TUGAS AKHIR

EVALUASI KERENTANAN GEDUNG BERTINGKAT BERDASARKAN ANALISIS METODE FLOOR SPECTRAL RATIO (FSR) DENGAN DATA MIKROTREMOR STUDI KASUS GEDUNG FTI UII

(VULNERABILITY EVALUATION OF MULTI STOREY BUILDING BASED ON FLOOR SPECTRAL RATIO (FSR) METHOD ANALYSIS WITH MICROTREMOR DATA CASE STUDY OF UII FTI BUILDING)

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

Wishal Dinansyah Suleman
20511378

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

2024

TUGAS AKHIR

EVALUASI KERENTANAN GEDUNG BERTINGKAT BERDASARKAN ANALISIS METODE FLOOR SPECTRAL RATIO (FSR) DENGAN DATA MIKROTREMOR STUDI KASUS GEDUNG FTI UII

(VULNERABILITY EVALUATION OF MULTI STOREY BUILDING BASED ON FLOOR SPECTRAL RATIO (FSR) METHOD ANALYSIS WITH MICROTREMOR DATA CASE STUDY OF UII FTI BUILDING)

Disusun Oleh :

Wishal Dinansyah Suleman
20511378

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

Diuji pada tanggal 06 November 2024
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
12/11 2024	11/11 2024	12/11/2024
Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.	**Jafar, S.T., MURP., M.T.**	**Elvis Saputra, S.T., M.T.**
NIP : 185111304	NIP : 185111305	NIP : 205111302

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

4/12 2024

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM.
NIP : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penuisan 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 peundang – undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 11 November 2024

Yang membuat pernyataan



Wishal D[illegible]

(20511378)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

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

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

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

6. Rafi Abdurahman Fahmy, Frisma Bella dan Ramzy Ahmad Ibrahim sebagai rekan dalam penelitian mikrotremor yang banyak membantu penulis pada proses penelitian,
7. Mas Adi Sulistio selaku operator alat seismograf yang telah berbagi ilmu kepada penulis serta membantu dalam melakukan penelitian,
8. Teman – teman Lembaga Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Periode 2023 – 2024 Kabinet Sembada Baramuda yang telah memberikan banyak pengalaman dalam berorganisasi.
9. Teman – teman "AT" yang senantiasa selalu memberikan dukungan serta banyak membantu penulis dalam menyelesaikan studi,
10. Teman – teman "Next Trip" yang selalu memberikan semangat kembali kepada penulis dengan berbagai agenda liburannya,
11. Semua pihak yang turut terlibat dan membantu dalam penyelesaian penelitian Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

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

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 11 November 2024
Penulis,



Wishal Dinansyah Suleman
(20511378)

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	**1**
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	**5**
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.2.1 Penentuan Frekuensi Natural Bangunan Dengan Pengukuran Mikrotremor dan SAP2000	6
2.2.2 Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Pada Ruangan	7
2.2.3 Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Pada Gedung	10
2.2.4 Analisis Frekuensi Struktur Pada Bangunan Menara	11
2.2.5 Analisis Kerentanan Gempa Bumi Pada Gedung	12
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan	16
BAB III LANDASAN TEORI	**22**
3.1 Gempa	22
3.1.1 Pengertian Gempa Bumi	22

3.1.2 Parameter Gempa Bumi 22
3.2 Mikrotremor 25
3.3 Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) 26
3.4 Metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) 27
3.5 Frekuensi Natural Bangunan 28
3.6 Amplifikasi 29
3.7 Indeks Resonansi Bangunan 30
3.8 Indeks Kerentanan Bangunan 31
3.9 Pembebanan Gempa Pada Bangunan Struktur 33
3.9.1 Beban Mati 34
3.9.2 Beban Hidup 35
3.9.3 Beban Gempa 35
3.10 Respon Spektrum 38
3.10.1 Analisis Respon Spektrum 38
3.10.2 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum 41
3.10.3 Parameter Percepatan Spektral Desain 43
3.10.4 Spektrum Respon Desain 43
3.10.5 Kategori Desain Seismik 45
3.10.6 Gaya Dasar Seismik 46
3.10.7 Penentuan Periode Fundamental 47
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 49
4.1 Lokasi Penelitian 49
4.2 Peralatan 49
4.3 Teknik Pengumpulan Data 51
4.4 Pengolahan Data Mikrotremor 54
4.4.1 Pengolahan Frekuensi dan Amplitudo 54
4.4.2 Perhitungan Indeks Resonansi Bangunan 55
4.4.3 Perhitungan Indeks Kerentanan Bangunan 56
4.5 Pengolahan Frekuensi Bangunan Menggunakan SAP2000 56
4.5.1 Permodelan SAP2000 56
4.6 Diagram Alur Penelitian 57

BAB V ANALISIS, HASIL DAN PEMBAHASAN **59**
5.1 Pengambilan Data di Lapangan 59
5.2 Pengolahan Fast Fourier Transform (FFT) 62
5.3 Analisis Frekuensi Natural Tanah 64
5.4 Analisis Frekuensi Natural Bangunan 68
5.5 Analisis Nilai Indeks Resonansi Bangunan 72
5.5.1 Komponen N-S 72
5.5.2 Komponen E-W 73
5.6 Analisis Nilai Indeks Kerentanan Bangunan 79
5.6.1 Komponen N – S 79
5.6.2 Komponen E – W 80
5.7 Analisis Frekuensi Natural SAP2000 87
5.7.1 Analisis SAP2000 Pada Blok A 92
5.7.2 Analisis SAP2000 Pada Blok B 94
5.7.3 Analisis SAP2000 Pada Blok C 95
5.7.4 Analisis SAP2000 Pada Blok D 96
5.7.5 Analisis SAP2000 Pada Blok E 98
5.8 Perbandingan Frekuensi Mikrotremor dan SAP2000 99
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN **101**
6.1 Kesimpulan 101
6.2 Saran 102
DAFTAR PUSTAKA **103**
LAMPIRAN **106**

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Parameter Analisis Periode Waktu Bangunan 7

Tabel 2. 2 Perbandingan Penelitian Terdahulu 18

Tabel 3. 1 Intensitas Gempa Bumi Skala MII (*Modified Mercally Intensity*) 24

Tabel 3. 2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural Oleh Kanai 27

Tabel 3. 3 Beban Mati 34

Tabel 3. 4 Beban Hidup 35

Tabel 3. 5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa 36

Tabel 3. 6 Faktor Keutamaan Gempa 38

Tabel 3. 7 Koefisien Situs, Fa 41

Tabel 3. 8 Koefisien Situs, Fv 42

Tabel 3. 9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 0,2 Detik (S_{DS}) 45

Tabel 3. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik (S1) 45

Tabel 3. 11 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung 47

Tabel 3. 12 Koefisien Untuk Batak Atas Pada Periode Yang Dihitung 48

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Analisis FFT Pada Bangunan 63

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Rasio Frekuensi Natural Tanah Pengolahan H/V 66

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Frekuensi Natural Tanah Pengolahan Spektrum 68

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Frekuensi Natural Bangunan 69

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Kategori Frekuensi Natural Bangunan 71

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Nilai Indeks Resonansi Bangunan 75

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Kategori Indeks Resonansi Bangunan 78

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Nilai Indeks Kerentanan Bangunan 82

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Kategori Indeks Kerentanan Bangunan 86

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Periode Dan Frekuensi SAP2000 Blok A 93

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Periode Dan Frekuensi SAP2000 Blok B 94

Tabel 5. 12 Permodelan Blok C 95

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Periode Dan Frekuensi SAP2000 Blok D 97

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Periode Dan Frekuensi SAP2000 Blok E 98
Tabel 5. 15 Perbandingan Frekuensi Alat Mikrotremor Dan SAP2000 99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Model 3D SAP2000 6

Gambar 2. 2 *Spectrum* Frekuensi *Open Ground* 8

Gambar 2. 3 Spektrum Hasil Pengolahan data 1-1 9

Gambar 2. 4 Spektrum Frekuensi Tanah 10

Gambar 2. 5 Spektrum Frekuensi Komponen Utara – Selatan dan Timur – Barat Pada Ruang LPPM 11

Gambar 2. 6 Grafik Nilai Frekuensi Natural Komponen N-S 14

Gambar 2. 7 Grafik Nilai Frekuensi Natural Komponen E-W 14

Gambar 2. 8 Grafik Nilai Amplifikasi Maksimum Komponen N-S 15

Gambar 2. 9 Grafik Nilai Amplifikasi Maksimum Komponen E-W 15

Gambar 2. 10 Grafik Nilai Indeks Kerentanan Komponen N-S 16

Gambar 2. 11 Grafik Nilai Indeks Kerentanan Komponen E-W 16

Gambar 3. 1 Titik Hiposenter Pada Lapisan Bumi 23

Gambar 3. 2 Hasil Rekaman Mikrotremor Pada *Software Geospy* 26

Gambar 3. 3 Grafik Spektrum Komponen EW dan NS 28

Gambar 3. 4 Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik 30

Gambar 3. 5 Model dan Karakteristik Deformasi Dari Struktur Lantai ke – n 31

Gambar 3. 6 Peta Parameter Gerak Tanah (Ss) Periode 0,2 Detik 39

Gambar 3. 7 Peta Parameter Gerak Tanah (S1) Periode 1 Detik 39

Gambar 3. 8 C_{RS} Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 0,2 Detik 40

Gambar 3. 9 C_{R1} Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respon Spektral 1 Detik 40

Gambar 3. 10 Peta Transisi Periode Panjang (T_L) 44

Gambar 3. 11 Spektrum Respon Desain 44

Gambar 4. 1 Lokasi Gedung FTI UII 49

Gambar 4. 2 Peralatan Yang Digunakan 50

Gambar 4. 3 Denah FTI Lantai Basement 51

Gambar 4. 4 Denah FTI Lantai 1 52

Gambar 4. 5 Denah FTI Lantai 2 52

Gambar 4. 6 Denah FTI Lantai 3 53
Gambar 4. 7 Denah FTI Lantai 4 53
Gambar 4. 8 Windowing Signal 54
Gambar 4. 9 Hasil Analisis FFT 55
Gambar 4. 10 Diagram Alur Penelitian 58
Gambar 5. 1 Titik Perekaman Tanah dan Lantai *Basement* 59
Gambar 5. 2 Titik Perekaman Tanah dan Lantai 1 60
Gambar 5. 3 Titik Perekaman Lantai 2 60
Gambar 5. 4 Titik Perekaman Lantai 3 61
Gambar 5. 5 Titik Perekaman Lantai 4 61
Gambar 5. 6 Hasil Pengolahan FFT Titik L4.2d 62
Gambar 5. 7 *Windowing* H/V Tanah 1 65
Gambar 5. 8 Pengaturan Pengolahan H/V Tanah 1 65
Gambar 5. 9 Hasil Pengolahan H/V Tanah 1 66
Gambar 5. 10 *Windowing* Spektrum Tanah 1 66
Gambar 5. 11 Pengaturan Pengolahan Spektrum Tanah 1 67
Gambar 5. 12 Hasil Pengolahan Spektrum Tanah 1 67
Gambar 5. 13 Modifikasi Grid Pada Blok A 88
Gambar 5. 14 Spesifikasi Material Beton Mutu 25 Mpa 88
Gambar 5. 15 Spesifikasi Baja Tulangan BjTP28 89
Gambar 5. 16 Spesifikasi Baja Tulangan BjTS420A 89
Gambar 5. 17 Balok B1 Tumpuan 90
Gambar 5. 18 Kolom K1 Potongan 1-1 90
Gambar 5. 19 Desain Plat Lantai 91
Gambar 5. 20 Pengaturan Beban 91
Gambar 5. 21 Pengaturan Pastisipasi Massa 92
Gambar 5. 22 Permodelan Blok A 93
Gambar 5. 23 Permodelan Blok B 94
Gambar 5. 24 Rekapitulasi Periode Dan Frekuensi SAP2000 Blok C 96
Gambar 5. 25 Permodelan Blok D 97
Gambar 5. 26 Permodelan Blok E 98
Gambar 5. 27 Grafik Perbandingan Frekuensi Alat Mikrotremor Dan SAP2000 100

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran. 1 Gambar Kurva FSR 107
Lampiran. 2 *Output* SAP2000 118
Lampiran. 3 Dokumentasi Penelitian 120
Lampiran. 4 Surat Izin Penelitian Di Gedung Perkuliahan FTI UII 121
Lampiran. 5 Surat Balasan Izin Penelitian Di Gedung Perkuliahan FTI UII 122

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

FTI UII	= Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
FSR	= *Floor Spectral Ratio*
HVSR	= *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*
FFT	= *Fast Fourier Transform*
SNI	= Standar Nasional Indonesia
PPIUG	= Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung
f_b	= Frekuensi Bangunan
f_b (FSR)	= Frekuensi Bangunan Berdasarkan Metode FSR
f_t	= Frekuensi Tanah
A	= Amplifikasi
R	= Indeks Resonansi Bangunan
K_b	= Indeks Kerentanan Bangunan
N – S	= Rekaman Mikrotremor Komponen Utara - Selatan
E – W	= Rekaman Mikrotremor Komponen Timur – Barat

ABSTRAK

Seiring dengan berkembangnya fungsi dan penggunaan bangunan yang semakin beragam, diperlukan perancangan bangunan yang mampu mengurangi risiko kerusakan terutama akibat bencana alam. Bencana gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang menjadi ancaman terjadinya kerusakan pada bangunan. Salah satu contohnya adalah peristiwa gempa bumi yang terasa di daerah Yogyakarta pada tahun 2023, yang menimbulkan kerusakan berbagai fasilitas bangunan yang ada. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi seberapa besar tingkat kerentanan bangunan berdasarkan data mikrotremor untuk mendapatkan nilai frekuensi natural bangunan (fb), nilai indeks resonansi bangunan (R) dan nilai indeks kerentanan bangunan (Kb).

Penelitian dilakukan pada gedung perkuliahan FTI UII. Alat lunitek digital seismic sensor merupakan alat yang digunakan dalam penelitian ini untuk merekam getaran mikrotremor. Metode Floor Spectral Ratio (FSR) digunakan dalam pengolahan mikrotremor pada gedung dan metode Horizantal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) digunakan dalam pengolahan mikrotremor pada tanah. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa berdasarakan nilai frekuensi bangunan gedung FTI UII diklasifikasikan aman, berdasarkan nilai indeks resonansi bangunan gedung FTI UII diklasifikasikan tinggi dan berdasarkan nilai indeks kerentanan bangunan gedung FTI UII diklasifikasikan aman. Serta selisih terbesar perbandingan frekuesi antara data mikrotremor dan SAP2000 terdapat pada blok C sebesar 0,401 Hz dan blok D sebesar 0,616 Hz.

Kata Kunci : Mikrotremor, Frekuensi, Indeks Resonansi, Indeks Kerentanan, SAP2000

ABSTRACT

Along with the development of increasingly diverse functions and uses of buildings, it is necessary to design buildings that are able to reduce the risk of damage, especially due to natural disasters. Earthquake is one of the natural disasters that pose a threat to damage to buildings. One example is the earthquake that was felt in the Yogyakarta area in 2023, which caused damage to various existing building facilities. Therefore, this research was conducted to identify how much the level of building vulnerability based on microtremor data to obtain the value of the building's natural frequency (fb), the value of the building's resonance index (R) and the value of the building's vulnerability index (Kb).

The research was conducted at the FTI UII lecture building. Lunitek digital seismic sensor is a tool used in this research to record microtremor vibrations. The Floor Spectral Ratio (FSR) method is used in processing microtremors in buildings and the Horizantal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method is used in processing microtremors on the ground. The results of this study found that based on the frequency value, the FTI UII building is classified as safe, based on the resonance index value, the FTI UII building is classified as high and based on the vulnerability index value, the FTI UII building is classified as safe. And the biggest difference in frequency comparison between microtremor data and SAP2000 is in block C by 0.401 Hz and block D by 0.616 Hz.

***Keywords** : Microtremor, Frequency, Resonance Index, Vulnerability Index, SAP2000*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi merupakan salah satu peristiwa bencana alam yang kejadiannya berupa getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, patahan aktif, aktivitas gunung api atau runtuhan batuan. Secara geografis indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik dan hanya tiga yang aktif yaitu lempeng Eurasia, Samudera Pasifik dan Australia (Chistanto, dkk, 2021) . Pada bagian selatan dan timur Indonesia terdapat sabuk vulkanik yang memanjang dari Pulau Sumatera hingga Pulau Sulawesi. Kondisi ini sangat berpotensi sekaligus rawan terhadap bencana gempa bumi. Data menunjukkan bahwa indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat kegempaan yang tinggi di dunia, lebih dari 10 kali lipat tingkat kegempaan di Amerika Serikat (Arnold, 1986).

Pada tanggal 30 juni 2023 bencana gempa bumi mengguncang wilayah selatan jawa. Guncangan tersebut terasa dibeberapa wilayah pulau jawa, salah satunya daerah Yogyakarta. Tercatat pada hasil BMKG, gempa bumi dengan kekuatan 6,0 magnitudo dengan lokasi pusat gempa terletak di 102 km barat daya Bantul-DIY pada kedalaman 67 km. Bencana ini mengakibatkan banyaknya fasilitas – fasilitas umum yang rusak antara lain 137 unit rumah tinggal, 14 unit perkantoran, 5 fasilitas ibadah, 3 fasilitas pendidikan, 1 fasilitas kesehatan dan 3 fasilitas umum (BMKG, 2023).

Bangunan gedung bertingkat saat ini sangat bervariasi peruntukan fungsinya, contohnya seperti kantor, tempat perbelanjaan, apartemen, hotel dan sekolah. Bangunan bertingkat dibutuhkan karena gedung memerlukan ruang yang lebih luas agar dapat memenuhi keperluan serta kebutuhan bangunan gedung yang akan digunakan sesuai fungsinya dengan luas lahan tanah yang dibatasi. Oleh karena itu, dalam perencanaan gedung bertingkat mengharuskan perencanaan bangunan gedung yang kokoh dan tahan akan gangguan dari faktor – fakor yang

dapat memicu terjadi kerusakan pada struktur gedung, contohnya seperti getaran gempa bumi.

Universitas Islam Indonesia (UII) merupakan salah satu universitas tertua di Indonesia yang dimana berdiri sejak tahun 1945, akan tetapi dengan nama Sekolah Tinggi Islam (STI) kemudian berubah nama menjadi Universitas Islam Indonesia pada tahun 1948. Seiring perkembangan tahun, universitas ini mulai membuka berbagai macam cabang ilmu pengetahuan salah satunya adalah Fakultas Teknologi Industri (FTI). Fakultas Teknologi Industri (FTI) didirikan pada tahun 1982 dengan dua jurusan yaitu jurusan Teknik dan Manajemen Industri dan jurusan Teknologi Tekstil. Gedung FTI UII mempunyai 4 tingkat lantai dan 1 basement yang dimana pada lantai 1 hingga lantai 4 digunakan sebagai ruang kelas, ruang dosen, area belajar, mushola dan toilet. Sedangkan pada lantai basement merupakan tempat kantin, kantor pelayanan mahasiswa dan gudang. Hingga saat ini umur gedung FTI sudah lebih dari 10 tahun sejak awal berdirinya. Berbagai macam faktor luar yang dapat memicu terjadinya kerusakan pada bangunan telah banyak terjadi sehingga memungkinkan kekokohan gedung tersebut menurun.

Gedung Fakultas Teknologi Industri secara fisik bangunan terlihat berdiri dengan kokoh. Akan tetapi, dalam mengetahui tingkat kerentanan bangunan tersebut perlu adanya penelitian lebih lanjut. Penelitian yang dilakukan untuk mengidentifikasi kerentanan tersebut adalah dengan menggunakan perekaman mikrotremor untuk mendapatkan nilai frekuensi dan amplitudo. Metode yang digunakan dalam analisis mikrotremor adalah metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) untuk perekaman mikrotremor pada bangunan dan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) untuk perekaman mikrotremor pada tanah (Aini, dkk, 2012). Parameter yang digunakan dalam menjelaskan tingkat kerentanan bangunan adalah nilai frekuensi natural bangunan (f_b), nilai indeks resonansi bangunan (R) dan nilai indeks kerentanan bangunan (K_b), sebab nilai tersebut dapat menjelaskan tingkat klasifikasi kerentanan bangunan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengevaluasi kerentanan gedung Fakultas Teknologi Industri agar mendapatkan gambaran karakteristik mengenai tingkat kerentanan gempa bumi pada bangunan gedung tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana tingkat kerentanan gedung Fakultas Teknologi Industri UII berdasarkan nilai frekuensi natural bangunan (f_b), nilai indeks resonansi bangunan (R) dan nilai indeks kerentanan bangunan (K_b)?
2. Bagaimana perbandingan antara nilai frekuensi bangunan dari data mikrotremor dengan nilai frekuensi bangunan dari permodelan SAP2000 pada gedung Fakultas Teknologi Industri UII?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah disusun, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui tingkat kerentanan gedung Fakultas Teknologi Industri UII berdasarkan nilai frekuensi natural bangunan (f_b), nilai indeks resonansi (R) dan nilai indeks kerentanan bangunan (K_b),
2. Mengetahui perbandingan antara nilai frekuensi bangunan dari data mikrotremor dengan nilai frekuensi bangunan dari permodelan SAP2000 pada Gedung Fakultas Teknologi Industri UII.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah dapat mengetahui kerentanan gedung bertingkat berdasarkan parameter nilai frekuensi natural bangunan (f_b), nilai indeks resonansi bangunan (R) dan nilai indeks kerentanan bangunan (K_b). Manfaat lain dari dilakukannya penelitian ini adalah, hasil dari penelitian ini nantinya dapat dikembangkan dan dijadikan sebagai salah satu literatur bagi peneliti lain.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian untuk tugas akhir ini dilakukan di gedung perkuliahan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

2. *Software* yang digunakan dalam analisis data mikrotremor adalah *Geopsy*,
3. *Software* yang digunakan dalam permodelan gedung adalah SAP2000,
4. Metode yang digunakan dalam pengolahan data mikrotremor adalah metode *Floor Spectal Ratio* (FSR) dan *Horizontal to Verical Spectral Ratio* (HVSR).
5. Metode dan *software Geopsy* digunakan untuk memperoleh nilai frekuensi natural bangunan (f_b), frekuensi natural tanah (f_t), nilai indeks resonansi bangunan (R) dan nilai indeks kerentanan bangunan (K_b).
6. Penelitian ini terbatas pada informasi nilai frekuensi bangunan (f_b), nilai frekuensi natural tanah (f_t), nilai indeks resonansi bangunan (R) dan nilai indeks kerentanan bangunan (K_b).
7. Penelitian ini berfokus pada bangunan gedung bertingkat, sehingga tidak membahas lebih lanjut mengenai geologi setempat.
8. Alat yang digunakan untuk pengambilan data mikrotremor dilapangan adalah *Lunitek Digital Seismic Sensors*.
9. Permodelan SAP2000 mengacu pada dokumen Laporan Akhir Bundel 2 Gambar Kerja Struktural Gedung Fakultas Teknologi Industri Tahun 2002.
10. Analisis Permodelan SAP2000 mengacu pada SNI 1726 – 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung dan SNI 1727 – 2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain dan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1987).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Kerusakan wilayah akibat gempa bumi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jarak sumber gempa, ukuran zona patahan, energi yang dilepaskan dan jenis geologi antara sumber gempa dan lokasi yang terdampak (Nashir, 2013). Menurut Coburn dan Spence (2002) faktor utama kerusakan bangunan saat terjadi gempa bumi adalah getaran yang terjadi pada tanah dasar sehingga menyebabkan adanya percepatan getaran pada struktur bangunan. Ketika sebuah bangunan digerakkan oleh gaya inersia yang bekerja pada bangunan tersebut, maka percepatan getaran bangunan akan meningkat. Faktor yang menentukan respon dinamik bangunan terhadap getaran adalah frekuensi natural bangunan.

Penelitian mikrotremor pada bangunan menjadi salah satu penelitian yang dilakukan dengan maksud untuk mengetahui tingkat kerentanan pada bangunan. Di Indonesia dalam melakukan perencanaan dan menganalisis bangunan terhadap gempa bumi telah diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Bangunan Tahan Gempa. Parameter yang digunakan untuk menjelaskan efek dari gempa bumi adalah hubungan antara frekuensi natural bangunan dengan frekuensi natural tanah dimana bangunan tersebut dibangun. Penggunaan frekuensi natural digunakan untuk memperkirakan potensi kerusakan bangunan terhadap gempa bumi dengan pengukuran resonansi antara frekuensi natural bangunan terhadap frekuensi natural tanah (Gosar, 2010).

2.2 Penelitian Terdahulu

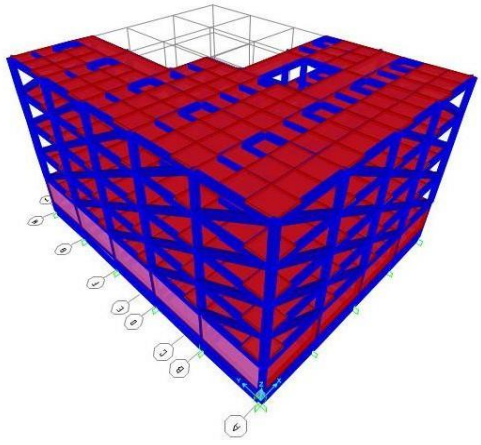
Terdapat beberapa peneliti sebelumnya yang telah melakukan penelitian terkait dengan metode penelitian yang akan dilakukan. Beberapa penelitian tersebut antara lain adalah Khadka (2018), Prabowo, Budhi dan Amalia (2020), Yuniarto dan Kiswanto (2021), Arif Setiawan dkk (2023) dan Ilham (2023).

2.2.1 Penentuan Frekuensi Natural Bangunan Dengan Pengukuran Mikrotremor dan SAP2000

Penelitian ini dilakukan pada gedung RCC di daerah lembah Kathmandu Nepal oleh Khadka, 2018. Gedung ini memiliki tinggi perkiraan 40 kaki dengan usia gedung sekitar 15 tahun. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan frekuensi natural bangunan berdasarkan hasil pengukuran mikrotremor dilapangan dan berdasarkan permodelan pada perangkat lunak SAP2000.

Pengukuran mikrotremor dilakukan pada 40 titik di gedung dengan 8 titik pada setiap lantainya. Tiga komponen mikrotremor direkam selama 2 – 3 menit dengan perekaman pada setiap titik direkam pada frekuensi sampling 100 Hz. Pengambilan data mikrotremor dibantu menggunakan alat seismometer. Didapatkan hasil frekuensi natural rata – rata dari pengolahan data mikrotremor adalah 2,48 Hz untuk arah N-S dan 2,37 Hz untuk arah E-W.

Pada permodelan SAP2000 bangunan dimodelkan berdasarkan data awal perencanaan. Bangunan gedung struktur beton bertulang ini dimodelkan sebagai bangunan 3D dengan properti elemen dan material yang diatur tanpa ada dinding pengisi tetapi tetap mempertimbangkan beban dan kekuatan pasangan bata pada balok. Sedangkan penentuan mutu material dilakukan pengujian hammer test dilapangan. Model bangunan ini memiliki 4 lantai dan 1 basement dengan tinggi lantai yang sama 3,5 meter dan tinggi alas 1,5 meter.



Gambar 2. 1 Model 3D SAP2000

(Sumber : Khadka, 2018)

Setelah penentuan berbagai sifat dinamis bangunan menggunakan pengukuran mikrotremor dan analisis SAP2000 selanjutnya dilakukan rekapitulasi untuk membandingkan hasil yang didapatkan. Hasil yang diperoleh berupa dalam jangka waktu dan frekuensi. Perbandingan periode waktu dan frekuensi pada berbagai kondisi ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 1 Perbandingan Parameter Analisis Periode Waktu Bangunan

No.	Parameter	Periode waktu (Detik)	Frekuensi (Hz)
1	Analisis mikrotremor	0,403	2,480
2	Analisis SAP	0,422	2,372

Frekuensi natural yang didapatkan pada pengukuran mikrotremor dan analisis SAP2000 berturut – turut adalah 2,48 Hz dan 2,40 Hz. Frekuensi Bangunan dari mikrotremor dan analisis SAP2000 yang didapatkan hampir sama. Variasi frekuensi antara hasil dari analisis mikrotremor dan analisis SAP2000 disebabkan oleh kesalahan instrumental, kesalahan presisi dan kesalahan operasional.

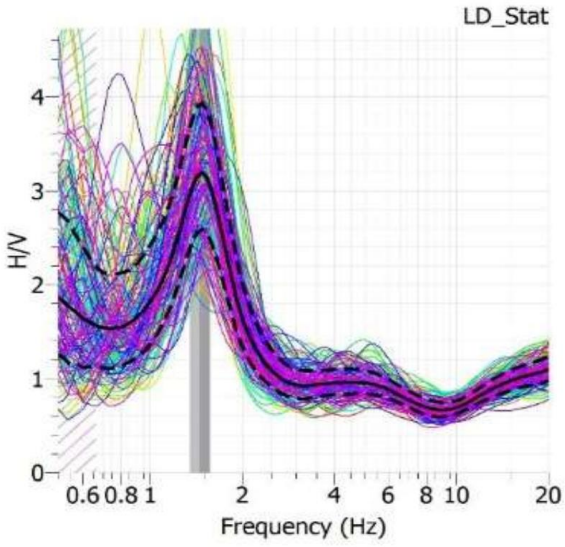
2.2.2 Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Pada Ruangan

Universitas Sarjanawijayata Tamansiswa (UST) merupakan salah satu universitas yang berada di Yogyakarta yang dimana daerah tersebut merupakan salah satu daerah yang memiliki kerentanan gempa bumi cukup tinggi. Hal tersebut disebabkan karena daerah Yogyakarta terletak berdekatan dengan daerah pertemuan antara lempeng Eurasia dan lempeng Hindia Australia. Oleh sebab itu, dilakukanlah sebuah penelitian analisis pengukuran data mikrotremor pada ruangan Prodi Pendidikan Fisika UST guna mengetahui tingkat kerentanannya serta dijadikan literatur tambahan dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi.

Penelitian dilakukan untuk mengetahui tingkat kerentanan bangunan berdasarkan hasil dari pengukuran data mikrotremor yang kemudian dianalisis menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) untuk mendapatkan nilai frekuensi natural, indeks resonansi bangunan dan indeks kerentanan bangunan. Lokasi penelitian dilakukan pada ruangan prodi pendidikan fisika yang terbagi menjadi 2 bagian. Bagian pertama merupakan bagian utama gedung yang didirikan

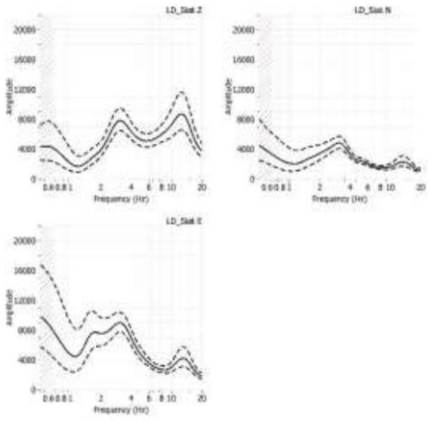
pertama di lingkungan FKIP UST yang dimana terdiri dari ruang kuliah, ruang tata usaha, ruang dosen di lantai 1 dan ruang kuliah di lantai 2. Sedangkan bagian kedua merupakan ruangan dosen di lantai 2 yang baru selesai dibuat.

Pengukuran data mikrotremor dibantu menggunakan alat Portable Digital Seismograph TDL 303S yang dilakukan pada 10 titik didalam gedung dan 1 titik di luar gedung dengan durasi lama pengukuran selama 45 menit untuk setiap titiknya. Hasil pengukuran data mikrotremor yang didapatkan kemudian diolah menggunakan perangkat lunak *Geopsy* untuk mendapatkan nilai frekuensi. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai indeks resonansi bangunan (R) dan indeks kerentanan bangunan (K_b). Nilai indeks resonansi yang didapatkan kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerentanan yang dikemukakan oleh Gosar, dkk (2010), sedangkan nilai indeks kerentanan bangunan dihitung berdasarkan persamaan yang dikemukakan oleh Nakamura, dkk (2009 dalam sungkono, dkk., 2011). Berikut merupakan hasil yang diperoleh dari pengolahan data mikrotremor.



Gambar 2. 2 *Spectrum* Frekuensi *Open Ground*

(Sumber : Prabowo dkk, 2020)



Gambar 2. 3 Spektrum Hasil Pengolahan data 1-1

(Sumber : Prabowo dkk, 2020)

Didapatkan nilai frekuensi natural tanah yang diukur diluar ruangan prodi pendidikan fisika UST sebesar 1,473 Hz. Sedangkan nilai frekuensi natural yang diukur didalam ruangan prodi pendidikan fisika UST untuk lantai 1 dan lantai 2 komponen barat – timur diperoleh dengan rata – rata sebesar 3,19 Hz dan untuk lantai 1 dan lantai 2 komponen utara – selatan diperoleh denga rata – rata 3,22 Hz. Frekuensi natural yang didapatkan sudah sesuai dengan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI (2002) yaitu lebih dari 2,78 Hz dan juga lebih besar dari pada nilai frekuensi natural tanah yaitu sebesar 1,473 Hz.

Nilai indeks resonansi yang didapatkan pada lantai 1 dengan komponen barat – timur berkisar antara 103,40% – 110,88% dan lantai 2 berkisar antara 119,05% – 136,05%. Sedangkan untuk komponen utara – selatan didapatkan pada lantai 1 dengan kisaran 103,40% – 119,05% dan lantai 2 sebesar 127,21%. Dari hasil yang didapatkan, nilai indeks resonansi tersebut termasuk kedalam klasifikasi rendah dalam mengalami resonansi menurut Gosar, dkk. (2010) karena memiliki nilai yang lebih dari 25%.

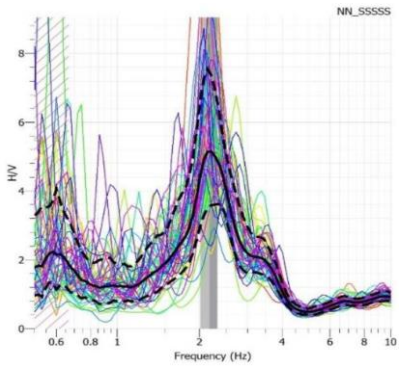
Nilai indeks kerentanan bangunan dihitung berdasarkan amplifikasi lantai bangunan paling atas, sehingga dalam penelitian ini hanya dihitung pada lantai kedua saja. Didapatkan nilai indeks kerentanan bangunan berkisaran antara 4,24 – 18,79 dengan nilai terbesar pada R. Dosen 1.2 dan nilai terkecil pada R.218.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa apabila terjadi gempa bumi ruang kelas R.218 memiliki potensi paling tinggi dalam mengalami kerusakan.

2.2.3 Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Pada Gedung

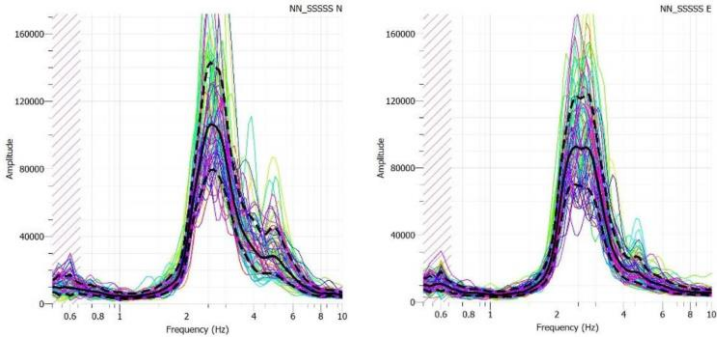
Gedung perkuliahan Institut Teknologi dan Sains Nahdlatul Ulama (ITS NU) Pekalongan merupakan salah satu gedung bertingkat dengan 3 lantai. Gedung perkuliahan ini merupakan bangunan yang masih tergolong bangunan baru, sehingga belum ada dilakukan penelitian mengenai ketahanan dan kekuatan struktur terhadap bangunan tersebut. Dalam upaya untuk mengukur ketahanan dan kekuatan struktur bangunan tersebut maka dilakukanlah penelitian analisis menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) dengan mengambil data pengukuran gelombang mikrotremor pada bangunan tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh nilai frekuensi natural bangunan dan indeks resonansi bangunan sebagai gambaran dalam menjelaskan mengenai tingkat kerentanan bangunan tersebut.

Pengambilan data mikrotremor dilakukan dengan 5 titik pada setiap lantainya dan 1 titik diluar gedung dengan lama durasi pengambilan sekitar 20 – 30 menit. Pengambilan data tersebut dibantu dengan alat Set Seismometer Sara Velbox SL06 dengan spesifikasi 3 komponen yaitu vertikal, timur – barat dan utara – selatan. Data yang didapatkan dari alat tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai frekuensi natural dan amplifikasi maksimum. Pengolahan data dibantu menggunakan perangkat lunak Geopsy dengan analisis metode *Floor Spectral Ratio* (FSR). Berikut merupakan gambar hasil spektrum frekuensi natural.



Gambar 2. 4 Spektrum Frekuensi Tanah

(Sumber : Yuniarto dan Kiswanto, 2021)



Gambar 2. 5 Spektrum Frekuensi Komponen Utara – Selatan dan Timur – Barat Pada Ruang LPPM

(Sumber : Yuniarto dan Kiswanto, 2021)

Hasil pengukuran frekuensi natural tanah yang diukur diluar bangunan didapatkan sebesar 2,17 Hz sedangkan hasil pengukuran frekuensi natural pada gedung perkuliahan ITS NU Pekalongan untuk komponen timur – barat didapatkan rata – rata sebesar 2,53 Hz dan untuk komponen utara – selatan didapatkan rata – rata sebesat 2,60 Hz. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa nilai frekuensi natural pada gedung pekuliahan ITS NU Pekalongan lebih besar daripada nilai frekuensi natural pada tanah. Hal tersebut menunjukkan bahwa gedung perkuliahan dalam kondisi aman, karena frekuensi natural bangunan lebih kecil daripada frekuensi natural tanah.

Hasil pengukuran indeks resonansi pada gedung perkuliahan ITS NU Pekalongan untuk komponen timur – barat didapatkan nilai rata – rata sebesar 16,62% dan untuk komponen utara – selatan didapatkan nilai rata – rata sebesar 20%. Berdasarkan hasil yang didapatkan, nilai indeks resonansi gedung perkuliahan ITS NU Pekalongan termasuk kedalam klasifikasi kerentanan sedang menurut klasifikasi Gosar karena mempunyai nilai 15%<R<25%. Kesimpulan tersebut didapatkan berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan.

2.2.4 Analisis Frekuensi Struktur Pada Bangunan Menara

Arif Setiawan dkk (2023) melakukan penelitian mengenai analisis frekuensi struktur Menara Masjid Raya Al–Aqsa kabupaten merauke. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui frekuensi struktur Menara Masjid Raya Al-Aqsa Merauke

dengan menggunakan metode analitik dan software SAP 2000. Hasil dari frekuensi tersebut nantinya akan dibandingkan dengan syarat yang telah ditentukan dalam SNI 1726–2019 tentang ketahanan gempa untuk struktur agar dapat mengetahui apakah frekuensi tersebut telah memenuhi syarat yang telah diatur atau tidak.

Menara masjid ini memiliki ketinggian bangunan 34 meter dengan 11 lantai serta memiliki bangunan berkonstruksi baja. Dalam perencanaan bangunan menara tersebut mengacu pada beberapa peraturan, antara lain SNI 1729–2020 tentang bangunan baja, SNI 2847–2019 tentang bangunan beton, SNI 1726–2019 tentang ketahanan gempa untuk struktur dan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983). Serta untuk data denah bangunan didapatkan dari pihak pemiliki gedung tersebut.

Hasil perhitungan periode waktu getar alami dengan menggunakan metode analitik dan software SAP2000 menurut SNI 1726–2019 tidak boleh melebihi batas atas periode getar alami. Apabila hasil perhitungan tersebut melebihi batas atas maka perlu dilakukan perencanaan kembali pada bangunan agar tidak terjadi kegagalan struktur. Didapatkanlah hasil periode getar struktur dengan metode analitik sebesar 1,4376 detik dan menggunakan SAP2000 sebesar 1,4377 detik. Hasil dari perhitungan analitik maupun sofware SAP2000 tidak boleh melebihi batas periode yang telah ditentukan dalam SNI 1726–2019. Batas yang didapatkan berdasarkan SNI 1726–2019 adalah sebesar 2,06 detik. Dari kedua hasil sebelumnya, frekuensi alami menara masjid tersebut dinyatakan memenuhi persyaratan melalui perbandingan periode getar struktur dan batas izin dengan cara analitik sebesar $1{,}4376 \leq 2{,}06$ dan melalui software SAP2000 sebesar $1{,}4376 \leq 2{,}06$. Oleh karena itu, berdasarkan periode getar struktur, bangunan dinyatakan aman.

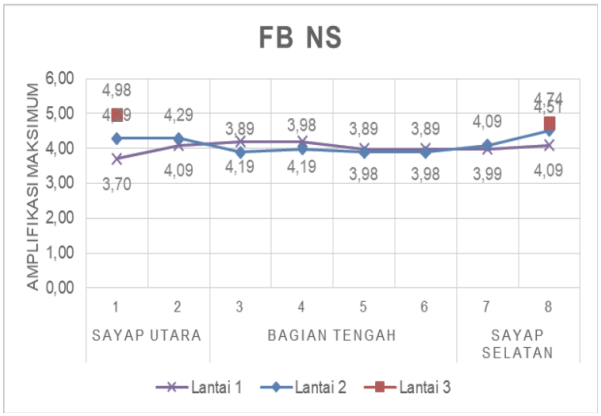
2.2.5 Analisis Kerentanan Gempa Bumi Pada Gedung

Penelitian analisis kerentanan gedung rektorat UIN Mataram dilakukan sebab rawannya terjadi bencana gempa bumi pada daerah pulau lombok. Beberapa tahun sebelumnya telah tercatat banyaknya kerusakan fasilitas, korban jiwa serta kerugian lainnya akibat dari bencana tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan

tujuan sebagai langkah mitigasi dalam mengurangi tingkat risiko bencana. Penelitian pada gedung tersebut dilakukan berdasarkan analisis data mikrotremor yang diambil langsung dilapangan. Pemilihan penelitian dalam menggunakan data mikrotremor dipilih karena memiliki banyak keunggulan antaranya lebih efektif, reliabel, cepat, akurat dan memberikan hasil yang stabil terutama dalam penentuan fungsi transfer seperti frekuensi natural, resonansi dan indeks kerentanan bangunan.

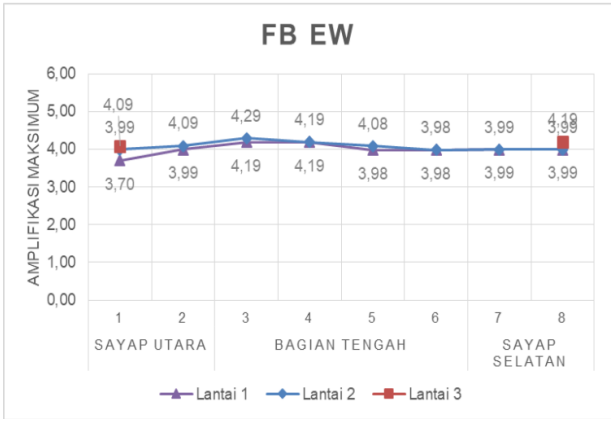
Pengambilan data mikrotremor dilakukan dengan membagi area gedung menjadi tiga bagian, antaranya bagian sayap utara yang mempunyai 3 lantai, bagian tengah yang mempunyai 2 lantai dan bagian sayap selatan yang mempunyai 3 lantai. Pengambilan data tersebut kemudian disebar dengan 18 titik didalam gedung dan 3 titik di tanah sekitar gedung. Lokasi titik didalam gedung terbagi pada beberapa lantai, antara lain 8 titik pada lantai 1, 8 titik pada lantai 2 dan 2 titik pada lantai 3. Dalam pengambilan data dibantu menggunakan alat dari stasiun Geofisika BMKG Mataram, antara lain *Digital Portable Seismograph* 3 komponen tipe TDL 303S sebagai alat perekam data dan *Feedback Short Period Seismometer* tipe DS-4A sebagai sensornya. Durasi pengambilan data dilakukan selama 40 menit untuk setiap titiknya dengan *sampling rate* 100 Hz. Kemudian hasil dari data mikrotremor tersebut kemudian diolah menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) untuk mendapatkan nilai frekuensi dan amplifikasi maksimum gedung. Kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan SNI 2002 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung.

Didapatkanlah rata – rata nilai frekuensi natural bangunan dari tiga bagian tersebut yaitu sebesar 4,15 Hz untuk komponen N-S dan 4,05 Hz untuk komponen E-W. Hasil yang didapatkan dari rekapitulasi nilai frekuensi natural pada keseluruhan ruangan tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara nilai frekuensi natural satu titik dengan titik yang lainnya yang dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7. Hal ini membuktikan bahwa Gedung Rektorat UIN Mataram memiliki nilai frekuensi natural tertentu. Jika dibandingkan dengan SNI 2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung, gedung rektorat tergolong aman karena nilai frekuensi natural yang dimiliki gedung rektorat lebih dari 2,083 Hz.



Gambar 2. 6 Grafik Nilai Frekuensi Natural Komponen N-S

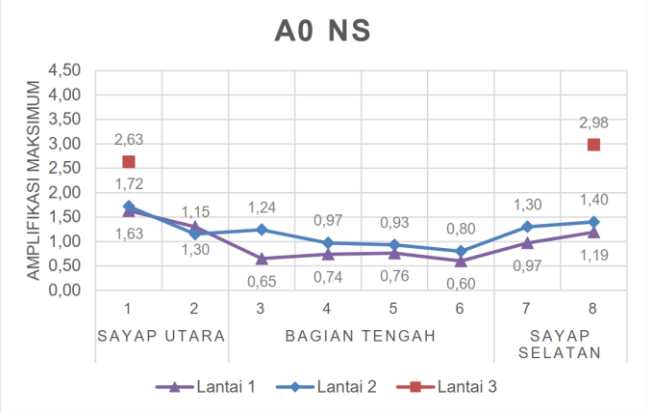
(Sumber : Ilham, 2023)



Gambar 2. 7 Grafik Nilai Frekuensi Natural Komponen E-W

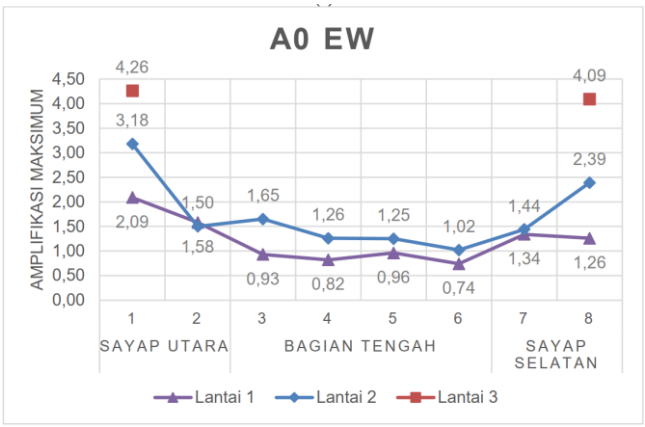
(Sumber : Ilham, 2023)

Didapatkan juga nilai amplifikasi maksimum pada seluruh ruangan pada tiap lantainya yang dapat dilihat pada **Gambar 2.8** dan **Gambar 2.9**. Besar nilai amplifikasi maksimum pada sayap selatan dan sayap utara pada lantai yang sama lebih besar dari nilai amplifikasi maksimum pada bagian tengah. Hal ini menyebabkan jika seseorang berada di sayap selatan maupun sayap utara akan merasakan efek getaran gempa yang lebih kuat dibandingkan dengan orang yang berada pada bagian tengah. Selain itu, nilai amplifikasi juga semakin meningkat seiring bertambah ketinggian lantai sehingga orang yang berada pada lantai atas akan merasakan efek getaran gempa yang lebih kuat dibandingkan lantai dibawahnya.



Gambar 2. 8 Grafik Nilai Amplifikasi Maksimum Komponen N-S

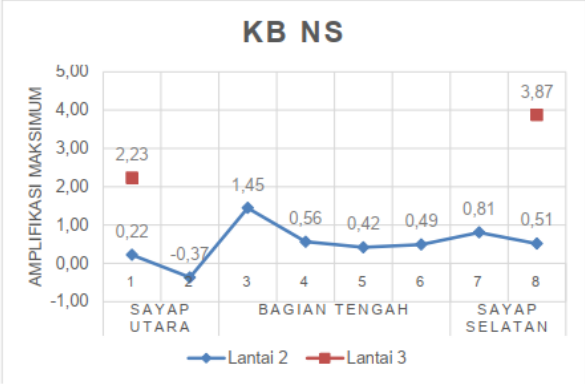
(Sumber : Ilham, 2023)



Gambar 2. 9 Grafik Nilai Amplifikasi Maksimum Komponen E-W

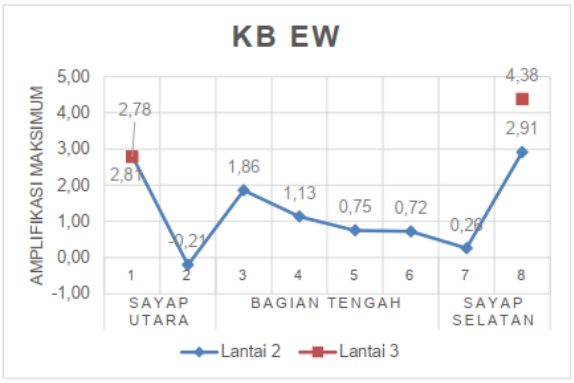
(Sumber : Ilham, 2023)

Nilai indeks kerentanan bangunan suatu lantai didapatkan dari selisih nilai amplifikasi lantai tersebut dengan lantai sebelumnya. Nilai indeks kerentanan bangunan yang didapatkan untuk komponen N-S berkisar antara -0,37 – 3,87 dan untuk komponen E-W berkisar antara -0,21 – 4,38. Hasil rekapitulasi nilai indeks kerentanan bangunan dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan Gambar 2.11. Dari hasil analisis yang didapatkan menjelaskan bahwa indeks kerentanan bangunan pada komponen E-W lebih tinggi dari pada komponen N-S, maka bangunan lebih berpotensi mengalami kerusakan oleh guncangan gempa dengan arah Timur-Barat.



Gambar 2. 10 Grafik Nilai Indeks Kerentanan Komponen N-S

(Sumber : Ilham, 2023)



Gambar 2. 11 Grafik Nilai Indeks Kerentanan Komponen E-W

(Sumber : Ilham, 2023)

Hasil indeks resonansi antara gedung rektorat dengan tanah disekitarnya pada komponen N-S berkisar sekitar 460,6% – 654,54%, sedangkan pada komponen E-W berkisar sekitar 460,6% – 550%. Hasil nilai tersebut berdasarkan klasifikasi Gosar, pada rentang nilai tersebut berada pada kategori rendah karena memiliki nilai >25 %. Maka hasil tersebut menunjukkan bahwa hubungan resonansi antara gedung dan tanah tergolong aman.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Berdasarkan tinjauan pustaka tersebu dilakukanlah penelitian yang menggabungkan analisis data mikrotremor menggunakan metode *Floor Spectral*

Ratio dengan metode analitik menggunakan software SAP2000. Penelitian ini dilakukan dengan upaya mengetahui tingkat kerentanan gedung berdasarkan hasil pengolahan data mikrotremor serta bagaimana perbandingan nilai frekuensi yang didapatkan dari perekaman mikrotremor dan SAP2000. Perbedaan utama dari penelitian yang dilakukan adalah studi kasus gedung yang diambil, alat yang digunakan dalam perekaman mikrotrmor dan penggunaan metode penelitian. Dari penelitian – penelitian yang sudah dijabarkan diatas, dirangkumlah kedalam satu tabel yang menjelaskan perbedaan dari setiap penelitian tersebut yang direkap pada tabel berikut ini.

Tabel 2. 2 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti	**Khadka**	**Prabowo**	**Yuniarto dan Kiswanto**	**Arif Setiawan**	**Ilham**	**Wishal D. Suleman**
Tahun	2018	2020	2021	2023	2023	2024
Judul Penelitian	*Determination of Natural Frequency of The Building Using The Microtremor Measurement and Comparison Its Result with SAP Analysis*	Analisis Mikrotremor Untuk Mengevaluasi Kerentanan Gempa Bumi Ruangan Prodi Pendidikan Fisika UST	Analisis Mikrotremor Untuk Evaluasi Kerentanan Gempa Bumi Pada Gedung Perkuliahan ITS NU Pekalongan	Analisis Frekuensi Struktur Menara Masjid Raya Al-Aqsa Kabupaten Merauke	*Vunerability Analiysis of Rectorate Building of UIN Mataram Against Earthquakes Based on Microtremor Data*	Evaluasi Kerentanan Gedung Bertingkat Berdasarkan Analisis Metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) Dengan Data Mikrotremor
Tujuan Penelitian	Mengetahui perbandingan nilai frekuensi natural antara analisis data mikrotremor dan analisis permodelan SAP2000	Mengetahui tingkat kerentatanan bangunan berdasarkan nilai frekuensi, indeks resonansi dan indeks kerentanan bangunan dari hasil perekaman mikrotremor	1. Mengetahui frekuensi natural tanah dan frekuensi natural bangunan	Mengetahui nilai frekuensi natural bangunan dengan menggunakan analisis permodelan SAP2000	Mengetahui tingkat kerentanan bangunan berdasarkan nilai frekuensi natural, amplifikasi, indeks resonansi dan indeks kerentanan bangunan	1. Mengetahui tingkat kerentanan bangunan berdasarakan nilai frekuensi natural, nilai indeks resonansi dan nilai indeks kerentanan bangunan

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Khadka	Prabowo	Yuniarto dan Kiswanto	Arif Setiawan	Ilham	Wishal D. Suleman
Tahun	2018	2020	2021	2023	2023	2024
			2. Mengetahui tingkat kerentanan bangunan berdasarkan nilai indeks resonansi bangunan			2. Mengetahui perbandingan nilai frekuensi natural antara analisis mikrotremor dan analisis SAP2000
Hasil Penelitian	Frekuensi natural yang didapatkan dari analisis mikrotremor adalah 2,48 Hz dan dari permodelan SAP2000 adalah 2,372 Hz.	1. Nilai frekuensi natural tanah sebesar 1,473 Hz 2. Nilai frekuensi natural ruangan prodi pendidikan UST sebesar 3,19 untuk komponen	1. Frekuensi natural tanah sebesar 2,17 Hz 2. Frekuensi natural bangunan komponen timur – barat adalah 2,53 Hz dan komponen utara – selatan 2,60	1. Hasil frekuensi menara masjid melalui perbandingan periode getar struktur dan batas izinnya dengan metode analitik sebesar 1,4376 detik,	1. Nilai frekuensi natural bangunan sebesar 4,15 Hz untuk komponen N-S dan 4,05 Hz untuk komponen E-W. 2. Nilai indeks kerentanan bangunan	1. Nilai frekuensi natural tanah berdasarkan H/V sebesar 1,242 Hz, berdasarkan spektrum komponen N-S sebesar 2,65 dan komponen E-W sebesar 2,736 2. Indeks resonansi blok

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Khadka	Prabowo	Yuniarto dan Kiswanto	Arif Setiawan	Ilham	Wishal D. Suleman
Tahun	2018	2020	2021	2023	2023	2024
		barat – timur dan 3,22 Hz untuk komponen utara - selatan 3. Nilai indeks resonansi lantai 1 pada komponen barat – timur berkisar 103,4% - 110,88% dan lantai 2 berkisar 119,05% - 136,05%. 4. Nilai indeks resonansi lantai 1 berkisaran	Hz. 3. Nilai indeks resonansi komponen timur – barat sebesar 16,62% dan untuk komponen utara – selatan sebesar 20%.	dengan software SAP2000 sebesar 1,4377 serta dengan batas aman sebesar 2,06 detik.	untuk komponen N-S berkisar antara -0,37 – 3,87 dan untuk komponen E-W berkisar antara -0,21 – 4,38. 3. Nilai indeks resonansi gedung komponen N-S berkisar 460,6% – 654,54%, dan	A berkategori tinggi, Blok B berkategori tinggi, Blok C berkategori sedang, Blok D berkategori tinggi dan Blok E berkategori sedang 3. Indeks kerentanan bangunan pada setiap blok berkategori aman kecuali lantai basement pada blok A dan blok E

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Khadka	Prabowo	Yuniarto dan Kiswanto	Arif Setiawan	Ilham	Wishal D. Suleman
Tahun	2018	2020	2021	2023	2023	2024
		103,40% - 119,05% dan lantai 2 sebesar 127,21% 4. Nilai indeks kerentanan bangunan lantai 2 berkisar antara 4,24 – 18,79.			komponen E-W berkisaran 460,6% - 550%	4. Selisih terbesar pada perbandingan nilai frekuensi antara pengolahan mikrotremor dan analisis SAP2000 yaitu pada Blok D sebesar 0,616 Hz

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Gempa

3.1.1 Pengertian Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan salah satu bencana yang kejadiannya dapat terjadi secara tiba – tiba. Bencana ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti adanya aktivitas lempeng bumi atau aktivitas vulkanik. Dalam aktivitas tersebut menghasilkan sebuah energi gelombang seismik yang dapat menjalar ke segala arah. Getaran gelombang seismik tersebut dapat terasa sampai ke permukaan bumi sehingga dapat memicu terjadinya bencana yang lain, sebab getaran yang dihasilkan ini dapat merambat ke daerah yang lain tergantung dengan besarnya getaran yang terjadi (Arifudin, 2018).

Sumber energi gempa pada aktivitas lempeng bumi adalah terjadinya peristiwa pergerakan lempeng tektonik yang mengalami gerakan pada plat tektonik, lalu mengakibatkan kedua plat tersebut saling bertubrukan, saling menggeser atau saling tarik menarik sehingga menghasilkan sebuah energi getaran yang dapat menjalar. Dalam sebuah pemahaman yang dikenal dengan *Teori Elastic Rebound*, gempa bumi disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan. Pelepasan ini terjadi karena terjadi deformasi batuan sehingga mengakibatkan adanya tekanan dan regangan pada lapisan bumi. Tekanan atau regangan yang terjadi ini kemudian dapat menyebabkan patahan pada lempeng bumi secara tiba – tiba (Karyadi, 2008).

3.1.2 Parameter Gempa Bumi

Parameter gempa bumi merupakan hasil analisis yang dilakukan dari data atau informasi yang telah didapatkan dari peristiwa gempa bumi. Hal tersebut digunakan untuk menunjang dalam menjelaskan detail peristiwa gempa bumi. Berikut merupakan beberapa parameter gempa bumi yang digunakan dalam menjelaskan detail peristiwa tersebut (Shohaya, 2013).

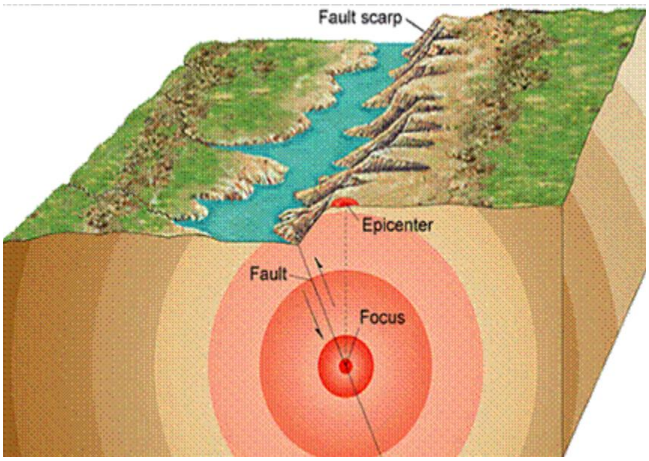
1. Waktu kejadian gempa bumi

   Waktu yang dimaksudkan adalah momentum saat terlepasnya gelombang seismik hingga menjalar ke segala arah. Waktu tersebut dinyatakan dalam keterangan jam, menit, detik, hari, tanggal dan tahun.

2. Hiposenter gempa bumi

   Hiposenter merupakan titik dimana getaran seismik tersebut berasal. Semakin dalam hiposentrum gempa, gempa yang dihasilkan biasanya tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan semakin dalam lapisan bumi, batuan akan semakin tidak rapuh dan lebih elastis. Ini membuat gempa yang terjadi terlalu dalam tidak akan terlalu terasa. Sebaliknya, gempa yang terjadi dangkal, biasanya dampaknya akan lebih terasa di permukaan bumi. Berdasarkan kedalamannya gempa dibagi menjadi tiga jenis, antara lain :

   a) Gempa dangkal dengan kedalam hiposenter < 70 kilometer
   b) Gempa sedang dengan kedalaman hiposenter 70 – 300 kilometer
   c) Gempa dalam dengan kedalaman hiposenter 300 – 700 kilometer



Gambar 3. 1 Titik Hiposenter Pada Lapisan Bumi

(Sumber : BMKG, 2009)

3. Episenter gempa bumi

   Episenter merupakan titik getaran yang dirasakan pada permukaan bumi akibat dari rambatan energi gelombang seismik yang berasal dari hiposenter

gempa bumi. Titik getaran dapat menyebar ke segala arah sehingga dapat menjadi pemicu terjadinya kerusakan bangunan akibat getaran yang terjadi.

4. Magnitude atau kekuatan gempa bumi

   Magnitude merupakan besaran yang menjelaskan sebesarapa kuat getaran yang terjadi saat gempa bumi. Besaran magnitude yang terjadi dapat berbeda pada setiap titiknya sebab hal tersebut mempertimbangkan jarak dari sumber asal gempa buminya.

5. Intensitas gempa bumi

   Intensitas gempa bumi merupakan parameter yang digunakan dalam memprediksi seberapa besar dampak yang dihasilkan dari pengaruh gempa tersebut. Besaran intensitas ini biasa digunakan dalam menjelaskan skala intensitas gempa bumi (SIG). berikut merupakan tabel intensitas gempa bumi beserta penjelasannya.

Tabel 3. 1 Intensitas Gempa Bumi Skala MII (*Modified Mercally Intensity*)

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	Tidak dirasakan (*not felt*)	Tidak dirasakan atai dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat	I – II	< 2,9
II	Hijau	Dirasakan (*felt*)	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda – benda ringan yang digantung bergoyang dan jendela kaca bergetar.	III – V	2,9 - 88
III	Kuning	Kerusakan ringan (*Slight Damage*)	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, genteng bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan.	VI	89 – 167

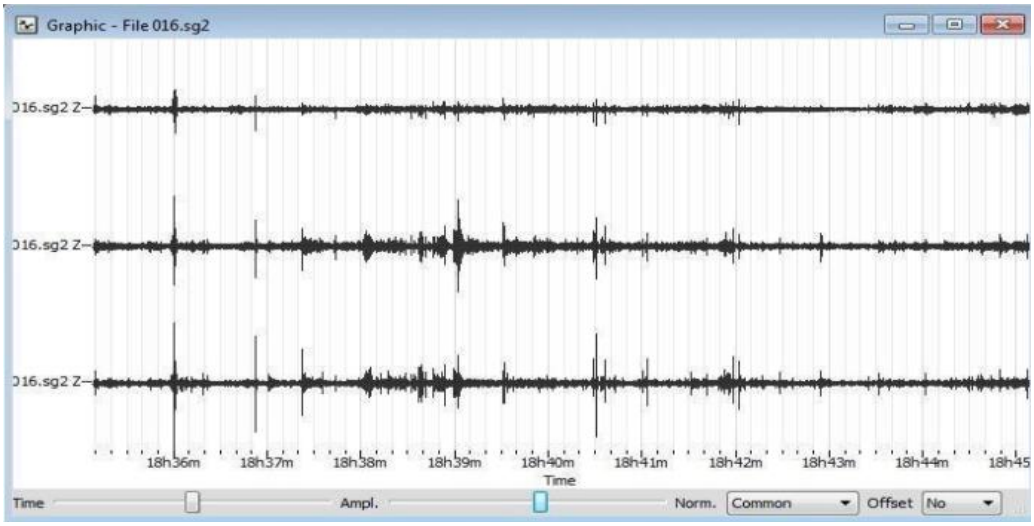
Lanjutan Tabel 3.1 Intensitas Gempa Bumi Skala MII *(Modified Mercally Intensity)*

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
IV	Jingga	Kerusakan sedang (*moderate demage*)	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 (*heavy demage*)	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.	IX – XII	> 564

(Sumber : Arifudin, 2018)

3.2 Mikrotremor

Mikrotremor biasa disebut sebagai *ambient noise* yang merupakan getaran konstan yang kecil pada tanah dan lantai bangunan yang diakibatkan oleh efek angin pada bangunan atau pohon, mesin industri, mobil, aktivitas manusia, gelombang laut dan lain sebagainya (Sungkono, 2011). Analisis menggunakan mikrotremor dapat digunakan untuk mengidentifikasi frekuensi tanah, frekuensi bangunan, resonansi bangunan dan struktur tanah dibawahnya. Salah satu kelebihan dalam pengukuran mikrotremor adalah dapat dilakukan tanpa merusak struktur bangunan. Hasil dari rekaman data mikrotremor pada setiap titik tinjauan menjadi acuan yang digunakan dalam pengolahan data agar dapat menjelaskan karakteristik tanah atau bangunan yang ditinjau (Larasati, 2022). Berikut merupakan contoh hasil rekaman data mikrotremor.



Gambar 3. 2 Hasil Rekaman Mikrotremor Pada *Software Geospy*

(Sumber : Irvan Kusuma, 2022)

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

Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) merupakan metode yang dikembangkang oleh Yutaka Nakamura (1989) yang dimana metode ini merupakan salah satu metode yang paling sederhana dan efektif dalam mengestimasi karakterisitk dinamika lapisan permukaan tanah melalui frekuensi natural dan amplifikasi berdasarkan data mikrotremor. Metode ini dikembangkan berdasarkan pengalamannya dalam sebuah penelitian mengenai perambatan gelombang geser akibat peristiwa gempa dengan cara membandingkan antara hasil spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari data mikrotremor (Nakamura, dkk, 2000).

Nilai frekuensi natural tanah dapat digunakan sebagai pembanding dengan nilai frekuensi natural bangunan untuk mengetahui tingkat resonansi pada bangunan. Penentunan nilai frekuensi natural tanah dipengaruhi oleh ketebalan suatu sedimen pada daerah tersebut (Syihabuddin, 2020). Nilai frekuensi yang rendah maka menunjukan lapisan sedimen pada daerah tersebut tebal, sedangkan nilai frekuensi yang semakin tinggi menunjukan ketebalan sedimen tipis. Nilai frekuensi yang terukur pada permukaan tanah dapat diketahui karakteristik batuan dibawahnya dengan menggunakan klasifikasi nilai frekuensi natural oleh kanai yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural Oleh Kanai

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

(Sumber : Syihabuddin, 2020)

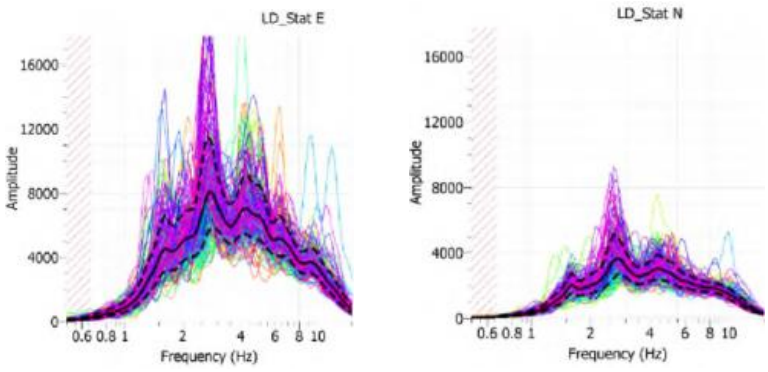
3.4 Metode *Floor Spectral Ratio* (FSR)

Metode Floor Spectral Ratio (FSR) adalah metode yang dikembangkan oleh Gosar, dkk. (2010). Metode ini bertujuan untuk menentukan nilai frekuensi natural

bangunan dan nilai indeks resonansi bangunan guna menggambarkan karakteristik bangunan terhadap gempa bumi berdasarkan fungsi transfer dari spektrum bangunan dan spektrum tanah. Penggunaan metode ini memanfaatkan gelombang alami yang terjadi dari bangunan untuk mendapatkan frekuensi naturalnya (Yuniarto & Kiswanto, 2021).

Sedangkan untuk menentukan indeks kerentanan bangunan terhadap bencana gempa bumi, menurut Nakamura dapat diestimasikan dengan menggunakan sudut drift. Hal tersebut berkaitan dengan percepatan gempa input dan perpindahan setiap lantai. Parameter ini diperkirakan dari frekuensi dan amplitudo pada setiap lantai yang diperoleh fungsi transfer dari struktur (Ayi & Bahri, 2012).

Analisis menggunakan metode FSR dilakukan dengan cara mengubah hasil data rekaman mikrotremor dari kawasanan waktu menjadi kawasan frekuensi pada tiga komponen pengukuran yaitu komponen vertikal, N-S (utara – selatan) dan E-W (timur – barat). Kemudian dapat diketahui nilai frekuensi dan amplitudo maksimum dari hasil analisis FFT pada software *geopsy*. Berikut merupakan contoh analisis FFT yang dilakukan menggunakan metode FSR pada software *geopsy*.



Gambar 3. 3 Grafik Spektrum Komponen EW dan NS

(Sumber : Prastowo dan Prabowo, 2017)

3.5 Frekuensi Natural Bangunan

Frekuensi natural bangunan adalah respon dinamik bangunan atas adanya gelombang getaran pada tanah dasar. Besaran nilai frekuensi natural bangunan dapat berbeda – beda, dimana bangunan lebih tinggi akan bergetar lebih lambat

dibandingkan bangunan yang rendah. Secara umum batasasn pengamatan frekuensi pada mikrotremor berkisaran diantara 0,5-20 Hz dan untuk mikrotremor frekuensi kecil bisa mencapai 0,2 Hz. Frekuensi natural yang dimiliki gedung rata – rata lebih dari 1 Hz dan kurang dari 8 Hz, sedangkan frekuensi dibawah 1 Hz diabaikan (Larasati, 2022).

Mengetahui besaran nilai frekuensi natural bangunan terhadap frekuensi natural tanah merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memperkirakan kemungkinan kerusakan pada bangunan akibat gempa bumi. Jika frekuensi tanah disekitar bangunan lebih kecil daripada frekuensi bangunan maka bangunan dinyatakan aman dari ancaman kerusakan akibat gempa bumi dan apabila frekuensi bangunan lebih kecil daripada frekuensi tanah maka bangunan dinyatakan tidak aman dari ancaman kerusakan gempa bumi (Gosar, 2010). Nilai frekuensi natural bangunan ditentukan dari analisis spektrum setiap lantai bangunan terhadap tanah dibawahya. Dalam menentukan nilai frekuensi natural bangunan berdasarkan analisis FSR adalah dengan menggunakan persamaan yang diusulkan oleh Prakorsa (Sarkowi, 2022).

$$f_L\ (FSR) = \frac{f_L NS}{f_t\ NS} \quad (3.1)$$

$$f_L\ (FSR) = \frac{f_L EW}{f_t\ EW} \quad (3.2)$$

Keterangan :

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

f_L = Hasil FFT Frekuensi Pada Lantai (Hz)

f_t = Hasil FFT Frekuensi Tanah (Hz)

3.6 Amplifikasi

Amplifikasi suatu gelombang dapat terjadi ketika benda yang memiliki frekuensi diganggu oleh gelombang lain dengan frekuensi yang sama. Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan. Konsep dasar fenomena amplifikasi gelombang seismik oleh adanya sedimen yang berada diatas *basement* dengan perbedaan

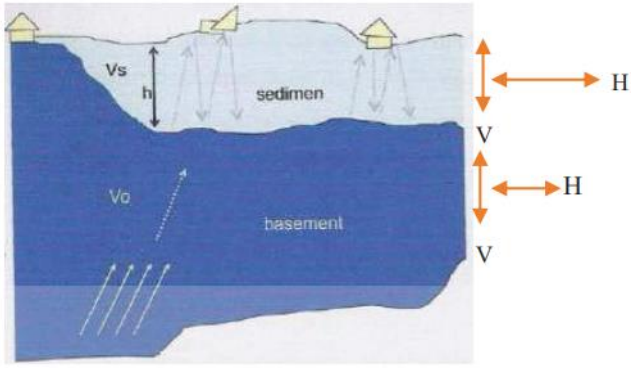
densitas dan kecepatan V_s, V_0 yang mencolok seperti yang pada gambar dibawah ini.

Frekuensi Dominan

f = Vs / 4h

Amplifikasi

A = $\rho_o.V_o$ / $\rho_s.V_s$



Besarnya resonansi tergantung dari besarnya kontras impedansi (densitas dan kecepatan antara sedimen dan *basement*

Gambar 3. 4 Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik

(*Sumber : Nakamura, 2000*)

Gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awalnya. Semakin besar perbedaannya, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar. Nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Bila perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka nilai faktor penguatan juga tinggi, begitu pula sebaliknya (Nakamura, 2000).

3.7 Indeks Resonansi Bangunan

Resonansi terjadi apabila frekuensi bangunan dan frekuensi tanah mempunyai nilai yang relatif sama. Besaran nilai indeks resonansi memberikan gambaran kemungkinan suatu bangunan mengalami resonansi saat terjadi gempa bumi (Sarkowi, 2022). Dalam hal ini, nilai tersebut merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menjelaskan tingkat kerentanan bangunan terhadap gempa bumi. Nilai indeks resonansi bangunan (R) untuk setiap komponen (NS dan EW) dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini (Prastowo, 2017).

$$R = \left|\frac{f_b - f_t}{f_t}\right| \times 100\% \quad (3.3)$$

Keterangan :

R = Nilai Indeks Resonansi (%)

f_b = Rasio Frekuensi Natural Bangunan

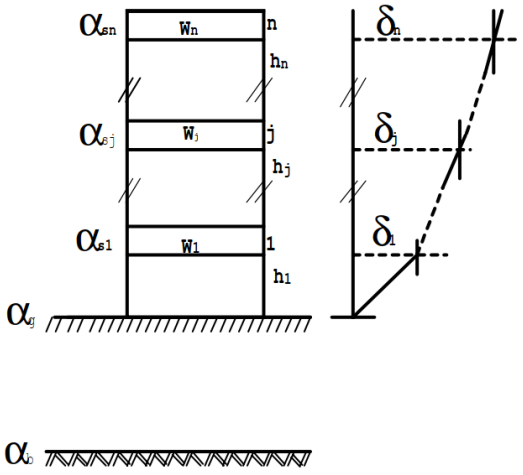
f_t = Rasio Frekuensi Natural Tanah.

Berdasarkan nilai indeks resonansi bangunan dapat ditentukanlah bagaimana tingkat kerentanan bangunan. Menurut Gosar, (2010) tingkat kerentanan resonansi bangunan terhadap gempa bumi diklasifikasikan menjadi tiga kriteria, antara lain :

1. Resonansi bangunan rendah apabila R>25%
2. Resonansi bangunan sedang apabila 15%<R<25%
3. Resonansi bangunan tinggi apabila R<15%

3.8 Indeks Kerentanan Bangunan

Memperkirakan kemungkinan terjadinya kerusakan struktur akibat gempa bumi sangatlah penting untuk mengetahui kondisi daya tahan antara tanah dan struktur bangunan. Indeks kerentanan bangunan dapat diperkirakan dari deformasi struktur yang terkait dengan getaran seismik dari tanah dan karakteristik dinamik yang dimiliki lapisan permukaan dan struktur (Nakamura, 2000). Berikut merupakan skema model bentuk dan karakteristik deformasi struktur lantai ke-n.



Gambar 3. 5 Model dan Karakteristik Deformasi Dari Struktur Lantai ke–n

(*Sumber : Nakamura, 2000*)

Kinerja deformasi dan tingkat amplifikasi gerakan gempa dapat diperkirakan dari karakteristik dinamis struktur. Dalam hal ini frekuensi struktur berpengaruh terhadap kerusakan struktur akibat gempa. Perpindahan horizontal (δ_j) yang ditunjukan pada Gambar 3.5 dapat ditulis seperti persamaan berikut.

$$\delta_j = \frac{a_{sj}}{(2\pi F_s)^2} \tag{3.4}$$

F_s merupakan frekuensi struktur. Sudut drift (γ_i) dari lantai ke-j dinyatakan sebagai berikut,

$$\gamma_j = \frac{\delta_j - \delta_{j-1}}{h_j} = \frac{\alpha_{sj} - \alpha_{sj-1}}{4.\pi^2.F_s^2.h_j} \tag{3.5}$$

Disini, A_g dan A_{sj} masing – masing adalah faktor amplifikasi tanah dan lantai ke-j. A_{sj} adalah,

$$\begin{aligned} \alpha_{sj} &= A_{sj}.\alpha_g \\ &= A_{sj}.A_g.\alpha_b \\ &= A_{sgj}.\alpha_b \end{aligned} \tag{3.6}$$

A_{sj} berasal dari S_{jh} dan S_{gh} yang masing – masing merupakan spektrum horizontal dari lantai ke-j dan lantai dasar. A_{sgj} berasal dari rasio antara S_j dan spektrum vertikal lantai dasar yang mewakili faktor amplifikasi gabungan dari permukaan tanah dan struktur. α_b dan α_g masing – masing adalah percepatan horizontal lantai dasar dan permukaan tanah.

Jika satuan sudut drift adalah 10^{-6}, h_j adalah meter dan percepatan seismik diukur dalam satuan Gal (cm/detik^2), maka dengan penyesuaian satuan, **Persamaan 3.5** dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\gamma_j = 10^4.\frac{(A_{sgj} - A_{sgj-1})}{4.\pi^2.F_s^2.h_j}.\alpha_b \tag{3.7}$$

Dari Persamaan 3.7, nilai K_{Tgj} (yang mewakili indeks kerentanan untuk tanah dan bangunan) didefinikan sebagai berikut.

$$K_{Tgj} = 10^4 . \frac{(A_{sgj} - A_{sgj-1})}{4.\pi^2 . F_s^2 . h_j} \quad (3.8)$$

Percepatan maksimum yang diijinkan dari kolom lantai ke-j α_{baj} (dalam Gal) yang diturunkan dari Persamaan 3.8 adalah sebagai berikut.

$$\alpha_{sj} = 10^4 . \frac{4.\pi^2 . F_s^2 . h_j}{A_{sgj} - A_{sgj-1}} . \gamma_{aj} \quad (3.9)$$

Satuan dari nilai K yang diberikan diatas menjadi 1/Gal. Dari sini, indeks kerentanan bangunan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$K_{Tj} = 10^4 . \frac{(A_{sgj} - A_{sgj-1})}{4.\pi^2 . F_s^2 . h_j} \quad (3.10)$$

Berdasarkan Persamaan 3.10 yang dikemukakan oleh Nakamura, (2000) kemudian dikembangkan oleh Sato (2008) dalam penelitian mengenai perubahan karakteristik dinamis menggunakan mikrotremor. Disini nilai indeks kerentanan bangunan diturunkan sebagai rata – rata dari Persamaan 3.10 untuk setiap struktur (Sato, dkk., 2010).

$$K_b = \frac{A}{(2.\pi . f_b)^2} \times \frac{10.000}{H} \quad (3.11)$$

Keterangan :

K_b = Nilai indeks kerentanan bangunan (m/s^2)

A = Faktor amplifikasi bangunan (m/s^2)

f_b = Frekuensi natural bangunan (Hz)

H = Ketinggian bangunan (m)

3.9 Pembebanan Gempa Pada Bangunan Struktur

Analisis pembebanan pada bangunan struktur akibat gempa bumi mengacu pada beberapa standar yang berlaku di indonesia, khususnya peraturan – peraturan berikut ini :

1. SNI 1726 – 2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung

2. SNI 1727 – 2020 Tentang Beban Desain Minimun dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain
3. PPPURG – 1987 Tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan gedung

Pada penelitian ini pembebanan yang digunakan dalam analisis gedung yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa. Berikut merupakan penjelasan tentang beban yang digunakan dalam penelitian ini.

3.9.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban yang dihasilkan oleh berat sendiri struktur atau elemen struktur yang dikenakan pada struktur tanpa adanya beban tambahan dari luar. Beban mati terdiri dari berat sendiri material bangunan seperti beton, baja, kayu dan material lainnya yang digunakan dalam konstruksi serta bersifat tetap pada bangunan contohnya seperti instalasi atau perlengkapan permanen yang terpasang pada struktur. Dalam menentukan beban mati untuk perancangan nilai yang digunakan merupakan berat bahan dan konstruksi dengan ketentuan standar yang telah ditetukan, jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang. Berikut merupakan beban mati yang digunakan dalam analisis menggunakan software SAP2000.

Tabel 3. 3 Beban Mati

Komponen	**Berat Volume**		**Tebal**	**Berat Total**
	Nilai	**Satuan**	**(m)**	**(kN/m^2)**
Keramik	17	kg/m^2		0,167
Mortar Spesi	21	kg/m^2		0,206
Pasir	1800	kg/m^3	0,04	0,706
Pelat Lantai	2400	kg/m^3	0,12	2,825
Plumbing & Elektrikal	0,3	kN/m^2		0,300
Plafond	24	kg/m^2		0,235
Rangka Plafond	7	kg/m^2		0,069
Total Beban Mati Tambahan				4,508
Beban Dinding Pada Balok	120	kg/m^2	3,8	4,473

(Sumber : PPPURG – 1987)

3.9.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang berasal dari kegiatan atau aktivitas yang terjadi pada struktur akan tetapi tidak bersifat tetap dan tidak selalu sama. Beban hidup dapat bervariasi tergantung pada jenis struktur dan penggunaannya, seperti jumlah yang digunakan pada gedung, beban peralatan atau mesin yang digunakan didalam gedung, dan sebagainya. Beban hidup bersifat statis atau dinamis dan dapat dihitung menggunakan berbagai standar dan kode perencanaan yang berbeda, tergantung pada jenis dan lokasinya. Penting untuk memperhitungkan beban hidup dalam perencanaan struktur untuk memastikan bahwa struktur aman dan dapat menahan beban hidup yang dikenakan padanya dengan aman dan efektif. Berikut merupakan beban hidup yang digunakan dalam analisis menggunakan software SAP2000.

Tabel 3. 4 Beban Hidup

Penggunaan	Beban Hidup (kN/m^2)
Auditorium	4,79
Koridor diatas lantai pertama	3,83
Koridor lantai pertama	4,79
Perpustakaan	7,18
Ruangan dosen & Kantor	2,4
Ruang kelas besar	4,79
Ruang kelas kecil	1,92

(Sumber : SNI 1727 – 2020)

3.9.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang dihasilkan oleh getaran atau goncangan yang diakibatkan oleh gempa bumi. Beban gempa dapat menyebabkan gaya inersia dan gaya gesekan pada struktur yang dapat merusak atau bahkan menghancurkan struktur jika tidak dirancang untuk dapat menahan beban gempa. Berdasarkan SNI 1726–2019, perencanaan gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarannya selama umur struktur bangunan 50 tahun

adalah sebesar 2%. Klasifikasi kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung diatur dalam SNI 1726–2019 yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. 5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi dibatasi untuk, antara lain : - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang mewakili risiko terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan 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 : - Pusat pembangkit listrik biasa	III

Lanjutan Tabel 3. 5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk : - Bangunan – bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

(*Sumber : SNI 1726 – 2019*)

Setiap risiko bangunan memiliki pengaruh gempa rencana yang berbeda – beda, maka dari itu perlu dikalikan dengan dengan faktor keutamaan gempa yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 6 Faktor Keutamaan Gempa

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

(*Sumber : SNI 1726 – 2019*)

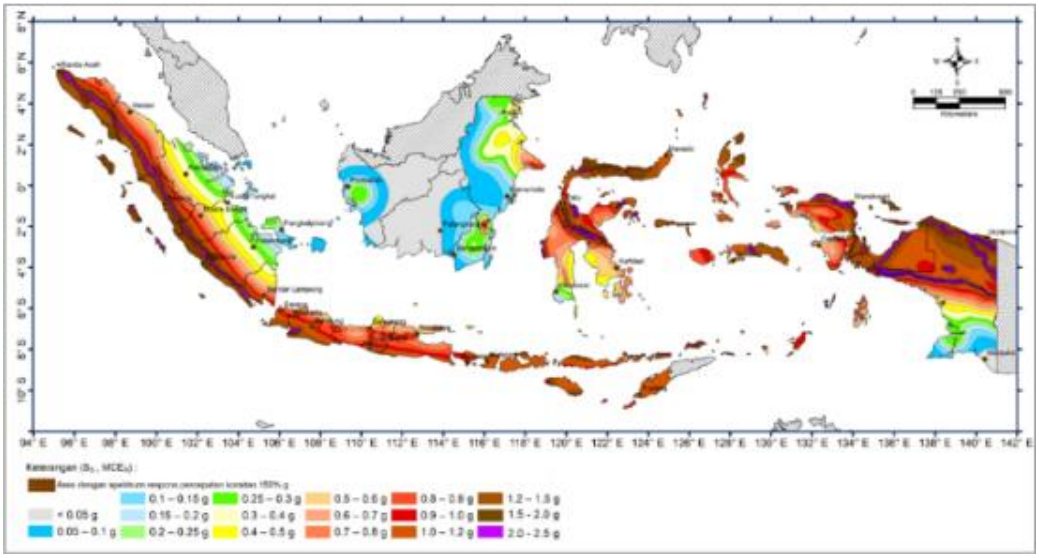
3.10 Respon Spektrum

Respon spektrum adalah metode analisis struktur bangunan dengan menggunakan spektrum gempa yang digambarkan dalam bentuk kurva hubungan antara periode struktur bangunan (T) dengan nilai percepatan bangunan (S_a) ketika terkena beban gempa. Respon spektrum yang dihasilkan pada setiap daerah dapat berbeda – beda karena adanya penentuan klasifikasi yang berbeda pada setiap daerahnya. Dalam SNI 1729 – 2019 telah diatur bagaimana untuk menetukan kurva respon spektrum pada daerah tertentu di indonesia berdasarkan parameter – parameter yang telah ditentukan dalam SNI tersebut. Berikut merupakan parameter yang digunakan dalam membuat respon spektrum.

3.10.1 Analisis Respon Spektrum

1. Percepatan spektral periode 0,2 detik

   Penentuan nilai percepatan spektral periode 0,2 detik ditentukan berdasarkan peta dibawah ini.

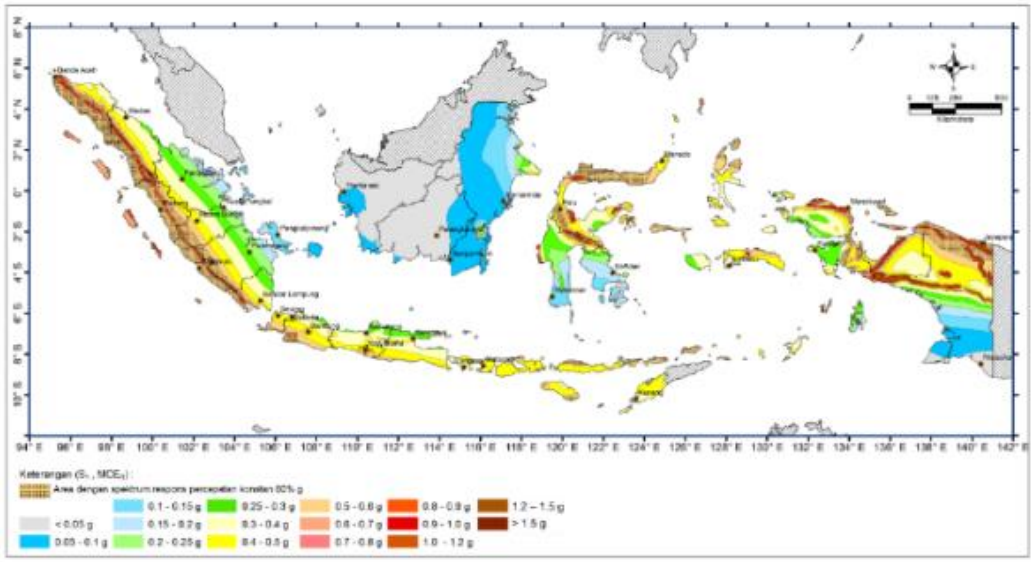


Gambar 3. 6 Peta Parameter Gerak Tanah (Ss) Periode 0,2 Detik

(*Sumber : SNI 1726-2019*)

2. Percepatan spektral periode 1 detik

   Penentuan nilai percepatan spektral periode 1 detik ditentukan berdasarkan peta dibawah ini.

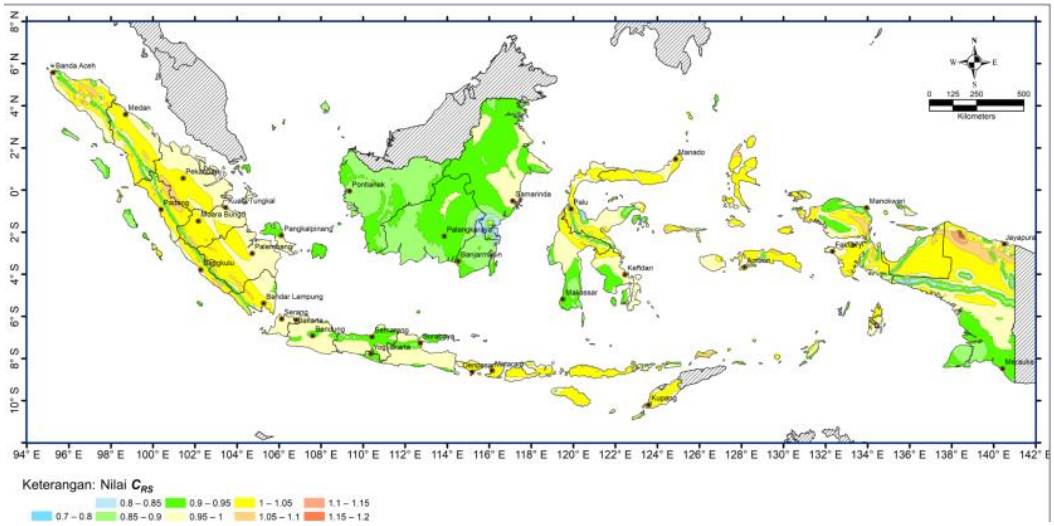


Gambar 3. 7 Peta Parameter Gerak Tanah (S1) Periode 1 Detik

(*Sumber : SNI 1726-2019*)

3. Koefisien risiko terpetakan periode 0,2 detik (C_{RS})

   Penentuan nilai koefisien risiko terpetakan periode 0,2 detik ditentukan berdasarkan peta dibawah ini.

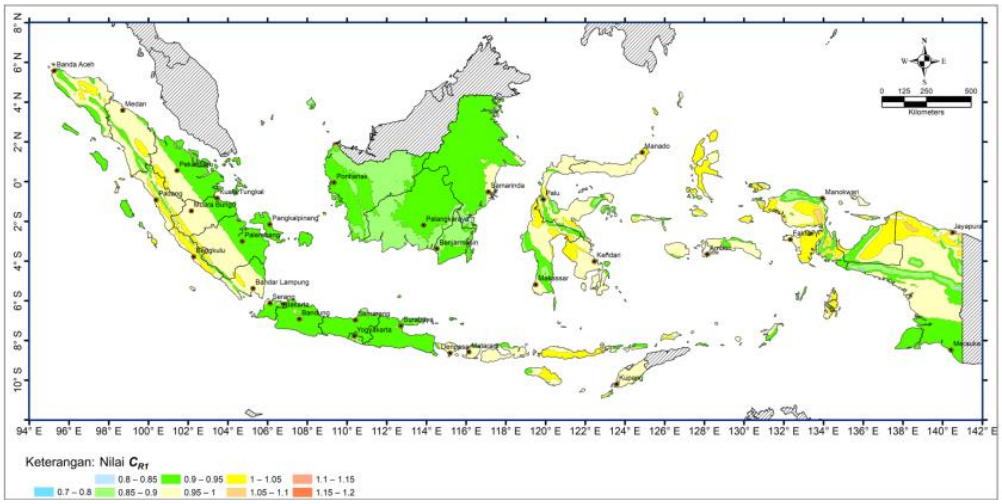


Gambar 3. 8 C_{RS} Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 0,2 Detik

(*Sumber : SNI 1726-2019*)

4. Koefisien risiko terpetakan periode 1 detik (C_1)

   Penentuan nilai koefisien risiko terpetakan periode 1 detik ditentukan berdasarkan peta dibawah ini.



Gambar 3. 9 C_{R1} Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respon Spektral 1 Detik

(*Sumber : SNI 1726-2019*)

3.10.2 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum

Penentuan respons spektral percepatan gempa MCER pada permukaan tanah memerlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi tersebut meliputi getaran percepatan pada getaran periode pendek (F_A) dan percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_V). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs ditentukan berdasarkan perhitungan berikut.

$$S_{MS} = F_A \times S_S \quad (3.12)$$

$$S_{M1} = F_V \times S_1 \quad (3.13)$$

Keterangan :

S_s = Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_1 = Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 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 nilai situs F_a dan F_v dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 berikut ini.

Tabel 3. 7 Koefisien Situs, Fa

Kelas situs	**Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, Ss**					
	$S_s \leq 0{,}25$	$S_s = 0{,}5$	$S_s = 0{,}75$	$S_s = 1{,}0$	$S_s = 1{,}25$	$S_s \geq 1{,}5$
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

Lanjutan Tabel 3.7 Koefisien Situs, Fa

Kelas situs	**Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, Ss**					
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*)

Catatan :

a) Untuk nilai diantara S_s dapat dilakukan interpolasi linier

b) SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik

Tabel 3. 8 Koefisien Situs, Fv

Kelas situs	**Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) 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*)

Catatan :

a) Untuk nilai diantara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier

b) SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik

3.10.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}), ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (3.14)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (3.15)$$

3.10.4 Spektrum Respon Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 3.9 dan mengikuti ketentuan dibawah ini.

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

$$S_A = S_{DS}\left(0{,}4 + 0{,}6\frac{T}{T_0}\right) \quad (3.16)$$

2. Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S, spektrum respon percepatan desain, S_a, sama dengan S_{DS}.
3. Untuk periode lebih besar dari T_S tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L, respon spektral percepatan desain, S_a, diambil berdasarkan persamaan berikut ini.

$$S_A = \left(\frac{S_{D1}}{T}\right) \quad (3.17)$$

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

$$S_A = \left(\frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2}\right) \quad (3.18)$$

Keterangan :

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

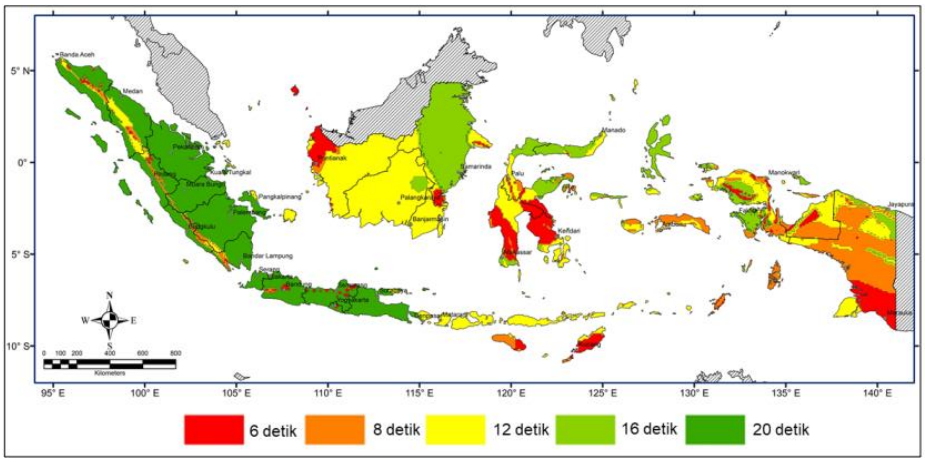
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0{,}2\left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}}\right) \tag{3.19}$$

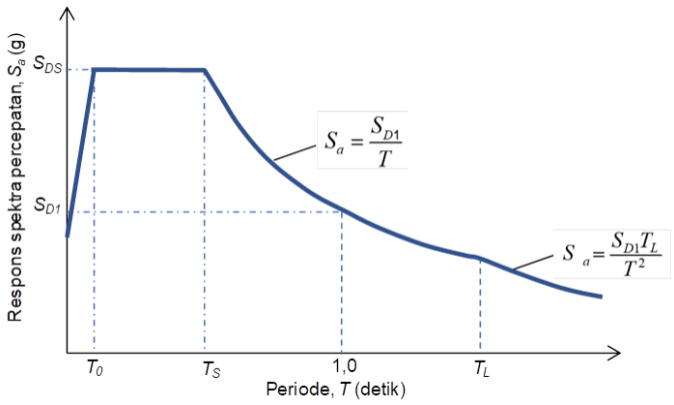
$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.20}$$

T_L = Peta transisi periode panjang, nilainya diambil dari Gambar 3.10



Gambar 3. 10 Peta Transisi Periode Panjang (T_L)

(*Sumber : SNI 1726-2019*)



Gambar 3. 11 Spektrum Respon Desain

(*Sumber : SNI 1726-2019*)

3.10.5 Kategori Desain Seismik

Struktur dengan kategori risiko I, II atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S1, lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S1, lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur perlu ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan nilai dari parameter respons percepatan periode pendek (SDS) ataupun periode 1 detik (SD1). Berikut merupakan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan.

Tabel 3. 9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 0,2 Detik (S_{DS})

Nilai S_{DS}	**Kategori Risiko**	
	I atau II atau III	**IV**
$S_{DS} < 0{,}167$	A	A
$0{,}167 \leq S_{DS} < 0{,}33$	B	B
$0{,}33 \leq S_{DS} < 0{,}50$	C	C
$0{,}50 \leq S_{DS}$	D	D

(*Sumber : SNI 1726-2019*)

Tabel 3. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik (S1)

Nilai S_{DS}	**Kategori Risiko**	
	I atau II atau III	**IV**
$S_{D1} < 0{,}067$	A	A
$0{,}067 \leq S_{D1} < 0{,}133$	B	B
$0{,}133 \leq S_{D1} < 0{,}20$	C	C
$0{,}20 \leq S_{D1}$	D	D

(*Sumber : SNI 1726-2019*)

3.10.6 Gaya Dasar Seismik

Gaya dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$V = C_S \times W \tag{3.21}$$

Keterangan :

C_S = Koefisien respons seismik yang ditentukan pada Persamaan (3.13)

W = Berat seismik efektif

Koefisien respon seismik (C_S) ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \tag{3.22}$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektral desain rentang periode pendek

R = Koefisien modifikasi respon

I_e = Faktor keutamaan gempa Tabel 3.4

Nilai C_S yang dihitung sesuai persamaan (3.13) tidak perlu melebihi berikut ini :

Untuk T ≤ TL

$$C_S = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{3.23}$$

Untuk T > TL

$$C_S = \frac{S_{D1}.\ T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{3.24}$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_S = 0{,}044.S_{DS}.I_e \geq 0{,}01 \quad (3.25)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi didaerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_S = \frac{0{,}5.S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.26)$$

Keterangan :

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

T = Periode fundamental struktur (detik)

S_1 = Parameter percepatan respon spektral maksimum

3.10.7 Penentuan Periode Fundamental

Periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan (T_a). Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukann periode fundamental struktur (T), diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan (T_a).

Tabel 3. 11 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

Parameter percepatan respon spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	**Koefisien C_u**
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

(*Sumber : SNI 1726-2019*)

Periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik ditentukan dengan rumus persamaan berikut :

$$T_a = C_t . h_n^x \quad (3.27)$$

Keterangan :

h_n = Tinggi total struktur bangunan

C_t dan x = Ditentukan berdasarkan Tabel 3.12

Tabel 3. 12 Koefisien Untuk Batak Atas Pada Periode Yang Dihitung

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik :		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber : SNI 1726 – 2019)

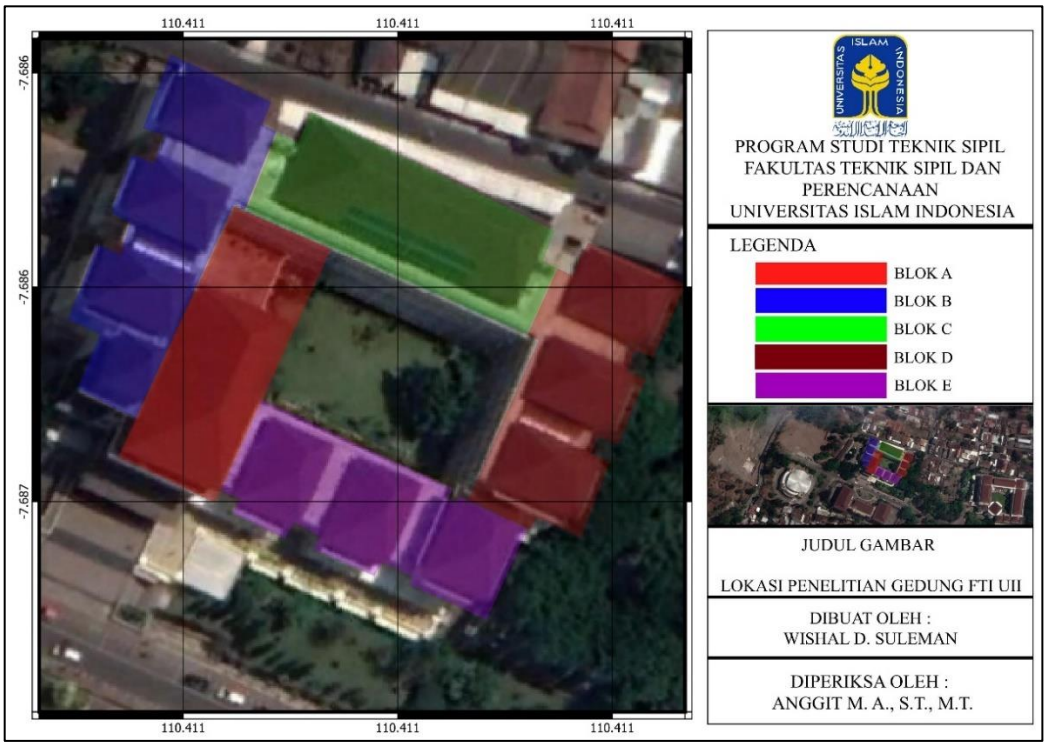
Perhitungan T_a max dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$T_{a\,max} = C_u . T_a \quad (3.28)$$

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Gedung Perkuliahan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Gedung ini memiliki 4 lantai dan 1 basement serta terbagi atas 5 bagian gedung. Lantai 1 banyak difungsikan sebagai kantor dan ruangan – ruangan tenaga pendidik. Sedangkan lantai 2, lantai 3 dan lantai 4 merupakan ruangan – ruangan kelas. Dan untuk lantai basement merupakan kantin dan tempat pelayanan mahasiswa. Berikut merupakan lokasi gedung perkuliahan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.



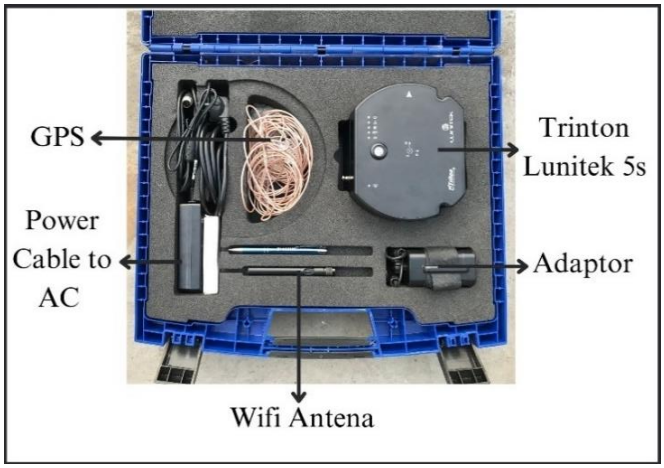
Gambar 4. 1 Lokasi Gedung FTI UII

(Sumber : Google Earth)

4.2 Peralatan

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

1. Perangkat lunak (*Software*)
    a. *Geopsy* berfungsi untuk mengolah data mikrotremor menjadi kurva spektrum,
    b. *Google earth* berfungsi untuk menunjukkan lokasi penelitian,
    c. Autocad 2021 berfungsi untuk memodelkan gedung dua dimensi,
    d. SAP2000 berfungsi untuk menganalisis periode alami bangunan,
    e. *Microsoft excel* 2022 berfungsi untuk pengolahan data,
    f. *Microsoft word* 2022 berfungsi untuk penyusunan laporan.
2. Perangkat keras (*Hardware*)
    a. *Blue Suitcase* berfungsi menyimpan alat *Lunitek Trinton Digital Seismic Sensor*
    b. *Lunitek Trinton 5s Digital Seismic Sensor* berfungsi untuk merekam data mikrotremor dari titik penelitian
    c. *WIFI antena* atau *Ethernet Cable* berfungsi sebagai penghubung antara alat *Lunitek Trinton 5s* dan laptop
    d. *USB* digunakan untuk menyimpan hasil data pengukuran
    e. *Power Cable to AC + Adaptop* sebagai alat pengisi daya
    f. *Battery type 18650 3400mAh 3,7V* sebagai sumber daya alat *Lunitek.*
    g. *Kompas* digunakan untuk menunjukkan arah mata angin
    h. Laptop sebagai penghubung dan analisis data



Gambar 4. 2 Peralatan Yang Digunakan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.3 Teknik Pengumpulan Data

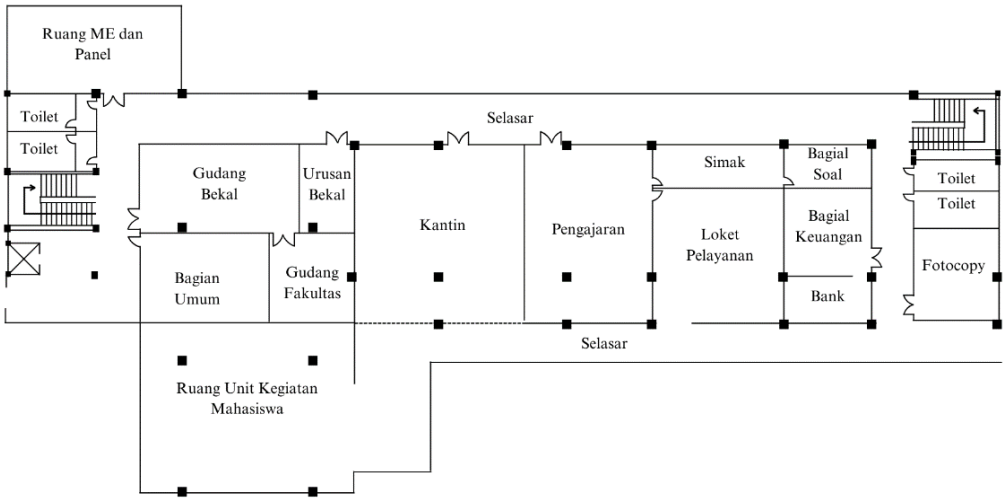
Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengukuran data mikrotremor langsung dititik lokasi penelitian dan untuk kebutuhan informasi data bangunan dilakukan dengan cara studi literatur. Pengukuran pada penelitian ini dilakukan menggunakan alat *Lunitek Trinton 5s Digital Seismic Sensor* yang dimiliki oleh Laboratorium GIS dan Seismik Teknik Sipil UII. Proses pengumpulan data pada penelitian ini mencakup tahap studi literatur, tahap survei dan tahap pengambilan data.

1. Tahap Studi Literatur

   Tahap studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan materi, konsep dan standar yang digunakan dalam penelitian. Hal ini berupa lokasi penelitian, denah bangunan dan pengunaan metode FSR. Langkah ini penting untuk memperoleh pemahaman tentang proses penelitian dan struktur serta tata letak fisik bangunan.

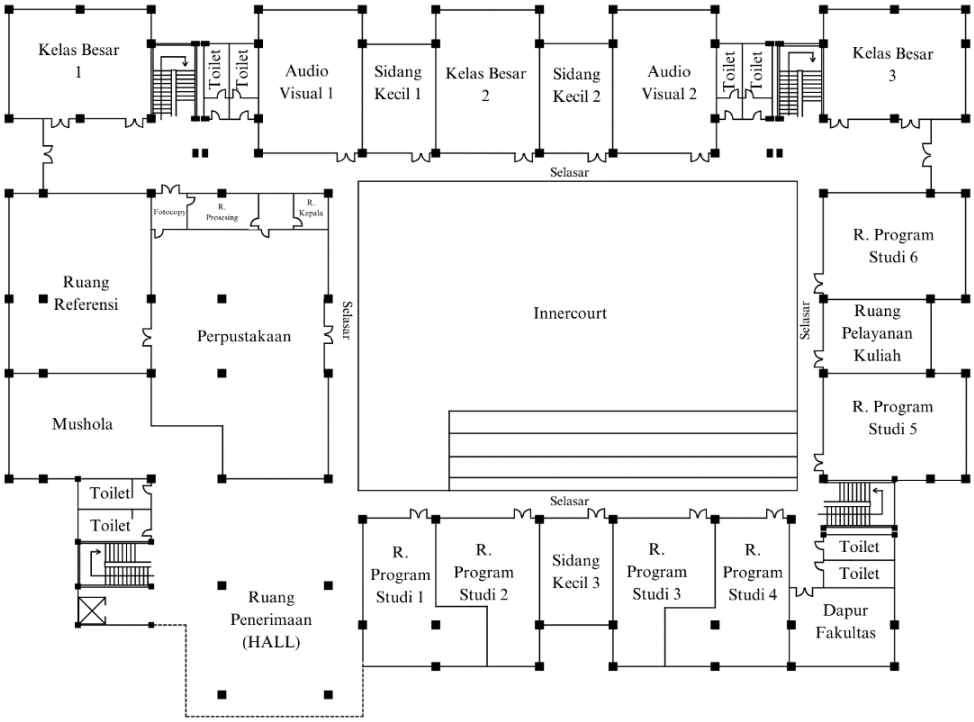
2. Tahap Survei

   Pengukuran mikrotremor dilakukan didalam dan diluar gedung dengan mewakili beberapa titik untuk setiap lantainya dan beberapa titik diluar gedung (tanah). Demi dapat menjelaskan dengan baik, digunakanlah denah yang didapatkan dari hasil studi literatur. Berikut merupakan lokasi titik pengukuran yang dilakukan.



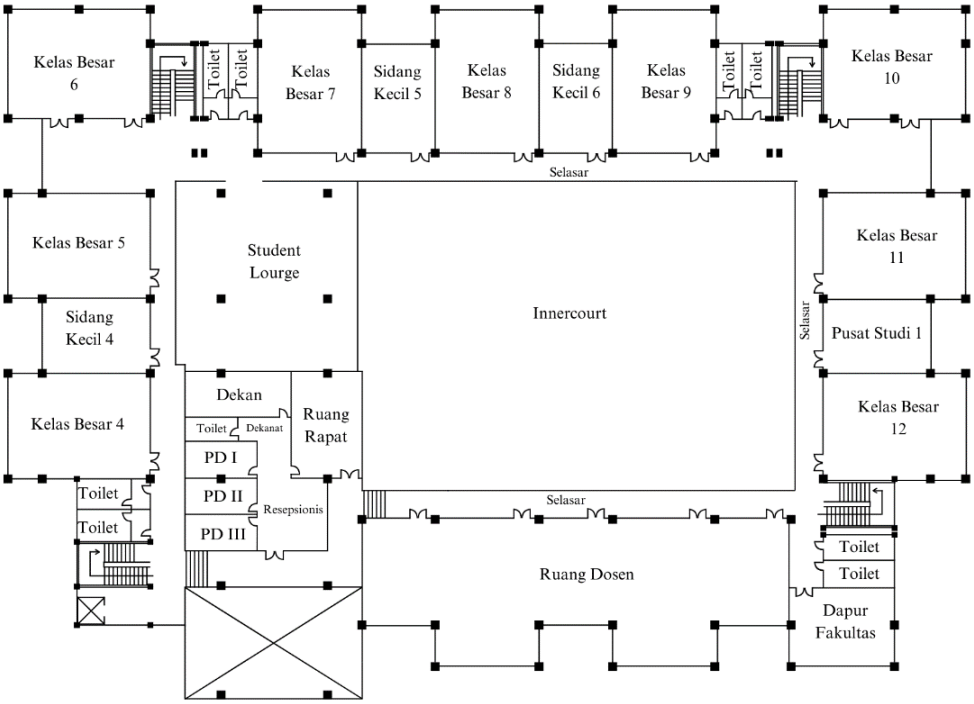
Gambar 4. 3 Denah FTI Lantai Basement

(Sumber : PFK UII)



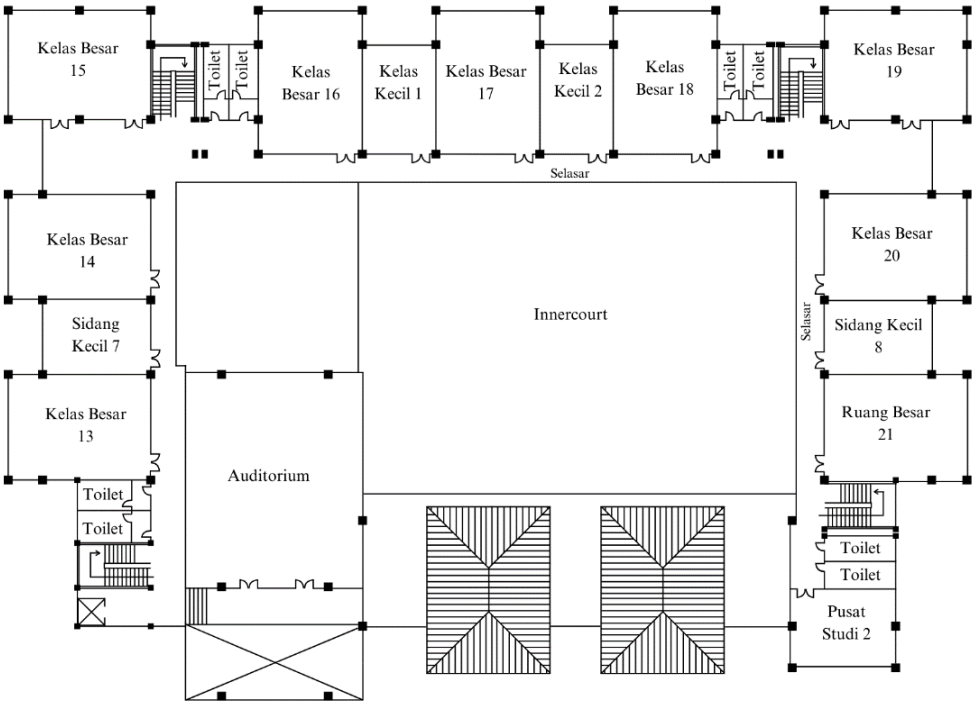
Gambar 4. 4 Denah FTI Lantai 1

(Sumber : PFK UII)



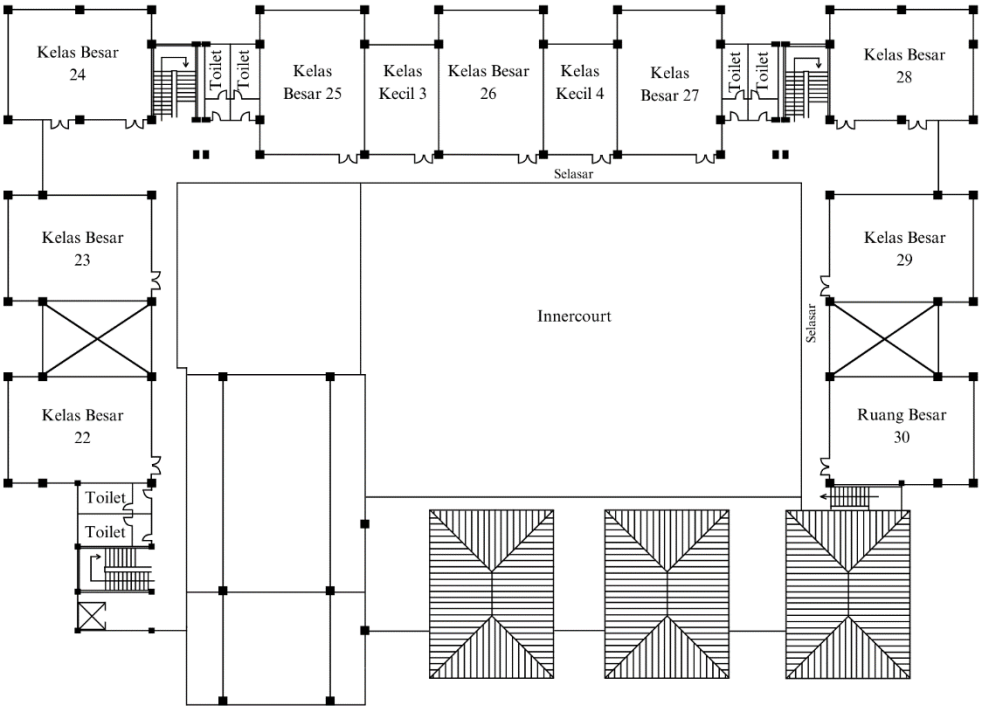
Gambar 4. 5 Denah FTI Lantai 2

(Sumber : PFK UII)



Gambar 4. 6 Denah FTI Lantai 3

(Sumber : PFK UII)



Gambar 4. 7 Denah FTI Lantai 4

(Sumber : PFK UII)

3. Tahap Pengambilan Data

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

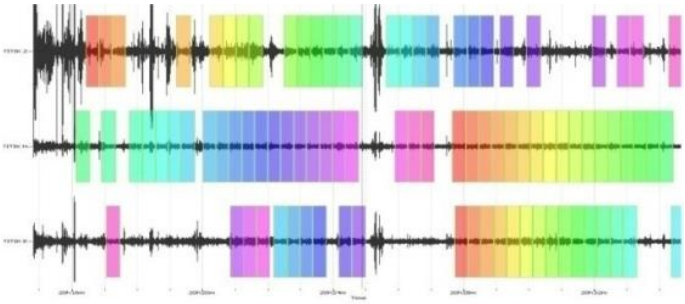
4.4 Pengolahan Data Mikrotremor

Pengolahan hasil rekaman mikrotremor dilakukan menggunakan software *Geopsy* untuk mendapatkan nilai frekuensi dan amplitudo (bangunan/tanah). Sedangkan untuk menentukan nilai indeks resonansi bangunan dan indeks kerentanan bangunan menggunakan bantuan software *microsoft excel*. Pengolahan dilakukan secara bertahap – tahap, berikut merupakan tahapan dalam pengolahan serta analisis data mikrotremor.

4.4.1 Pengolahan Frekuensi dan Amplitudo

Hasil rekaman mikrotremor yang didapatkan pada gedung dan tanah terdiri atas tiga komponen yaitu komponen utara – selatan (N–S), timur – barat (E–W) dan vertikal (V). Data mikrotremor yang didapatkan dari gedung kemudian dianalisis dengan software *Geopsy* dengan cara *Fast Fourier Transform* (FFT) menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) untuk mendapatkan nilai frekuensi dan amplitudo. Berikut merupakan langkah – langkah dalam analisis FFT menggunakan metode FSR (Sungkono, 2011).

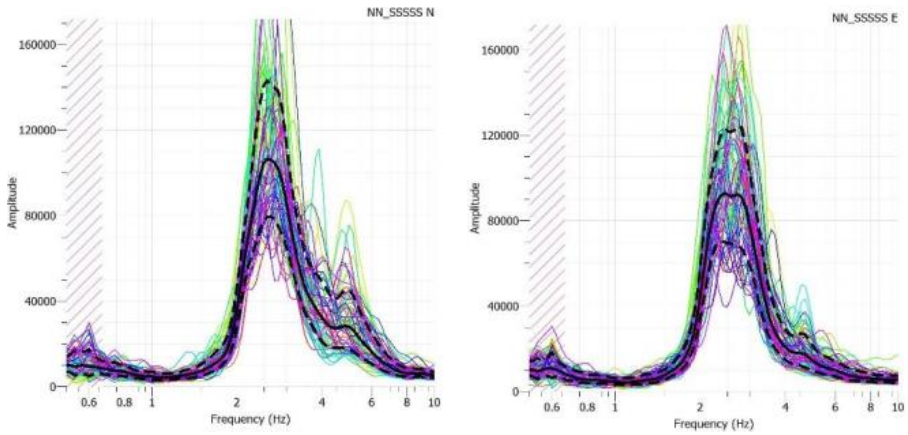
1. Dilakukan *windowing* (pemotongan signal) dengan 20 detik pada setiap *windowing* signal konstan



Gambar 4. 8 Windowing Signal

(Sumber : Prakosa dkk, 2015)

2. Penghalusan data menggunakan tipe *smooting* Konno & Ohmachi, 1998 dengan *bandwith* 40 dan parameter *tapering* 5%
3. *Output* frekuensi sampling 1 – 10 Hz
4. Merubah data tiap *window* kawasan waktu menjadi data dalam kawasan frekuensi spektrum melalui *Fast Fourier Transform* (FFT)



(A) (B)

Gambar 4. 9 Hasil Analisis FFT

(Sumber : Yuniarto & Kiswanto, 2021)

Pengolahan data mikrotremor pada tanah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dan metode Spektrum. Langkah – langkah pengolahan pada software *geopsy* sama seperti pengolahan pada metode FSR. Hanya saja, pada pengolahan mikrotremor tanah menggunakan H/V dan Spektrum. Setelah didapatkan hasil analisis spektrum pada bangunan dan tanah dilanjutkan dengan menghitung rasio frekuensi antara bangunan dan tanah menggunakan Persamaan 3.1 untuk komponen utara – selatan (N–S) dan Persamaan 3.2 untuk komponen timur – barat (E–W) sehingga didapatkanlah nilai frekuensi natural bangunan berdasarkan metode FSR.

4.4.2 Perhitungan Indeks Resonansi Bangunan

Perhitungan nilai indeks resonansi bangunan pada penelitian ini dihitung menggunakan Persamaan 3.3. Hasil yang didapatkan kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerentanan yang diklasifikasikan oleh Gosar, dkk (2010).

4.4.3 Perhitungan Indeks Kerentanan Bangunan

Perhitungan nilai indeks kerentanan bangunan pada penelitian ini dihitung menggunakan Persamaan 3.11. Persamaan ini diperkirakan dari deformasi struktur yang berkaitan dengan pergerakan seismik dari permukaan tanah ke struktur (Sato, 2008). Dalam memperkirakan klasifikasi kerentanan, umumnya bangunan yang memiliki nilai indeks kerentanan diatas 100 m/s^2 – 200 m/s^2 akan mengalami runtuh, sehingga jika nilai indeks kerentanan bangunan dibawah 100 m/s^2 bangunan aman terhadap kerusakan (Hadianfard, 2016).

4.5 Pengolahan Frekuensi Bangunan Menggunakan SAP2000

Pada penelitian ini, perangkat lunak SAP2000 digunakan sebagai *sofware* analisis gedung untuk membandingkan hasil nilai frekuensi yang diperoleh dari alat mikrotremor dengan hasil nilai frekuensi yang diperoleh dari SAP2000. Acuan yang digunakan dalam permodelan pada SAP2000 adalah Laporan Akhir Bundel 2 Gambar Kerja Struktural yang diperoleh dari Pengelola Fasilitas Kampus (PFK) Badan Wakaf UII. Beberapa data yang diperlukan dalam analisis SAP2000 diperoleh dari laporan tersebut, antara lain :

1. Mutu Beton (*f'c*) = 25 Mpa
2. Mutu Baja Tulangan
   a. Tulangan ukuran < D13 menggunakan BjTP28
   b. Tulangan ukuran ≥ D13 menggunakan BjTS420A

4.5.1 Permodelan SAP2000

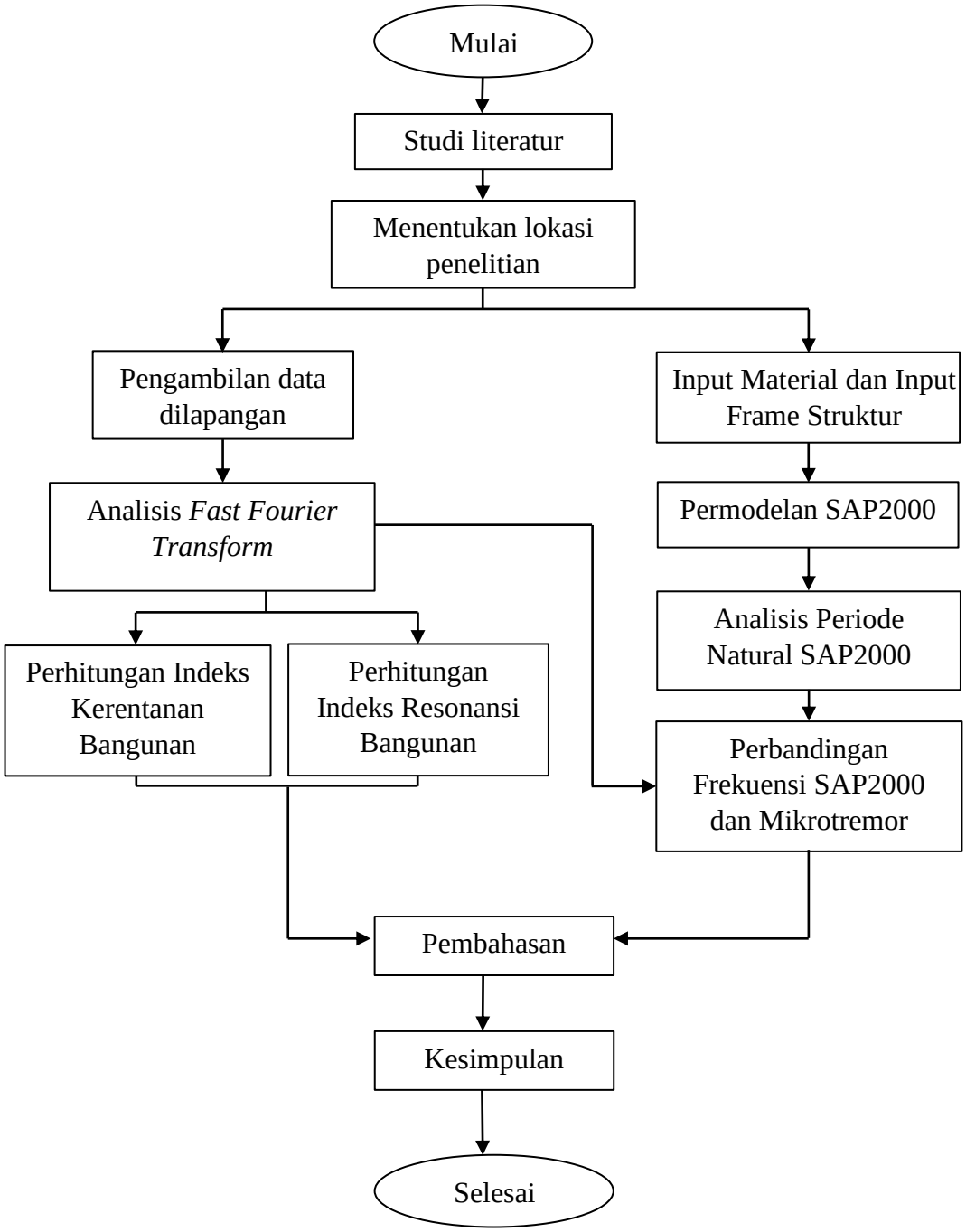
Permodelan SAP2000 mengacu pada Laporan Akhir Bundel 2 Gambar Kerja Struktural Perencanaan Gedung Perkuliahan FTI UII. Dalam permodelan SAP2000 struktur yang dimodelkan adalah kolom, balok, plat dan tangga. Permodelan struktur dilakukan secara terpisah untuk setiap masing – masing blok. Berikut merupakan langkah – langkah yang dilakukan dalam melakukan permodelan pada SAP2000.

1. Pilih menu “New Model” lalu pilih “Grid Only”. Lakukan penyesuain grid pada gambar dengan “edit grid data” pada “Define Grid System Data”

2. Lakukan pengaturan material yang akan digunakan yaitu beton dan baja tulangan sesuai dengan mutu yang digunakan.
3. Desain struktur kolom, balok dan plat sesuai dengan gambar struktural. Lalu lakukan permodelan struktur sesuai dengan gambar struktural dengan bantuan grid dan struktur yang telah didesain.
4. Lakukan input pembebanan meliputi beban mati tambahan, beban hidup, beban gempa statik ekivalen dan beban gempa dinamik.
5. Lakukan pengindentifikasian diafragma. Setelah itu permodelan siap dijalankan.

4.6 Diagram Alur Penelitian

Tahapan dalam penelitian dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 4.10.

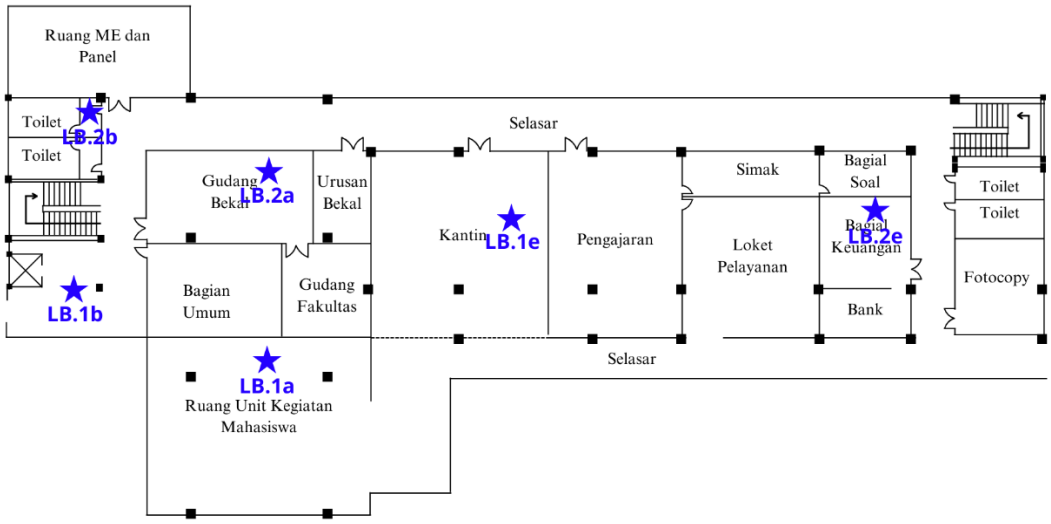


Gambar 4. 10 Diagram Alur Penelitian

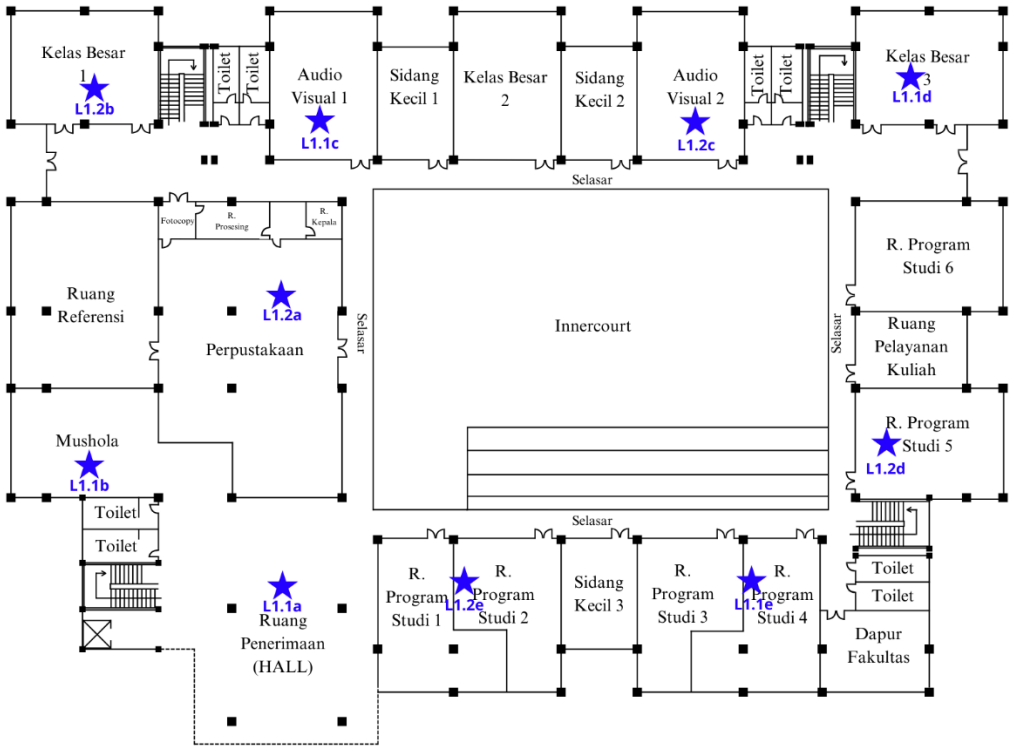
BAB V
ANALISIS, HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengambilan Data di Lapangan

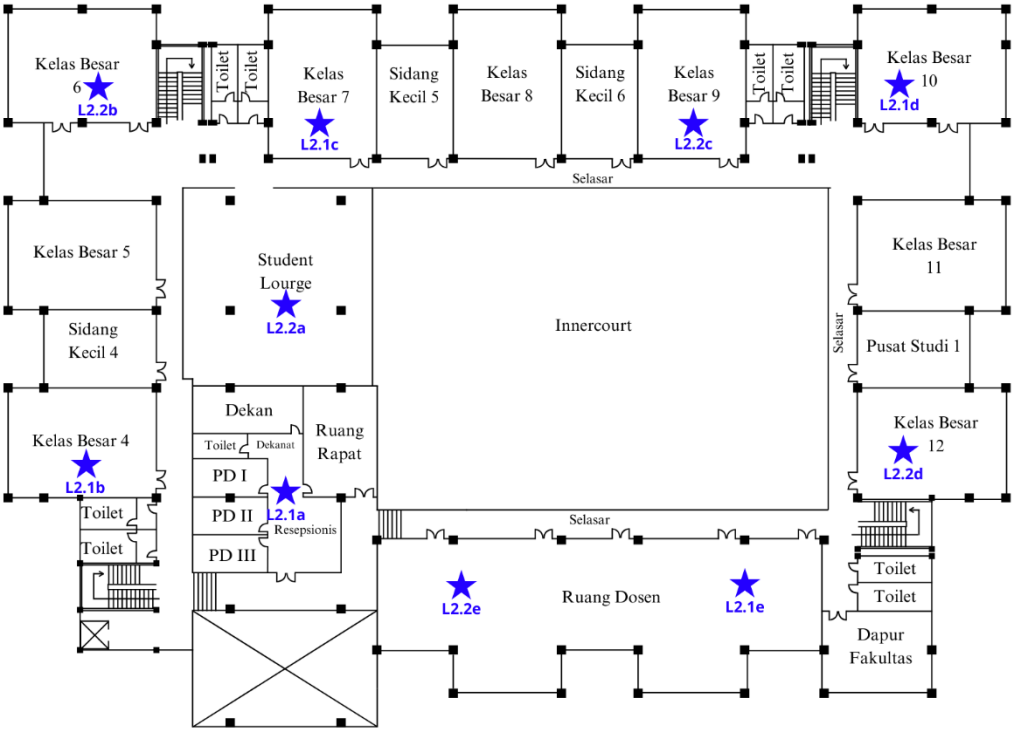
Pengambilan data dilakukan pada hari libur perkuliahan yaitu pada hari sabtu dan minggu. Rekaman data mikrotremor didapatkan dari getaran yang dihasilkan gedung. Perekaman dilakukan dengan cara meletakkan alat pada lantai bangunan, lalu menunggu proses rekamannya selama ±30 menit. Perekaman dilakukan sebanyak 40 titik didalam gedung dan 2 titik di tanah. Setiap lantai pada masing – masing blok diwakili dengan 2 titik perekaman. Hasil yang didapatkan dari perekeman mikrotremor berupa data mentah dengan format file SHE.mseed, SHN.mseed dan SHZ.mseed. Berikut merupakan lokasi titik perekaman.



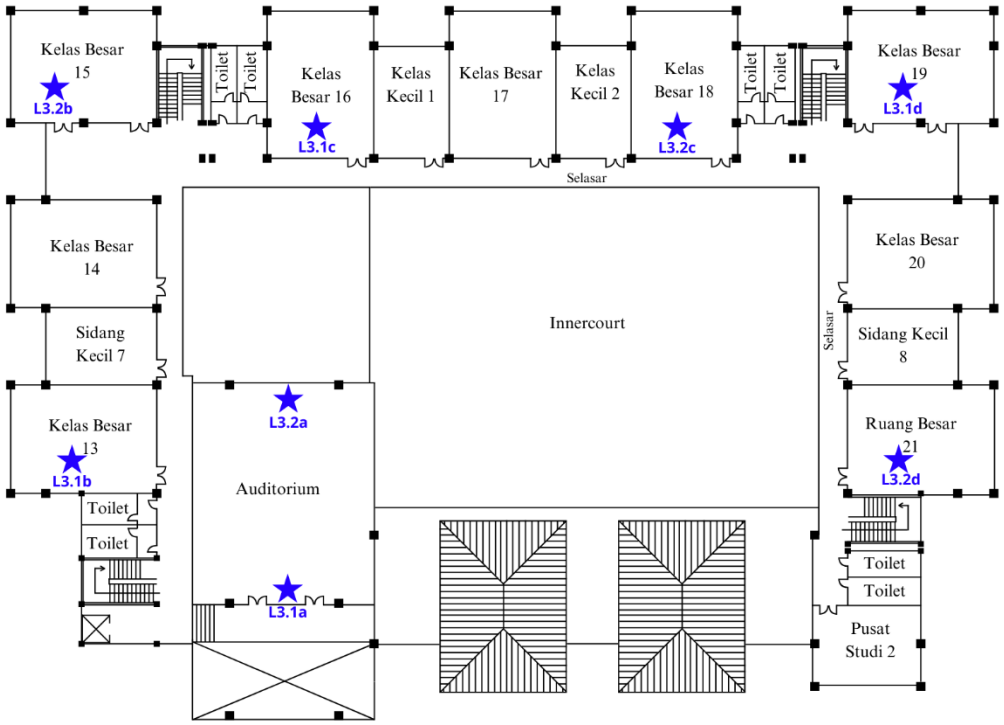
Gambar 5. 1 Titik Perekaman Tanah dan Lantai *Basement*



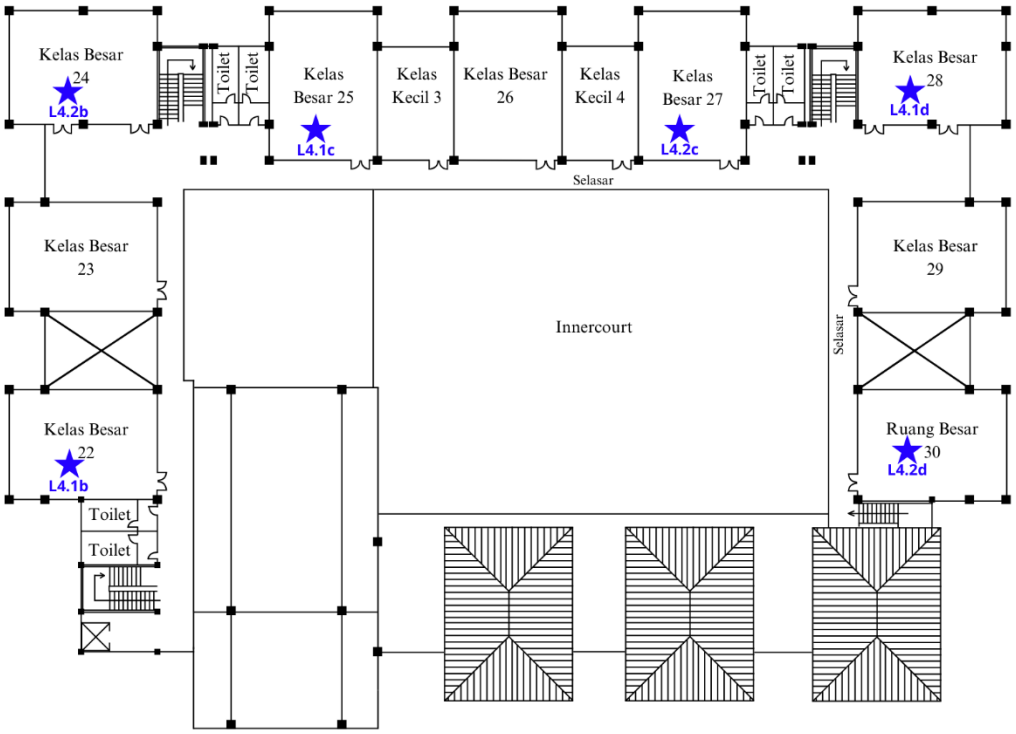
Gambar 5. 2 Titik Perekaman Tanah dan Lantai 1



Gambar 5. 3 Titik Perekaman Lantai 2



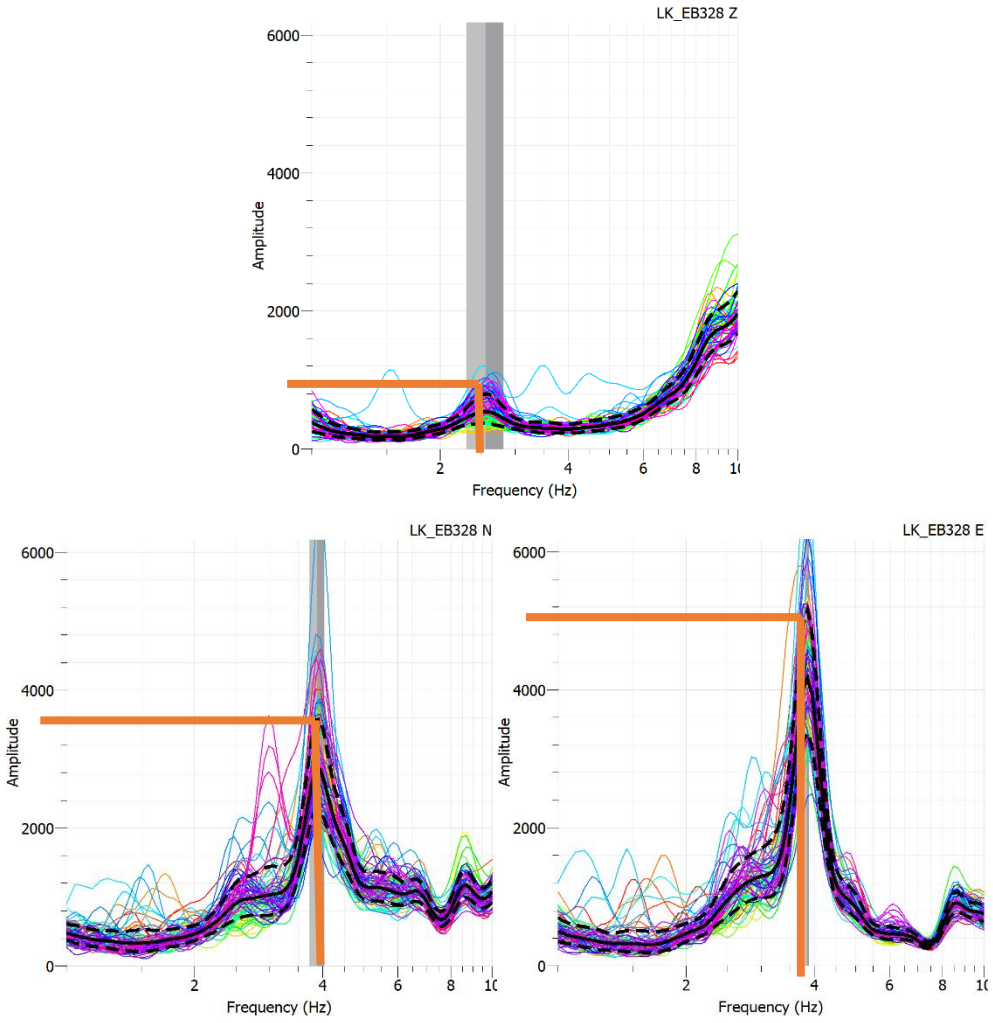
Gambar 5. 4 Titik Perekaman Lantai 3



Gambar 5. 5 Titik Perekaman Lantai 4

5.2 Pengolahan Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan proses pengolahan data menggunakan software geopsy yang dimana data rekaman mikrotremor dalam kawasan waktu dirubah menjadi data dalam kawasan frekuensi pada setiap komponen pengukuran mikrotremor (N-S, E-W dan Z). Hasil akhir dari pengolahan FFT adalah grafik perbandingan antara frekuensi dan amplifikasi. Pengolahan FFT dilakukan pada data perekaman lantai bangunan dan tanah. Pengolahan tersebut dibedakan menjadi dua cara yaitu menggunakan spektrum dan H/V yang dimana pengolahan spektrum dilakukan pada perekaman lantai bangunan dan tanah, sedangkan H/V hanya dilakukan pada perekaman tanah.



Gambar 5. 6 Hasil Pengolahan FFT Titik L4.2d

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Analisis FFT Pada Bangunan

Titik	Komponen N-S		Komponen E-W	
	f0 (Hz)	A0 (m/s^2)	f0 (Hz)	A0 (m/s^2)
BLOK A				
LB.1a	2,584	0,499	2,707	0,463
LB.2a	2,862	0,457	2,729	0,476
L1.1a	3,063	0,380	3,565	0,312
L1.2a	2,676	0,610	2,865	0,543
L2.1a	3,349	1,232	3,799	1,663
L2.2a	3,650	1,465	3,905	2,265
L3.1a	3,379	8,579	3,809	5,889
L3.2a	3,615	3,266	3,889	4,452
BLOK B				
LB.1b	2,724	0,299	2,665	0,254
LB.2b	2,641	0,419	2,825	0,404
L1.1b	3,068	0,388	3,703	0,423
L1.2b	2,874	0,509	2,841	0,557
L2.1b	3,185	1,114	3,786	1,329
L2.2b	3,765	1,823	3,868	2,196
L3.1b	3,823	3,567	3,736	3,129
L3.2b	3,021	3,022	3,875	3,549
L4.1b	3,606	2,608	3,808	4,328
L4.2b	3,792	5,192	3,887	4,760
BLOK C				
L1.1c	2,714	0,616	2,746	0,555
L1.2c	2,680	0,594	3,026	0,589
L2.1c	3,818	1,564	3,890	2,199
L2.2c	3,768	1,504	3,848	1,508
L3.1c	3,832	2,778	3,888	2,480
L3.2c	3,923	3,298	3,844	3,144

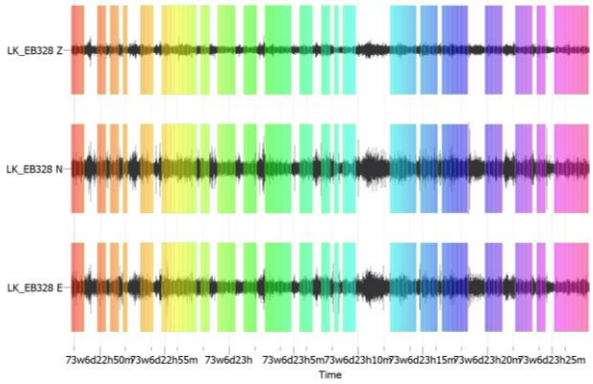
Lanjutan Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Analisis FFT

Titik	Komponen N-S		Komponen E-W	
	f0 (Hz)	**A0 (m/s^2)**	**f0 (Hz)**	**A0 (m/s^2)**
L4.1c	3,781	4,204	3,857	3,762
L4.2c	3,816	3,887	3,884	3,467
BLOK D				
L1.1d	3,439	0,518	3,011	0,626
L1.2d	2,866	0,685	3,028	0,679
L2.1d	3,834	1,825	3,842	2,032
L2.2d	4,000	1,577	3,936	1,310
L3.1d	3,933	4,424	3,858	4,194
L3.2d	4,391	2,971	3,882	3,855
L4.1d	3,887	4,823	3,845	4,664
L4.2b	3,792	2,846	3,843	4,150
BLOK E				
LB.1e	2,724	0,487	2,749	0,424
LB.2e	2,657	0,488	2,718	0,525
L1.1e	2,868	0,719	4,221	0,654
L1.2e	2,580	0,619	2,679	0,571
L2.1e	4,428	1,848	3,837	0,996
L2.2e	4,462	0,976	4,022	1,137

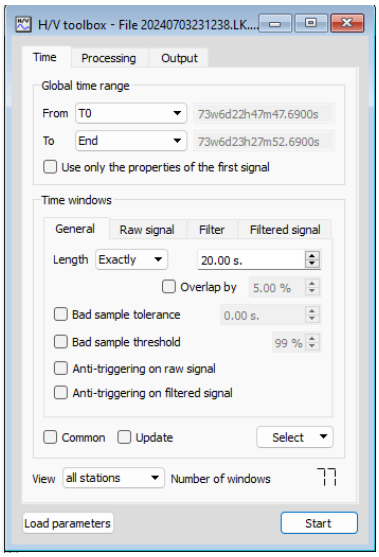
5.3 Analisis Frekuensi Natural Tanah

Analisis frekuensi natural tanah dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan analisis spektrum dan analisis H/V. Nilai frekuensi tanah yang diperoleh dari hasil analisis spektrum digunakan sebagai nilai pembanding dengan nilai frekuensi pada bangunan guna memperoleh rasio frekuensi natural bangunan berdasarkan metode FSR. Sedangkan nilai rasio frekuensi natural tanah yang diperoleh dari hasil analisis H/V digunakan sebagai nilai analisis dalam pengolahan indeks resonansi bangunan.

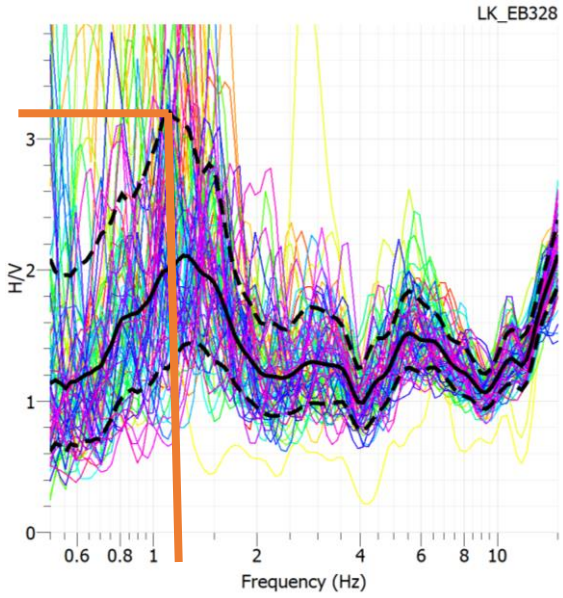
Pengolahan H/V dilakukan meliputi proses pemotongan signal dengan mengelompokkan *windowing* 20 detik. Melakukan pengaturan penghalusan data menggunakan tipe *smooting* Konno & Ohmachi, 1998 dengan *bandwith* 40 dan parameter *tapering* 50%. Output frekuensi sampling yang diambil 0,2 – 15 Hz. Berikut merupakan salah satu contoh pengolahan H/V pada tanah.



Gambar 5. 7 *Windowing* H/V Tanah 1



Gambar 5. 8 Pengaturan Pengolahan H/V Tanah 1

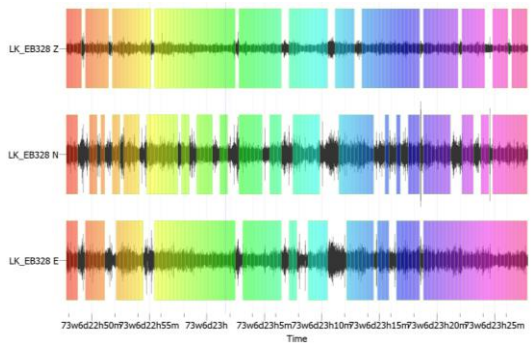


Gambar 5. 9 Hasil Pengolahan H/V Tanah 1

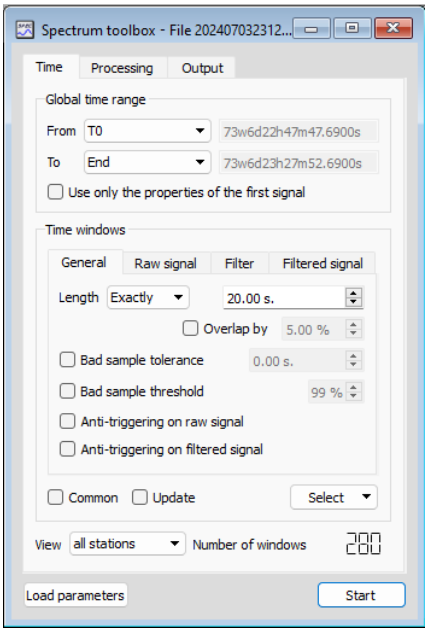
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Rasio Frekuensi Natural Tanah Pengolahan H/V

Titik	f_t
Tanah 1	1,238
Tanah 2	1,245
Rata - Rata	1,242

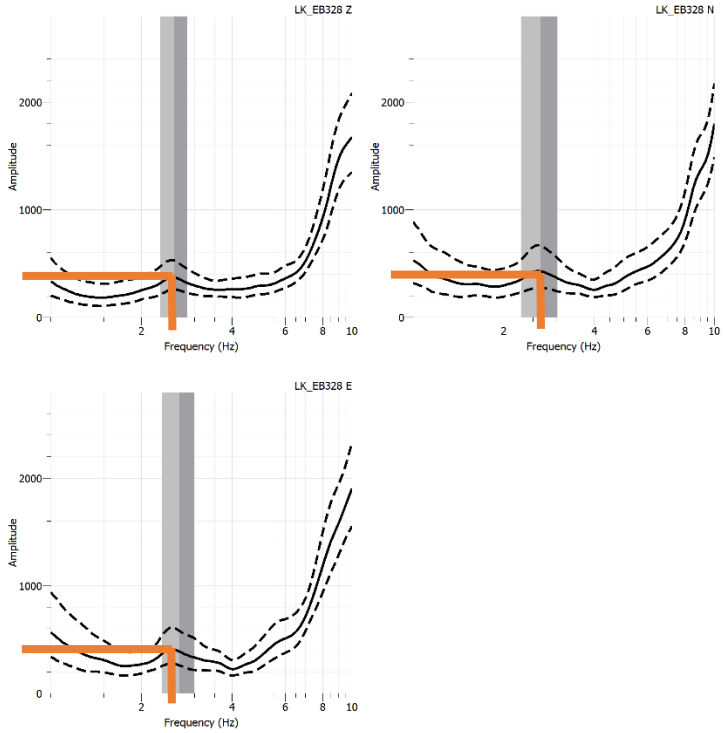
Pengolahan spektrum pada tanah dilakukan meliputi proses pemotongan signal dengan mengelompokkan *windowing* 20 detik. Melakukan pengaturan penghalusan data menggunakan tipe *smooting* Konno & Ohmachi, 1998 dengan *bandwith* 40 dan parameter *tapering* 50%. Output frekuensi sampling yang diambil 1 – 10 Hz. Berikut merupakan salah satu contoh pengolahan spektrum pada tanah.



Gambar 5. 10 *Windowing* Spektrum Tanah 1



Gambar 5. 11 Pengaturan Pengolahan Spektrum Tanah 1



Gambar 5. 12 Hasil Pengolahan Spektrum Tanah 1

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Frekuensi Natural Tanah Pengolahan Spektrum

Titik	f_t (Hz)		
	(N-S)	(E-W)	(Z)
Tanah 1	2,650	2,668	2,572
Tanah 2	2,650	2,805	2,541
Rata - Rata	2,650	2,736	2,557

Hasil yang didapatkan pada Tabel 5.3. merupakan nilai rasio frekuensi natural tanah yang selanjutnya digunakan pada pengolahan nilai indeks resonansi bangunan untuk mengisi keterangan rasio frekuensi natural bangunan (f_t). Sedangkan hasil pada Tabel 5.3. merupakan nilai frekuensi natural tanah untuk masing – masing komponennya yang selanjutkan akan digunakan dalam analisis frekuensi natural bangunan untuk mendapatkan nilai rasio frekuensi natural bangunan. Nilai rata - rata frekuensi digunakan sebagai nilai yang mewakili nilai frekuensi natural tanah (Wahyuni, 2014).

5.4 Analisis Frekuensi Natural Bangunan

Perhitungan nilai frekuensi natural bangunan berdasarkan metode FSR dilakukan pada setiap masing – masing komponennya. Perhitungan dilakukan dengan cara membagi antara nilai frekuensi bangunan berdasarkan pengolahan spektrum dengan nilai frekuensi tanah berdasarkan pengolahan spektrum untuk masing – masing komponennya. Dibawah ini merupakan salah satu perhitungan frekuensi natural bangunan untuk komponen N-S dan E-W pada titik LB.1a. Perhitungan tersebut dilakukan pada semua titik dan direkap pada Tabel 5.4.

1. Titik LB.1a komponen N-S

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

$$= \frac{2{,}584}{2{,}650} = 0{,}975$$

2. Titik LB.1a komponen E-W

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

$$= \frac{2{,}707}{2{,}736} = 0{,}989$$

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Frekuensi Natural Bangunan

Titik	Komponen N-S			Komponen E-W		
	$f_{L\ (FFT)}$ (Hz)	$ft_{(FFT)}$ (Hz)	$f_{L\ (FSR)}$	$f_{L\ (FFT)}$ (Hz)	$ft_{(FFT)}$ (Hz)	$f_{L(FSR)}$
BLOK A						
LB.1a	2,584	2,650	0,975	2,707	2,736	0,989
LB.2a	2,862	2,650	1,080	2,729	2,736	0,997
L1.1a	3,063	2,650	1,156	3,565	2,736	1,303
L1.2a	2,676	2,650	1,010	2,865	2,736	1,047
L2.1a	3,349	2,650	1,264	3,799	2,736	1,388
L2.2a	3,650	2,650	1,377	3,905	2,736	1,427
L3.1a	3,379	2,650	1,275	3,809	2,736	1,392
L3.2a	3,615	2,650	1,364	3,889	2,736	1,421
Rata - Rata	3,147	-	-	3,408	-	-
BLOK B						
LB.1b	2,724	2,650	1,028	2,665	2,736	0,970
LB.2b	2,641	2,650	0,997	2,825	2,736	1,032
L1.1b	3,068	2,650	1,158	3,703	2,736	1,353
L1.2b	2,874	2,650	1,084	2,841	2,736	1,038
L2.1b	3,185	2,650	1,202	3,786	2,736	1,384
L2.2b	3,765	2,650	1,421	3,868	2,736	1,414
L3.1b	3,823	2,650	1,442	3,736	2,736	1,365
L3.2b	3,021	2,650	1,140	3,875	2,736	1,416
L4.1b	3,606	2,650	1,361	3,808	2,736	1,392
L4.2b	3,792	2,650	1,431	3,887	2,736	1,421
Rata - Rata	3,250	-	-	3,498	-	-
BLOK C						
L1.1c	2,714	2,650	1,024	2,746	2,736	1,003
L1.2c	2,680	2,650	1,011	3,026	2,736	1,106

Lanjutan Tabel 5.4 Rekapitulasi Frekuensi Natural Bangunan

Titik	Komponen N-S			Komponen E-W		
	$f_{L\ (FFT)}$ (Hz)	$ft_{(FFT)}$ (Hz)	$f_{L\ (FSR)}$	$f_{L\ (FFT)}$ (Hz)	$ft_{(FFT)}$ (Hz)	$f_{L(FSR)}$
L2.1c	3,818	2,650	1,441	3,890	2,736	1,422
L2.2c	3,768	2,650	1,422	3,848	2,736	1,406
L3.1c	3,832	2,650	1,446	3,888	2,736	1,421
L3.2c	3,923	2,650	1,480	3,844	2,736	1,405
L4.1c	3,781	2,650	1,427	3,857	2,736	1,410
L4.2c	3,816	2,650	1,440	3,884	2,736	1,420
Rata - Rata	3,541	-	-	3,623	-	-
BLOK D						
L1.1d	3,439	2,650	1,298	3,011	2,736	1,100
L1.2d	2,866	2,650	1,081	3,028	2,736	1,107
L2.1d	3,834	2,650	1,447	3,842	2,736	1,404
L2.2d	4,000	2,650	1,510	3,936	2,736	1,438
L3.1d	3,933	2,650	1,484	3,858	2,736	1,410
L3.2d	4,391	2,650	1,657	3,882	2,736	1,419
L4.1d	3,887	2,650	1,467	3,845	2,736	1,405
L4.2d	3,880	2,650	1,464	3,843	2,736	1,404
Rata - Rata	3,779	-	-	3,656	-	-
BLOK E						
LB.1e	2,724	2,650	1,028	2,749	2,736	1,005
LB.2e	2,657	2,650	1,002	2,718	2,736	0,993
L1.1e	2,868	2,650	1,082	4,221	2,736	1,543
L1.2e	2,580	2,650	0,974	2,679	2,736	0,979
L2.1e	4,428	2,650	1,671	3,837	2,736	1,402
L2.2e	4,462	2,650	1,797	4,022	2,736	1,470
Rata - Rata	3,336	-	-	3,371	-	-

Pengukuran mikrotremor pada setiap lantai diwaliki dengan 2 titik. Nilai frekuensi satu titik dengan titik lainnya tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa gedung FTI UII memiliki satu nilai frekuensi tertentu (Ilham, 2023). Menurut Sungkono, (2011) penggunaan nilai frekuensi rata – rata dari seluruh lantai dapat digunakan sebagai nilai yang mewakili nilai frekuensi bangunan secara keseluruhan.

Nilai yang digunakan sebagai parameter yang menjelaskan analisis frekuensi natural bangunan adalah nilai rata – rata yang didapatkan dari seluruh titik perekaman pada blok tersebut. Nilai rata – rata frekuensi natural bangunan kemudian dibandingkan dengan nilai frekuensi natural tanah pengolahan spektrum untuk setiap masing – masing komponennya. Pembandingan dilakukan untuk melihat nilai yang besar dan nilai yang kecil.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hariyadi (2009) hasil pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk mengidentifikasi keamanan bangunan dari nilai frekuensi tanah dan frekuensi bangunan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa bangunan dilokasi penelitian dapat dibedakan menjadi 3 kategori yaitu aman, rawan dan bahaya. Aman apabila bangunan memiliki frekuensi alami yang lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi alami tanah. Rawan apabila bangunan memiliki frekuensi alami sama dengan frekuensi alami tanah. Bahaya apabila bangunan memiliki frekuensi alami lebih rendah dari frekuensi alami tanah.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Kategori Frekuensi Natural Bangunan

Titik	**Rata – Rata f_b (FFT)**		**Kategori**
	Komponen N – S	**Komponen E – W**	
Blok A	3,147	3,408	AMAN
Blok B	3,250	3,498	AMAN
Blok C	3,541	3,623	AMAN
Blok D	3,779	3,656	AMAN
Blok E	3,336	3,371	AMAN

Mikrotremor dapat digunakan dalam perancangan bangunan tahan gempa dengan mengetahui frekuensi natural dari tanah setempat untuk menghindari terjadinya resonansi. Ketika sebuah bangunan diguncang getaran, frekuensi tanah dan gempa akan merambat secara bersamaan. Respon bangunan sangat bergantung pada frekuensi bangunan dan frekuensi tanah. Ancaman tersebut terjadi ketika sebuah bangunan digerakkan oleh sebuha gaya indersia yang bekerja pada bangunan tersebut, maka percepatan getaran bangunan akan meningkat. Sehingga frekuensi bangunan sangat menentukan respon dinamik bangunan terhadap getaran.

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 5.5. diklasifikasikanlah frekuensi natural bangunan pada setiap blok dengan mempertimbangkan nilai rata – rata dari seluruh hasil perekaman yang dilakukan pada blok tersebut. Hasil rata – rata yang didapatkan dari masing – masing komponen jika dibandingkan dengan nilai frekuensi natural tanah untuk komponen N-S sebesar 2,650 Hz dan untuk komponen E-W sebesar 2,736 Hz, nilai rata – rata frekuensi natural bangunan lebih besar dari pada nilai frekuensi natural tanah. Sehingga klasifikasi untuk blok A, B, C, D dan E diklasifikasikan aman.

5.5 Analisis Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Nilai frekuensi natural bangunan yang didapatkan dari metode FSR dan frekuensi natural tanah yang didapatkan dari pengolahan H/V menggunakan geopsy merupakan nilai parameter yang digunakan dalam menganalisis nilai indeks resonansi bangunan. Perhitungan ini dilakukan menggunakan Persamaan 3.3. Berikut merupakan salah satu perhitungan nilai indeks resonansi bangunan pada titik LB.1a dan LB.2a untuk komponen N-S dan komponen E-W.

5.5.1 Komponen N-S

1. Titik LB.1a

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

$$= \left|\frac{0{,}975 - 1{,}242}{1{,}242}\right| \times 100\% = 21{,}453\ \%$$

2. Titik LB.2a

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

$$= \left|\frac{1{,}080 - 1{,}242}{1{,}242}\right| \times 100\% = 13{,}007\ \%$$

3. Nilai Indeks Resonansi Blok A

$$R = \frac{R\ (LB.1a) + R\ (LB.2a)}{2}$$

$$= \frac{21{,}453\ \% + 13{,}007\ \%}{2} = 17{,}230\ \%$$

5.5.2 Komponen E-W

1. Titik LB.1a

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

$$= \left|\frac{0{,}989 - 1{,}242}{1{,}242}\right| \times 100\% = 20{,}322\ \%$$

2. Titik LB.2a

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

$$= \left|\frac{0{,}997 - 1{,}242}{1{,}242}\right| \times 100\% = 19{,}678\ \%$$

3. Nilai Indeks Resonansi Blok A

$$R = \frac{R\ (LB.1a) + R\ (LB.2a)}{2}$$

$$= \frac{20{,}322\ \% + 19{,}678\ \%}{2} = 20{,}000\ \%$$

Nilai indeks resonansi yang didapatkan dari rata – rata perhitungan resonansi pada setiap lantai kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerentanan resonansi bangunan. Menurut Gosar, (2010) tingkat kerentanan resonansi bangunan terhadap gempa bumi dibagi menjadi tiga klasifikasi yaitu rendah, sedang dan tinggi. Klasifikasi rendah apabila nilai indeks resonansi bangunan lebih besar dari 25%, klasifikasi sedang apabila nilai indeks resonansi bangunan berkisar antara 15% - 25% dan klasifikasi tinggi apabila nilai indeks resonansi bangunan lebih kecil dari 15%.

Berdasarkan contoh perhitungan yang dilakukan pada titik LB.1a dan LB.2a untuk lantai basement nilai indeks resonansi bangunan komponen N-S didapatkan sebesar 17,230% yang artinya diklasifikasikan sedang karena nilai tersebut berkisar antara 15% - 25%. Sedangkan untuk komponen E-W didapatkan sebesar 20,000%

yang artinya diklasifikasikan sedang karena nilai tersebut berkisar antara 15% - 25%. Perhitungan dan klasifikasi ini dilakukan pada setiap titik perekaman yang dilakukan disetiap lantai, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Titik	Komponen N-S					Komponen E-W				
	f_b (FSR)	ft (H/V)	R (%)	R (%)	Kategori	f_b (FSR)	ft (H/V)	R (%)	R (%)	Kategori
BLOK A										
LB.1a	0,975	1,242	21,453	17,230	Sedang	0,989	1,242	20,322	20,000	Sedang
LB.2a	1,080	1,242	13,007			0,997	1,242	19,678		
L1.1a	1,156	1,242	6,918	12,788	Tinggi	1,303	1,242	4,926	10,292	Tinggi
L1.2a	1,010	1,242	18,658			1,047	1,242	15,658		
L2.1a	1,264	1,242	1,780	6,361	Tinggi	1,388	1,242	11,815	13,376	Tinggi
L2.2a	1,377	1,242	10,943			1,427	1,242	14,938		
L3.1a	1,275	1,242	2,685	6,277	Tinggi	1,392	1,242	12,133	13,302	Tinggi
L3.2a	1,364	1,242	9,868			1,421	1,242	14,471		
BLOK B										
LB.1b	1,028	1,242	17,215	18,470	Sedang	0,970	1,242	21,847	19,349	Sedang
LB.2b	0,997	1,242	19,724			1,032	1,242	16,851		
L1.1b	1,158	1,242	6,746	9,704	Tinggi	1,353	1,242	8,991	12,681	Tinggi
L1.2b	1,084	1,242	12,662			1,038	1,242	16,370		

Lanjutan Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Titik	Komponen N-S					Komponen E-W				
	f_b (FSR)	ft (H/V)	R (%)	R (%)	Kategori	f_b (FSR)	ft (H/V)	R (%)	R (%)	Kategori
L2.1b	1,202	1,242	3,206	8,811	Tinggi	1,384	1,242	11,435	12,646	Tinggi
L2.2b	1,421	1,242	14,417			1,414	1,242	13,856		
L3.1b	1,442	1,242	16,179	12,177	Tinggi	1,365	1,242	9,966	12,008	Tinggi
L3.2b	1,140	1,242	8,174			1,416	1,242	14,050		
L4.1b	1,361	1,242	9,602	12,431	Tinggi	1,392	1,242	12,085	13,251	Tinggi
L4.2b	1,431	1,242	15,261			1,421	1,242	14,417		
BLOK C										
L1.1c	1,024	1,242	17,504	18,021	Sedang	1,003	1,242	19,183	15,056	Sedang
L1.2c	1,011	1,242	18,538			1,106	1,242	10,929		
L2.1c	1,441	1,242	16,032	15,282	Sedang	1,422	1,242	14,497	13,879	Tinggi
L2.2c	1,422	1,242	14,532			1,406	1,242	13,260		
L3.1c	1,446	1,242	16,448	17,834	Sedang	1,421	1,242	14,453	13,796	Tinggi
L3.2c	1,480	1,242	19,220			1,405	1,242	13,140		
L4.1c	1,427	1,242	14,899	15,438	Sedang	1,410	1,242	13,534	13,932	Tinggi
L4.2c	1,440	1,242	15,976			1,420	1,242	14,331		

Lanjutan Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai Indeks Resonansi Bangunan

Titik	Komponen N-S					Komponen E-W				
	f_b (FSR)	ft (H/V)	R (%)	R (%)	Kategori	f_b (FSR)	ft (H/V)	R (%)	R (%)	Kategori
BLOK D										
L1.1d	1,298	1,242	4,528	8,719	Tinggi	1,100	1,242	11,381	11,123	Tinggi
L1.2d	1,081	1,242	12,910			1,107	1,242	10,865		
L2.1d	1,447	1,242	16,516	19,049	Sedang	1,404	1,242	13,105	14,482	Tinggi
L2.2d	1,510	1,242	21,583			1,438	1,242	15,858		
L3.1d	1,484	1,242	19,519	26,482	Rendah	1,410	1,242	13,571	13,926	Tinggi
L3.2d	1,657	1,242	33,444			1,419	1,242	14,280		
L4.1d	1,467	1,242	18,137	18,036	Sedang	1,405	1,242	13,181	13,146	Tinggi
L4.2d	1,464	1,242	17,935			1,404	1,242	13,110		
BLOK E										
LB.1e	1,028	1,242	17,221	18,240	Sedang	1,005	1,242	19,077	19,530	Sedang
LB.2e	1,002	1,242	19,259			0,993	1,242	19,983		
L1.1e	1,082	1,242	12,836	17,209	Sedang	1,543	1,242	24,244	22,693	Sedang
L1.2e	0,974	1,242	21,582			0,979	1,242	21,141		
L2.1e	1,671	1,242	34,584	39,653	Rendah	1,402	1,242	12,924	15,673	Sedang
L2.2e	1.797	1,242	44,721			1,470	1,242	18,404		

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Kategori Indeks Resonansi Bangunan

Lantai	Komponen N – S	Kategori	Komponen E – W	Kategori
BLOK A				
Basement	17,230 %	Sedang	20,000 %	Sedang
1	12,788 %	Tinggi	10,292 %	Tinggi
2	6,361 %	Tinggi	13,376 %	Tinggi
3	6,277 %	Tinggi	13,302 %	Tinggi
BLOK B				
Basement	18,470 %	Sedang	19,349 %	Sedang
1	9,704 %	Tinggi	12,681 %	Tinggi
2	8,811 %	Tinggi	12,646 %	Tinggi
3	12,177 %	Tinggi	12,008 %	Tinggi
4	12,431 %	Tinggi	13,251 %	Tinggi
BLOK C				
1	18,021 %	Sedang	15,056 %	Sedang
2	15,282 %	Sedang	13,879 %	Tinggi
3	17,834 %	Sedang	13,796 %	Tinggi
4	15,438 %	Sedang	13,932 %	Tinggi
BLOK D				
1	8,719 %	Tinggi	11,123 %	Tinggi
2	19,049 %	Sedang	14,482 %	Tinggi
3	26,482 %	Rendah	13,926 %	Tinggi
4	18,036 %	Sedang	13,146 %	Tinggi
BLOK E				
Basement	18,240 %	Sedang	19,530 %	Sedang
1	17,209 %	Sedang	22,693 %	Sedang
2	39,653 %	Rendah	15,673 %	Sedang

Faktor yang digunakan untuk memprediksi bahaya gempa bumi pada suatu bangunan salah satunya dalah pengukuran resonansi antara frekuensi natural bangunan dan tanah dibawahnya. 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.

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 5.7. diklasfikasikanlah indeks resonansi bangunan pada setiap blok dengan mempertimbangkan klasifikasi pada setiap lantainya untuk masing – masing komponen. Pada blok A klasifikasi yang didapatkan dominan tinggi untuk masing – masing komponennya. Pada blok B klasifikasi pada masing – masing komponen dominan tinggi. Pada blok C untuk komponen N-S pada setiap lantainya diklasifikasikan sedang dan komponen E-W dominan diklasifikasikan tinggi. Pada blok D untuk komponen N-S dominan klasifikasi sedang pada setiap lantainya dan untuk komponen E-W diklasifikasikan tinggi. Pada blok E untuk masing – masing komponen diklasfikasikan sedang.

5.6 Analisis Nilai Indeks Kerentanan Bangunan

Nilai indeks kerentanan bangunan menunjukkan tingkat kemungkinan kerusakan yang terjadi pada bangunan jika terjadi gempa. Semakin besar nilai kerentanan suatu bangunan, maka semakin besar pula potensi kerusakan yang akan terjadi (Sato, 2008). Perhitungan nilai indeks kerentanan bangunan dilakukan menggunakan Persamaan 3.11. Berikut merupakan salah satu perhitungan nilai indeks kerentanan bangunan pada lantai basement blok A untuk komponen N-S dan komponen E-W.

5.6.1 Komponen N – S

1. Titik LB.1a

$$K_b = \frac{A}{(2.\pi.f_b)^2} \times \frac{10.000}{H}$$

$$= \frac{0{,}499}{(2.\pi.2{,}584)^2} \times \frac{10.000}{0{,}14} = 135{,}054\ {}^{m}/_{s^2}$$

2. Titik LB.2a

$$K_b = \frac{A}{(2.\pi.f_b)^2} \times \frac{10.000}{H}$$

$$= \frac{0{,}457}{(2.\pi.2{,}862)^2} \times \frac{10.000}{0{,}14} = 100{,}820\ {}^{m}/_{s^2}$$

3. Rata – Rata Nilai Indeks Kerentanan Bangunan Pada Lantai Basement

$$K_b = \frac{K_{b\ LB.1a} + K_{b\ LB.1a}}{2}$$

$$= \frac{135{,}054 + 100{,}820}{2} = 117{,}937\ {}^{m}/_{s^2}$$

5.6.2 Komponen E – W

1. Titik LB.1a

$$K_b = \frac{A}{(2.\pi.f_b)^2} \times \frac{10.000}{H}$$

$$= \frac{0{,}463}{(2.\pi.2{,}707)^2} \times \frac{10.000}{0{,}14} = 114{,}295\ {}^{m}/_{s^2}$$

2. Titik LB.2a

$$K_b = \frac{A}{(2.\pi.f_b)^2} \times \frac{10.000}{H}$$

$$= \frac{0{,}476}{(2.\pi.2{,}729)^2} \times \frac{10.000}{0{,}14} = 115{,}689\ {}^{m}/_{s^2}$$

3. Rata – Rata Nilai Indeks Kerentanan Bangunan Pada Lantai 1

$$K_{b\ Lantai\ 1} = \frac{K_{b\ LB.1a} + K_{b\ LB.1a}}{2}$$

$$= \frac{114{,}295 + 115{,}689}{2} = 114{,}992\ {}^{m}/_{s^2}$$

Menurut Sato (2008), indeks kerentanan bangunan diperkirakan dari deformasi struktur yang berkaitan dengan pergerakan seismik dari permukaan tanah struktur. Umumnya untuk memperkirakan kerentanan bangunan itu mengali runtuh pada nilai indeks kerentanan diatas 100 m/s^2 – 200 m/s^2. Sehingga jika nilai indeks kerentanan dibawah 100 m/s^2 bangunan aman terhadap ancaman kerusakan (Hadianfard, 2016).

Berdasarkan contoh perhitungan yang dilakukan pada titik LB.1a dan LB.2a untuk lantai basement, nilai indeks kerentanan bangunan komponen N-S didapatkan sebesar 117,937 m/s2 yang artinya diklasifikasikan tidak aman karena

nilai tersebut lebih besar dari 100 m/s2. Sedangkan untuk komponen E-W didapatkan sebesar 114,992 m/s2 yang artinya diklasifikasikan tidak aman karena nilai tersebut lebih besar dari 100 m/s2. Perhitungan dan klasifikasi ini dilakukan pada setiap titik perekaman yang dilakukan disetiap lantai, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.8

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Nilai Indeks Kerentanan Bangunan

Titik	Komponen N – S					Komponen E – W				
	f_b	A	H	K_b	Rata – Rata K_b	f_b	A	H	K_b	Rata – Rata K_b
BLOK A										
LB.1a	2,584	0,499	0,14	135,054	117,937	2,707	0,463	0,14	114,295	114,992
LB.2a	2,862	0,457	0,14	100,820		2,729	0,476	0,14	115,689	
L1.1a	3,063	0,380	4,00	2,568	3,981	3,565	0,312	4,00	1,557	2,874
L1.2a	2,676	0,610	4,00	5,394		2,865	0,543	4,00	4,190	
L2.1a	3,349	1,232	7,86	3,540	3,541	3,799	1,663	7,86	3,713	4,251
L2.2a	3,650	1,465	7,86	3,542		3,905	2,265	7,86	4,788	
L3.1a	3,379	8,579	11,76	16,187	10,785	3,809	5,889	11,76	8,741	7,541
L3.2a	3,615	3,266	11,76	5,383		3,889	4,452	11,76	6,341	
BLOK B										
LB.1b	2,724	0,299	0,14	72,965	90,748	2,655	0,254	0,14	65,160	78,348
LB.2b	2,641	0,419	0,14	108,532		2,825	0,404	0,14	91,537	
L1.1b	3,068	0,388	4,00	2,613	3,256	3,703	0,423	4,00	1,952	3,162
L1.2b	2,874	0,509	4,00	3,900		2,841	0,557	4,0	4,372	

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Nilai Indeks Kerentanan Bangunan

Titik	Komponen N – S					Komponen E – W				
	f_b	A	H	K_b	Rata – Rata K_b	f_b	A	H	K_b	Rata – Rata K_b
L2.1b	3,185	1,114	8,76	3,177	3,843	3,786	1,329	8,76	2,682	3,859
L2.2b	3,765	1,823	8,76	3,719		3,868	2,196	8,76	4,244	
L3.1b	3,823	3,567	11,76	5,258	6,194	3,736	3,129	11,76	4,829	4,960
L3.2b	3,021	3,022	11,76	7,130		3,875	3,549	11,76	5,092	
L4.1b	3,606	2,608	15,66	3,243	4,541	3,808	4,328	15,66	4,828	4,962
L4.2b	3,792	5,192	15,66	5,839		3,887	4,760	15,66	5,096	
BLOK C										
L1.1c	2,714	0,616	4,00	5,293	5,262	2,746	0,555	4,00	4,666	4,371
L1.2c	2,680	0,594	4,00	5,232		3,026	0,589	4,00	4,076	
L2.1c	3,818	1,564	8,76	3,103	3,436	3,890	2,199	8,76	4,049	3,898
L2.2c	3,768	1,504	8,76	3,062		3,848	1,508	8,76	2,945	
L3.1c	3,832	2,778	11,76	4,076	4,346	3,888	2,480	11,76	3,533	4,058
L3.2c	3,923	3,298	11,76	4,616		3,844	3,144	11,76	4,584	
L4.1c	3,781	4,204	15,66	4,757	4,538	3,857	3,762	15,66	4,091	3,904
L4.2c	3,816	3,887	15,66	4,318		3,884	3,467	15,66	3,717	

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Nilai Indeks Kerentanan Bangunan

Titik	Komponen N – S					Komponen E – W				
	f_b	A	H	K_b	Rata – Rata K_b	f_b	A	H	K_b	Rata – Rata K_b
BLOK D										
L1.1d	3,439	0,518	4,00	2,776	4,029	3,011	0,626	4,00	4,372	4,530
L1.2d	2,866	0,685	4,00	5,282		3,028	0,679	4,00	4,689	
L2.1d	3,834	1,825	8,76	3,590	3,589	3,842	2,032	8,76	3,979	3,579
L2.2d	4,000	1,577	8,76	2,850		3,936	1,310	8,76	2,444	
L3.1d	3,933	4,424	11,76	6,162	4,741	3,858	4,194	11,76	6,068	5,789
L3.2d	4,391	2,971	11,76	3,320		3,882	3,855	11,76	5,509	
L4.1d	3,887	4,823	15,66	5,164	4,111	3,845	4,664	15,66	5,103	4,825
L4.2d	3,880	2,846	15,66	3,058		3,843	4,150	15,66	4,547	
BLOK E										
LB.1e	2,724	0,487	0,14	118,865	121,971	2,749	0,424	0,14	101,439	115,042
LB.2e	2,657	0,488	0,14	125,077		2,718	0,525	0,14	128,645	

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Nilai Indeks Kerentanan Bangunan

Titik	Komponen N – S					Komponen E – W				
	f_b	A	H	K_b	Rata – Rata K_b	f_b	A	H	K_b	Rata – Rata K_b
L1.1e	2,868	0,719	4,00	5,538	5,712	4,221	0,654	4,00	2,324	3,682
L1.2e	2,580	0,619	4,00	5,887		2,679	0,571	4,00	5,040	
L2.1e	4,428	1,848	7,86	3,036	2,212	3,837	0,996	7,86	2,180	2,222
L2.2e	4,762	0,976	7,86	1,387		4,022	1,137	7,86	2,264	

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Kategori Indeks Kerentanan Bangunan

Lantai	Komponen N – S			Komponen E – W		
	Rata – Rata K_b	Syarat Aman	Kategori	Rata – Rata K_b	Syarat Aman	Kategori
BLOK A						
Basement	117,937	< 100	Tidak Aman	114,992	< 100	Tidak Aman
1	3,981	< 100	Aman	2,874	< 100	Aman
2	3,541	< 100	Aman	4,251	< 100	Aman
3	10,785	< 100	Aman	7,541	< 100	Aman
BLOK B						
Basement	90,748	< 100	Aman	78,348	< 100	Aman
1	3,256	< 100	Aman	3,162	< 100	Aman
2	3,843	< 100	Aman	3,859	< 100	Aman
3	6,194	< 100	Aman	4,960	< 100	Aman
4	4,541	< 100	Aman	4,962	< 100	Aman
BLOK C						
1	5,262	< 100	Aman	4,371	< 100	Aman
2	3,436	< 100	Aman	3,898	< 100	Aman
3	4,346	< 100	Aman	4,058	< 100	Aman
4	4,538	< 100	Aman	3,904	< 100	Aman
BLOK D						
1	4,029	< 100	Aman	4,530	< 100	Aman
2	3,589	< 100	Aman	3,579	< 100	Aman
3	4,741	< 100	Aman	5,789	< 100	Aman
4	4,111	< 100	Aman	4,825	< 100	Aman
BLOK E						
Basement	121,971	< 100	Tidak Aman	115,042	< 100	Tidak Aman
1	5,712	< 100	Aman	3,682	< 100	Aman
2	2,212	< 100	Aman	2,222	< 100	Aman

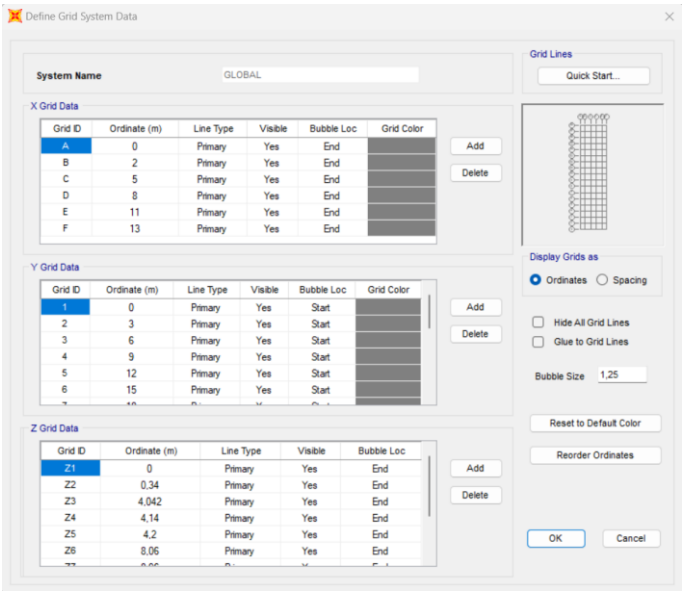
Parameter yang digunakan dalam pengolahan nilai indeks kerentanan bangunan yaitu amplifikasi (A), frekuensi natural bangunan (f_b) dan ketinggian bangunan (H). Nilai amplifikasi dan frekuensi natural bangunan didapatkan dari grafik perbandingan pada analisis FFT menggunakan sofware geopsy. Nilai tersebut dilakukan perhitungannya pada setiap titik pengukuran untuk masing – masing komponen, lalu nilai yang dijadikan representasi nilai indeks kerentanan bangunan pada masing – masing lantai adalah nilai rata – rata dari setiap pengukuran pada lantai tersebut. Klasifikasi yang dijadikan representasi untuk keseluruhan blok adalah dengan melihat tingkat kerentanannya pada setiap lantai bangunan.

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 5.9. diklasifikasikanlah indeks kerentanan bangunan pada setiap bloknya dengan mempertimbangkan klasifikasi pada setiap lantainya untuk masing – masing komponen. Pada blok A klasifikasi yang didapatkan aman, kecuali pada lantai basement. Pada blok B, C dan D klasifikasi pada setiap lantainya aman untuk masing – masing komponen. Sedangkan pada blok E untuk lantai basement diklasifikasikan tidak aman dan lantai 1-2 diklasifikasikan aman.

5.7 Analisis Frekuensi Natural SAP2000

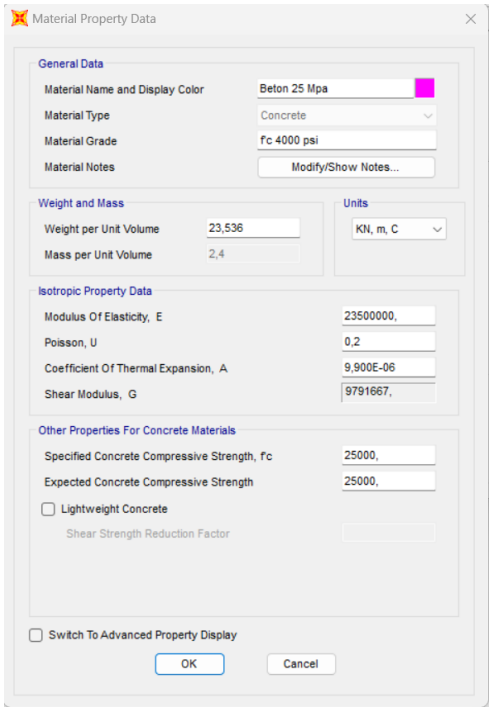
Analisis menggunakan SAP2000 dilakukan masing – masing pada setiap bloknya. Permodelan yang dibuat hanya terbatas pada struktur sloof, kolom, balok plat dan tangga. Hal ini dilakukan dengan menyesuaikan informasi yang tersedia pada gambar struktur. Berikut merupakan langkah – langkah yang dilakukan dalam analisis SAP2000.

1. Melakukan pengaturan grid pada gambar permodelan dengan memodifikasi grid global dari model “Grid Only”

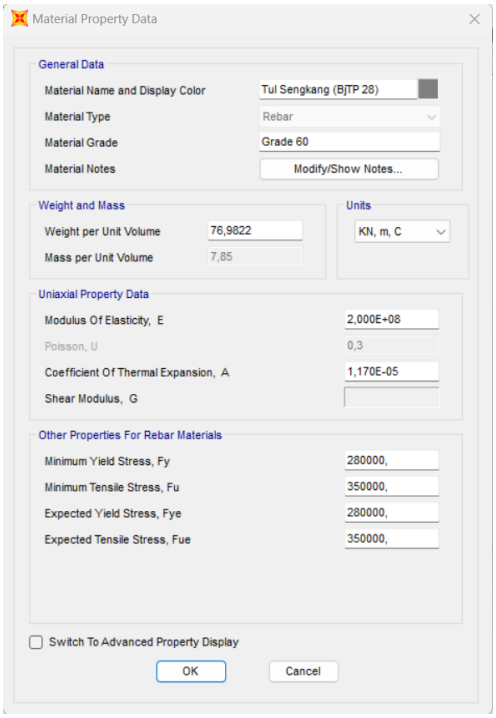


Gambar 5. 13 Modifikasi Grid Pada Blok A

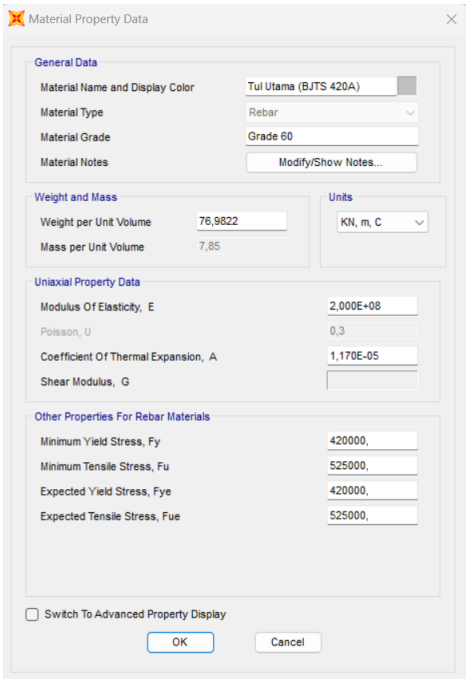
2. Mengatur spesifikasi material yang akan digunakan meliputi beton mutu 25 Mpa, baja tulangan BjTP24 dan baja tulangan BjTS420A



Gambar 5. 14 Spesifikasi Material Beton Mutu 25 Mpa



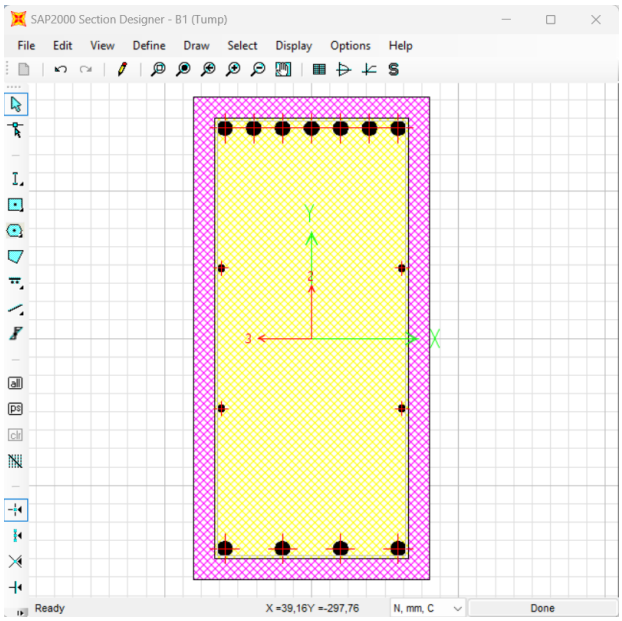
Gambar 5. 15 Spesifikasi Baja Tulangan BjTP28



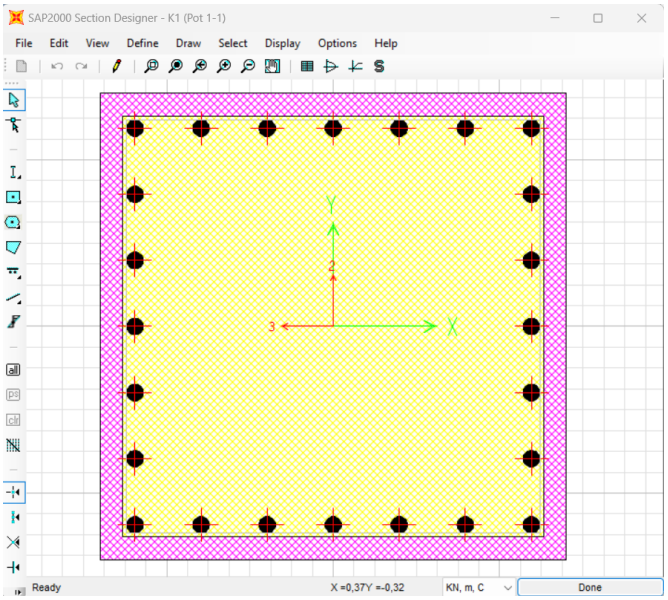
Gambar 5. 16 Spesifikasi Baja Tulangan BjTS420A

3. Struktur sloof, balok dan kolom didefinisikan dengan menggunakan frame “Section Designer”, lalu desain tersebut meliputi dimensi struktur, tulangan

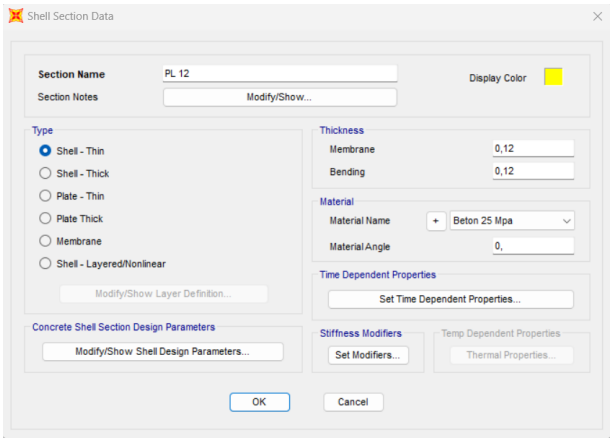
utama dan tulangan geser. Sedangkan struktur plat didefinisikan menggunakan shell area section.



Gambar 5. 17 Balok B1 Tumpuan

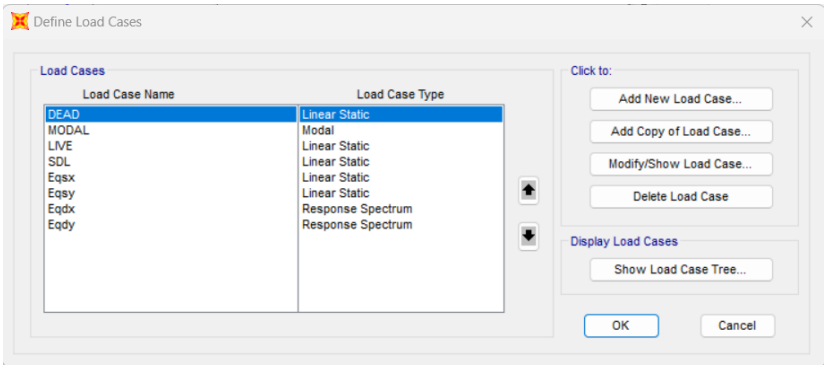


Gambar 5. 18 Kolom K1 Potongan 1-1



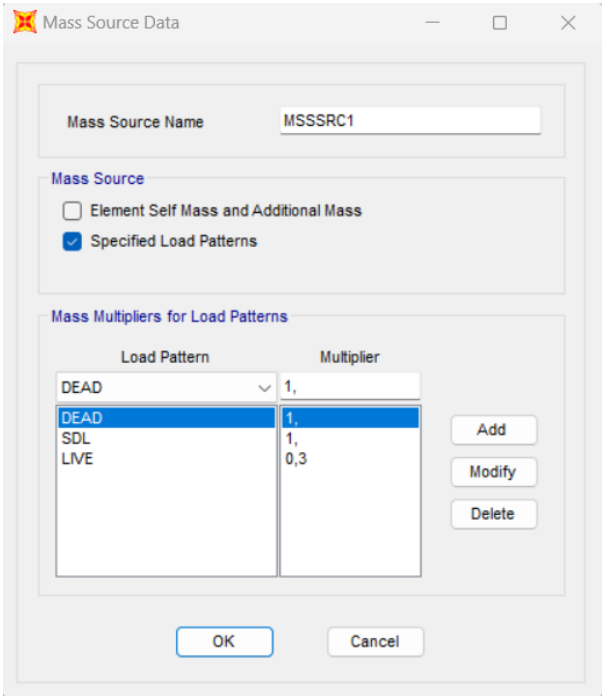
Gambar 5. 19 Desain Plat Lantai

4. Setelah stuktur sloof, balok, kolom dan plat telah terdefinisi, dilakukan permodelan struktur dengan menyesuaikan pada Laporan Akhir Gambar Struktural Gedung Perkuliahan FTI UII.
5. Setelah permodelan struktur telah selesai, dilakukan "Automatic Frame Mesh" agar memastikan setiap frame dan shell area yang dimodelkan saling terhubung.
6. Mendefinisikan beban mati tambahan, beban hidup dan beban gempa statik. Beban mati yang diinput berdasarkan **Tabel 3.3**, beban hidup yang diinput berdasarkan **Tabel 3.4** dengan menyesuaikan fungsi ruang, beban gempa statik yang diinput berdasarkan ASCE 7-16 yang disesuaikan dengan website Desain Spektra Indonesia dan beban gempa dinamik yang diinput berdasarkan hasil respon spektrum pada website Desain Spektral Indonesia.



Gambar 5. 20 Pengaturan Beban

7. Mendefinisikan partisipasi massa menggunakan Mass Source

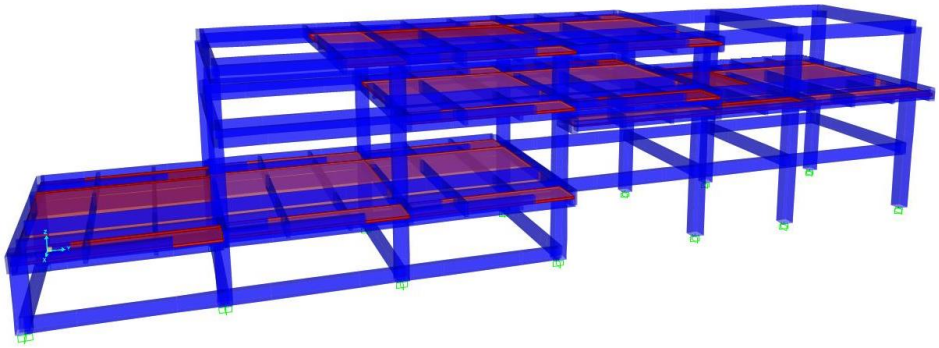


Gambar 5. 21 Pengaturan Pastisipasi Massa

8. Mendefinisikan diafragma bangunan menggunakan constrain diafragma.

5.7.1 Analisis SAP2000 Pada Blok A

Analisis SAP2000 pada blok A dilakukan sesuai dengan langkah – langkah yang telah dijelaskan sebelumnya. Setelah itu, hasil permodelan di *running* untuk mendapatkan hasil periode dan frekuensi. Berikut merupakan gambar hasil permodelan stuktur 3 dimensi dan tabel hasil *running* yang didapatkan dari analisis SAP2000.



Gambar 5. 22 Permodelan Blok A

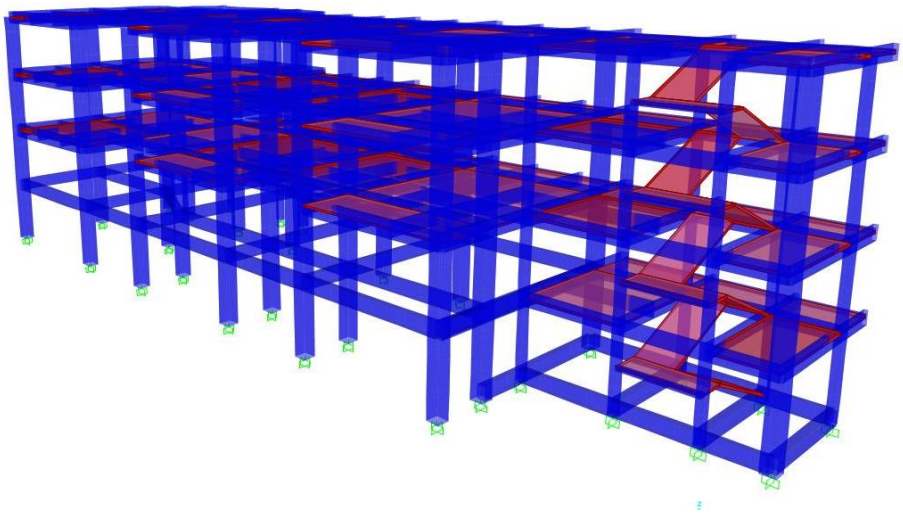
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Periode Dan Frekuensi SAP2000 Blok A

TABLE: Modal Periods And Frequencies				
OutputCase	**StepType**	**StepNum**	**Period**	**Frequency**
Text	**Text**	**Unitless**	**Sec**	**Cyc/sec**
MODAL	Mode	1	0,318	3,141
MODAL	Mode	2	0,283	3,535
MODAL	Mode	3	0,282	3,542
MODAL	Mode	4	0,282	3,549
MODAL	Mode	5	0,282	3,551
MODAL	Mode	6	0,281	3,555
MODAL	Mode	7	0,279	3,586
MODAL	Mode	8	0,274	3,643
MODAL	Mode	9	0,273	3,662
MODAL	Mode	10	0,261	3,830
MODAL	Mode	11	0,198	5,051
MODAL	Mode	12	0,187	5,345

Berdasarkan hasil *running* pada permodelan blok A didapatkanlah nilai periode bangunan serta frekuensi bangunan. Hasil yang didapatkan untuk periode bangunan adalah 0,318 detik dan untuk frekuensi bangunan sebesar 3,141 Hz. Modal 1 merupakan hasil yang dijadikan acuan pada analisis ini.

5.7.2 Analisis SAP2000 Pada Blok B

Analisis SAP2000 pada blok B dilakukan sesuai dengan langkah – langkah yang telah dijelaskan sebelumnya. Setelah itu, hasil permodelan di *running* untuk mendapatkan hasil periode dan frekuensi. Berikut merupakan gambar hasil permodelan stuktur 3 dimensi dan tabel hasil *running* yang didapatkan dari analisis SAP2000.



Gambar 5. 23 Permodelan Blok B

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Periode Dan Frekuensi SAP2000 Blok B

TABLE: Modal Periods And Frequencies				
OutputCase	**StepType**	**StepNum**	**Period**	**Frequency**
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	Mode	1	0,301	3,327
MODAL	Mode	2	0,278	3,602
MODAL	Mode	3	0,276	3,629
MODAL	Mode	4	0,274	3,653
MODAL	Mode	5	0,273	3,658
MODAL	Mode	6	0,273	3,670
MODAL	Mode	7	0,271	3,693
MODAL	Mode	8	0,270	3,699
MODAL	Mode	9	0,229	4,361

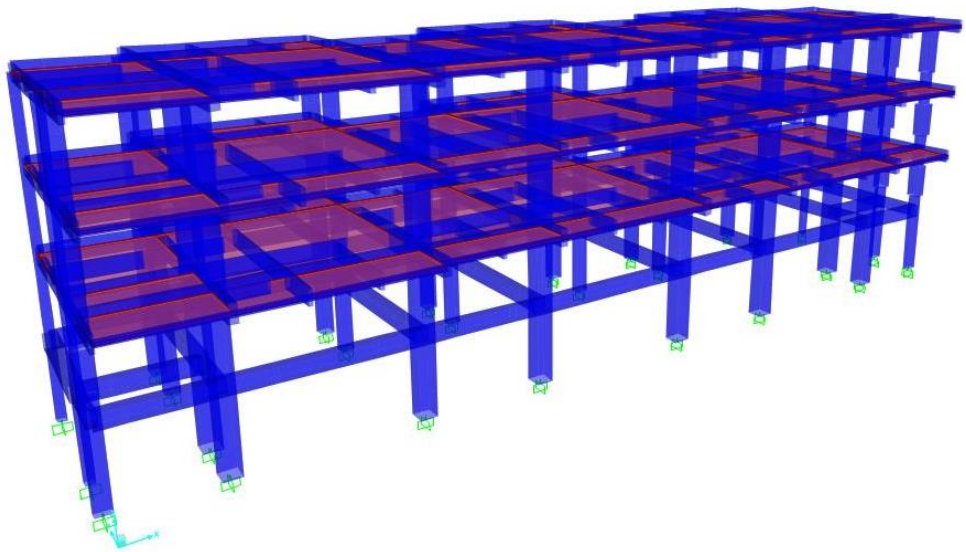
Lanjutan Tabel 5.11 Rekapitulasi Periode Dan Frekuensi SAP2000 Blok B

TABLE: Modal Periods And Frequencies				
OutputCase	**StepType**	**StepNum**	**Period**	**Frequency**
MODAL	Mode	10	0,205	4,868
MODAL	Mode	11	0,204	4,894
MODAL	Mode	12	0,201	4,981

Berdasarkan hasil *running* pada permodelan blok B didapatkanlah nilai periode bangunan serta frekuensi bangunan. Hasil yang didapatkan untuk periode bangunan adalah 0,301 detik dan untuk frekuensi bangunan sebesar 3,327 Hz. Modal 1 merupakan hasil yang dijadikan acuan pada analisis ini.

5.7.3 Analisis SAP2000 Pada Blok C

Analisis SAP2000 pada blok C dilakukan sesuai dengan langkah – langkah yang telah dijelaskan sebelumnya. Setelah itu, hasil permodelan di *running* untuk mendapatkan hasil periode dan frekuensi. Berikut merupakan gambar hasil permodelan stuktur 3 dimensi dan tabel hasil *running* yang didapatkan dari analisis SAP2000.



Tabel 5. 12 Permodelan Blok C

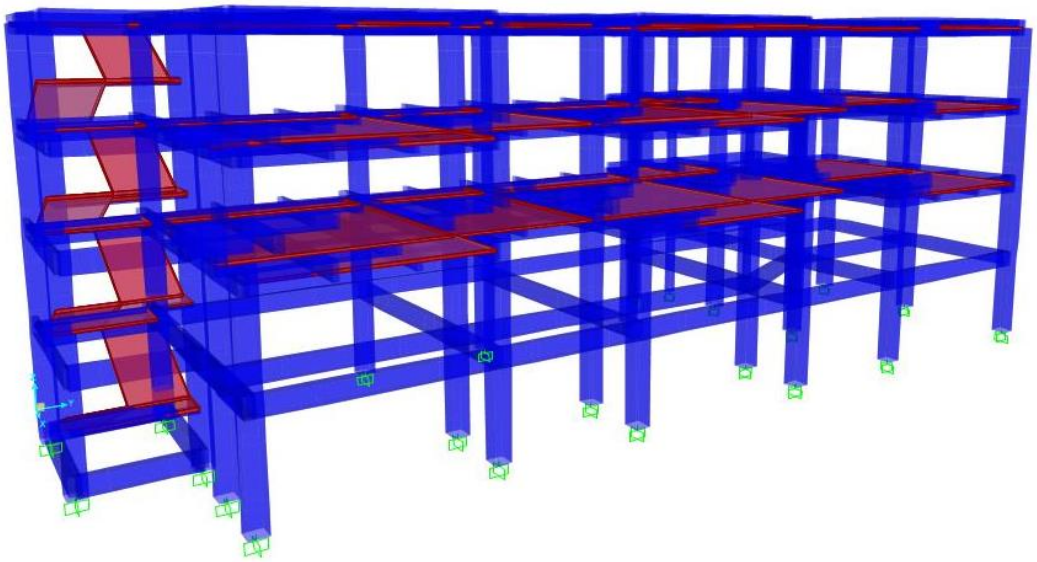
Gambar 5. 24 Rekapitulasi Periode Dan Frekuensi SAP2000 Blok C

TABLE: Modal Periods And Frequencies				
OutputCase	**StepType**	**StepNum**	**Period**	**Frequency**
Text	**Text**	**Unitless**	**Sec**	**Cyc/sec**
MODAL	Mode	1	0,314	3,181
MODAL	Mode	2	0,274	3,649
MODAL	Mode	3	0,272	3,681
MODAL	Mode	4	0,271	3,688
MODAL	Mode	5	0,271	3,693
MODAL	Mode	6	0,269	3,714
MODAL	Mode	7	0,269	3,719
MODAL	Mode	8	0,266	3,757
MODAL	Mode	9	0,265	3,774
MODAL	Mode	10	0,265	3,778
MODAL	Mode	11	0,251	3,985
MODAL	Mode	12	0,232	4,309

Berdasarkan hasil *running* pada permodelan blok C didapatkanlah nilai periode bangunan serta frekuensi bangunan. Hasil yang didapatkan untuk periode bangunan adalah 0,314 detik dan untuk frekuensi bangunan sebesar 3,181 Hz. Modal 1 merupakan hasil yang dijadikan acuan pada analisis ini.

5.7.4 Analisis SAP2000 Pada Blok D

Analisis SAP2000 pada blok D dilakukan sesuai dengan langkah – langkah yang telah dijelaskan sebelumnya. Setelah itu, hasil permodelan di *running* untuk mendapatkan hasil periode dan frekuensi. Berikut merupakan gambar hasil permodelan stuktur 3 dimensi dan tabel hasil *running* yang didapatkan dari analisis SAP2000.



Gambar 5. 25 Permodelan Blok D

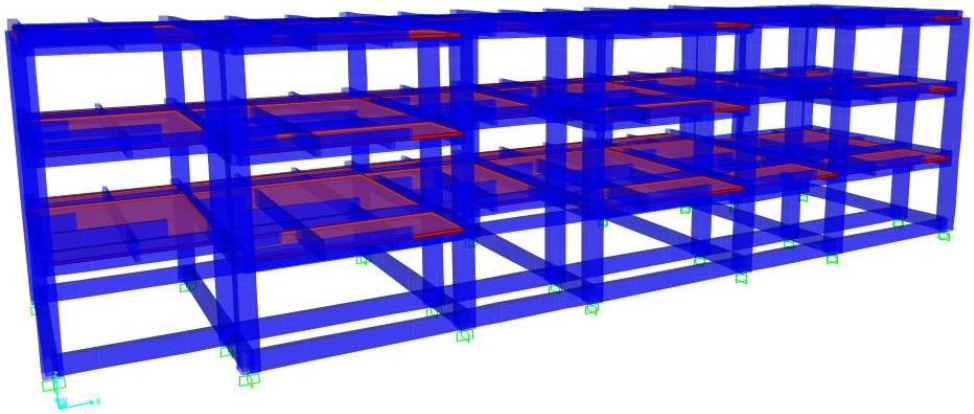
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Periode Dan Frekuensi SAP2000 Blok D

TABLE: Modal Periods And Frequencies				
OutputCase	**StepType**	**StepNum**	**Period**	**Frequency**
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	Mode	1	0,322	3,101
MODAL	Mode	2	0,283	3,534
MODAL	Mode	3	0,281	3,565
MODAL	Mode	4	0,280	3,567
MODAL	Mode	5	0,277	3,605
MODAL	Mode	6	0,276	3,629
MODAL	Mode	7	0,275	3,633
MODAL	Mode	8	0,262	3,818
MODAL	Mode	9	0,225	4,447
MODAL	Mode	10	0,225	4,454
MODAL	Mode	11	0,224	4,464
MODAL	Mode	12	0,222	4,515

Berdasarkan hasil *running* pada permodelan blok D didapatkanlah nilai periode bangunan serta frekuensi bangunan. Hasil yang didapatkan untuk periode bangunan adalah 0,322 detik dan untuk frekuensi bangunan sebesar 3,101 Hz. Modal 1 merupakan hasil yang dijadikan acuan pada analisis ini.

5.7.5 Analisis SAP2000 Pada Blok E

Analisis SAP2000 pada blok E dilakukan sesuai dengan langkah – langkah yang telah dijelaskan sebelumnya. Setelah itu, hasil permodelan di *running* untuk mendapatkan hasil periode dan frekuensi. Berikut merupakan gambar hasil permodelan stuktur 3 dimensi dan tabel hasil *running* yang didapatkan dari analisis SAP2000.



Gambar 5. 26 Permodelan Blok E

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Periode Dan Frekuensi SAP2000 Blok E

TABLE: Modal Periods And Frequencies				
OutputCase	**StepType**	**StepNum**	**Period**	**Frequency**
Text	**Text**	**Unitless**	**Sec**	**Cyc/sec**
MODAL	Mode	1	0,306	3,271
MODAL	Mode	2	0,281	3,555
MODAL	Mode	3	0,281	3,556
MODAL	Mode	4	0,279	3,582
MODAL	Mode	5	0,279	3,584

Lanjutan Tabel 5. 14 Rekapitulasi Periode Dan Frekuensi SAP2000 Blok E

MODAL	Mode	6	0,279	3,587
MODAL	Mode	7	0,279	3,589
MODAL	Mode	8	0,277	3,604
MODAL	Mode	9	0,236	4,240
MODAL	Mode	10	0,234	4,275
MODAL	Mode	11	0,233	4,298
MODAL	Mode	12	0,232	4,304

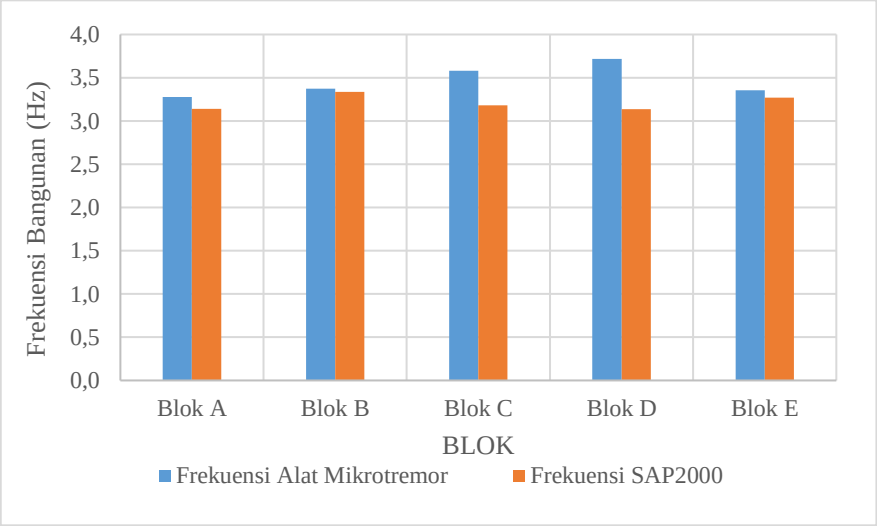
Berdasarkan hasil *running* pada permodelan blok E didapatkanlah nilai periode bangunan serta frekuensi bangunan. Hasil yang didapatkan untuk periode bangunan adalah 0,306 detik dan untuk frekuensi bangunan sebesar 3,271 Hz. Modal 1 merupakan hasil yang dijadikan acuan pada analisis ini.

5.8 Perbandingan Frekuensi Mikrotremor dan SAP2000

Setelah dilakukan pengolahan data mikrotremor untuk mendapatkan nilai frekuensi bangunan, dilakukan pemeriksaan mengenai hasil yang diperoleh. Untuk validasi hasil dari pengukuran mikrotremor, dilakukan analisis periode getar bangunan menggunakan *sofware* analisis gedung yaitu SAP2000. Jika hasil yang didapatkan dari kedua analisis tersebut hampir sama, maka hasil pekerjaan tersebut dapat dikatakan tervalidasi (Khadka, 2018). Berikut merupakan tabel dan grafik perbandingan antara frekuensi bangunan yang diperoleh dari alat mikrotremor dan *sofware* SAP2000.

Tabel 5. 15 Perbandingan Frekuensi Alat Mikrotremor Dan SAP2000

No.	Lokasi	Frekuensi Mikrotremor		Rata - Rata Frekuensi	Frekuensi SAP2000	Selisih Frekuensi
		Komponen N-S	Komponen E-W	(Hz)	(Hz)	(Hz)
1	Blok A	3,147	3,408	3,278	3,141	0,137
2	Blok B	3,250	3,498	3,374	3,327	0,047
3	Blok C	3,541	3,623	3,582	3,181	0,401
4	Blok D	3,779	3,656	3,717	3,101	0,616
5	Blok E	3,336	3,371	3,354	3,271	0,083



Gambar 5. 27 Grafik Perbandingan Frekuensi Alat Mikrotremor Dan SAP2000

Frekuensi mikrotremor merupakan hasil pengukuran lapangan yang didasarkan dengan dua komponen, yaitu komponen N-S dan Komponen E-W. Nilai rata – rata dari kedua komponen tersebut digunakan sebagai nilai representasi frekuensi mikrotremor disetiap bloknya. Sedangkan frekuensi SAP2000 merupakan hasil perhitungan numerik berdasarkan perangkat lunak SAP2000 yang biasanya digunakan untuk menganalisis struktur bangunan dan memperkirakan perilaku dinamisnya (Khadka, 2018).

Pada grafik histogtram menunjukkan gambaran selisih frekuensi antara pengukuran mikrotremor dan analisis SAP2000. Selisih frekuensi blok A relatif kecil sehingga dapat menunjukkan kesesuaian yang baik antara hasil pengukuran dilapangan dan analisis SAP2000. Selisih frekuensi blok B sangat kecil sehingga dapat mengindikasikan keakuratan yang lebih tinggi antara perbandingan dilapangan dan analisis SAP2000. Selisih frekuensi blok C dan blok D yang diperoleh cukup signifikan, sehingga perlu adanya peninjauan mengenai faktor yang dapat mempengaruhi hasil perbedaan tersebut. Sedangkan selisih frekuensi blok E relatif kecil sehingga dapat menunjukkan kesesuaian yang baik.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data mikrotremor pada Gedung Perkuliahan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, didapatkanlah kesimpulan sebagai berikut.

1. Kerentanan bangunan ditinjau dari 3 nilai parameter yaitu nilai frekuensi bangunan, indeks resonansi bangunan dan indeks kerentanan bangunan, yang sebagai berikut.
    a. Berdasarkan nilai frekuensi bangunan yang didapatkan pada blok A, blok B, blok C, blok D dan blok E untuk setiap masing – masing komponen nilai frekuensi bangunan lebih besar dari nilai frekuensi tanah sehingga dapat dikatakan aman.
    b. Berdasarkan hasil klasifikasi nilai indeks resonansi bangunan yang didapatkan blok A kategori tinggi komponen N-S dan E-W, blok B kategori tinggi untuk komponen N-S dan E-W, blok C kategori sedang untuk komponen N-S dan kategori tinggi untuk komponen E-W, blok D kategori sedang untuk komponen N-S dan kategori tinggi untuk komponen E-W, blok E kategori sedang untuk komponen N-S dan E-W
    c. Berdasarkan hasil klasifikasi nilai indeks kerentanan bangunan yang didapatkan pada blok A kategori aman untuk lantai 1-3 dan tidak aman untuk lantai basement, blok B kategori aman, blok C kategori aman, blok D kategori aman dan blok E kategori aman untuk lantai 1-2 dan tidak aman untuk lantai basement.
2. Perbandingan nilai frekuensi bangunan dari data mikrotremor dan nilai frekuensi bangunan dari permodelan SAP2000 dengan nilai selisih relatif besar pada blok C sebesar 0,401 dan blok D sebesar 0,616.

6.2 Saran

Setelah rangkaian proses penelitian selesai, beberapa saran yang dapat penulis dapat berikan dalam pengembangan penelitian ini kedepannya.

1. Penelitian dapat dikembangkan lagi dengan membandingkan hasil penelitian ini dengan metode yang lain dalam pengolahan mikrotremor
2. Perlu dilakukan pengambangan lebih lanjut terkait faktor – faktor yang mempengaruhi frekuensi bangunan baik terhadap parameter SAP2000 maupun parameter mikrotremor terlebih pada kondisi lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Aini, D. N., Utama, W., & Bahri, A. (2012). Penaksiran Resonansi Tanah dan Bangunan Menggunakan Analisis Mikrotremor Wilayah Surabaya Jawa Timur. *Jurnal Teknik POMITS Vol.1, No.1*, 1-5.

Arifudin, A. M. (2018). Karakteristik Situs Dan Kerentanan Sesimik Di Kabupaten Klaten Dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR) Dari Data Mikrotremor. *Universitas Islam Indonesia*.

Arnold, E. P. (1986). Southest Asia Association On Seismology and Earthquake Enginering. *Series on Seismology*.

Ayi, V. W., & Bahri, S. (2012). Analisis Mikrotremor Untuk Evaluasi Kekuatan Bangunan Studi Kasus Gedung Perpustakaan ITS. *Jurnal Sains Dan Seni ITS, Vol. 1, No.1*, 52-56.

BMKG. (2023). Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa Bumi Barat Daya Bantul DIY.

Coburn, A. &. (2002). Earthquake Protection, Second Edition Cambridge : John Wiley & Sons.

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

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

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

Ilham. (2023). Analisis Kerentanan Gedung Rektorat UIN Mataram Terhadap Gempa Bumi Berdasarkan Data Mikrotremor. *BERKALA SAINTEK*, 1-11.

Karyadi, D. (2008). Penentuan Pola Mekanisme Sumber Gempa Bumi Berdasarkan Polarisasi Pertama Gelombang P (Gempa Bumi Bengkulu 12 September 2007). *Jakarta Akademi Meteorologi dan Geofisika*.

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

Larasati, N. (2022). Uji Kerentanan Bangunan Rusunawa Berdasarkan HVSR (Horizontal To Spectral Ratio) Dan FSR (Floor Spectral Ratio). *Jurnal Geosaintek, Vol. 8 No.1*, 151-160.

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

Nashir, M. A. (2013). Karakteristik Kekuatan Bangunan Wilayah Surabaya Jawa Timur Menggunakan Analisis Mikrotremor. *Jurnal Teknik Pomits*, 1-5.

Prabowo, U. N., Budhi, W., & Amalia, A. F. (2020). Analisis Mikrotremor Untuk Mengevaluasi Kerentanan Gempa Bumi Ruangan Prodi Pend Fisika UST. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 10-16.

Prastowo, R., & Prabowo, U. N. (2017). Evaluasi Kerentanan Gedung Rektorat STTNAS Terhadap Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Mikrotremor. *Jurnal Angkasa*, 83-90.

Putra, R. R., & Khumairah, R. (2023). Assesment Tingkat Kerentanan Bangunan Bertingkat Di Gedung Klinik Kesehatan Prodia Padang Menggunakan Rayleigh Wave. *Applied Science In Civil Engineering*, 222-231.

Sarkowi, M., Wibowo, R. C., Yogi, I. B., Yusuf, M., & Boka, Y. S. (2022). Microtremor Analysis to Evaluate BMKG Region III Building, Bali, Indonesia. *Iranian Journal of Earth Sciences Vol. 14, No. 2*, 104-111.

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

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

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

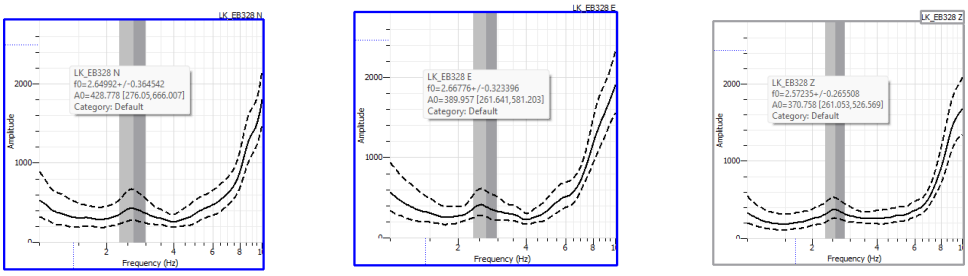
Syihabuddin, A. A. (2020). Analisis Kerentanan Bangunan Berdasarkan Data Mikrotremor Studi Kasus : PT Solusi Bangun Indonesia Tuban Plant. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.

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.

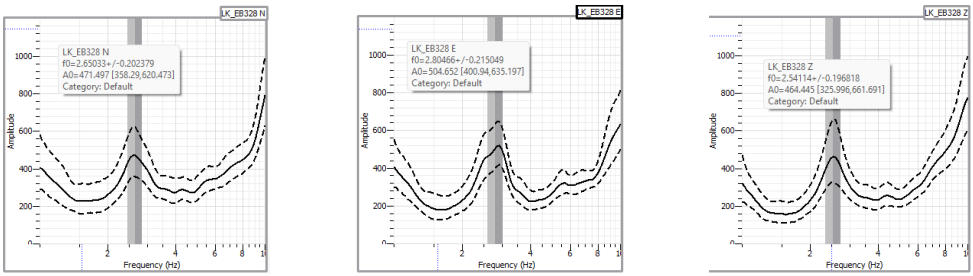
LAMPIRAN

Lampiran. 1 Gambar Kurva FSR



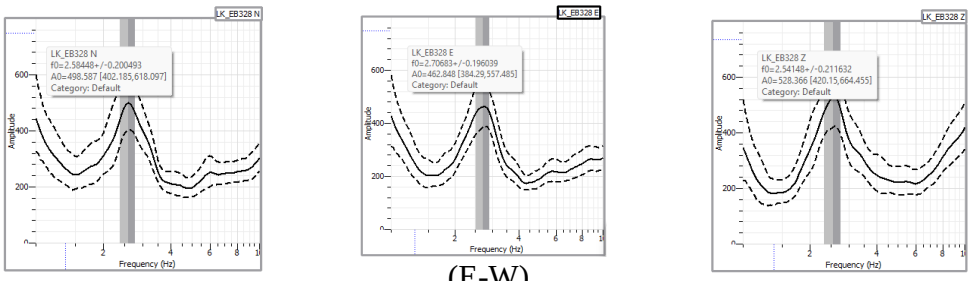
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 1 Kurva Spektrum Tanah Titik 1



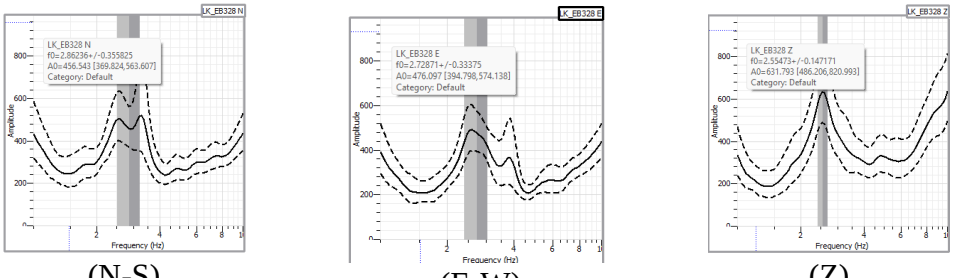
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 2 Kurva Spektrum Tanah Titik 2



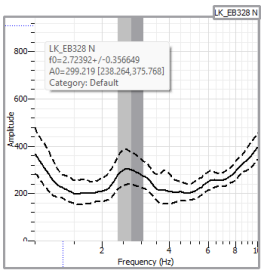
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 3 Kurva Spektrum Titik LB.1a

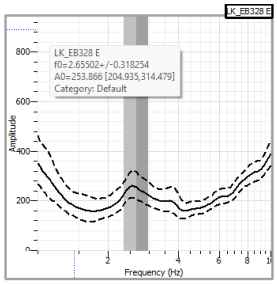


(N-S) (E-W) (Z)

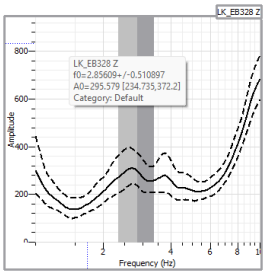
Gambar L-1. 4 Kurva Spektrum Titik LB.2a



(N-S)

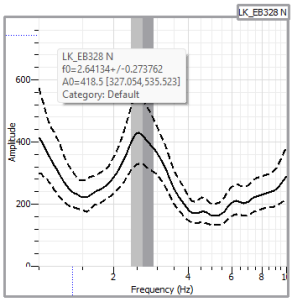


(E-W)

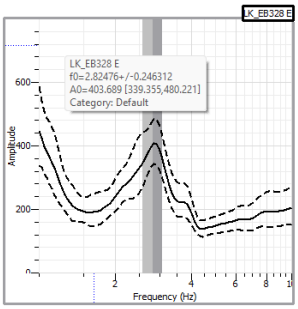


(Z)

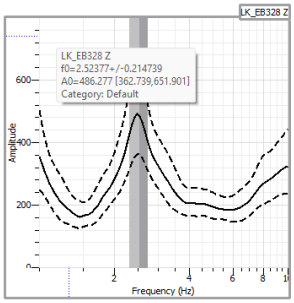
Gambar L-1. 5 Kurva Spektrum Titik LB.1b



(N-S)

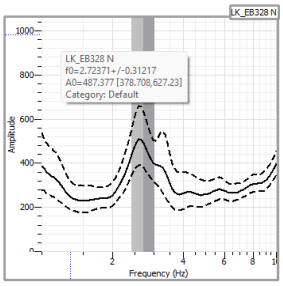


(E-W)

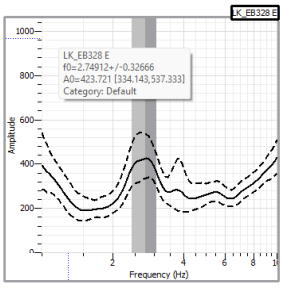


(Z)

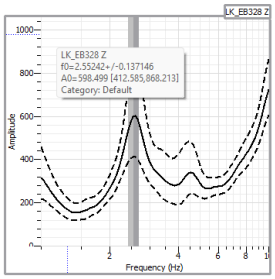
Gambar L-1. 6 Kurva Spektrum Titik LB.2b



(N-S)

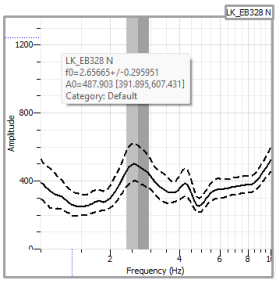


(E-W)

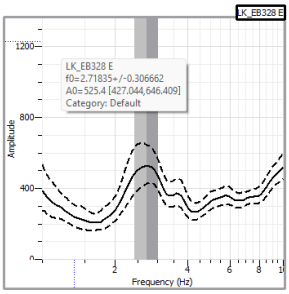


(Z)

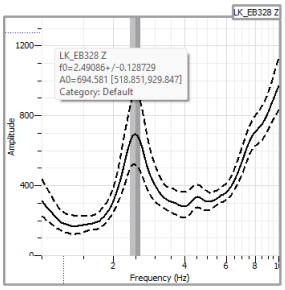
Gambar L-1. 7 Kurva Spektrum Titik LB.1e



(N-S)

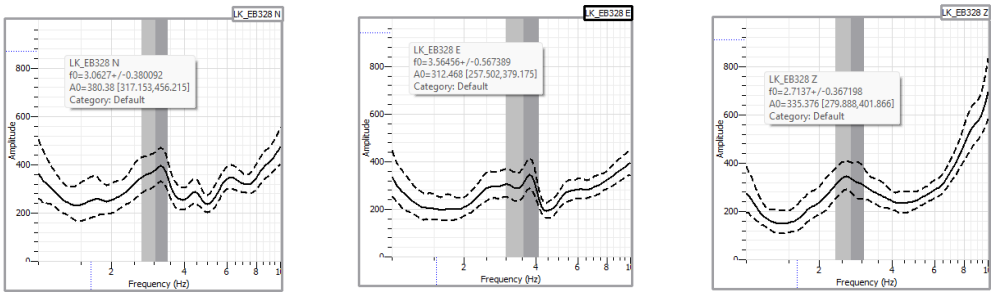


(E-W)



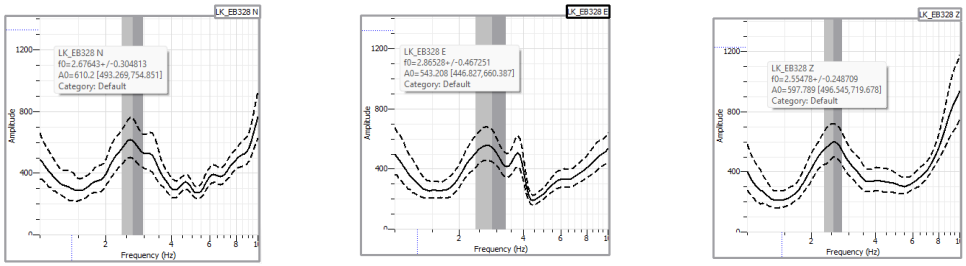
(Z)

Gambar L-1. 8 Kurva Spektrum Titik LB.2e



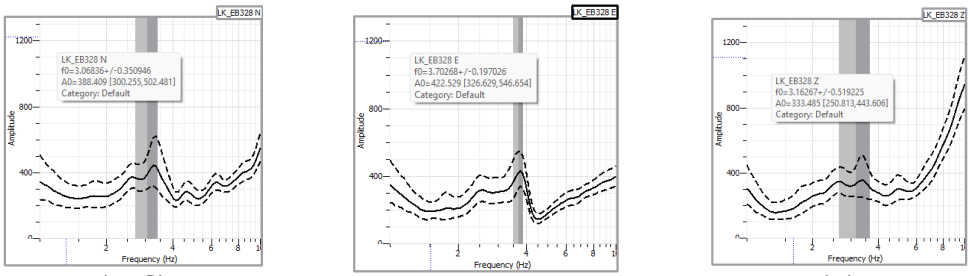
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 9 Kurva Spektrum Titik L1.1a



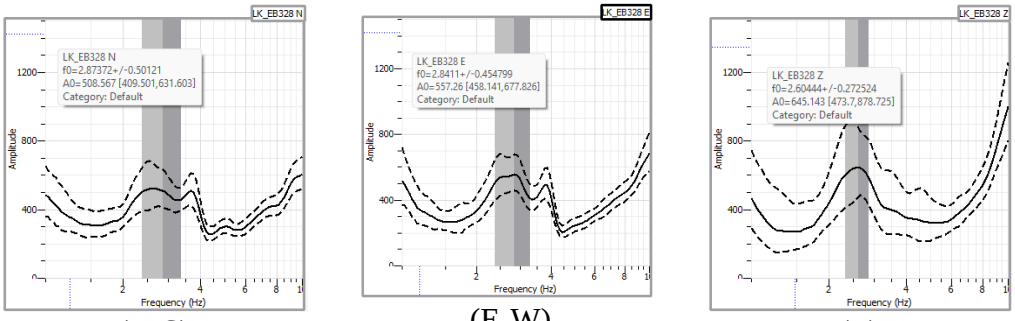
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 10 Kurva Spektrum Titik L1.2a



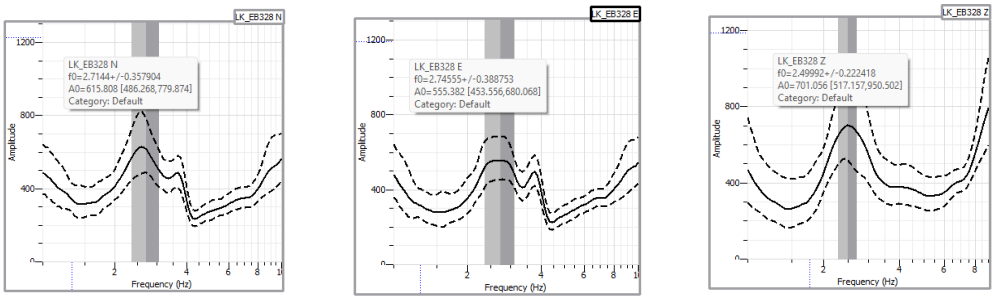
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 11 Kurva Spektrum Titik L1.1b



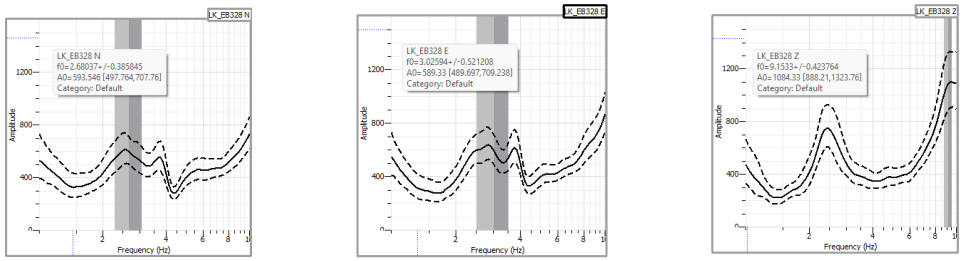
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 12 Kurva Spektrum Titik L1.2b



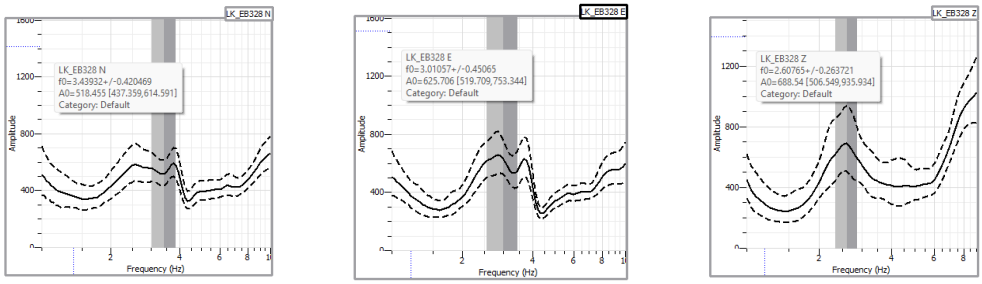
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 13 Kurva Spektrum Titik L1.1c



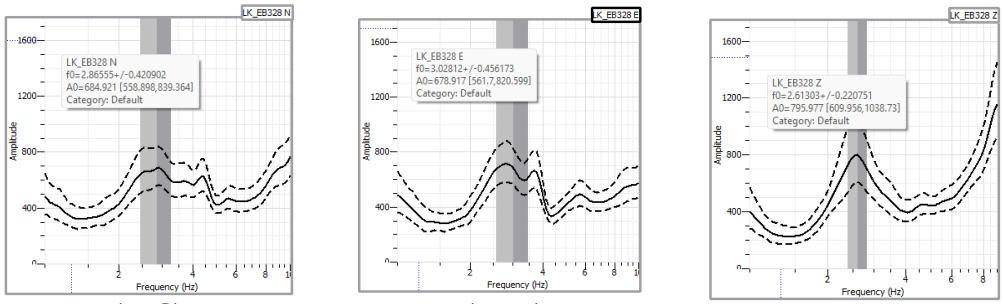
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 14 Kurva Spektrum Titik L1.2c



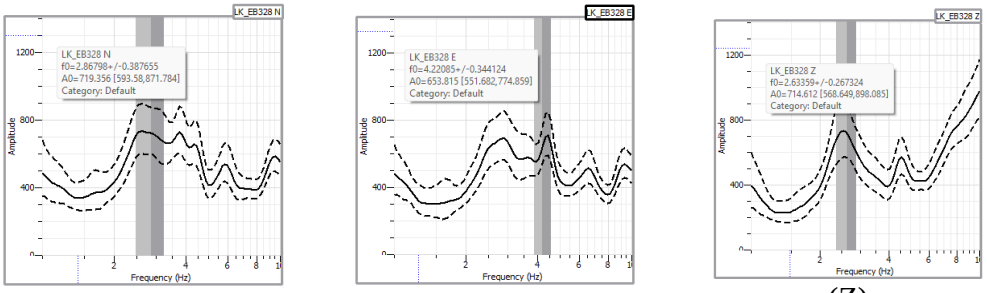
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 15 Kurva Spektrum Titik L1.1d



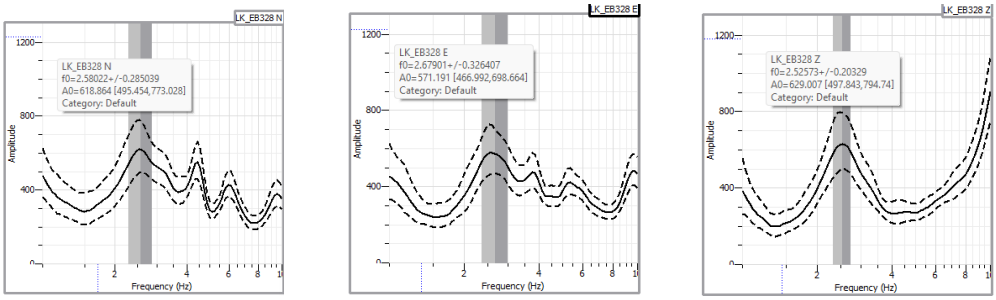
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 16 Kurva Spektrum Titik L1.2d



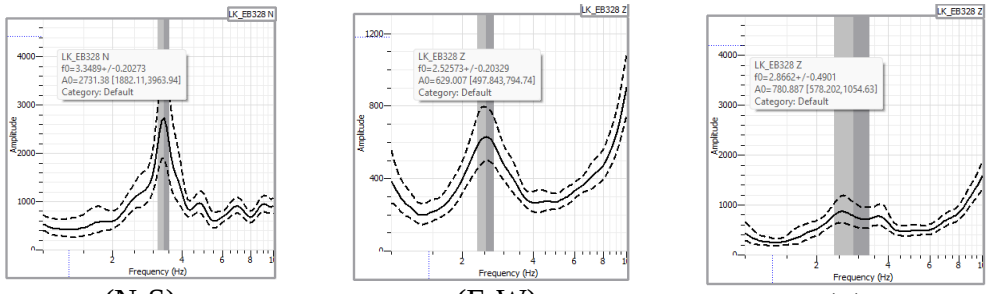
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 17 Kurva Spektrum Titik L1.1e



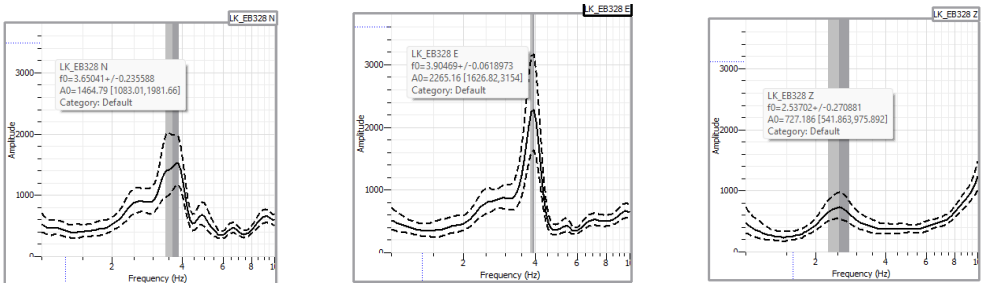
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 18 Kurva Spektrum Titik L1.2e



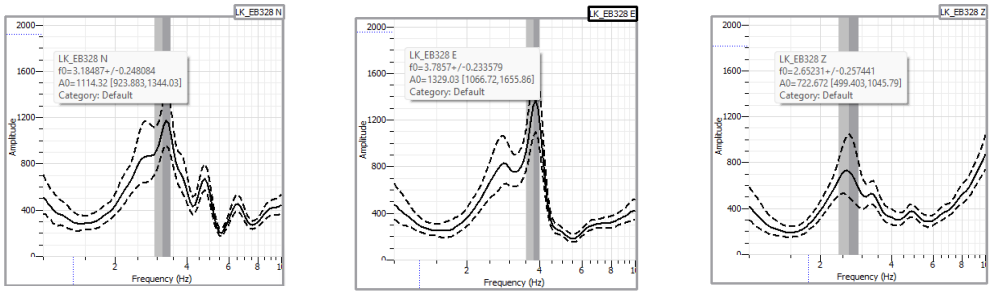
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 19 Kurva Spektrum Titik L2.1a



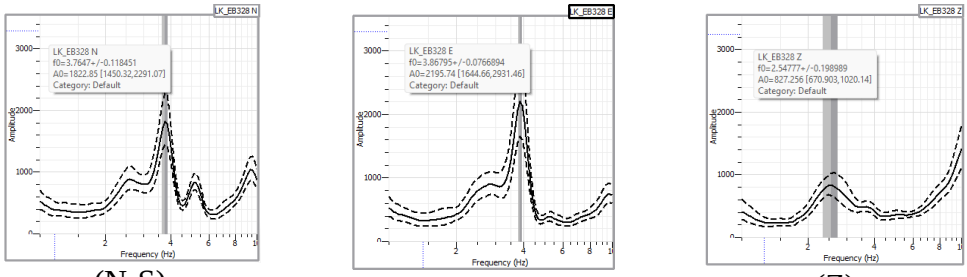
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 20 Kurva Spektrum Titik L2.2a



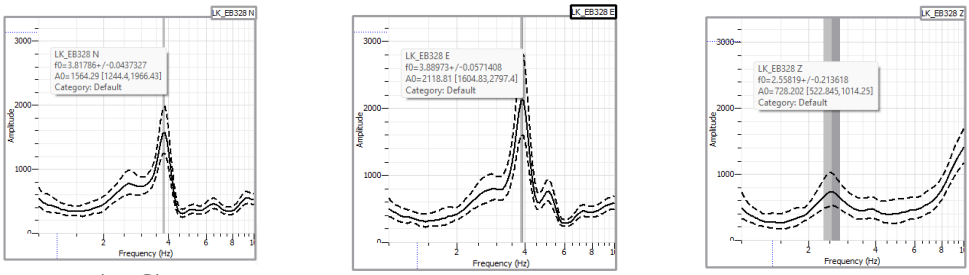
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 21 Kurva Spektrum Titik L2.1b



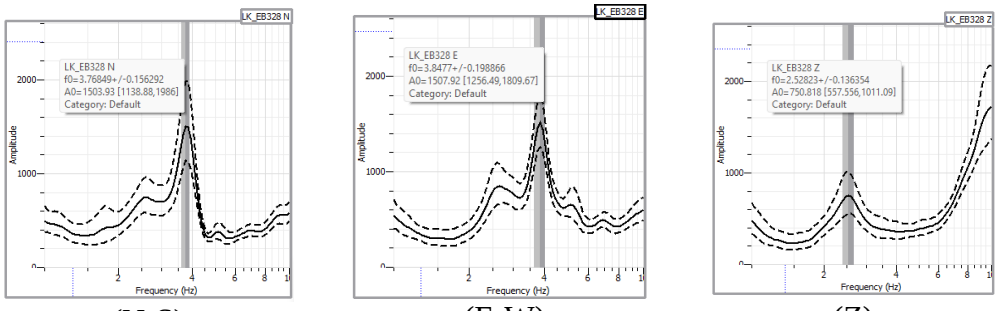
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 22 Kurva Spektrum Titik L2.2b



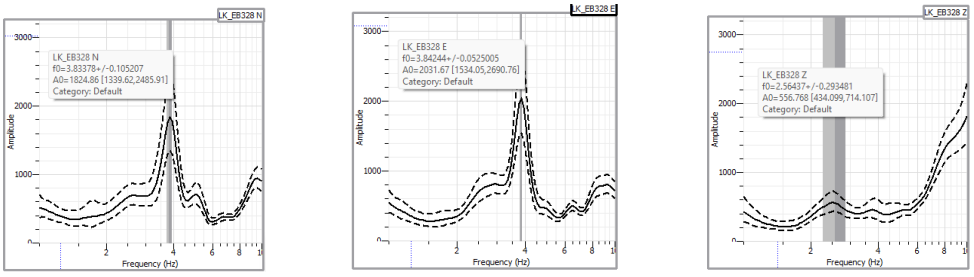
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 23 Kurva Spektrum Titik L2.1c



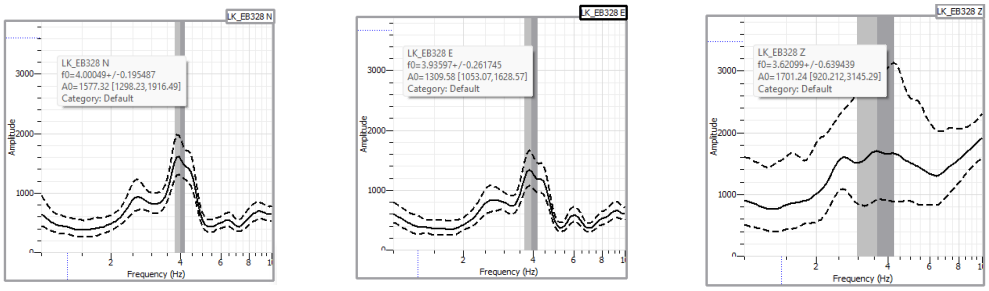
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 24 Kurva Spektrum Titik L2.2c



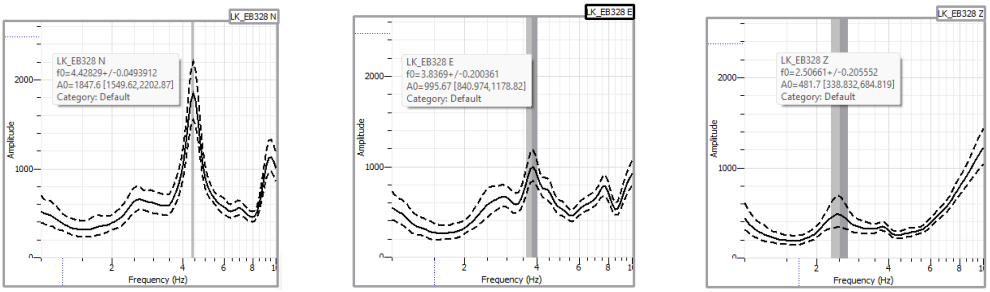
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 25 Kurva Spektrum Titik L2.1d



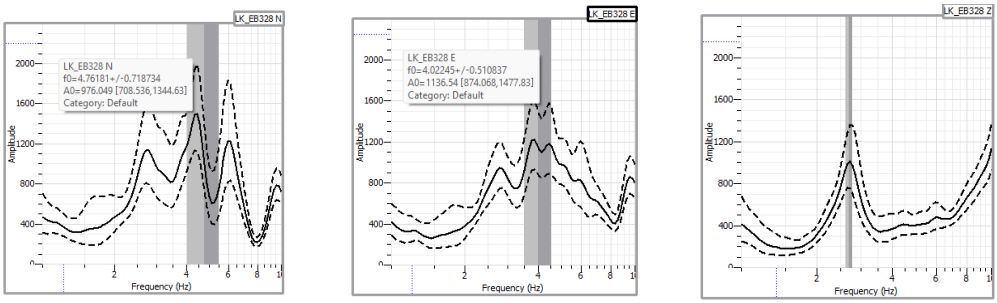
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 26 Kurva Spektrum Titik L2.2d



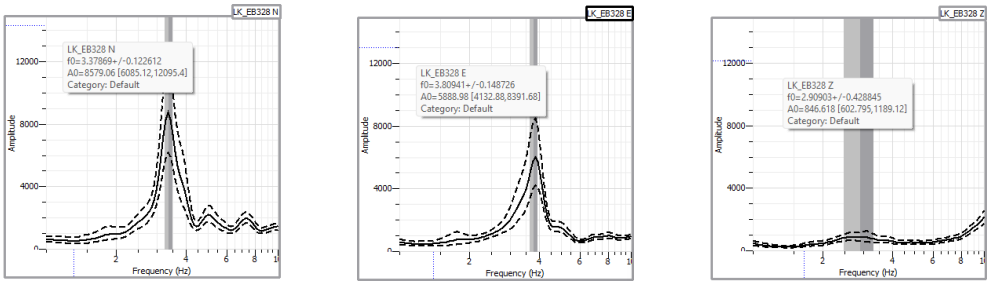
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 27 Kurva Spektrum Titik L2.1e



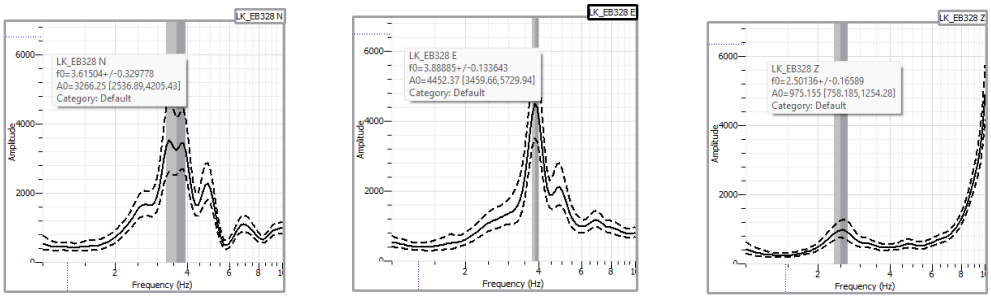
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 28 Kurva Spektrum Titik L2.2e



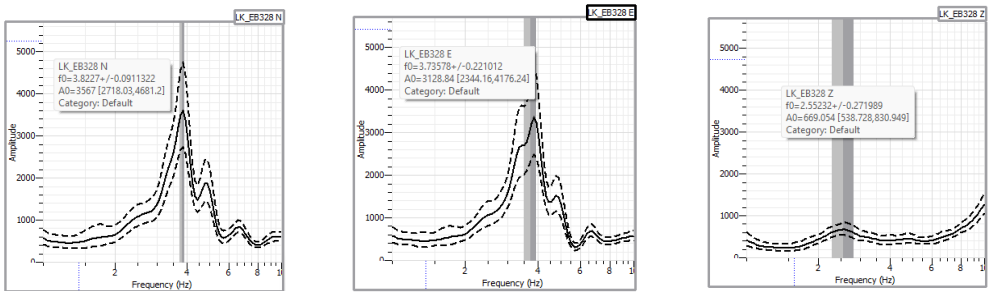
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 29 Kurva Spektrum Titik L3.1a



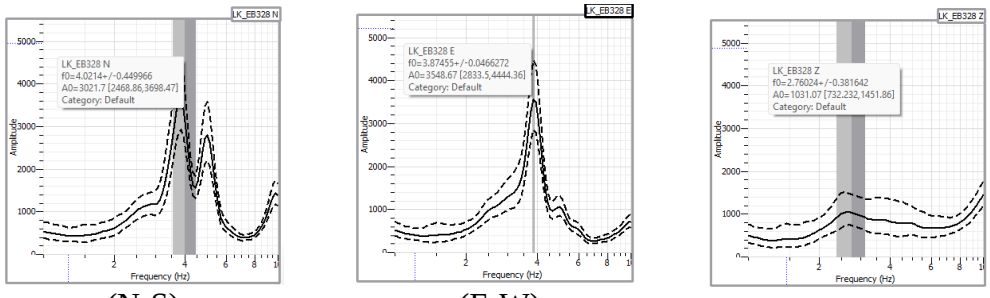
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 30 Kurva Spektrum Titik L3.2a



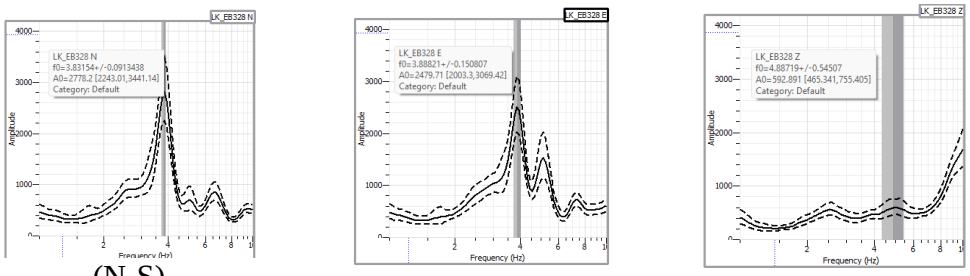
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 31 Kurva Spektrum Titik L3.1b



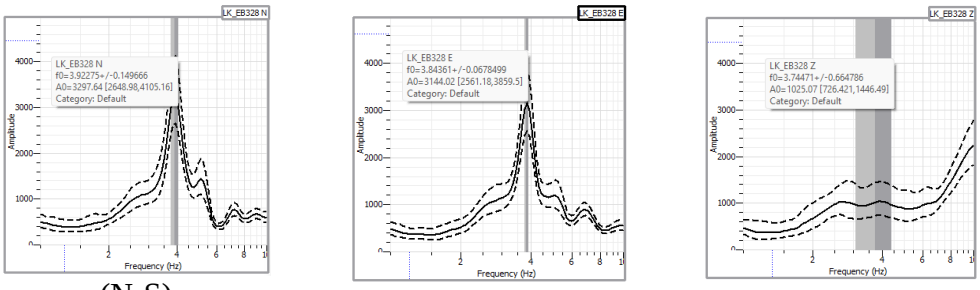
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 32 Kurva Spektrum Titik L3.2b



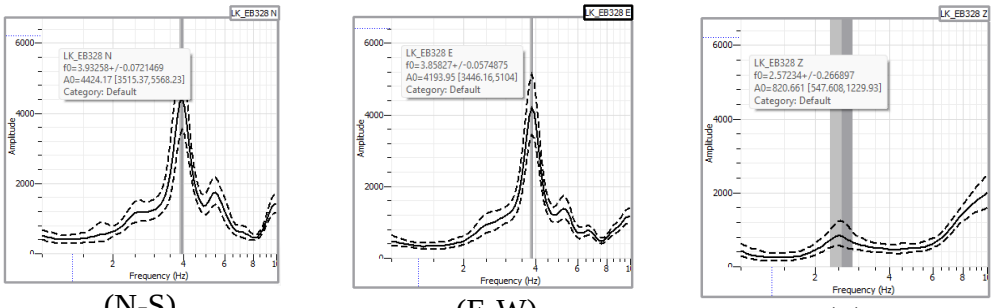
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 33 Kurva Spektrum Titik L3.1c



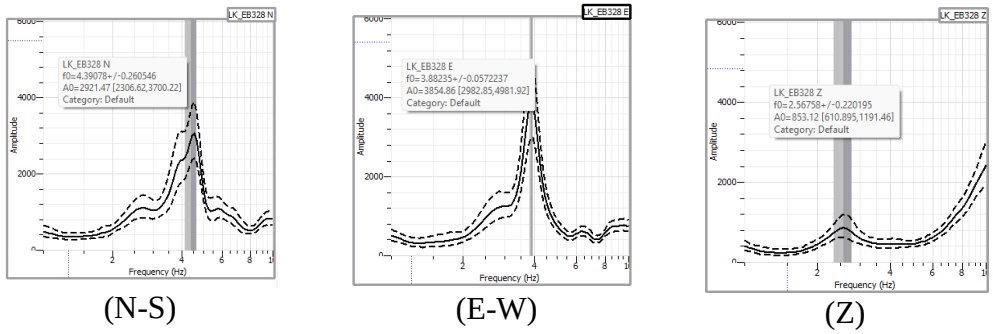
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 34 Kurva Spektrum Titik L3.2c



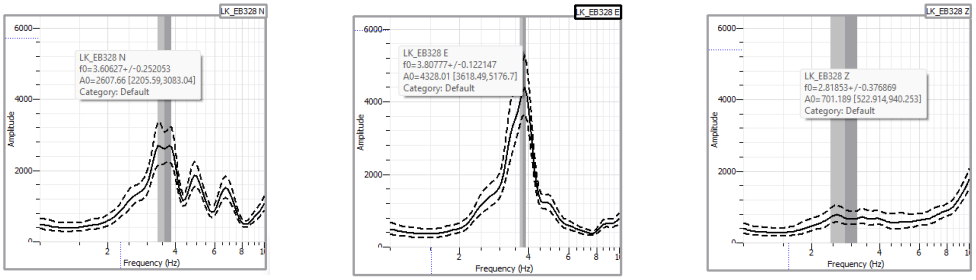
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 35 Kurva Spektrum Titik L3.1d



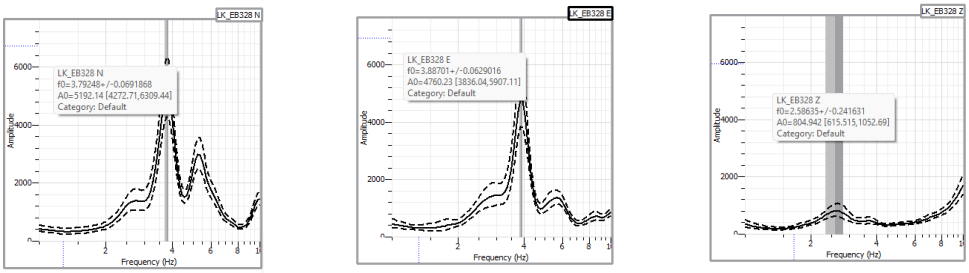
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 36 Kurva Spektrum Titik L3.2d



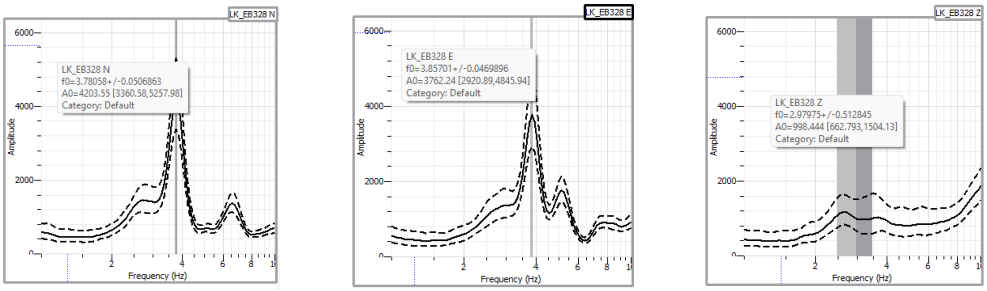
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 37 Kurva Spektrum Titik L4.1b



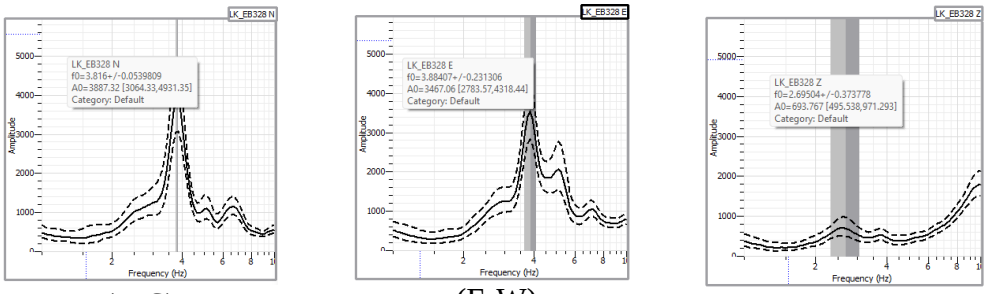
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 38 Kurva Spektrum Titik L4.2b



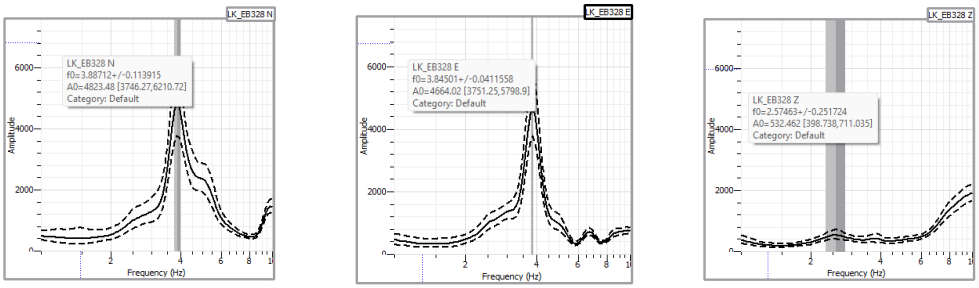
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 39 Kurva Spektrum Titik L4.1c



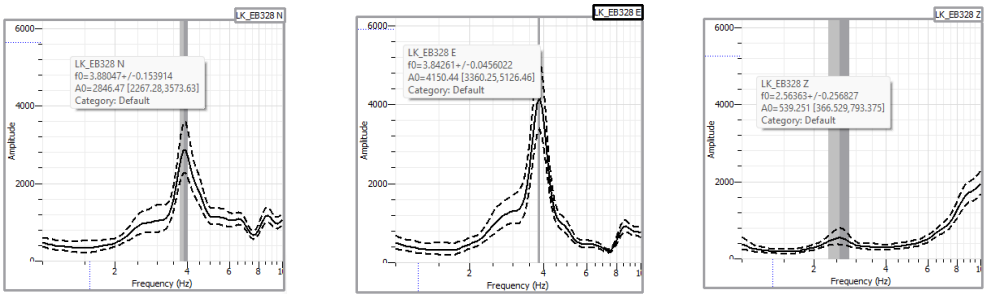
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 40 Kurva Spektrum Titik L4.2c



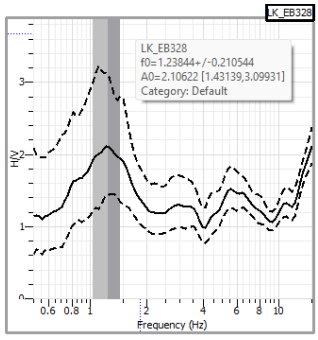
(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 41 Kurva Spektrum Titik L4.1d

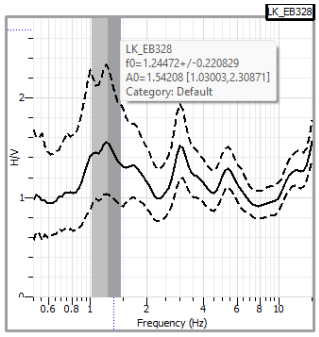


(N-S) (E-W) (Z)

Gambar L-1. 42 Kurva Spektrum Titik L4.2d

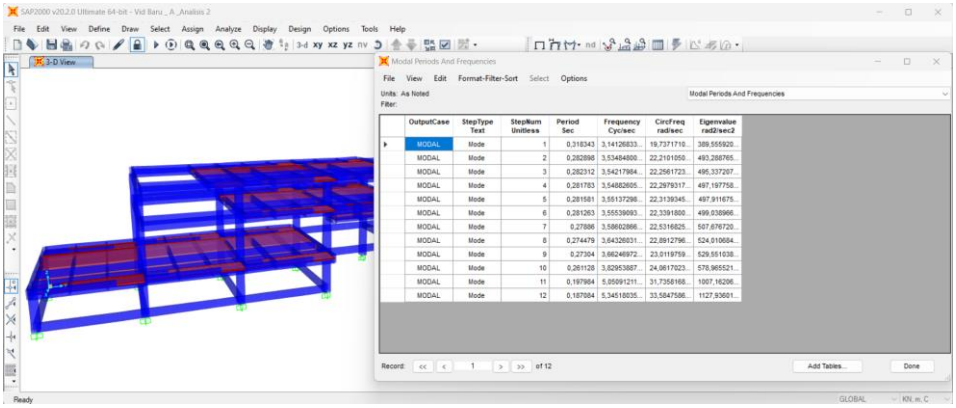


Gambar L-1. 43 Kurva H/V Titik Tanah 1

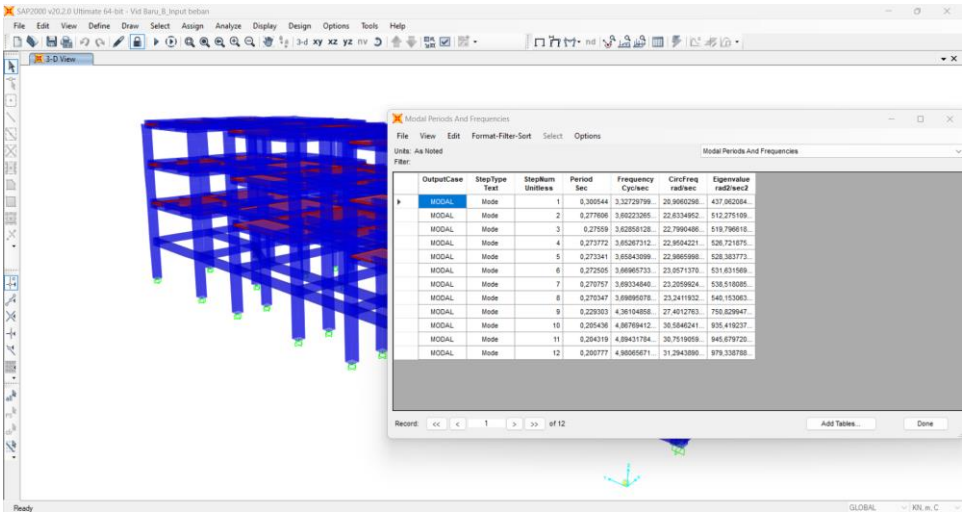


Gambar L-1. 44 Kurva H/V Titik Tanah 2

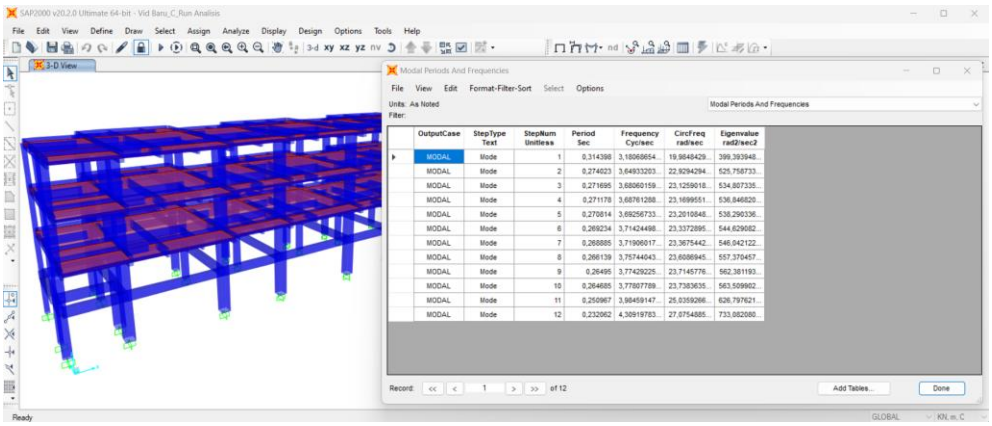
Lampiran. 2 *Output* SAP2000



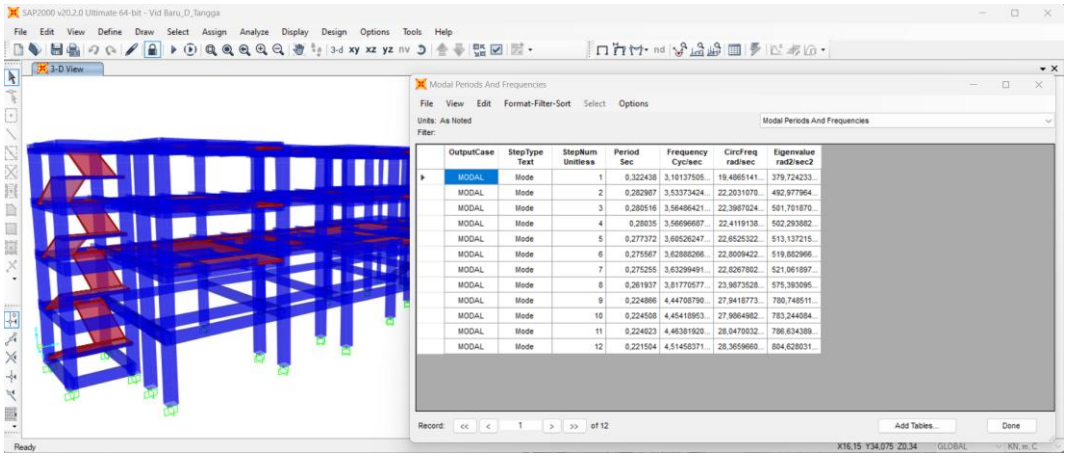
Gambar L-2. BLOK A



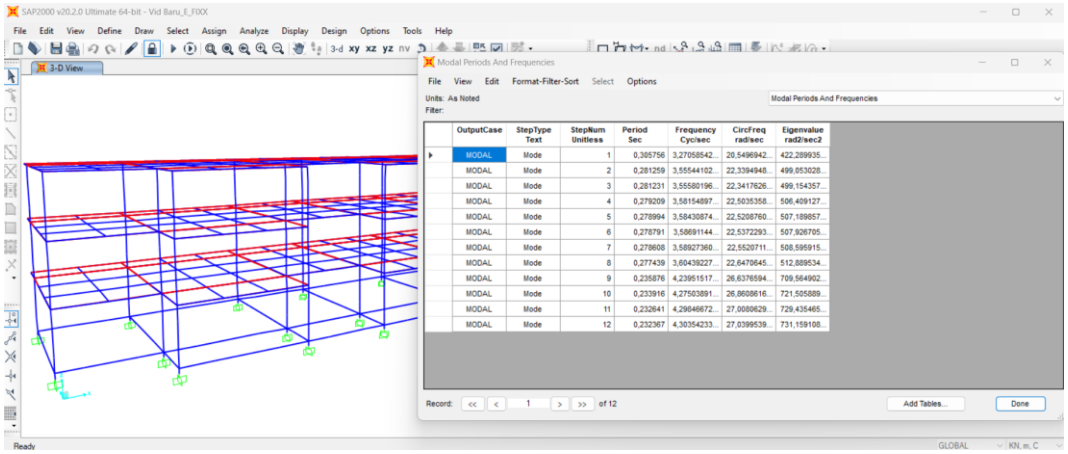
Gambar L-2. BLOK B



Gambar L-2. BLOK C



Gambar L-2. BLOK D



Gambar L-2. BLOK E

Lampiran. 3 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-3. 1 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-3. 2 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-3. 3 Dokumentasi Penelitian

Lampiran. 4 Surat Izin Penelitian Di Gedung Perkuliahan FTI UII

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Nomor : 126/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VI/2024
Hal : **Permohonan Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir**

Kepada Yth:
Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo., M.T., IPU, ASEAN.Eng
Dekan Fakultas Teknologi Industri (FTI)
Universitas Islam Indonesia
Di Yogyakarta

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

Berdasarkan alasan-alasan tersebut diatas, maka dengan ini kami mohon bantuannya untuk dapat memberikan bantuan untuk dapat memberikan izin 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:

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 *Metode Floor Spectral Ratio* (FSR) Dengan Data Mikrotremor Studi Kasus Gedung FTI UII	0821 8890 8770

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.
Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Dinia Anggraheni, S.T., M. Eng

Yogyakarta, 6 Juni 2024
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

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

Lampiran. 5 Surat Balasan Izin Penelitian Di Gedung Perkuliahan FTI UII

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

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

No	Nama	NIM	Judul Tugas Akhir	Dosen Pembimbing
1.	Frisma 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 sisampaikan terima kasih.

Wassalamu'alaikum warahmatullah wabarakatuh.

Yogyakarta, 26 Juni 2024 M
19 Dzulqaidah 1445 H

Ketua,

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA ★ YOGYAKARTA ★ FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

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

Tembusan:
- Sdr. Frisma Bella Fatmasari / 20511212
- Sdr. Wishal Dinansyah Sulaeman / 20511378