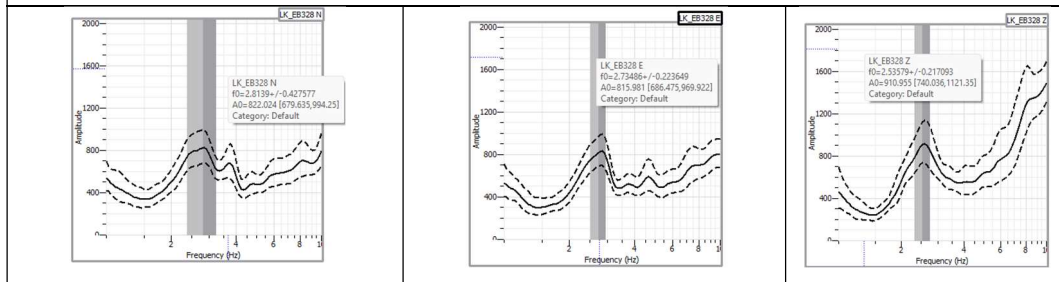
LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Kurva Hasil Pengolahan Data Mikrotremor



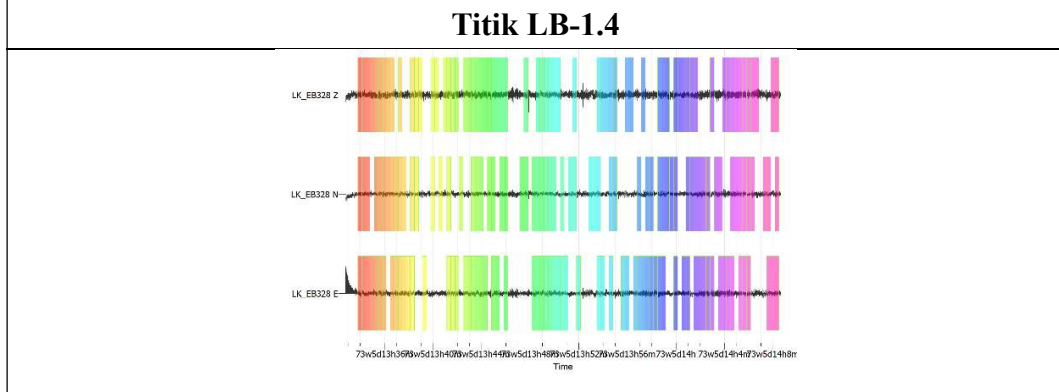


(a)

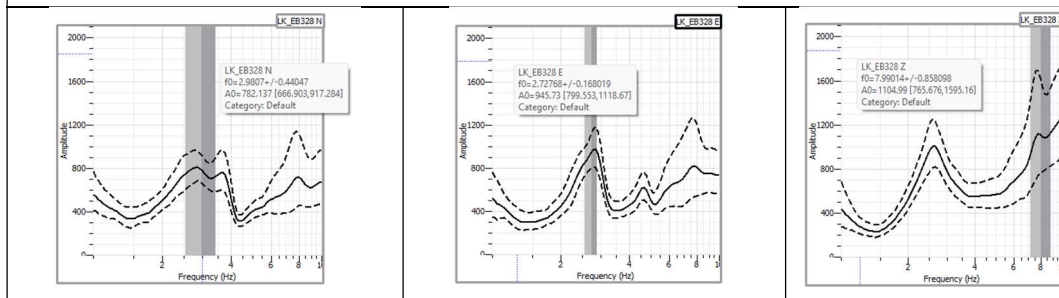


(b)

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

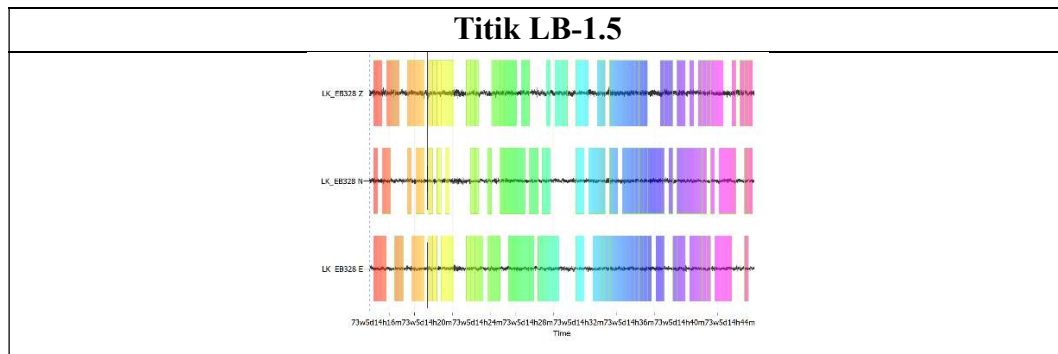


(a)

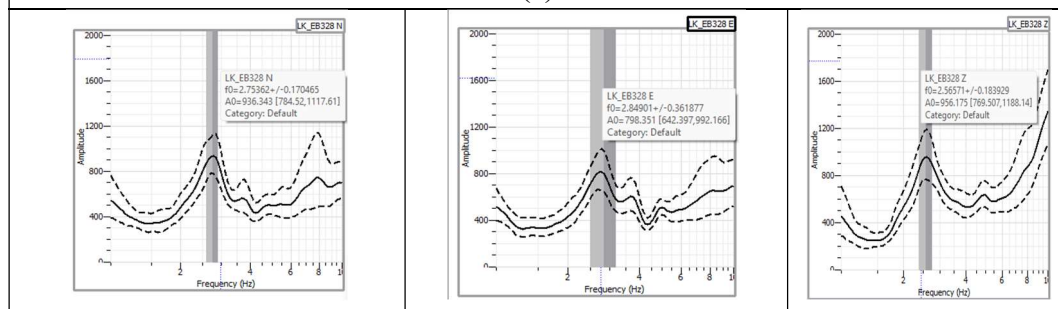


(b)

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

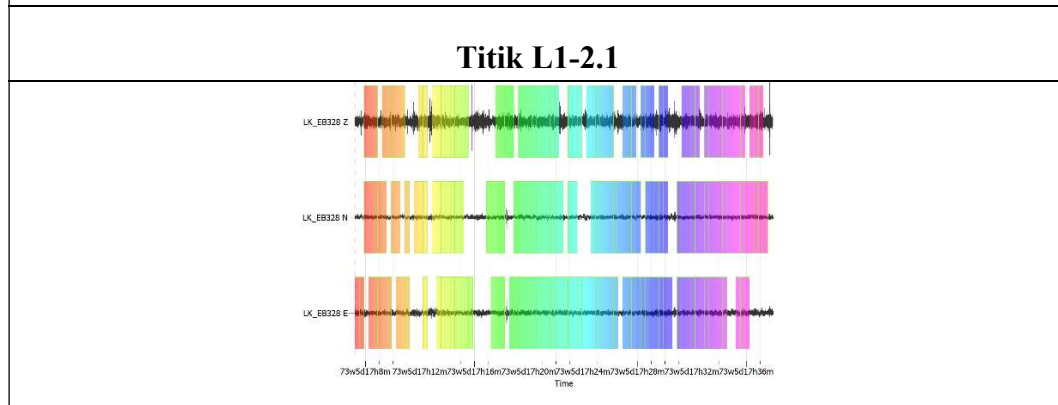


(a)

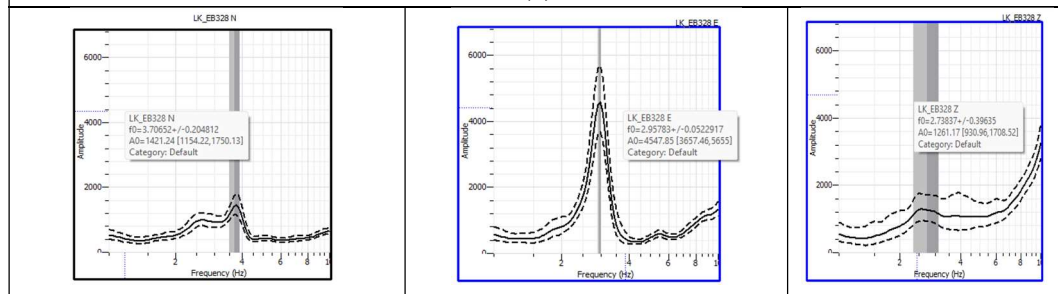


(b)

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

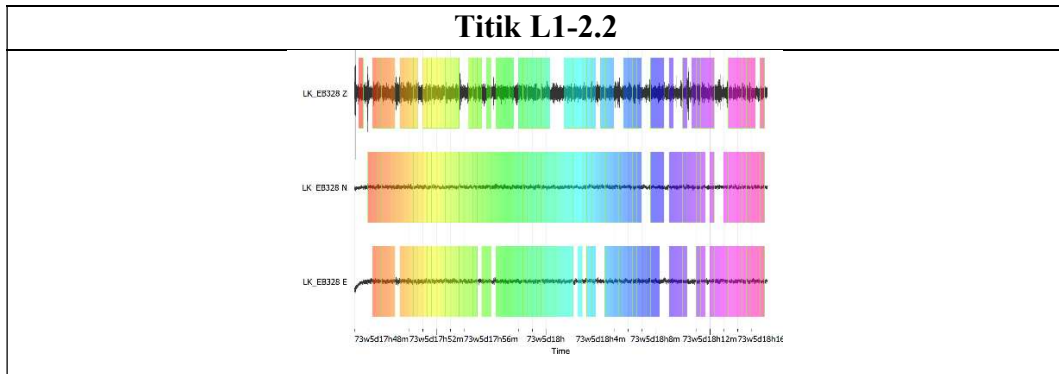


(a)

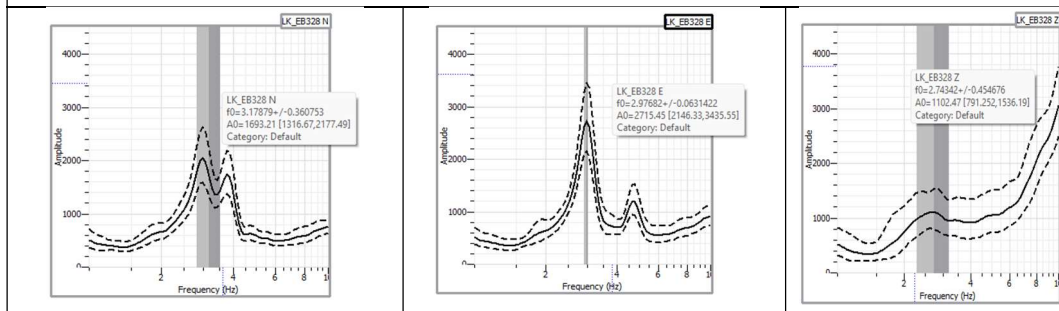


(b)

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

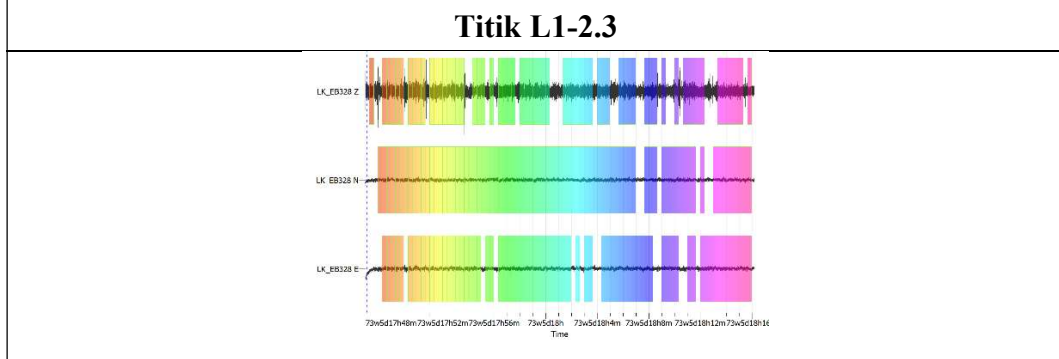


(a)

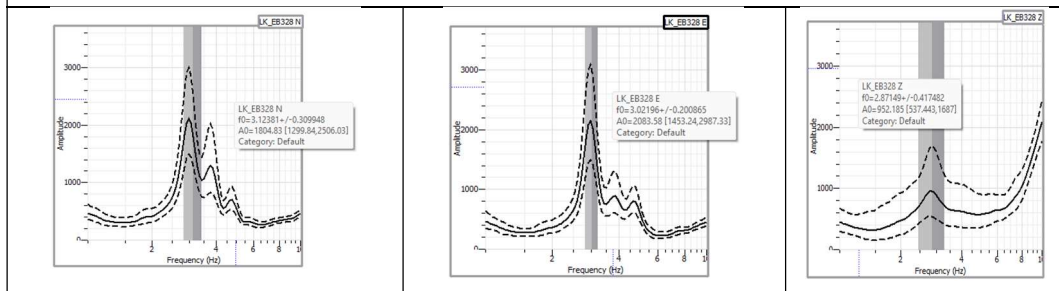


(b)

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



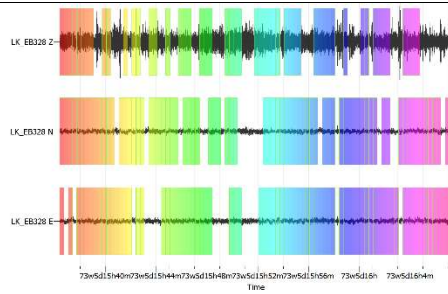
(a)



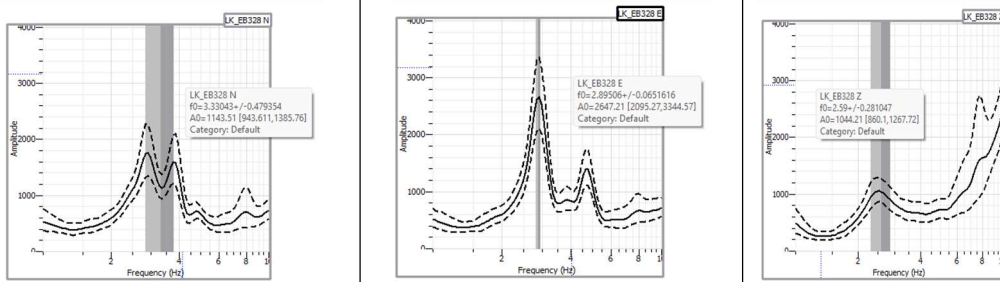
(b)

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

Titik L1-2.4



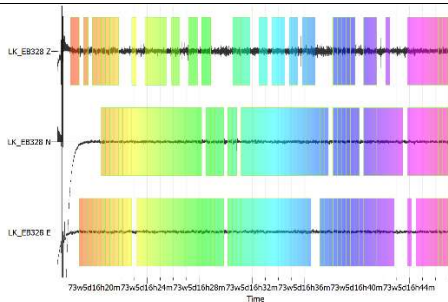
(a)



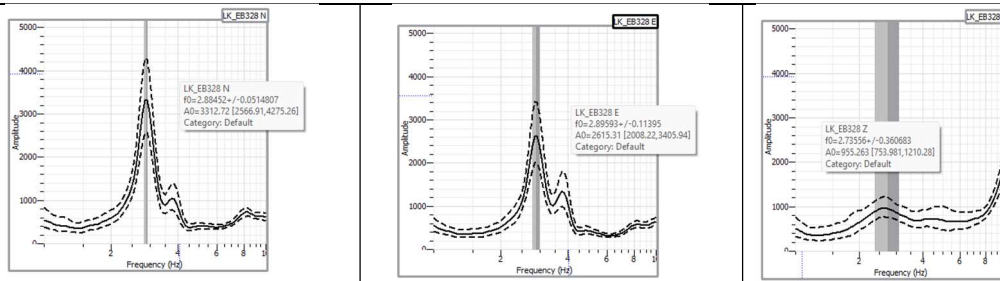
(b)

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

Titik L1-2.5



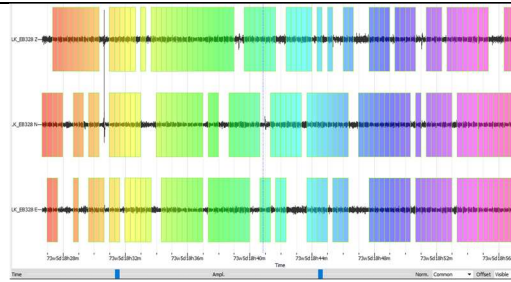
(a)



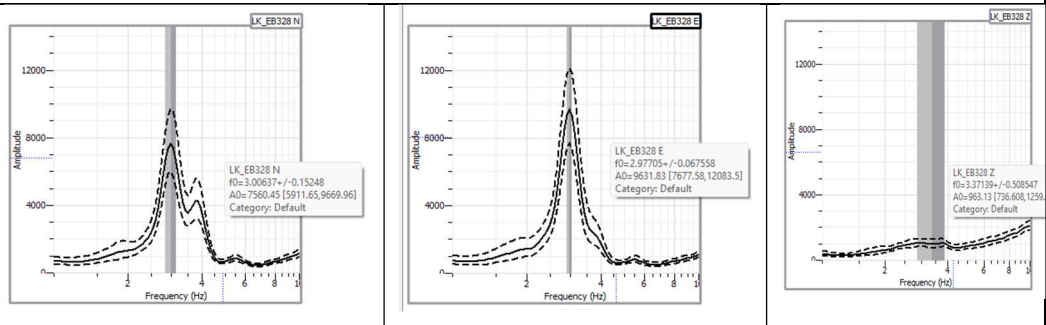
(b)

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

Titik L2-3.1



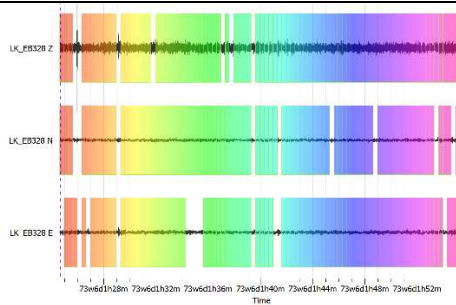
(a)



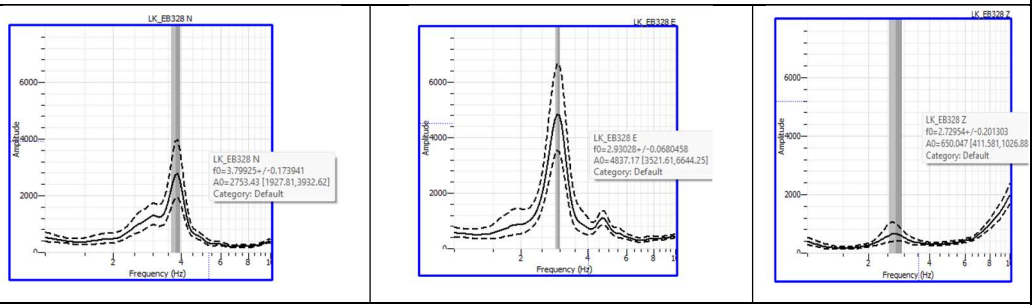
(b)

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

Titik L2-3.2

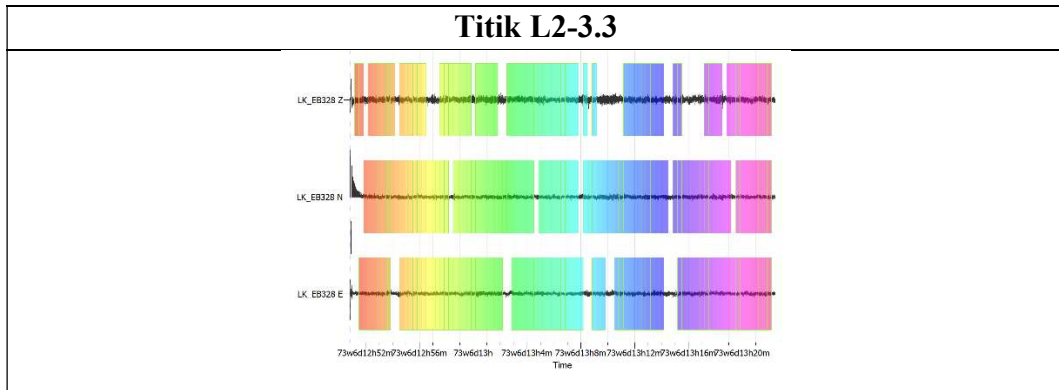


(a)

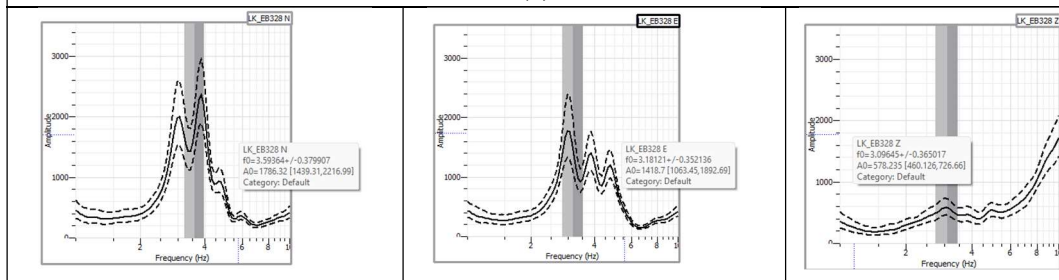


(b)

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

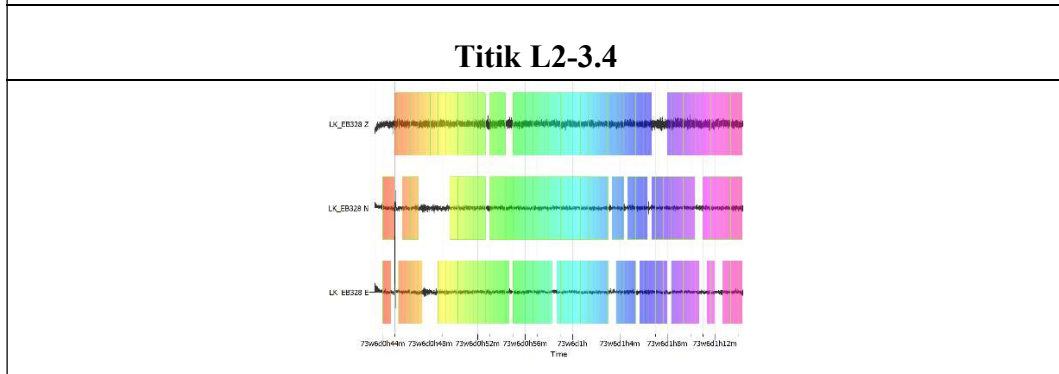


(a)

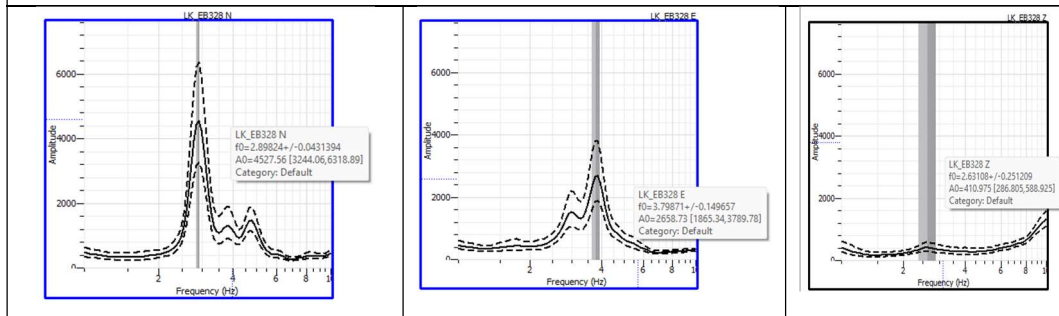


(b)

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



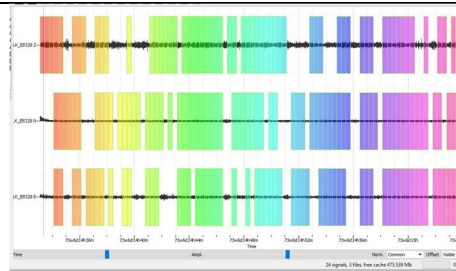
(a)



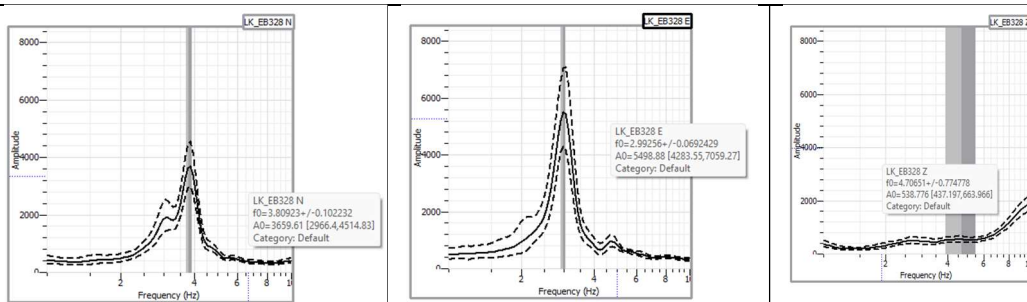
(b)

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

Titik L3-4.2



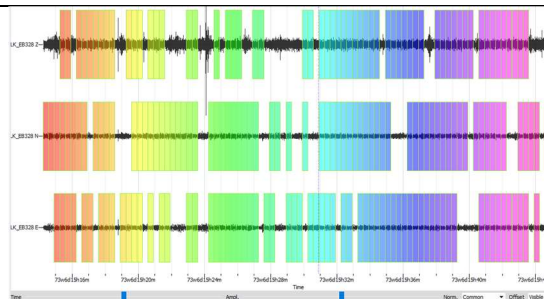
(a)



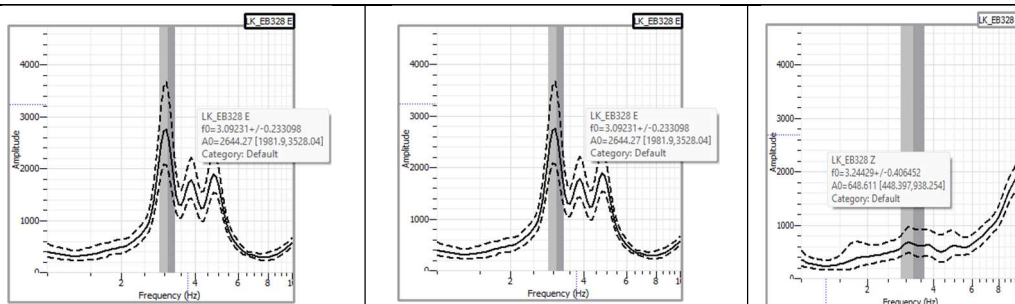
(b)

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

Titik L3-4.3

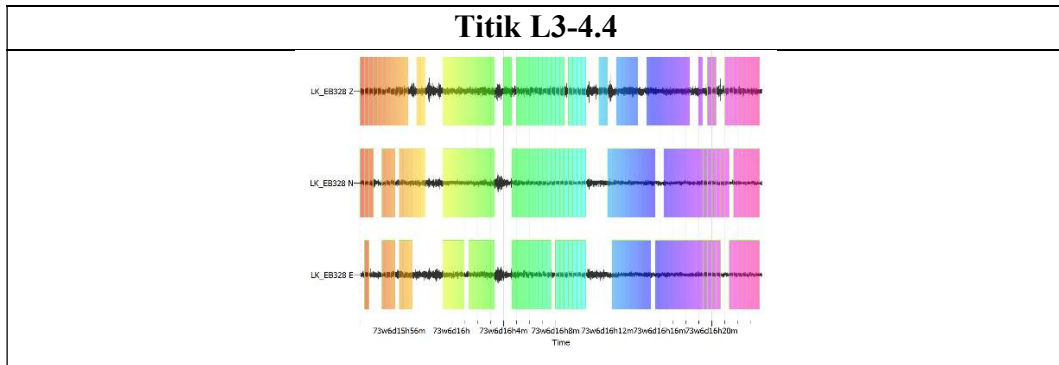


(a)

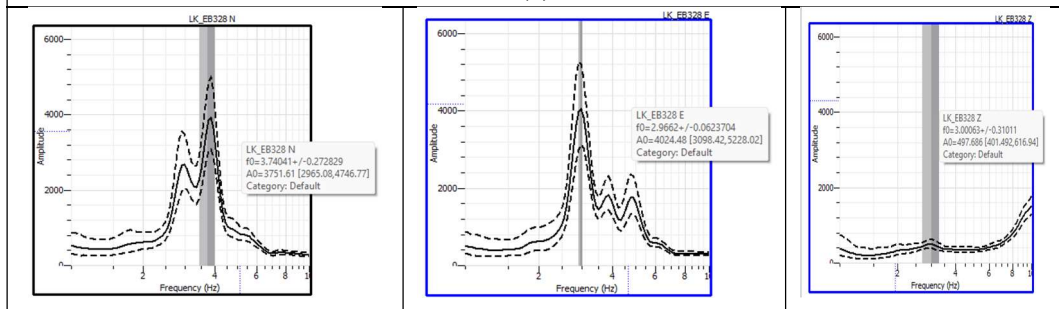


(b)

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

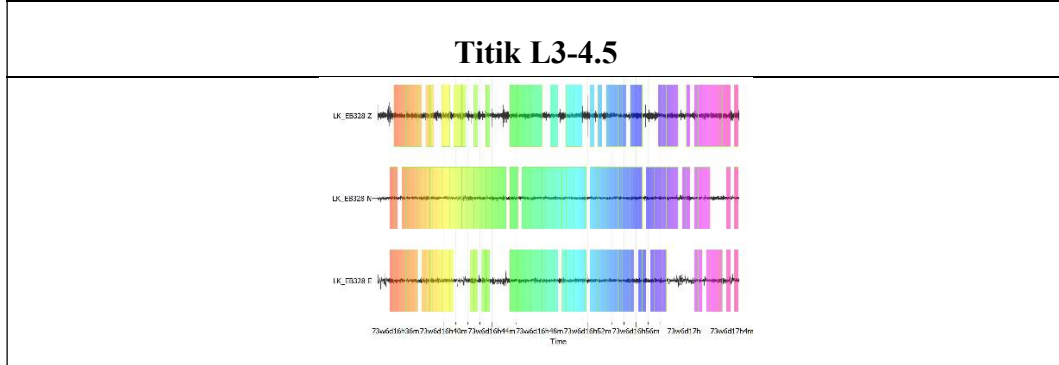


(a)

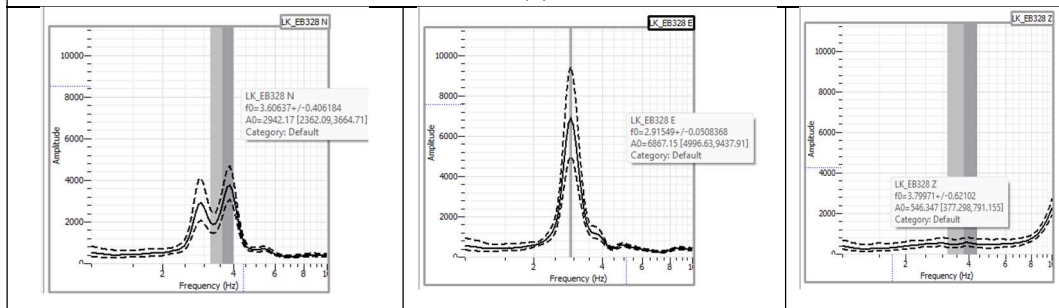


(b)

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

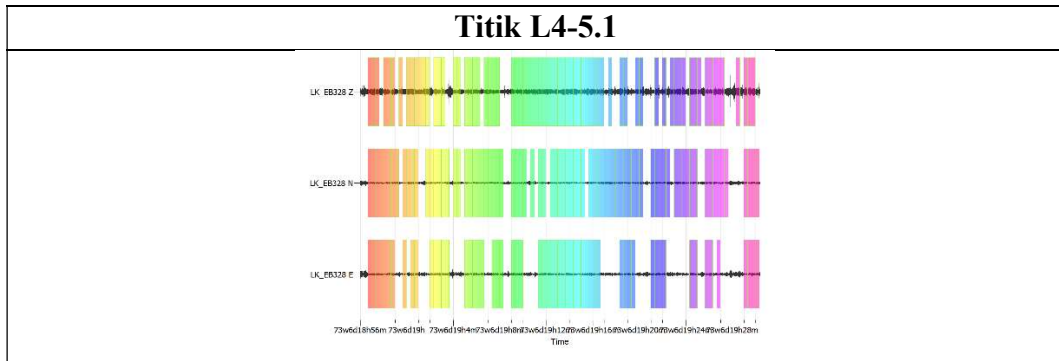


(a)

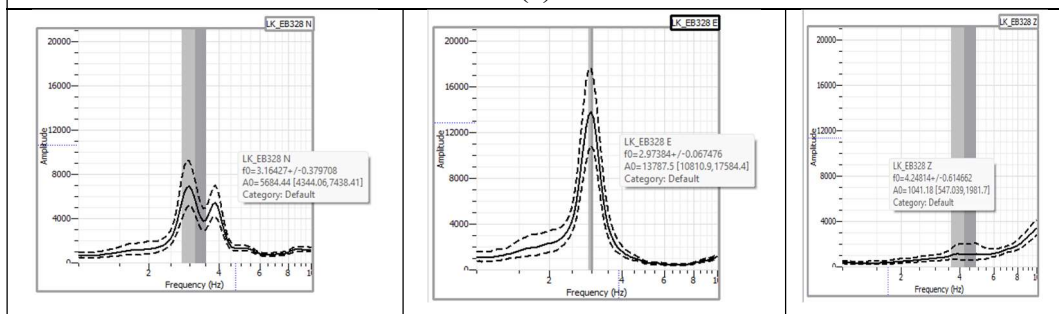


(b)

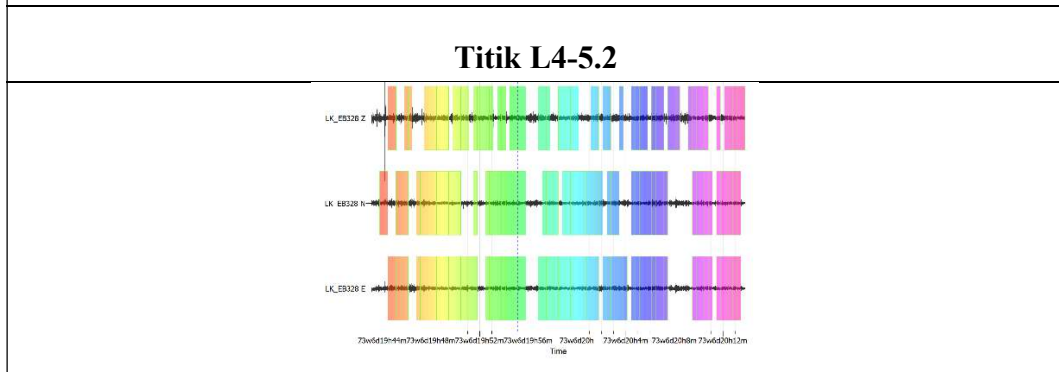
Keterangan Gambar : (a) Sinyal mikrotremor & *Windowing*; (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z



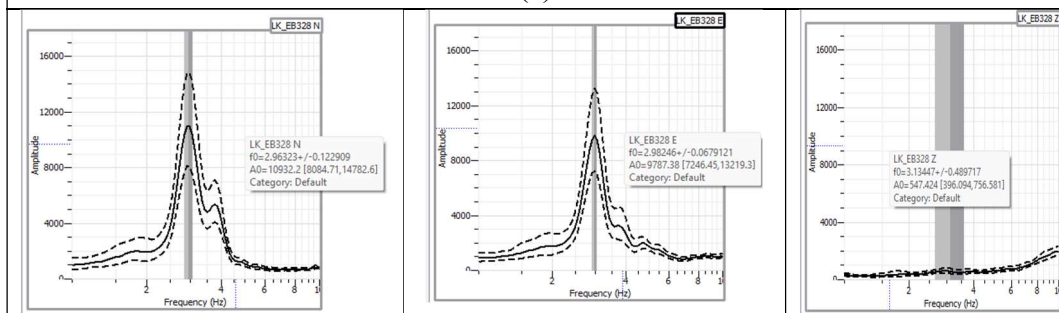
(a)



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

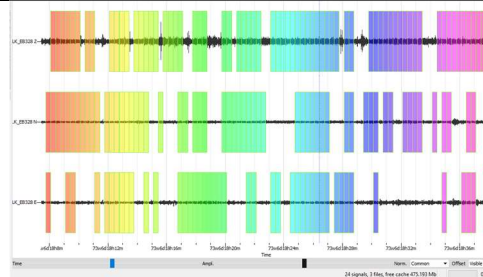


(a)

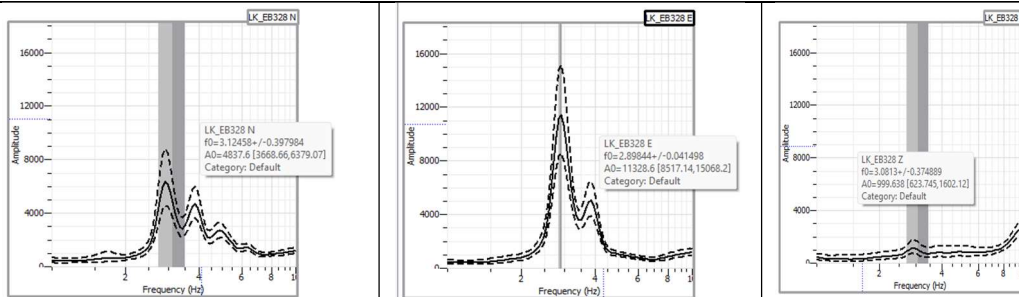


Keterangan Gambar : (a) Sinyal mikrotremor & *Windowing*; (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

Titik L4-5.3



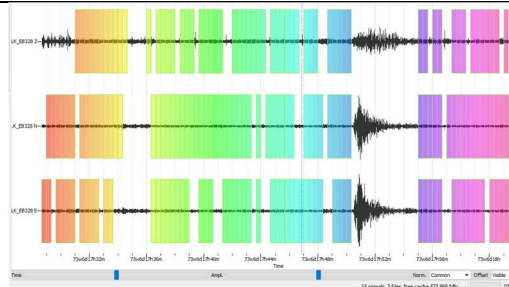
(a)



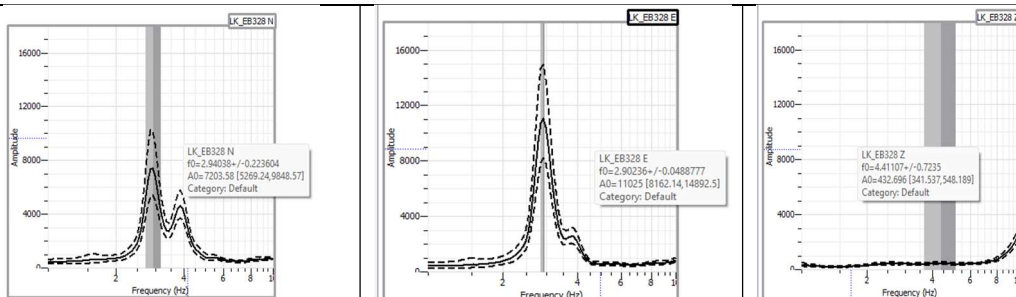
(b)

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

Titik L4-5.4

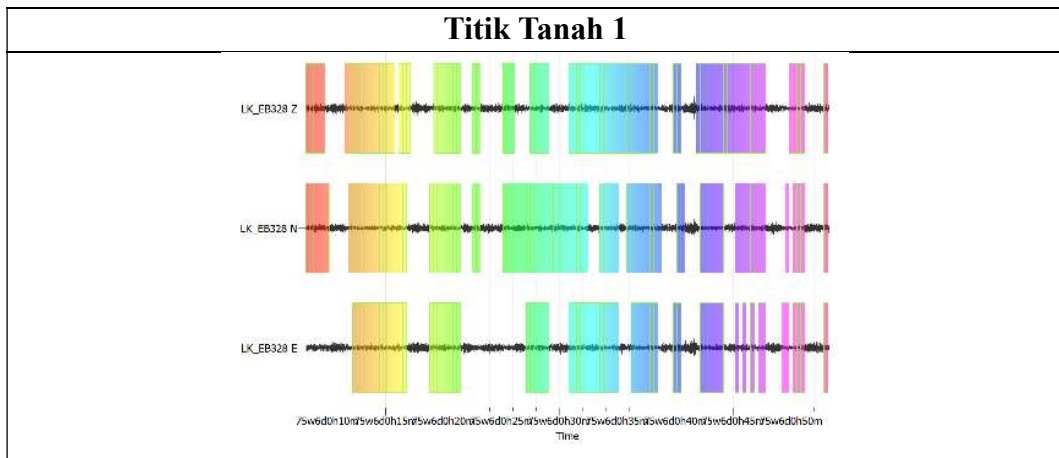


(a)

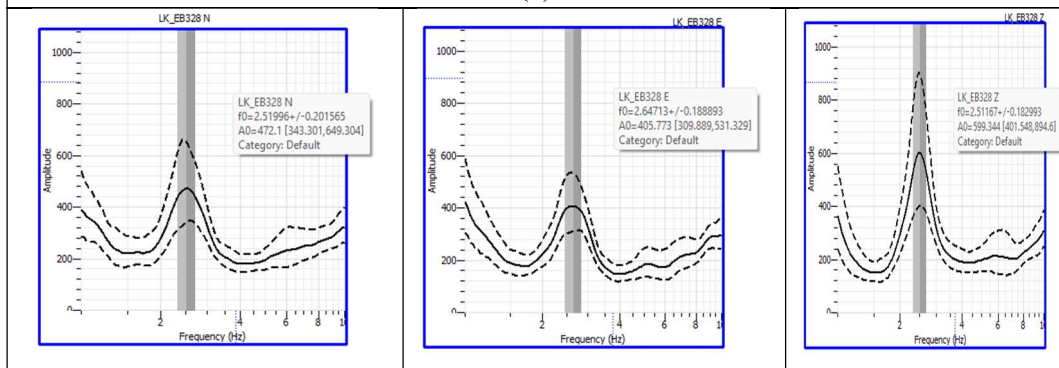


(b)

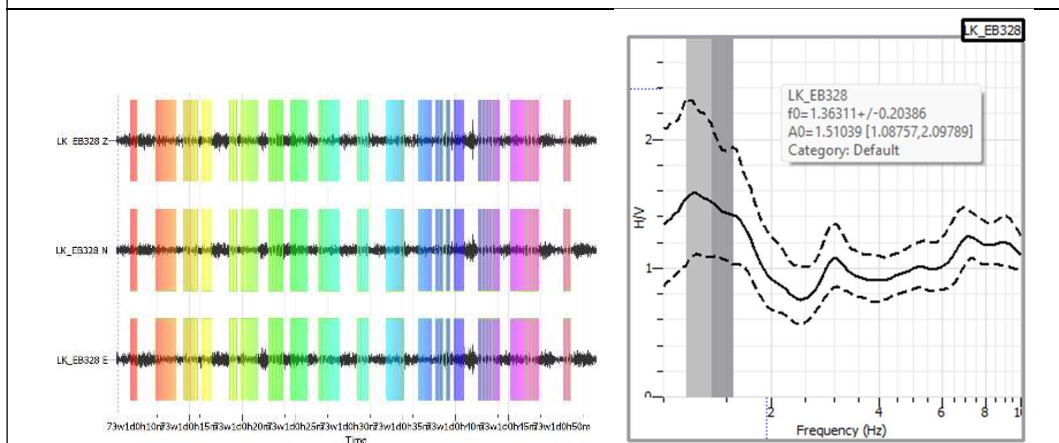
Keterangan Gambar : (a) Sinyal mikrotremor & *Windowing*; (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z



(a)

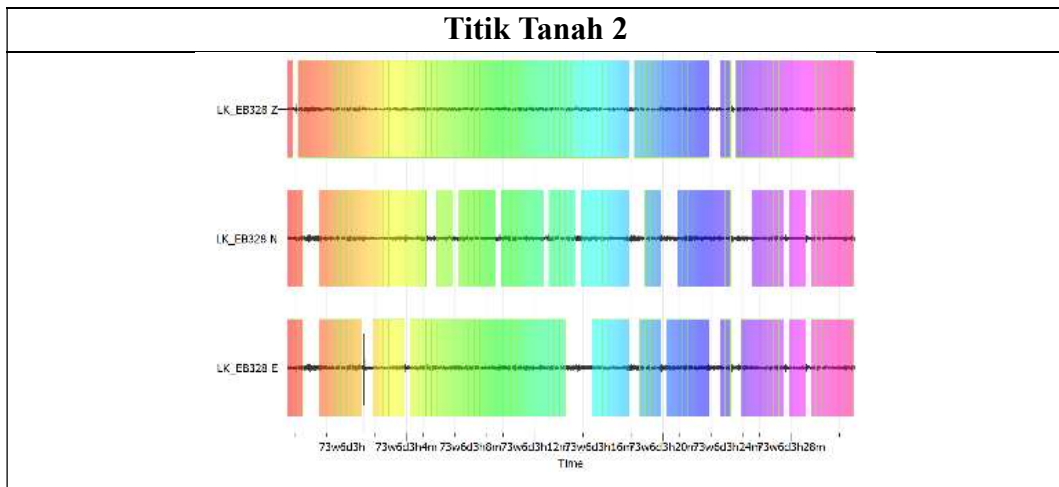


Keterangan Gambar : (a) Sinyal mikrotremor & *Windowing*; (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z

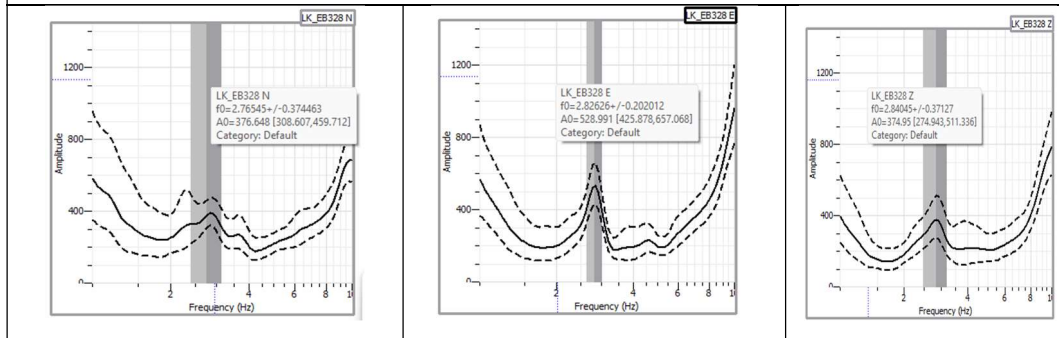


(b)

Keterangan Gambar : (a) Sinyal mikrotremor & *Windowing*; (b) Kurva HVSR

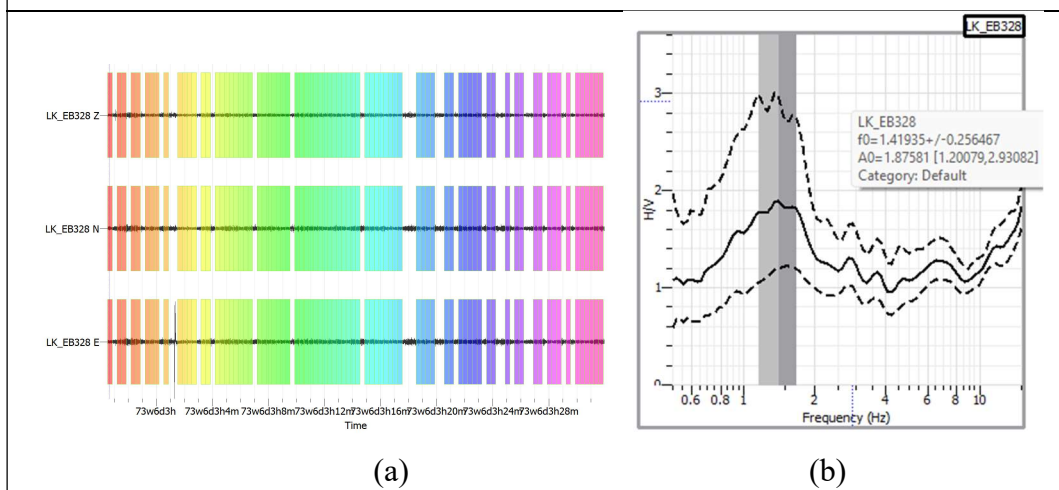


(a)



(b)

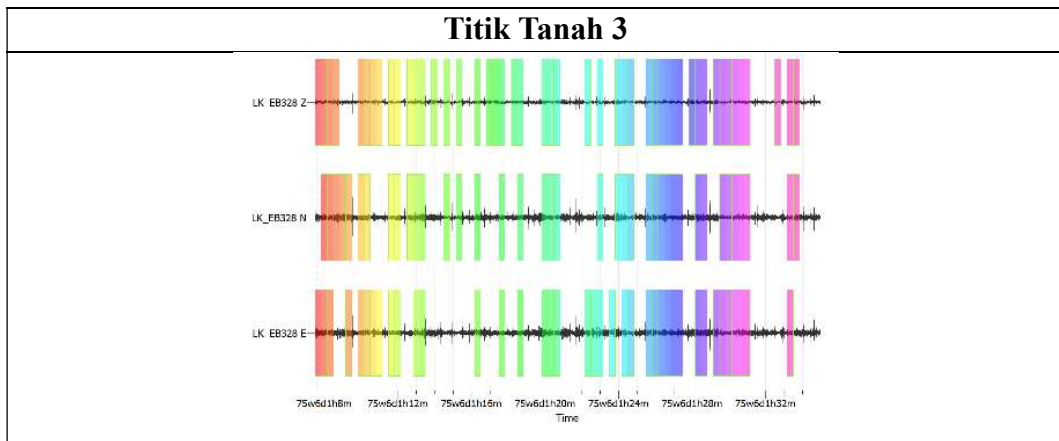
Keterangan Gambar : (a) Sinyal mikrotremor & *Windowing*; (b) Kurva Spektrum N-S, E-W, dan Z



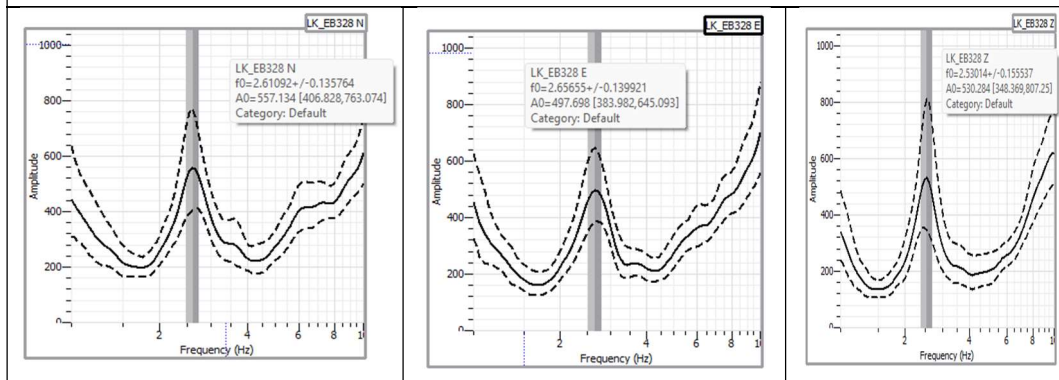
(a)

(b)

Keterangan Gambar : (a) Sinyal mikrotremor & *Windowing*; (b) Kurva HVSR

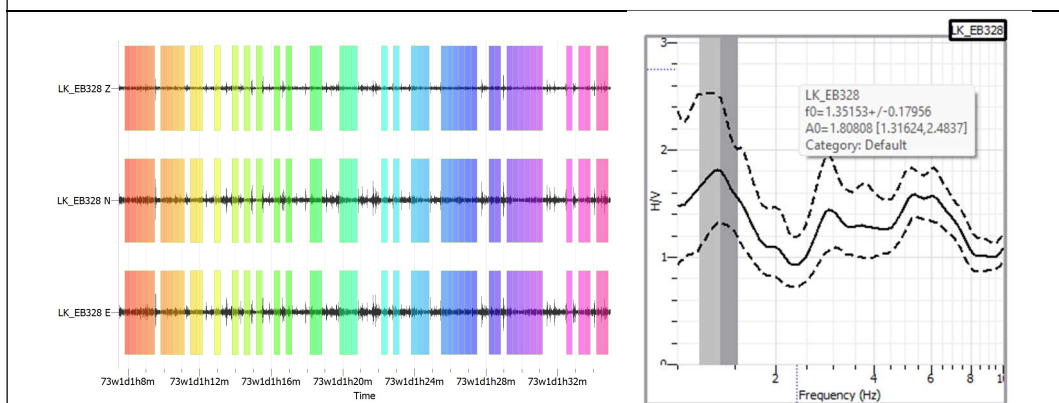


(a)



(b)

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

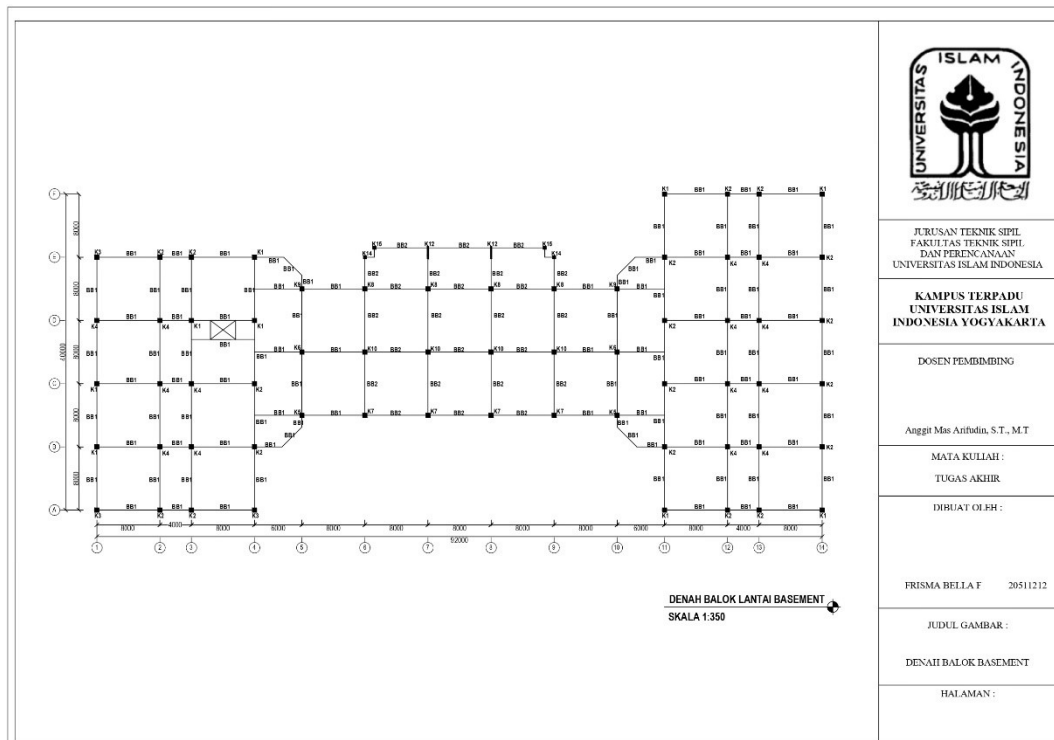


(a)

(b)

Keterangan Gambar : (a) Sinyal mikrotremor & *Windowing*; (b) Kurva HVSR

Lampiran 2 Gambar Struktur Gedung Laboratorium FTI UII



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

KAMPUS TERPADU
UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA YOGYAKARTA

DOSEN PEMBIMBING

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

MATA KULIAH:

TUGAS AKHIR

DIBUAT OLEH:

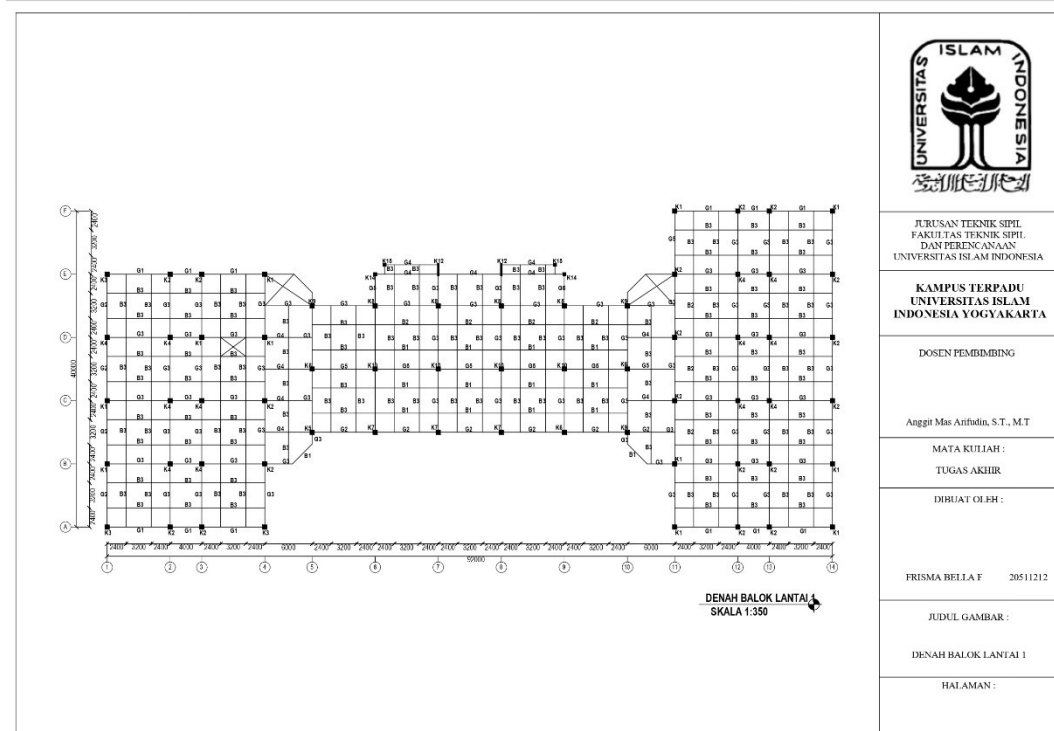
FRISMA BELLA F 20511212

JUDUL GAMBAR:

DENAH BALOK BASEMENT

HALAMAN:

Gambar L-2.1 Denah Balok Lantai Basement



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

KAMPUS TERPADU
UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA YOGYAKARTA

DOSEN PEMBIMBING

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

MATA KULIAH:

TUGAS AKHIR

DIBUAT OLEH:

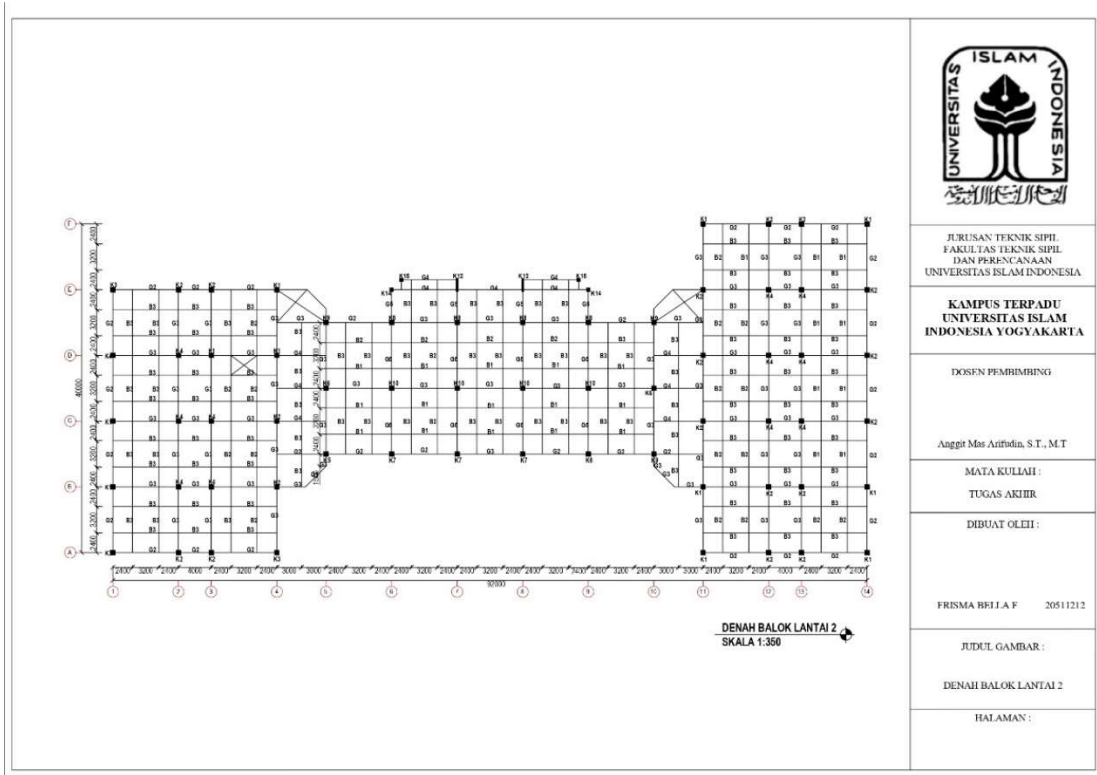
FRISMA BELLA F 20511212

JUDUL GAMBAR:

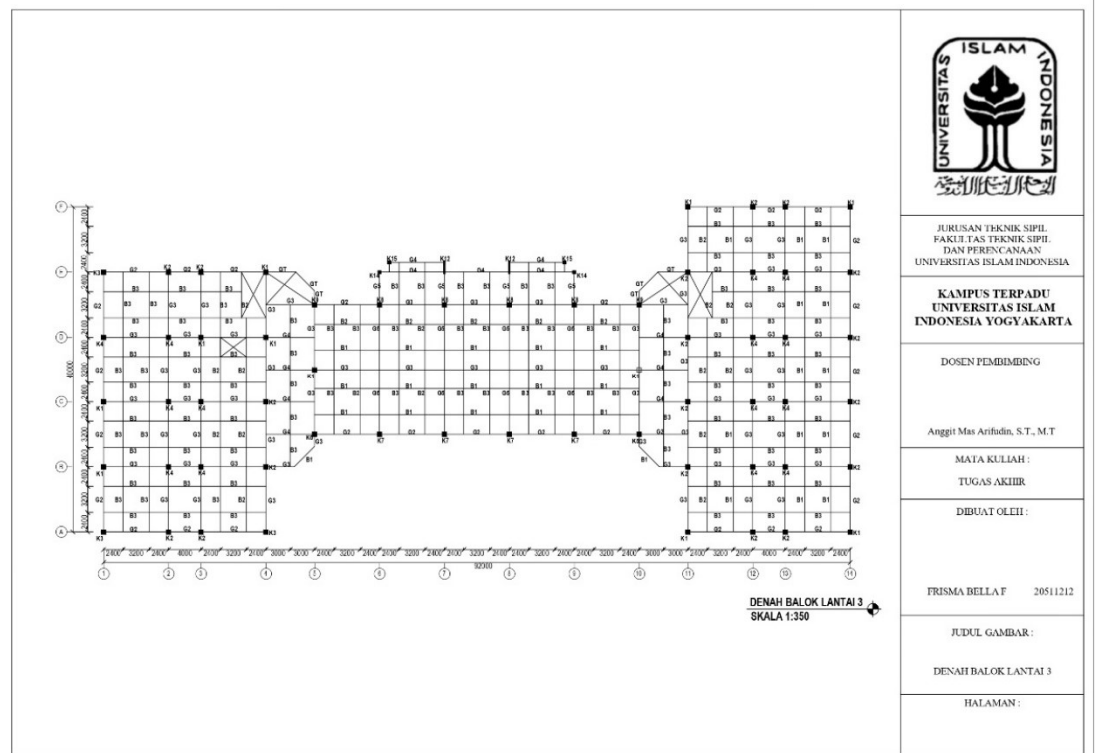
DENAH BALOK LANTAI 1

HALAMAN:

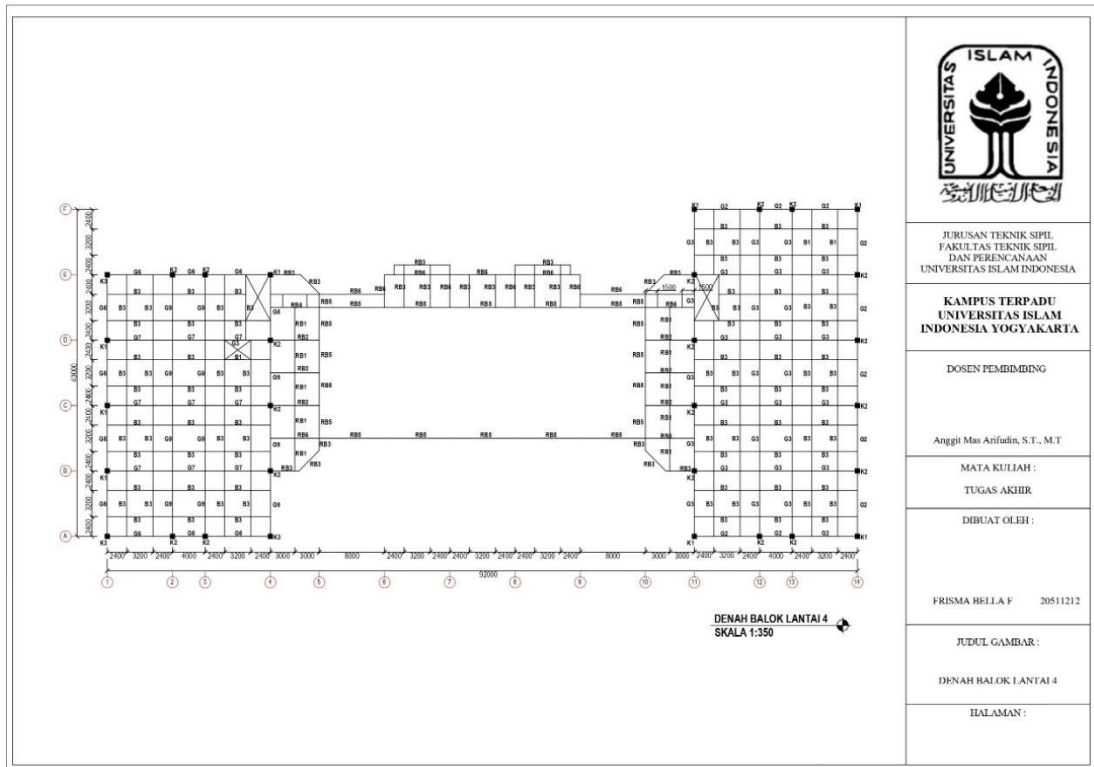
Gambar L-2.2 Denah Balok Lantai 1



Gambar L-2.3 Denah Balok Lantai 2



Gambar L-2.4 Denah Balok Lantai 3



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

**KAMPUS TERPADU
UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA YOGYAKARTA**

DOSEN PEMBIMBING

Anggit Mas Anifudin, S.T., M.T

MATA KULIAH :

TUGAS AKHIR

DIBUAT OLEH :

FRISMA BELLA F 20511212

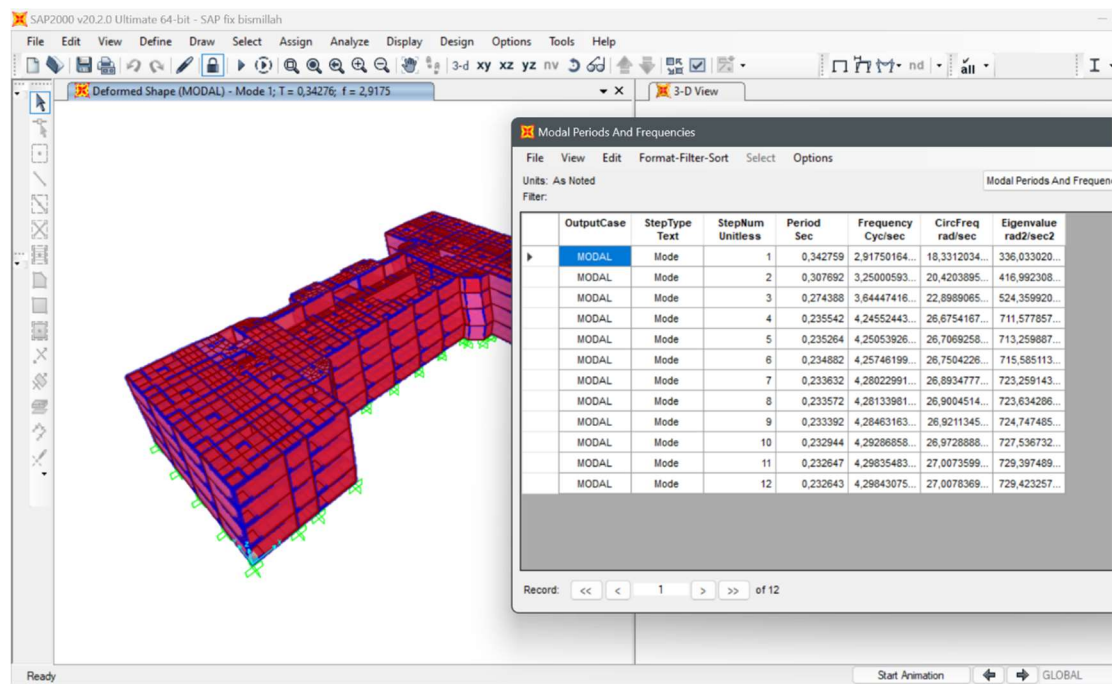
JUDUL GAMBAR :

DENAH BALOK LANTAI 4

HALAMAN :

Gambar L-2.5 Denah Balok Lantai 4

Lampiran 3 Output SAP2000



Gambar L-3.1 Output Permodelan Gedung Laboratorium FTI UII

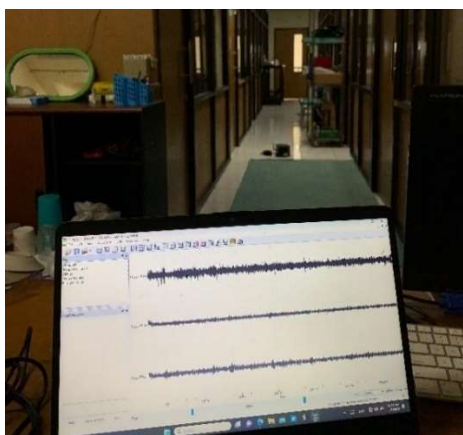
Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-3.1 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-3.2 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-3.3 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-3.4 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-3.5 Dokumentasi Penelitian

Lampiran 5 Surat Perizinan Pemakaian Alat Laboratorium



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kallurang 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 : 125/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VI/2024
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium

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

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Melalui surat ini kami memohon kepada pimpinan Jurusan Teknik Sipil untuk dapat memberikan bantuan memberikan izin penelitian yang akan digunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

NO	MAHASISWA	CP MAHASISWA	JADWAL
1.	Frisma Bella Fatmasari (20511212) Judul Tugas Akhir Analisis Mikrotremor Untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Pada Gedung Laboratorium FTI UII Menggunakan Metode Floor spectral ratio (FSR)	0857 1729 4175	22-23 Juni 2024
2.	Wishal Dinansyah Sulaeman (20511378) Judul Tugas Akhir Evaluasi Kerentanan Gedung Bertingkat Berdasarkan Analisis Metode Floor Spectral Ratio Dengan Data Mikrotremor Studi Kasus Gedung FTI UII	0821 8890 8770	29 – 30 Juni 2024

Melalui surat ini, kami mohon bantuan untuk dapat mengajukan permohonan izin **peminjaman alat seismograph** di Laboratorium Seismik dan GIS, Jurusan Teknik Sipil FTSP UII. Adapun peminjaman alat tersebut sesuai dengan jadwal pada tabel di atas



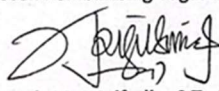
Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,
Dina Anggrahen, S.T., M. Eng

Yogyakarta, 19 Juni 2024
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,
Anngit Mas Arifudin, S.T., M.T.

Lampiran 6 Surat Izin Penelitian

 <p>UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</p>	<p>FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN</p>	<p>Gedung KH. Moh. Natsir Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia Jl. Kallurang km 14,5 Yogyakarta 55584 T. (0274) 898444 ext 3200, 3201 F. (0274) 895330 E. dekanat.ftsp@uii.ac.id W. ftsp.uui.ac.id</p>															
<p>Nomor : 126/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VI/2024 Hal : Permohonan Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir</p>																	
<p>Kepada Yth: Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo., M.T., IPU, ASEAN.Eng Dekan Fakultas Teknologi Industri (FTI) Universitas Islam Indonesia Di Yogyakarta</p>																	
<p><i>Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,</i> 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.</p>																	
<p>Berdasarkan alasan-alasan tersebut diatas, maka dengan ini kami mohon bantuannya untuk dapat memberikan bantuan untuk dapat memberikan izin penelitian di Gedung Kuliah dan Gedung Laboratorium Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia yang akan dilakukan pada tanggal 22 – 23 Juni 2024 dan 29 – 30 Juni 2024. Hasil penelitian tersebut nantinya akan dipergunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:</p>																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>NAMA</th> <th>NIM</th> <th>JUDUL TUGAS AKHIR</th> <th>CP MAHASISWA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.</td> <td>Frisma Bella Fatmasari</td> <td>20511212</td> <td>Analisis Mikrotremor Untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Pada Gedung Laboratorium FTI UII Menggunakan Metode Floor Spectral Ratio (FSR)</td> <td>0857 1729 4175</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td>Wishal Dinansyah Sulaeman</td> <td>20511378</td> <td>Evaluasi Kerentanan Gedung Bertingkat Berdasarkan Analisis <i>Metode Floor Spectral Ratio (FSR)</i> Dengan Data Mikrotremor Studi Kasus Gedung FTI UII</td> <td>0821 8890 8770</td> </tr> </tbody> </table>			NO	NAMA	NIM	JUDUL TUGAS AKHIR	CP MAHASISWA	1.	Frisma Bella Fatmasari	20511212	Analisis Mikrotremor Untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Pada Gedung Laboratorium FTI UII Menggunakan Metode Floor Spectral Ratio (FSR)	0857 1729 4175	2.	Wishal Dinansyah Sulaeman	20511378	Evaluasi Kerentanan Gedung Bertingkat Berdasarkan Analisis <i>Metode Floor Spectral Ratio (FSR)</i> Dengan Data Mikrotremor Studi Kasus Gedung FTI UII	0821 8890 8770
NO	NAMA	NIM	JUDUL TUGAS AKHIR	CP MAHASISWA													
1.	Frisma Bella Fatmasari	20511212	Analisis Mikrotremor Untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Pada Gedung Laboratorium FTI UII Menggunakan Metode Floor Spectral Ratio (FSR)	0857 1729 4175													
2.	Wishal Dinansyah Sulaeman	20511378	Evaluasi Kerentanan Gedung Bertingkat Berdasarkan Analisis <i>Metode Floor Spectral Ratio (FSR)</i> Dengan Data Mikrotremor Studi Kasus Gedung FTI UII	0821 8890 8770													
<p>Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih. <i>Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.</i></p>																	
<p style="text-align: center;">  Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana, Dina Anggrahen, S.T., M. Eng </p>		<p style="text-align: center;"> Yogyakarta, 20 Juni 2024 Dosen Pembimbing Tugas Akhir,  Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. </p>															

Lampiran 7 Surat Balasan Izin Penelitian



FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI

Gedung KH. Mas Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalisurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 4100, 4101
F. (0274) 895007
E. ft@uii.ac.id
W. ft.uii.ac.id

Nomor : 262/Dek-FTI/10/FTI/VI/2024

Hal : Surat Balasan Izin Penelitian dan Pengambilan Data

Yth. Sekretaris Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
di Tempat

Assalamu'alaikum warahmatullah wabarakatuh,

Menindaklanjuti Surat Nomor 126/Sek.Prodi PSTS/20/TA/VI/2024 perihal izin penelitian dan pengambilan data tugas akhir, dengan ini disampaikan bahwa Pimpinan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia (FTI UII) **memberikan izin** penelitian dan pengambilan data di Gedung Kuliah dan Gedung Laboratorium Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia kepada:

No	Nama	NIM	Judul Tugas Akhir	Dosen Pembimbing
1.	Friska Bella Fatmasari	20511212	Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi pada Gedung Laboratorium FTI UII Menggunakan Metode Floor Spectral Ration (FSR)	Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T
2.	Wishal Dinansyah Sulaeman	20511378	Evaluasi Kerentanan Gedung Bertingkat Berdasarkan Analisis Metode Floor Spectral Ratio (FSR) dengan Data Mikrotremor Studi Kasus Gedung FTI UII	Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T

dengan catatan dalam pelaksanaannya tidak mengganggu kegiatan akademik yang sedang berlangsung. Untuk itu kepada yang bersangkutan dipersilahkan berkoordinasi dengan pimpinan unit tempat penelitian sesuai prosedur yang berlaku pada unit tersebut.

Demikian, atas perhatiannya disampaikan terima kasih.

Wassalamu'alaikum warahmatullah wabarakatuh.



Yogyakarta, 26 Juni 2024 M
19 Dzulqaidah 1445 H

Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng
NIK. 905220101

Tembusan:

- Sdr. Friska Bella Fatmasari / 20511212
- Sdr. Wishal Dinansyah Sulaeman / 20511378