

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG PADA
KONDISI BATAS LAYAN DAN BATAS ULTIMIT
DENGAN ANALISIS DINAMIK METODE RESPON
SPEKTRUM (Studi Kasus: Gedung Fakultas Hukum
Universitas Sam Ratulangi)**

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



**DANDY BAGUS SETIAWAN
16511222**

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

2021

TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG PADA KONDISI BATAS LAYAN DAN BATAS ULTIMIT DENGAN ANALISIS DINAMIK METODE RESPON SPEKTRUM (Studi Kasus: Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi)



Disusun oleh

Dandy Bagus Setiawan
16511222

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

Diuji pada tanggal 24 september 2021
Oleh dewan penguji

Pembimbing

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng
NIK: 165111301

Penguji I

Sarwidi, Prof. Ir., MSCE., Ph.D., IP-U
NIK: 845110101

Penguji II

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng
NIK: 155111305

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 24 September 2021

Yang Membuat Pernyataan



Dandy Bagus Setiawan

(16511222)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Pada Kondisi Batas Layan Dan Batas Ultimit Dengan Analisis Dinamik Metode Respon Spektrum*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Ir Dadang G. Nugroho , dan Ibu Farida B.P yang berkorban banyak tanpa meminta pamrih untuk anak – anaknya, yang selalu mendoakan untuk anaknya tercinta dengan penuh ketulusan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Astriana Hardawati S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing , memberikan nasehat, saran dan dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Sarwidi, Prof. Ir., MSCE.,Ph.D. selaku Dosen Penguji I
4. Bapak Hariadi Yulianto S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II
5. Serta semua teman – teman Teknik Sipil Angkatan 2016 yang tidak dapat disebutkan satu – persatu.

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini nantinya dapat bermanfaat bagi orang lain yang membaca dikemudian hari.

Yogyakarta, 24 September 2021

Penulis,



Dandy Bagus Setiawan

DAFTAR ISI

| | |
|---------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | ii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| DAFTAR TABEL..... | vi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | vii |
| ABSTRAK..... | xvi |
| <i>ABSTRACT</i> | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.5 Batasan Masalah | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 6 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 6 |
| 2.2 Penelitian Terdahulu..... | 6 |

| | |
|--|----|
| 2.2.1 Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Respon Spektrum Menggunakan <i>Software</i> ETABS V9.50 (Studi Kasus : Gedung Solo Center Point)..... | 6 |
| 2.2.2 Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa Dengan Metode Respon Spektrum dan <i>Time History</i> (Studi Kasus : Hotel SKA Pekanbaru)..... | 7 |
| 2.2.3 Evaluasi Kinerja Gaya Gempa Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Respon Spektrum Berdasarkan Base Shear, Displacement, Dan Drift Menggunakan <i>Software</i> ETABS (Studi Kasus : Hotel Di Daerah Karanganyar) | 9 |
| 2.2.4 Analisis Ketahanan Gedung Apartemen Surabaya Dengan Menggunakan Metode Respon Spektrum..... | 10 |
| 2.3 keaslian penelitian | 14 |
| BAB III LANDASAN TEORI | 15 |
| 3.1 Dasar Teori..... | 15 |
| 3.2 Standar Peraturan | 15 |
| 3.3 Analisis Dinamik..... | 15 |
| 3.4 Konsep Perencanaan Gedung dan Tahan Gempa | 16 |
| 3.5 Pembebanan Struktur | 16 |
| 3.5.1 Beban Mati atau <i>Dead Load (D)</i> | 17 |
| 3.5.2 Beban Hidup atau <i>Live Load (L)</i> | 17 |
| 3.5.3 Beban Gempa atau <i>Earthquake Load (E)</i> | 19 |
| 3.6 Ketentuan Umum Dalam Pengaruh Gempa..... | 20 |
| 3.6.1 Kategori Resiko Bangunan..... | 20 |
| 3.6.2 Faktor Keutamaan Gempa..... | 22 |

| | |
|--|----|
| 3.6.3 Klasifikasi Situs..... | 22 |
| 3.6.4 Parameter Percepatan Gempa | 23 |
| 3.6.5 Parameter Koefisien Terpetakan (Crs Dan Cr1) | 25 |
| 3.6.6 Parameter Faktor Amplifikasi..... | 26 |
| 3.6.7 Parameter Percepatan Spectral Desain..... | 26 |
| 3.6.8 Spektrum Respon Desain | 27 |
| 3.6.9 Kategori Desain Seismik..... | 28 |
| 3.6.10 Sistem Struktur..... | 29 |
| 3.6.11 Periode Fundamental Struktur | 29 |
| 3.7 Struktur Bangunan Gedung Beraturan Dan Tidak Beraturan | 30 |
| 3.8 Penentuan prosedur analisis | 33 |
| 3.9 Kombinasi Pembebanan..... | 33 |
| 3.10 Gaya Geser Dasar Seismik | 34 |
| 3.11 Penentuan Skala Gaya | 35 |
| 3.12 Simpangan Antar Lantai (<i>Drift Ratio</i>)..... | 35 |
| 3.13 Kinerja Batas Layan..... | 37 |
| 3.14 Kinerja Batas Ultimit..... | 37 |
| BAB IV Metode Penelitian | 38 |
| 4.1 Metode Penelitian | 38 |
| 4.2 Objek Penelitian..... | 38 |
| 4.3 Pengambilan Data | 39 |
| 4.4 Program Atau <i>Software</i> Yang Digunakan | 41 |

| | |
|--|-----------|
| 4.5 Tahapan Tugas Akhir..... | 41 |
| 4.6 Bagan Alir Penelitian..... | 43 |
| BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN | 45 |
| 5.1 Data Struktur..... | 45 |
| 5.2 Perhitungan Pembebanan..... | 46 |
| 5.2.1 Beban Mati..... | 46 |
| 5.2.2 Beban Hidup | 53 |
| 5.3 Berat Total Bangunan | 53 |
| 5.4 Spektrum Respon Desain..... | 55 |
| 5.5 Periode Fundamental Struktur | 58 |
| 5.6 Koefisien Respon Seismik | 59 |
| 5.7 Analisis Beban Gempa Respon Spektrum..... | 60 |
| 5.7.1 Input Data Respon Spektrum..... | 60 |
| 5.7.2 Definisi Tipe Analisis Respon Spektrum | 61 |
| 5.7.3 Penentuan Massa Struktur (<i>Mass Source</i>)..... | 62 |
| 5.7.4 Gaya Lateral <i>Spectrum Response Analysis</i> | 63 |
| 5.7.5 Kombinasi Beban | 64 |
| 5.8 Pengecekan <i>Base Shear</i> Dan <i>Mass Participant Ratio</i> | 66 |
| 5.8.1 Pengecekan Nilai <i>Base Shear</i> | 66 |
| 5.8.2 Cek <i>Mass Participant Ratio</i> | 67 |
| 5.9 Cek Ketidakberaturan Struktur | 68 |
| 5.9.1 Ketidakberaturan Horizontal | 68 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 5.9.2 Ketidakberaturan Vertikal..... | 77 |
| 5.10 Simpangan Antar Lantai..... | 90 |
| 5.11 Evaluasi Kinerja Struktur..... | 93 |
| 5.11.1 Kinerja Batas Layan..... | 93 |
| 5.11.2 Kinerja Batas Ultimit..... | 96 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN..... | 99 |
| 6.1 Kesimpulan..... | 99 |
| 6.2 Saran..... | 100 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 101 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 3.1 Ss, Wilayah Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (Mcer) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5%)..... | 24 |
| Gambar 3.2 S1, Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (Mcer) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 1 Detik (Redaman Kritis 5%) | 24 |
| Gambar 3.3 Crs, Koefesien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 0.2 Detik | 25 |
| Gambar 3.4 Cr1, Koefesien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 1 Detik | 25 |
| Gambar 3.5 Spektrum Respons Desain..... | 28 |
| Gambar 3.6 Penentuan Simpangan Antar Tingkat..... | 36 |
| Gambar 4.1 Denah Struktur Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi..... | 38 |
| Gambar 4.2 Pemodelan Geometrik Struktur 3D | 41 |
| Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir | 43 |
| Gambar 5.1 Detail Struktur Tangga | 50 |
| Gambar 5.2 Grafik Respons Spektrum | 57 |
| Gambar 5.3 <i>Response Spectrum Function</i> | 60 |
| Gambar 5.4 Mengisi Parameter Respon Spektrum | 61 |
| Gambar 5.5 <i>Response Cases</i> DinEx..... | 61 |

| | |
|--|----|
| Gambar 5.6 <i>Response Cases</i> DinEy..... | 62 |
| Gambar 5.7 <i>Mass Source</i> | 63 |
| Gambar 5.8 <i>Define Load Patterns</i> | 63 |
| Gambar 5.9 <i>User Seismic Loading</i> (SpecEx)..... | 64 |
| Gambar 5.10 <i>User Seismic Loading</i> (SpecEy)..... | 64 |
| Gambar 5.11 Membuat <i>Load Combination</i> | 65 |
| Gambar 5.12 <i>Load Combination Data</i> | 66 |
| Gambar 5.13 Ketidakberaturan Torsi..... | 69 |
| Gambar 5.14 <i>Displacement</i> Pada Setiap Tingkat..... | 70 |
| Gambar 5.15 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi..... | 72 |
| Gambar 5.16 Ketidakberaturan Sudut Dalam | 72 |
| Gambar 5.17 Pengecekan Ketidakberaturan Sudut Dalam..... | 73 |
| Gambar 5.18 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma..... | 73 |
| Gambar 5.19 Pengecekan Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma..... | 74 |
| Gambar 5.20 Pengecekan Ketidakberaturan Diskontinuitas..... | 75 |
| Gambar 5.21 Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang | 76 |
| Gambar 5.22 Ketidakberaturan Sistem Nonparalel | 76 |
| Gambar 5.23 Ketidakberaturan Tingkat Lunak | 77 |
| Gambar 5.24 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1a Arah X | 79 |
| Gambar 5.25 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1a Arah Y | 80 |
| Gambar 5.26 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1b Arah X | 82 |
| Gambar 5.27 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1b Arah Y | 82 |

| | |
|--|----|
| Gambar 5.28 Ketidakberaturan Berat (Massa)..... | 83 |
| Gambar 5.29 Pengecekan Ketidakberaturan Berat (Massa) | 84 |
| Gambar 5.30 Ketidakberaturan Geometri Vertikal..... | 85 |
| Gambar 5.31 Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang | 86 |
| Gambar 5.32 Ketidakberaturan Tingkat Lemah..... | 86 |
| Gambar 5.33 Pengecekan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Arah X..... | 89 |
| Gambar 5.34 Pengecekan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Arah Y..... | 90 |
| Gambar 5.35 <i>Define Diaphragm</i> | 91 |
| Gambar 5.36 Grafik Simpangan Antar Lantai | 93 |
| Gambar 5.37 Grafik Kontrol Kinerja Batas Layan Arah X Dan Arah Y..... | 95 |
| Gambar 5.38 Grafik Kontrol Kinerja Batas Ultimit Arah X Dan Arah Y | 98 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penulis | 11 |
| Tabel 3.1 Beban Mati | 17 |
| Tabel 3.2 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum Lo Dan Beban Hidup Terpusat Minimum..... | 18 |
| Tabel 3.3 Kategori Risiko Bangunan | 20 |
| Tabel 3.4 Faktor Keutamaan Gempa | 22 |
| Tabel 3.5 Klasifikasi Situs | 22 |
| Tabel 3.6 Koefisien Situs, Fa | 26 |
| Tabel 3.7 Koefisien Situs, Fv | 26 |
| Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek | 28 |
| Tabel 3.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik..... | 29 |
| Tabel 3.10 Faktor R, Cd Dan Ω_0 Untuk Pemikul Gaya Seismik | 29 |
| Tabel 3.11 Koefisien Untuk Batas Pada Periode Yang Dihitung..... | 30 |
| Tabel 3.12 Nilai Parameter Periode Pendekatan Ct Dan X | 30 |
| Tabel 3.13 Ketidakberaturan Horizontal Struktur..... | 31 |
| Tabel 3.14 Ketidakberaturan Vertikal Struktur..... | 32 |
| Tabel 3.15 Prosedur Analisis Yang Diizinkan..... | 33 |
| Tabel 3.16 Simpangan Antar Tingkat Izin..... | 36 |
| Tabel 4.1 Tipe Dan Dimensi Kolom | 39 |

| | |
|--|----|
| Tabel 4.2 Tipe Dan Dimensi Balok..... | 40 |
| Tabel 4.3 Tipe Dan Dimensi Pelat | 40 |
| Tabel 5.1 Data Struktur | 45 |
| Tabel 5.2 Elevasi Pada Setiap Tingkat..... | 45 |
| Tabel 5.3 Rekapitulasi Beban Struktur Kolom Pada Setiap Tingkat | 46 |
| Tabel 5.4 Rekapitulasi Beban Struktur Balok Pada Setiap Tingkat..... | 48 |
| Tabel 5.5 Perhitungan Beban Mati Tambahan Pelat Lantai | 49 |
| Tabel 5.6 Perhitungan Beban Mati Tambahan Pelat Atap..... | 50 |
| Tabel 5.7 Perhitungan Beban Mati Tambahan Pada Pelat Tangga..... | 51 |
| Tabel 5.8 Perhitungan Beban Mati Tambahan Pada Pelat Bordes..... | 51 |
| Tabel 5.9 Berat Dinding Pada Lantai 2 | 52 |
| Tabel 5.10 Rekapitulasi Berat Dinding Pada Setiap Tingkat..... | 53 |
| Tabel 5.11 Rekapitulasi Total Berat Bangunan Pada Setiap Tingkat | 54 |
| Tabel 5.12 Berat Total Bangunan Pada ETABS V.17 | 54 |
| Tabel 5.13 Nilai Gaya Geser Dasar..... | 66 |
| Tabel 5.14 Nilai Gaya Geser Dasar Setelah Dilakukan Faktor Skala..... | 67 |
| Tabel 5.15 Partisipasi Massa..... | 68 |
| Tabel 5.16 Simpangan Antar Tingkat Hasil ETABS | 69 |
| Tabel 5.17 Cek Torsi Arah X..... | 71 |
| Tabel 5.18 Cek Torsi Arah Y | 71 |
| Tabel 5.19 Rekapitulasi Pengecekan Ketidakberaturan Diskontnuitas Diafragma | 74 |
| Tabel 5.20 Rekapitulasi Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah X | 78 |

| | |
|---|----|
| Tabel 5.21 Rekapitulasi Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y | 78 |
| Tabel 5.22 Rekapitulasi Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Arah X | 81 |
| Tabel 5.23 Rekapitulasi Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Arah Y | 81 |
| Tabel 5.24 Rekapitulasi Perhitungan Ketidakeraturan Berat (Massa) | 84 |
| Tabel 5.25 <i>Story Forces</i> | 87 |
| Tabel 5.26 Rekapitulasi Perhitungan Ketidakeraturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat Arah X..... | 88 |
| Tabel 5.27 Rekapitulasi Perhitungan Ketidakeraturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat Arah Y..... | 88 |
| Tabel 5.28 Rekapitulasi Perhitungan Simpangan Antar Lantai Arah X | 92 |
| Tabel 5.29 Rekapitulasi Perhitungan Simpangan Antar Lantai Arah Y | 92 |
| Tabel 5.30 Kinerja Batas Layan Arah X (Δs) | 94 |
| Tabel 5.31 Kinerja Batas Layan Arah Y (Δs) | 95 |
| Tabel 5.32 Kinerja Batas Ultimit Arah X (Δm)..... | 97 |
| Tabel 5.33 Kinerja Batas Ulitimit Arah Y (Δm)..... | 97 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----|
| Lampiran 1 Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir..... | 104 |
| Lampiran 2 Hasil Rasio Partisipasi Massa Bangunan Pada ETABS V.17..... | 105 |
| Lampiran 3 Gambar Denah Bangunan Gedung Kampus Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi Manado..... | 110 |
| Lampiran 4 Gambar Denah Pelat Bangunan Gedung Kampus Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi..... | 112 |
| Lampiran 5 Gambar Denah Balok Bangunan Gedung Kampus Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi..... | 120 |
| Lampiran 6 Gambar Denah kolom Bangunan Gedung Kampus Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi..... | 129 |

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah jalur gempa pasifik (*Circum Pasifik Earthquake Belt*) sehingga sangat rawan terhadap kejadian bencana alam seperti gempa bumi, hal tersebut berhubungan dengan letak geografis Indonesia yang terletak antara dua Samudra besar dan terletak di wilayah lempeng tektonik sehingga menyebabkan Indonesia mengalami gempa yang cukup sering. Berdasarkan data dari BMKG menunjukkan peningkatan aktivitas gempa bumi dibanding bulan yang sama dan tahun sebelumnya, tercatat telah terjadi 518 kali gempa pada Januari 2020 dan pada bulan Januari 2021 naik menjadi 646 kali gempa terjadi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur dari gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi berdasarkan parameter *displacement*, *drift ratio*, dan *base shear*. Hasil dari penelitian ini kemudian di analisis dengan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit. Metode yang digunakan adalah analisis dinamik metode respon spektrum berdasarkan SNI-1726-2019.

Hasil dari pemodelan 3D dengan program ETABS v.17 didapatkan nilai simpangan antar lantai terbesar berada pada lantai 4 dengan arah X didapat 0,053 m dan arah Y didapat 0,044 m sehingga nilai ini tidak melebihi dan memenuhi syarat batasan simpangan antar tingkat izin (Δa) = 0,063 m.

Nilai dari *displacement* akibat pengaruh gempa rencana arah X didapat 0,1119 m dan arah Y didapat 0,0937 m sehingga dapat dinyatakan gedung Fakultas Hukum Unsrat Manado aman dan memenuhi syarat kinerja struktur gedung berdasarkan kinerja batas layan dengan persyaratan $(0,03/R)*H = 0,0159$ m.

Nilai dari *displacement* maksimum akibat pengaruh gempa rencana arah X didapat 0,1201 m dan arah Y didapat 0,1048 m sehingga dapat dinyatakan gedung Fakultas Hukum Unsrat Manado aman dan memenuhi syarat kinerja struktur gedung berdasarkan kinerja batas ultimit dengan persyaratan $(0,02*H) = 0,0850$ m.

Kata kunci: Respon Spektrum, Kinerja Gedung, Gempa bumi, *Drift Ratio*, *Displacement*, *Base Shear*

ABSTRACT

Indonesia is a country that is in the Pacific Earthquake Belt (Circum Pacific Earthquake Belt) so it is very prone to natural disaster events such as earthquakes, it is related to the geographical location of Indonesia which is located between two large oceans and located in the tectonic plate region causing Indonesia to experience earthquakes quite often. Based on data from BMKG showed an increase in earthquake activity compared to the same month and the previous year, there were 518 earthquakes recorded in January 2020 and in January 2021 rose to 646 earthquakes.

This research aims to find out the structural performance of the Faculty of Law building of Sam Ratulangi University based on displacement parameters, drift ratio, and base shear. The results of this study were then analyzed with service limit performance and ultimate limit performance. The method used is a dynamic analysis of spectrum response methods based on SNI-1726-2019.

The results of 3D modeling with the ETABS v.17 program obtained the largest inter-floor inequality value is on the 4th floor with direction X obtained 0,053 m and direction Y obtained 0,044 m so that this value does not exceed and meets the requirements of the deviation limit between permit levels (Δa) = 0,063m.

*The value of displacement due to the influence of earthquake plan direction X obtained 0,1119 m and direction Y obtained 0,0937 m so that it can be declared the building of the Faculty of Law Unsrat Manado safe and qualified the performance of the building structure based on service limit performance with the requirement $(0.03 / R) * H = 0,0159m$.*

*The value of maximum displacement due to the influence of earthquake plan direction X obtained 0,1201 m and direction Y obtained 0,1048 m so that it can be declared the building of the Faculty of Law Unsrat Manado safe and qualified the performance of the building structure based on the performance of the ultimate limit with the requirement $(0.02 * H) = 0,0850m$.*

Keyword: Response Spectrum, Performance Building, Earthquake, Drift Ratio, Displacement, Base Shear

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan kesegala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. (BMKG)

Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah jalur gempa pasifik (*Circum Pasifik Earthquake Belt*) sehingga sangat rawan terhadap kejadian bencana alam seperti gempa bumi, hal tersebut berhubungan dengan letak geografis Indonesia yang terletak antara dua Samudra besar dan terletak di wilayah lempeng tektonik sehingga menyebabkan Indonesia mengalami gempa yang cukup sering.

Bencana alam seperti gempa bumi yang akhir-akhir ini terjadi menyebabkan kerugian jiwa dan harta benda yang sangat besar, misalnya banyaknya bangunan yang mengalami keruntuhan sehingga memakan banyak korban.

Jika dilihat dari data BMKG, tercatat total sebanyak 8,264 kali gempa terjadi di Indonesia sepanjang periode 2020 dan hampir keseluruhan merupakan jenis gempa tektonik. memasuki pergantian tahun 2021 data BMKG menunjukkan peningkatan aktivitas gempa bumi dibanding bulan yang sama dan tahun sebelumnya, tercatat telah terjadi 518 kali gempa pada januari 2020 dan pada bulan januari 2021 naik menjadi 646 kali gempa terjadi. (sumber: BMKG)

Gempa bumi yang berkekuatan besar yang baru-baru ini terjadi pada 14 dan 15 januari 2021 di Majene dan Mamuju, Sulawesi barat tercatat ada 91 orang meninggal dan ribuan bangunan rusak akibat gempa bumi yang masing-masing berkekuatan 5,9 dan 6,2 magnitudo.

Sehubungan dengan adanya potensial kerusakan bangunan akibat gempa maka diperlukan suatu evaluasi terhadap kekuatan struktur pada bangunan yang telah dibangun. Evaluasi bangunan tidak hanya dilakukan pasca gempa, namun perlu dilakukan suatu upaya mitigasi untuk meminimalkan dampak kerusakan yang ditimbulkan akibat bencana gempa. Sehingga perlu dilakukan evaluasi kinerja seismik pada bangunan yang sudah terbangun atau eksisting, hal ini merupakan Langkah yang tepat dalam penanggulangan dampak bencana gempa. (Saputra, A. A. 2019)

Hal-hal yang dapat membuat bangunan mengalami keruntuhan pada saat gempa terjadi dapat disebabkan karena pada saat terjadinya gempa ketidakmampuan gedung menahan simpangan akibat gaya gempa melebihi batas aman yang ditetapkan maka gedung tersebut akan mengalami keruntuhan.

Seiring berjalannya waktu pembaruan terhadap standar pembangunan gedung di Indonesia dan pengembangan analisis gempa terus ditingkatkan hal itu dapat dibuktikan dengan adanya standar peraturan terbaru yaitu SNI-03-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung Dan Non Gedung. pembaruan ini dilakukan dengan tujuan agar struktur bangunan harus didesain sedemikian rupa agar mampu menahan gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan yang signifikan dan keselamatan jiwa penghuninya lebih terjamin.

Penelitian ini difokuskan untuk melakukan evaluasi kinerja struktur pada struktur bangunan gedung yang sudah berdiri (kondisi eksisting) dari Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi. Data-data terkait ukuran hingga material struktur berdasarkan data yang diperoleh berupa *as built drawing*. Lokasi gedung tersebut berada di Jalan Kampus Barat, kel. Bahu, Kec. Malalayang, Kota Manado, Sulawesi Utara.

Gedung ini selesai dibangun sekitar akhir tahun 2019 dimana gedung ini memiliki 12 lantai. Perencanaan gedung tersebut masih menggunakan peraturan gempa yang lama sehingga menjadi sangat menarik jika dilakukan evaluasi pada struktur tersebut dengan peraturan pembebanan gempa terbaru yaitu SNI 1726-

2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung Dan Non Gedung.

Di latarbelakangi hal tersebut tujuan dari penelitian ini adalah melakukan evaluasi kinerja struktur dengan analisis dinamik respon spektrum untuk mengetahui kinerja struktur gedung dengan parameter yang diuji berupa gaya geser dasar (*base shear*), dan perpindahan atap (*displacement*) akibat beban gempa lateral pada struktur dengan pembebanan tertentu sampai kondisi ultimit, lalu dari hasil tersebut akan dilakukan evaluasi kinerja struktur gedung berdasarkan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perfoma struktur pada gedung Fakultas Hukum Univesitas Sam Ratulangi ditinjau berdasarkan nilai *base shear*, *displacement*, dan *drif ratio*?
2. Bagaimana kinerja struktur berdasarkan kinerja batas layan pada gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi?
3. Bagaimana kinerja struktur berdasarkan kinerja batas ultimit pada gedung fakultas hukum universitas sam ratulangi?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui perfoma struktur bangunan dengan analisis dinamik yang ditinjau berdasarkan *base shear*, *displacement*, dan *drift ratio* pada gedung Kampus Universitas Sam Ratulangi.
2. Mengetahui kinerja struktur bangunan yang ditinjau berdasarkan kinerja batas layan pada gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi.
3. Mengetahui kinerja struktur bangunan yang ditinjau berdasarkan kinerja batas ultimit pada gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini untuk berbagai pihak adalah sebagai berikut.

1. Bagi penulis, studi penelitian ini dapat menambah ilmu dan pemahaman akan analisis dinamik respon spektrum serta mampu dalam merencanakan dan menganalisis perencanaan gempa struktur gedung berdasarkan SNI 1726-2019.
2. Bagi pembaca, studi penelitian ini dapat menambah wawasan dan ilmu pengetahuan mengenai analisis dinamik respon spektrum serta menjadi bahan referensi penelitian selanjutnya terkait evaluasi kinerja struktur.

1.5 Batasan Masalah

Adapun 13 Batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bangunan yang diteliti merupakan bangunan gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi.
2. Fungsi gedung adalah sekolah dan fasilitas pendidikan.
3. Jenis tanah diasumsikan sebagai tanah sedang.
4. Pemodelan dan analisis menggunakan bantuan program ETABS v.17.
5. Peraturan dan standar yang digunakan adalah sebagai berikut.
 - a. Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain (SNI 1727-2013).
 - b. Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung (SKBI 1987).
 - c. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung Dan Non Gedung (SNI 1726-2019).
 - d. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan (SNI 2847-2019).
6. Beban angin tidak diperhitungkan.
7. Analisa dilakukan pada struktur atas bangunan.
8. Struktur yang dianalisa adalah struktur beton bertulang.

9. Pemodelan 3D berdasarkan *shop drawing*.
10. Analisis beban gempa menggunakan analisis dinamik respon spektrum yang mengacu pada SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung Dan Non Gedung.
11. Dimensi balok, kolom, dan pelat lantai mengikuti desain yang sudah ada pada DED (*detail engineering design*) Gedung Kampus Unsrat Manado.
12. Penelitian tidak meninjau metode pelaksanaan dan biaya.
13. Tidak meninjau segi ekonomis, estetika, serta arsitektur bangunan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan Pustaka merupakan tinjauan terhadap teori dan hasil penelitian sebelumnya. Tinjauan pustaka juga menunjukkan persamaan dan perbedaan antara studi sebelumnya dan juga memberikan latar belakang yang kuat untuk tugas akhir. Oleh karena itu, tinjauan pustaka dapat digunakan sebagai bahan referensi untuk menunjang pelaksanaan penelitian ini.

2.2 Penelitian Terdahulu

Sebelum dilakukan penelitian, berikut merupakan beberapa referensi dari peneliti terdahulu yang dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan penelitian yang akan dilakukan. Referensi dapat berupa jurnal ilmiah, prosiding, ataupun skripsi. Berikut 4 referensi penelitian terdahulu yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian ini.

2.2.1 Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Respon Spektrum Menggunakan *Software* ETABS V9.50 (Studi Kasus: Gedung Solo Center Point)

Penelitian yang dilakukan oleh Elliza, N. (2013) bertujuan untuk mengetahui level kinerja gedung menurut ATC-40 serta keamanan bangunan gedung dilihat dari paramater *displacement*, *drift*, dan *base shear*.

Analisis dilakukan menggunakan program ETABS V9.5. Lokasi penelitian berada di kota Solo. Gedung Solo Center Point memiliki 19 lantai dengan 2 *basement*. Analisis struktur menggunakan analisis dinamik respon spektrum. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk

Hasil penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Nilai *displacement* pada arah-x adalah 0.1254 m dan pada arah-y adalah 0.1533 m. maksimum total *drift* pada arah-x adalah 0,0055 m dan pada arah-y adalah 0,0099 m sehingga dapat dinyatakan bahwa gedung aman terhadap kinerja batas layan dengan persyaratan $\{(0,03/R) \times h\}$ dan aman terhadap kinerja batas ultimit dengan persyaratan (0,02h).
2. Level kinerja struktur baik arah-x maupun arah-y dengan parameter *maximum total drift ratio* dan *maximum inelastic drift ratio* yang ditinjau berdasarkan *Applied Technology Council 40 (ATC-40)* termasuk dalam kategori *immediate occupancy (IO)*. Bangunan aman saat terjadi gempa, kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan Kembali.

2.2.2 Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa Dengan Metode Respon Spektrum Dan *Time History* (Studi Kasus: Hotel SKA Pekanbaru)

Penelitian yang dilakukan oleh Rendra, R., dkk. (2015) bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur gedung hotel SKA Pekanbaru berdasarkan SNI 1726-2012 dan membandingkan level kinerja struktur dengan metode respon spektrum dan *time history* dengan data rekaman gempa yang beragam.

Bangunan yang diteliti adalah gedung hotel SKA yang berlokasi di kota Pekanbaru dan memiliki total jumlah 22 lantai. Pemodelan struktur dalam 3D dengan bantuan *software* ETABS versi 7.2.4. dan analisis struktur menggunakan analisis dinamik respon spektrum dan *time history*.

Hasil penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. waktu getar alami *fundamental* struktur Gedung Hotel SKA Pekanbaru masih melampaui waktu getar alami fundamental yang ditentukan oleh SNI 1726-2012, dengan rincian sebagai berikut:
 - a. Pembatasan waktu getar berdasarkan SNI 1726-2012 untuk struktur gedung tanpa *shearwall* adalah 3,198 detik, sedangkan hasil analisa

- dengan program ETABS didapatkan waktu getar alami sebesar 6,950 detik.
- b. Pembatasan waktu getar berdasarkan SNI 1726-2012 untuk struktur gedung menggunakan *shearwall* adalah 1,751 detik, sedangkan hasil analisa dengan program ETABS didapatkan waktu getar alami sebesar 4,637 detik.
2. Berdasarkan analisis kondisi kinerja batas *ultimate* menurut metode respon spektrum memenuhi syarat batas izin berdasarkan SNI 1726 2012, sedangkan untuk beban *time history* pada gempa El-Centro arah-x sebesar 72,73% dan arah-y sebesar 81,82% dan gempa Padang arah-x sebesar 68,12% dan arah-y sebesar 81,82% sehingga kinerja batas *ultimate* melewati syarat batas izin berdasarkan SNI 1726-2012.
 3. Dari analisis yang dilakukan masing-masing metode menghasilkan level kinerja seismik yang berbeda, dengan rincian sebagai berikut:
 - a. Berdasarkan metode respon spektrum level kinerja struktur Gedung SKA Pekanbaru adalah *Damage Control* (DC) pada arah-x maupun arah-y.
 - b. Berdasarkan beban *time history* El-Centro level kinerja struktur Gedung SKA Pekanbaru adalah *Structural Stability* (SS) pada arah-x maupun arah-y.
 - c. Berdasarkan beban *time history* gempa Mentawai level kinerja struktur Gedung SKA Pekanbaru adalah *Immediate Occupancy* (IO) pada arah-x maupun arah-y.
 - d. Berdasarkan beban *time history* gempa Aceh level kinerja struktur Gedung SKA Pekanbaru adalah *Damage Control* (DC) pada arah-x maupun arah-y.
 - e. Berdasarkan beban *time history* Padang level kinerja struktur Gedung SKA Pekanbaru adalah *Structural Stability* (SS) pada arah-x maupun arah-y.

2.2.3 Evaluasi Kinerja Gaya Gempa Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Respon Spektrum Berdasarkan *Base Shear, Displacement, Dan Drift* Menggunakan *Software* ETABS (Studi Kasus: Hotel Di Daerah Karanganyar)

Penelitian yang dilakukan oleh Febbrian, D., dkk. (2014). Dalam studi tersebut akan dilakukan suatu evaluasi struktur berbasis kinerja untuk mengetahui level kinerja struktur. Gedung yang menjadi objek penelitian merupakan gedung hotel yang terletak di daerah Karanganyar dan memiliki total jumlah 11 lantai.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui Langkah-langkah evaluasi kinerja gaya gempa pada gedung bertingkat dengan analisis dinamik respon spektrum berdasarkan *Base Shear, Displacement, Dan Drift* menggunakan *software* ETABS.

Hasil penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Berdasarkan analisis dinamik respon spektrum pada arah-x dan arah-y menghasilkan $V_{dinamik}$ lebih besar 0.85 V_{statik} sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana memenuhi persyaratan SNI 1726-2012.
2. Berdasarkan nilai *displacement* pada arah-x dan arah-y bangunan aman terhadap evaluasi kinerja berdasarkan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit.
3. Berdasarkan hasil analisis dinamik respon spektrum level kinerja seismik berdasarkan ATC-40 termasuk dalam kategori *immediate occupancy* (IO) yaitu apabila terkena gempa struktur bangunan aman, resiko korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan/beroperasi kembali.

2.2.4 Analisis Ketahanan Gedung Apartemen Surabaya Dengan Menggunakan Metode Respon Spektrum

Penelitian yang dilakukan oleh Afrida, I., dkk (2020) bertujuan untuk mengetahui bagaimana cara mengevaluasi struktur dengan menggunakan analisis dinamik metode respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2019.

Bangunan yang diteliti merupakan gedung Apartemen East Coast Mansion yang berlokasi di Surabaya dengan total jumlah 45 lantai dan dengan ketinggian total bangunan adalah 138 m. Pemodelan struktur dalam 3D dengan bantuan *software* ETABS.

Studi penelitian ini dilakukan mengingat lokasi apartemen Surabaya yang terletak berdekatan dengan situs sesar aktif seperti, sesar aktif Lasem di sebelah utara dengan jarak ± 70 Km, sesar aktif Watu Kosek di sebelah selatan timur laut yang membujur dari Mojokerto hingga Madura dengan jarak ± 30 Km dan sesar aktif Pasuruan di sebelah selatan yang membujur dari Pasuruan sampai Mojokerto dengan jarak ± 50 Km. Sehingga analisis ketahanan gempa diperlukan pada gedung apartemen untuk mengetahui ketahanan terhadap gempa. Metode yang digunakan adalah analisis dinamik respon spektrum.

Hasil penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. simpangan antar lantai (*drift*) arah-x dan arah-y dinyatakan aman terhadap kinerja batas layan $(0.03/R)*H$ dan batas ultimit $\xi \cdot \Delta m$ dan hasil dari *displacement* maksimum arah-x didapat 0,07723 m dan arah-y didapat 0,10648 m sehingga dapat dinyatakan telah memenuhi syarat batas maksimum $[(0,015hsx)/\rho] = 1.57$ m.
2. Hasil simpangan antar lantai (*drift*) terbesar arah-x didapat 0,22 mm pada lantai 35 dan arah-y didapat 0,29 mm pada lantai 23 sedangkan hasil *base shear* terbesar arah-x didapat 4871,12 kN pada lantai Basement 1 dan arah-y didapat 5160,36 kN pada lantai Basement 1.

Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penulis

| Parameter Pembeding | Penelitian Terdahulu | | | | Penelitian Yang Akan Dilakukan |
|-----------------------------------|--|---|--|---|---|
| Peneliti | Elliza, I. N. (2013) | Rendra, R (2015) | Febbrian, D. (2014) | Afrida, I.dkk (2020) | Bagus Dandy,Setiawan (2021) |
| Judul Penelitian | Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs V 9.50 (Studi Kasus: Gedung Solo Center Point) | Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa Dengan Metode Respon Spektrum Dan Time History (Studi Kasus: Hotel Ska Pekanbaru) | Evaluasi Kinerja Gaya Gempa Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Respon Spektrum Berdasarkan Base Shear, Displacement, Dan Drift Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Hotel Di Daerah Karanganyar) | Analisa Ketahanan Gedung Apartemen Surabaya Dengan Menggunakan Metode Respon Spektrum | Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Pada Kondisi Batas Layan Dan Batas Ultimit Dengan Analisis Dinamik Metode Respon Spektrum (Studi Kasus: Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi) |
| Tujuan Penelitian | Mengetahui level kinerja gedung dan keamanan bangunan ditinjau berdasarkan <i>base shear, displacement, dan drift</i> | Membandingkan level kinerja struktur dengan metode respon spektrum dan <i>time history</i> berdasarkan SNI 1726-2012 | Mengetahui langkah-langkah evaluasi kinerja gaya gempa pada gedung bertingkat dengan analisis dinamik respon spektrum menggunakan <i>software ETABS</i> | Mengetahui bagaimana cara mengevaluasi struktur dengan menggunakan analisis dinamik metode respon spektrum sesuai SNI 1726-2019 | Mengevaluasi kinerja struktur dengan analisis dinamik metode respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2019 dan mengetahui kinerja struktur gedung berdasarkan kondisi batas layan dan kondisi batas ultimit |
| Bentuk Dan Tinggi Bangunan Gedung | Gedung memiliki 19 lantai utama dengan tambahan <i>basement, ground, roof</i> | Gedung hotel dengan total jumlah 22 lantai. Jenis struktur beton bertulang | Gedung hotel dengan struktur tidak beraturan dan memiliki jumlah 11 lantai dengan ketinggian struktur mencapai 43,7 m | Gedung apartemen dengan total jumlah 45 lantai dengan ketinggian struktur mencapai 138 m | Gedung kampus dengan struktur bangunan beraturan dengan total jumlah 12 lantai dan ketinggian struktur mencapai 51,7 m |
| Lokasi | Solo | Pekanbaru | Karanganyar | Surabaya | Manado |

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penulis

| Parameter Pembeding | Penelitian Terdahulu | | | | Penelitian Yang Akan Dilakukan |
|--------------------------|--|--|--|--|--|
| Peneliti | Elliza, I. N. (2013) | Rendra, R (2015) | Febbrian, D. (2014) | Afrida, I.dkk (2020) | Bagus Dandy,Setiawan (2021) |
| Peraturan Yang Digunakan | ATC-40 (1996), SNI 1726-2012, SNI 1726-2002 | ATC-40 (1996), SNI 1727-1989, SNI 1726-2012, SNI 1726-2002, SNI 1727-2013 | ATC-40 (1996), SNI 1726-2012, SNI 1726-2002 | SNI 1726-2019, SNI 2847-2019 | SNI 1726-2019, SNI 1726-2002, SNI 1727-2013, SNI 1727-1989, SNI 2847-2019 |
| Metode Penelitian | Menyiapkan data penelitian, perhitungan beban struktur antara lain beban hidup, beban mati dan beban gempa. Kemudian melakukan pemodelan dengan ETABS V9.5, analisis struktur dengan metode respon spektrum, kemudian menyimpulkan hasil dari analisis tersebut. | Metode analisis struktur yang digunakan metode respon spektrum dan <i>time history</i> , kemudian dievaluasi kinerja struktur, lalu dibuat perbandingan. | Pemodelan struktur dan ukuran gedung sesuai data perencanaan, menghitung beban gaya yang bekerja pada struktur. Analisis menggunakan metode respon spektrum. | Pengumpulan data berupa data perencanaan dan informasi material bangunan, elemen struktur dimodelkan 3D sesuai data perencanaan dengan perangkat lunak analisis struktur ETABS. Kemudian menghitung pembebanan struktur Dan dilanjutkan dengan analisis respon spektrum. | Pemodelan dan ukuran struktur bangunan sesuai data perencanaan, menghitung beban dan gaya yang bekerja (<i>dead, live, quake load</i>), pemodelan gedung 3D dengan ETABS V.17. analisis menggunakan metode respon spektrum sesuai SNI 1726-2019, kemudian dilanjutkan evaluasi kinerja struktur berdasarkan kondisi layan dan kondisi ultimit. |

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penulis

| Parameter Pembeding | Penelitian Terdahulu | | | | Penelitian Yang Akan Dilakukan |
|----------------------------------|---|--|---|---|--------------------------------|
| Peneliti | Elliza, I. N. (2013) | Rendra, R (2015) | Febbrian, D. (2014) | Afrida, I.dkk (2020) | Bagus Dandy,Setiawan (2021) |
| Kesimpulan Dari Hasil Penelitian | <p>Nilai <i>displacement</i> pada arah-x 0,1254 m dan pada arah-y adalah 0,1533m. Maksimum total <i>drift</i> arah-x adalah 0,0055 m dan pada arah-y adalah 0,0099 m sehingga gedung aman terhadap kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit. Level kinerja struktur menurut ATC-40 termasuk berdasarkan kategori <i>immediate occupancy (IO)</i></p> | <p>Berdasarkan analisis kondisi kinerja batas ultimit menurut metode respon spektrum memenuhi batasan izin SNI 1726 2012, sedangkan untuk beban <i>time history</i> gempa El-Centro arah-x sebesar 72,73% dan arah-y sebesar 81,82% dan gempa Padang arah-x sebesar 68,12% dan arah-y sebesar 81,82% sehingga kinerja batas ultimit melewati batas izin SNI 1726-2012.</p> | <p>Berdasarkan hasil analisis dinamik respon spektrum pada arah-x dan arah-y menghasilkan $V_{dinamik}$ lebih besar 0,85 V_{statik} sehingga respon dinamik akibat gempa rencana memenuhi persyaratan SNI 1726-2012. Berdasarkan nilai <i>displacement</i> arah-x dan arah-y bangunan aman berdasarkan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit. level kinerja struktur menurut ATC-40 termasuk dalam kategori <i>immediate occupancy (IO)</i></p> | <p>Hasil analisis didapatkan simpangan antar lantai dinyatakan aman terhadap kinerja batas layan dan ultimit. Hasil <i>displacement</i> dinyatakan telah memenuhi syarat batas maksimum $[(0,015hsx)/\rho] = 1.57$ m. Hasil simpangan antar lantai (<i>drift</i>) terbesar arah-x didapat 0,22 mm pada lantai 35 dan arah-y didapat 0,29 mm pada lantai 23 sedangkan hasil <i>base shear</i> terbesar arah-x didapat 4871,12 kN pada lantai <i>basement</i> 1 dan arah-y didapat 5160,36 kN pada lantai <i>basement</i> 1.</p> | |

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan uraian pada Tabel 2.1 maka dapat dilihat perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian mengenai evaluasi kinerja sudah sering dilakukan, namun untuk analisis berdasarkan peraturan perencanaan gempa terbaru yaitu SNI 1726-2019 masih sangat jarang.

Detail bukti keaslian penelitian yang akan dilakukan merupakan karya asli dan bukan merupakan bentuk karya plagiasi adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan merupakan denah perencanaan berdasarkan *as built drawing* dari gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi,
2. Analisis dinamik respon spektrum menggunakan bantuan program komputer ETABS v.17 dan akan dilakukan pemodelan secara 3D dengan dimensi ukuran serta mutu material mengikuti data eksisting bangunan,
3. Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian-penelitian sebelumnya adalah model bangunan yang dipakai, lokasi penelitian yaitu di kota Manado dengan situs tanah sedang. Metode yang digunakan yaitu analisis dinamik metode respon spektrum berdasarkan SNI 03-1726-2019. Fungsi bangunan sebagai gedung sekolah dan fasilitas pendidikan dengan total jumlah 12 lantai.

Berdasarkan hal tersebut maka dapat dikatakan bahwa penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Dasar Teori

Dasar teori merupakan bagian dari penelitian yang memuat tentang teori dan hasil penelitian sebelumnya yang bersumber dari studi kepustakaan yang berfungsi untuk menjelaskan permasalahan lebih jelas tentang variabel yang akan diteliti.

3.2 Standar Peraturan

Standar peraturan yang digunakan untuk menghitung gempa rencana serta analisis dinamik respon spektrum pada penelitian tugas akhir ini berpedoman pada SNI-03-1726-2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung Dan Non Gedung.

3.3 Analisis Dinamik

Analisis dinamik merupakan salah satu jenis analisis struktur, dimana distribusi gaya geser seismik pada setiap lapisan diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamik gerak tanah terhadap struktur.

Analisis dinamik untuk perencanaan struktur tahan gempa dilakukan apabila diperlukan evaluasi yang akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur serta untuk mengetahui respon bangunan yang lebih mendekati respon struktur sebenarnya. Ketika terjadi gempa, khususnya pada struktur bangunan tinggi atau struktur bangunan dengan konfigurasi yang tidak teratur. Analisis dinamik terbagi menjadi 2 yaitu

1. Analisis ragam respon spektrum dimana respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar
2. Analisis Riwayat waktu adalah analisis dinamis dimana pada model struktur yang bersifat linear atau non-linear dengan suatu data rekaman gempa dan respon struktur yang dianggakan sebagai Gerakan tanah masukan.

3.4 Konsep Perencanaan Gedung Tahan Gempa

Menurut Tjokrodimulyo (1993), struktur tahan gempa adalah struktur yang tahan (tidak rusak dan tidak runtuh) apabila terjadi gempa, bukan struktur yang semata-mata (dalam perencanaan) sudah diperhitungkan dengan beban gempa.

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa struktur yang didesain harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Dibawah gempa ringan (gempa dengan periode ulang 50 tahun dengan probabilitas 60% dalam kurun waktu umur Gedung) struktur harus dapat berespon *elastic* tanpa mengalami kerusakan baik pada elemen *non structural* (dinding bata,plafond dan lain-lain).
2. Dibawah gempa sedang (gempa dengan periode ulang 50-100 tahun) struktur bangunan boleh mengalami kerusakan ringan pada lokasi yang mudah diperbaiki yaitu pada ujung-ujung balok di muka kolom, yang diistilahkan sendi plastis, struktur pada tahap ini disebut tahap *first yild* yang merupakan parameter penting karena merupakan batas antara kondisi *elastic* (tidak rusak) dan kondisi plastis (rusak) tetapi tidak roboh atau disingkat sebagai kondisi batas antar beban gempa ringan dan gempa kuat.
3. Dibawah gempa kuat (gempa dengan periode ulang 200-500 tahun dengan probabilitas 10%-20% dalam kurun waktu umur Gedung) resiko kerusakan harus dapat diterima tapi tanpa keruntuhan struktur. Jadi, kerusakan struktur pada saat gempa kuat terjadi harus di desain pada tempat-tempat tertentu sehingga mudah diperbaiki setelah gempa kuat terjadi.

3.5 Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur merupakan salah satu hal paling dasar dan terpenting dalam perencanaan gedung. kesalahan dalam perencanaan beban dapat berakibat fatal pada perencanaan bangunan, Oleh karena itu Struktur bangunan yang direncanakan harus memenuhi peraturan-peraturan yang berlaku dan mampu menahan beban seperti beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan tersebut agar mendapatkan suatu struktur bangunan yang aman secara konstruksi.

3.5.1 Beban Mati atau *Dead Load (D)*

Berdasarkan SNI 1727 2013, beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading Gedung dan komponen arsitektural maupun struktural lainnya. Nilai beban mati dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Beban Mati

| No | Nama Material | Berat Isi | Satuan |
|----|---------------------------------------|-----------|-------------------|
| 1 | Air | 10 | kN/m ³ |
| 2 | Adukan Semen/Spesi | 22 | kN/m ³ |
| 3 | Beton | 22 | kN/m ³ |
| 4 | Beton Bertulang | 24 | kN/m ³ |
| 5 | Dinding Bata Ringan | 5,5 | kN/m ³ |
| 6 | Dinding (pasangan 1/2 bata) | 2,5 | kN/m ³ |
| 7 | Langit-Langit/Plafond | 0,11 | kN/m ³ |
| 8 | Pasir | 16 | kN/m ³ |
| 9 | Penutup Langit (Keramik) Per Cm tebal | 0,24 | kN/m ³ |
| 10 | Penggantung Langit-Langit | 0,77 | kN/m ³ |
| 11 | Instalasi Plumbing Dan ME | 0,25 | kN/m ³ |
| 12 | Pelapis Kedap Air | 0,14 | kN/m ³ |

(Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1987)

3.5.2 Beban Hidup atau *Live Load (L)*

Berdasarkan SNI 1727 2013, beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Semua beban hidup yang memungkinkan dalam proses konstruksi perlu dipertimbangkan untuk memperoleh hasil analisis yang maksimal. beban-beban yang perlu diketahui beratnya, harus berdasarkan aturan atau standar yang berlaku yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 Berikut ini.

Tabel 3.2 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum Lo dan Beban Hidup Terpusat Minimum

| Hunian atau penggunaan | Merata Psf (kN/m ²) | Terpusat lb (kN) |
|--|---|---------------------|
| Apartemen (lihat rumah tinggal) | | |
| Sistem lantai akses | | |
| Ruang kantor | 50 (2,4) | 2000 (8,9) |
| Ruang komputer | 100 (4,79) | 2000 (8,9) |
| Gudang persenjataan dan ruang latihan | 150 (7,18) ^a | |
| Ruang pertemuan | | |
| Kursi tetap (terikat di lantai) | 100 (4,79) ^a | |
| Lobi | 100 (4,79) ^a | |
| Kursi dapat di pindahkan | 100 (4,79) ^a | |
| Panggung pertemuan | 100 (4,79) ^a | |
| Lantai podium | 150 (7,18) ^a | |
| Balkon dan dek | 1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²) | |
| Jalur untuk akses pemeliharaan | 40 (1,92) | 300 (1,33) |
| Koridor | | |
| Lantai pertama | 100 (4,79) | |
| Lantai lain | Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain | |
| Ruang makan dan restoran | 100 (4,79) ^a | |
| Hunian (lihat rumah tinggal) | | |
| Ruang mesin elevator (pada daerah 2in.x 2 in. (50 mmx 50 mm)) | | 300 (1,33) |
| Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in. x 1 in. (25 mm x 25 mm)) | | 200 (0,89) |

**Lanjutan Tabel 3.2 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum Lo dan
Beban Hidup Terpusat Minimum**

| Hunian atau penggunaan | Merata Psf (kN/m²) | Terpusat lb (kN) |
|---|---|---|
| Jalur penyelamatan terhadap kebakaran Hunian satu keluarga saja | 100 (4,79) 40 (1,92) | |
| Tangga permanen | | Lihat pasal 4.5 |
| Garasi/Parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus | | 40 (1,92) ^{a,b,c} |
| Rumah Sakit: Ruang operasi, laboratorium Ruang pasien Koridor diatas lantai pertama | 60 (2,87) 40(1,92) 80(3,83) | 1000(4,45) 1000(4,45) 1000(4,45) |
| Perpustakaan Ruang baca Ruang penyimpanan Koridor diatas lantai pertama | 60 (2,87) 150 (7,18) ^{a,h} 80 (3,83) | 1000(4,45) 1000(4,45) 1000(4,45) |
| Gedung perkantoran: Ruang arsip dan computer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian Lobi dan koridor lantai pertama Kantor Koridor di atas lantai pertama | 100 (4,79) 50 (2,4) 80 (3,83) | 2000 (8,90) 2000 (8,90) 2000 (8,90) |

(Sumber: SNI 1727-2013)

3.5.3 Beban Gempa atau *Earthquake Load (E)*

Beban gempa merupakan pergerakan tanah yang ditimbulkan karena adanya gempa bumi (baik itu gempa tektonik atau vulkanik) yang bekerja atau mempengaruhi suatu struktur tersebut. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan tersebut karena adanya kecenderungan massa

bangunan untuk mempertahankan diri dari getaran yg terjadi. Perhitungan penentuan beban gempa rencana sebagai berikut.

1. Menentukan nilai S_s dan S_l .
2. Menentukan kategori resiko dan faktor keutamaan bangunan.
3. Menentukan kategori desain seismik.
4. Menentukan metode analisis beban gempa.
5. Menghitung gaya lateral.

3.6 Ketentuan Umum Dalam Pengaruh Gempa

Ketentuan umum dalam perencanaan bangunan terhadap gempa mempunyai beberapa parameter, yaitu antara lain wilayah gempa, fungsi bangunan, respon spektrum dan hal-hal lainnya dengan penjelasan berikut ini.

3.6.1 Kategori Resiko Bangunan

Menurut SNI 03-1726-2019, untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 3.3 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 3.4. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 3.3 Kategori Risiko Bangunan

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko Bangunan |
|--|--------------------------|
| Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya | I |

Lanjutan Tabel 3.3 Kategori Risiko Bangunan

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko Bangunan |
|---|---------------------------|
| <p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko 1,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perumahan • Rumah took dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/ rumah susun • Pusat pembelanjaan/ mall • Bangunan industry • Fasilitas manufaktur • Pabrik | <p align="center">II</p> |
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit beddah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar atau gangguan massal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telemonikasi | <p align="center">III</p> |
| <p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sbagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak di batasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bangunan-bangunan monumental • Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan • Rumah ibadah rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedan dan unit gawat darurat • Fasilitas pemadam kebakaran, ambulan, dan kantor polisi • Tempat perlindungan gempa bumi, tsunami, dan darurat lainnya • Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi • Pusat pembangkit energi dan fasilitas public lainnya (kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. | <p align="center">IV</p> |

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

3.6.2 Faktor Keutamaan Gempa

Berdasarkan kategori resiko bangunan , berikut ini merupakan nilai faktor keutamaan gempa sesuai dengan SNI-1726-2019 pada Tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.4 Faktor Keutamaan Gempa

| Kategori risiko | Faktor keutamaan gempa (I_e) |
|-----------------|----------------------------------|
| I atau II | 1,00 |
| III | 1,25 |
| IV | 1,50 |

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

3.6.3 Klasifikasi Situs

Dalam merumuskan standar desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasi terlebih dahulu. Klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 3.5 dibawah ini.

Tabel 3.5 Klasifikasi Situs

| Kelas Situs | V_s (m/detik) | N | SL (kPa) |
|---|---|--------------|---------------|
| SA (batuan keras) | >1500 | N/A | N/A |
| SB (batuan) | 750 sampai 1500 | N/A | N/A |
| SC (tanah keras, sangat padat, batuan lunak) | 350 sampai 750 | >50 | ≥ 100 |
| SD (tanah sedang) | 175 sampai 350 | 15 sampai 50 | 50 sampai 100 |
| SE (tanah lunak) | < 175 | <15 | <50 |
| | Atau setiap profil lapisan dengan ketebalan lebih dari 3m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas $PI \geq 20$, 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $S_u < 25$ kPa | | |
| SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0) | Setiap profil lapis tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah • Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3m$) | | |

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

3.6.4 Parameter Percepatan Gempa

Dalam penentuan respons spectral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait 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, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini.

$$S_{ms} = F_a S_s \quad (3.1)$$

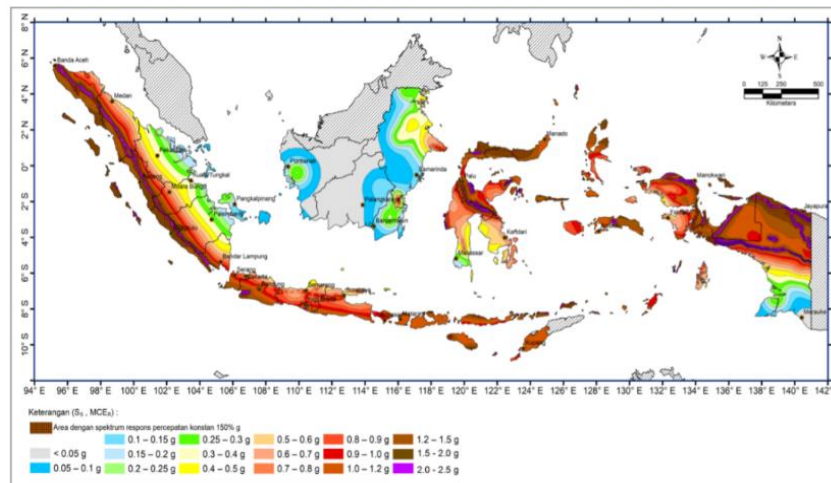
$$S_{m1} = F_v S_l \quad (3.2)$$

Dengan :

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek.

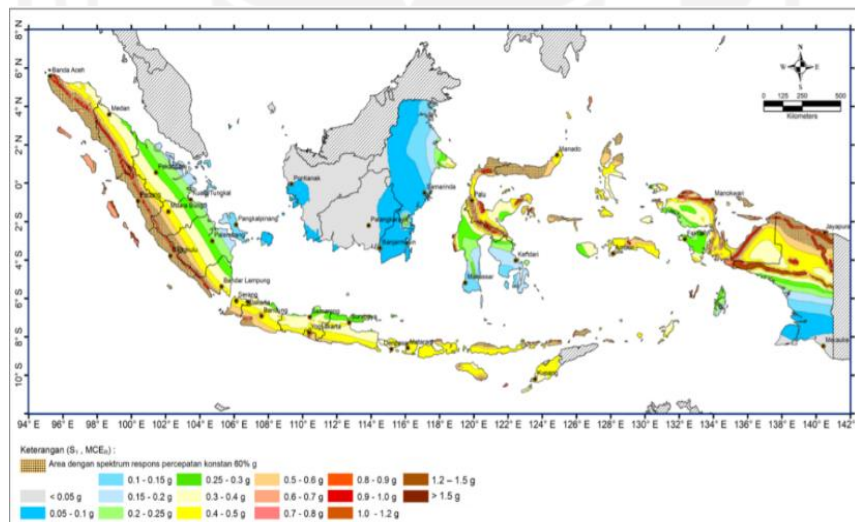
S_l = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik.

Berikut ini dapat dilihat parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek (S_s) dan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik (S_l) pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.1 S_s , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2-detik (Redaman Kritis 5%)

(Sumber: SNI 1726 2019)

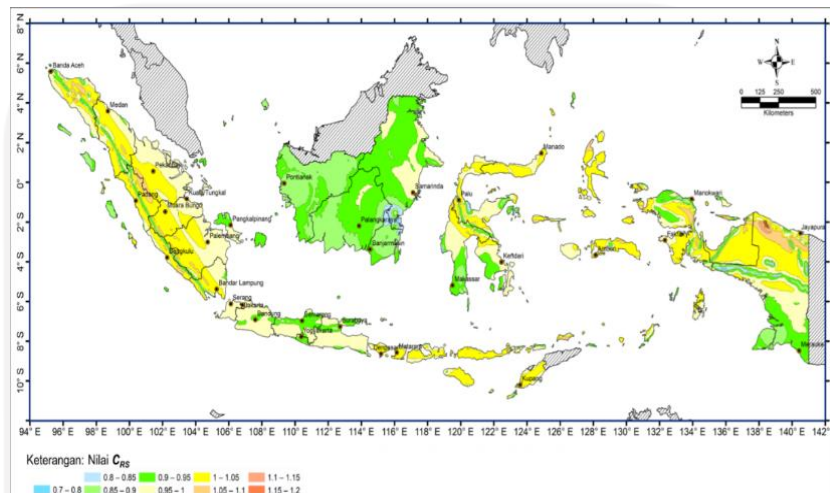


Gambar 3.2 S_I , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 1-detik (Redaman Kritis 5%)

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

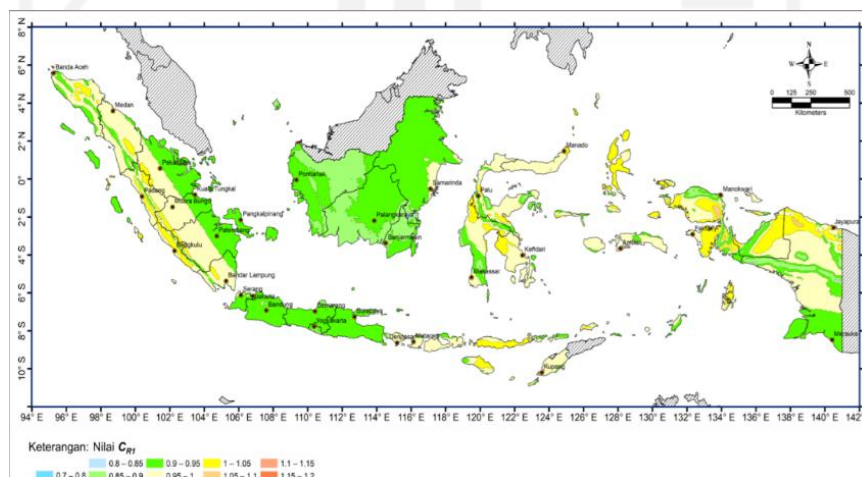
3.6.5 Parameter Koefisien Terpetakan (C_{rs} Dan C_{rl})

Parameter menentukan koefisien terpetakan (C_{rs} dan C_{rl}), periode respons spectral 0,2 dt (C_{rs}) dan koefisien risiko terpetakan, periode respons spectral 1 dt (C_{rl}) dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 berikut ini :



Gambar 3.3 C_{rs} , Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 0,2-Detik

(Sumber: SNI 03-1726-2019)



Gambar 3.4 C_{rl} , Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 1 Detik

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

3.6.6 Parameter Faktor Amplifikasi

Parameter faktor amplifikasi percepatan permukaan tanah untuk periode pendek (F_a) dan periode 1 detik (F_v) dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 berikut ini.

Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_a

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

Catatan : untuk nilai – nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

Tabel 3.7 Koefisien Situs, F_v

| Klasifikasi Situs | Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_I | | | | | |
|-------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | $S_I \leq 0,1$ | $S_I = 0,2$ | $S_I = 0,3$ | $S_I = 0,4$ | $S_I = 0,5$ | $S_I \geq 0,6$ |
| 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) | | | | | |

Catatan : untuk nilai – nilai antara S_I dapat dilakukan interpolasi linier

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

3.6.7 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek S_{DS} , periode 1 detik S_{D1} , S_{DSr} dan S_{D1r} ditentukan melalui rumus berikut ini.

$$S_{DS} = 2/3 \cdot S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{D1} = 2/3 \cdot S_{M1} \quad (3.4)$$

$$S_{DSr} = S_{DS} \cdot C_{rs} \quad (3.5)$$

$$S_{D1r} = S_{D1} \cdot C_{r1} \quad (3.6)$$

dengan :

S_{DS} = percepatan spektral desain untuk periode pendek.

S_{D1} = percepatan spektral desain untuk periode 1 detik.

S_{DSr} = percepatan spektral desain untuk periode pendek.

S_{D1r} = percepatan spektral desain untuk periode 1 detik.

3.6.8 Spektrum Respons Desain

Untuk perioda lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain S_a , harus di ambil persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.7)$$

Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain S_a , sama dengan S_{DS} , untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain S_a , di ambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.8)$$

Untuk perioda lebih besar dari T_L , spektrum respons percepatan desain, S_a , di ambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (3.9)$$

Keterangan :

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

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

T = perioda getar fundamental struktur

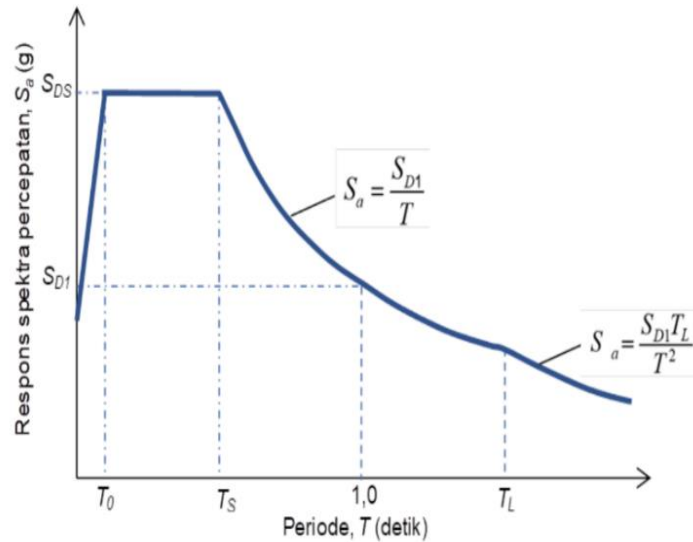
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

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

T_L = Peta transisi periode Panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 dibawah

Ini

Grafik respons spektrum dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Spektrum Respon Desain

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

3.6.9 Kategori Desain Seismik

Semua struktur bangunan harus ditetapkan memiliki semua kategori desain seismik berdasarkan kategori resiko bangunan serta nilai S_{DS} dan S_{D1} , sesuai Tabel 3.8 dan 3.9 berikut ini.

Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

| Nilai S_{DS} | Kategori Risiko | |
|----------------------------|-----------------|----|
| | I, II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$ | A | A |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B | C |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,5$ | C | D |
| $0,5 \leq S_{DS}$ | D | D |

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

Tabel 3.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

| Nilai S_{DS} | Kategori Risiko | |
|-----------------------------|-----------------|----|
| | I, II atau III | IV |
| $S_{DI} < 0,067$ | A | A |
| $0,067 \leq S_{DI} < 0,133$ | B | C |
| $0,133 \leq S_{DI} < 0,2$ | C | D |
| $0,2 \leq S_{DI}$ | D | D |

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

3.6.10 Sistem Struktur

Sistem struktur yang digunakan harus memenuhi batasan sistem struktur dan batas ketinggian struktur yang diijinkan. Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk sistem penahan beban lateral dapat dilihat pada Tabel 3.10 berikut ini.

Tabel 3.10 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

| Sistem pemikul gaya seismik | R^a | Ω_0^b | C_d^c | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d | | | | |
|---|-------|--------------|-----------|---|----|----|----|----|
| | | | | Kategori desain seismik | | | | |
| | | | | B | C | D | E | F |
| C. Sistem rangka pemikul momen | | | | | | | | |
| Rangka beton bertulang pemikul momen khusus | 8 | 3 | $5^{1/2}$ | TB | TB | TB | TB | TB |
| Rangka beton bertulang pemikul momen menengah | 5 | 3 | $4^{1/2}$ | TB | TB | TI | TI | TI |
| Rangka beton bertulang pemikul momen biasa | 3 | 3 | $2^{1/2}$ | TB | TI | TI | TI | TI |

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

3.6.11 Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur T , tidak boleh melebihi hasil koefisien batasan atas pada periode yang dihitung C_u pada Tabel 3.11 dan periode fundamental pendekatan T_a yang dihitung dari persamaan berikut.

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (3.10)$$

$$T_{max} = C_U \times T_a \quad (3.11)$$

Keterangan :

T_a = Periode fundamental pendekatan (detik)

C_t = Koefisien faktor pengali periode pendekatan

h_a = Ketinggian struktur (m)

koefisien untuk batas atas (C_u) dan nilai parameter periode C_t dan x dapat dilihat pada Tabel 3.11 dan Tabel 3.12 berikut ini.

Tabel 3.11 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

| Parameter Percepatan Respons Spectral Desain Pada 1 Detik, S_{DI} | Koefisien C_u |
|--|-----------------|
| $\geq 0,4$ | 1,4 |
| 0,3 | 1,4 |
| 0,2 | 1,5 |
| 0,15 | 1,6 |
| $\leq 0,1$ | 1,7 |

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

Tabel 3.12 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

| Tipe Struktur | C_t | x |
|--|--------|------|
| Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan aku mencegah rangka dari defleksi jika dikenal 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 03-1726-2019)

3.7 Struktur Bangunan Gedung Beraturan Dan Tidak Beraturan

Struktur bangunan diklasifikasikan menjadi 2 macam yaitu beraturan dan tidak beraturan. Berdasarkan pasal 7.3.2 SNI 1726-2019, Klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.13 dan Tabel 3.14 berikut ini.

Tabel 3.13 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur

| | Tipe Dan Penjelasan Ketidakberaturan | Pasal Referensi | Penerapan Kategori Desain Seismik |
|-----|---|------------------------------|--|
| 1a. | Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku. | 0 0 0 Tabel 16 0 | D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F |
| 1b. | Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku. | 0 0 0 Tabel 16 0 | E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D |
| 2. | Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. | 0 Tabel 16 | D, E, dan F D, E, dan F |
| 3. | Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya. | 0 Tabel 16 | D, E, dan F D, E, dan F |
| 4. | Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak turus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. | 0 0 0 Tabel 16 0 | B, C, D,E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F |
| 5. | Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. | 0 0 Tabel 16 0 | B, C, D,E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F |

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

Tabel 3.14 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur

| | Tipe Dan Penjelasan Ketidakberaturan | Pasal Referensi | Penerapan Kategori Desain Seismik |
|-----|---|--------------------|--|
| 1a. | Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. | Tabel 16 | D, E, dan F |
| 1b. | Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya | 0 Tabel 16 | E dan F D, E, dan F |
| 2. | Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau. | Tabel 16 | D, E, dan F |
| 3. | Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya. | Tabel 16 | D, E, dan F |
| 4. | Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya. | 0 0 Tabel 16 | B, C, D,E, dan F D, E, dan F D, E, dan F |
| 5a. | Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau. | 0 Tabel 16 | E dan F D, E, dan F |
| 5b. | Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau. | 0 0 Tabel 16 | D, E, dan F B dan C D, E, dan F |

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

Pengecualian:

1. Ketidakberaturan struktur vertikal 1a, 1b, atau 2 dalam Tabel 3.14 tidak berlaku jika tidak ada rasio simpangan antar tingkat akibat gaya seismik lateral desain yang nilainya lebih besar 130% rasio simpangan antar tingkat di atasnya. Pengaruh torsi tidak perlu ditinjau pada perhitungan simpangan antar tingkat.

Hubungan rasio simpangan antar tingkat untuk dua tingkat teratas struktur bangunan tidak perlu dievaluasi

2. Ketidakberaturan struktur vertikal tipe 1a, 1b, dan 2 dalam Tabel 3.14 tidak perlu ditinjau pada bangunan satu tingkat dalam semua kategori desain seismik atau bangunan dua tingkat yang didesain untuk kategori desain seismik B, C, atau D

3.8 Penentuan Prosedur Analisis

Berdasarkan kategori desain seismik dan karakteristik struktur gedung, berikut ini merupakan penentuan prosedur analisis yang diizinkan sesuai persyaratan pada SNI-1726-2019 dan dapat dilihat pada Tabel 3.15 berikut ini.

Tabel 3.15 Prosedur Analisis Yang Diizinkan

| Kategori desain seismik | Karakteristik struktur | Analisis gaya lateral ekuivalen | Analisis spektrum respons ragam | prosedur respons riwayat waktu seismik |
|-------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|--|
| B, C | Semua struktur | | | |
| D, E, F | Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar | | | |
| | Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m | | | |
| | Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$ | | | |
| | Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b | | | |
| | Semua struktur lainnya | TI | | |

3.9 Kombinasi Pembebanan

Struktur bangunan harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatannya sama atau melebihi pengaruh beban terfaktor yang ditahan oleh struktur dengan kombinasi-kombinasi berikut ini.

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L$

3. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L \pm 1,0 EQ_x \pm 0,3EQ_y$
4. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L \pm 0,3 EQ_x \pm 1,0EQ_y$
5. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D \pm 1,0 EQ_x \pm 0,3 EQ_y$
6. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D \pm 0,3 EQ_x \pm 1,0 EQ_y$

Keterangan :

- D = Merupakan beban mati yang terjadi akibat berat konstruksi (mulai dari dinding, lantai, atap, plafon, partisi, dan lain-lainnya yang bersifat permanen atau tetap)
- L = Merupakan beban hidup yang terjadi akibat dari penggunaan gedung atau fungsi bangunan.
- Lr = Merupakan beban hidup pada atap yang muncul selama proses perawatan oleh pekerja bangunan, material, dan peralatan atau selama penggunaan biasa dan benda bergerak.
- E = Merupakan beban gempa yang dialami bangunan
- EQ_x = Beban gempa arah X
- EQ_y = Beban gempa arah Y

3.10 Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (V) merupakan keseluruhan dari gaya lateral akibat gaya gempa yang diterima oleh bangunan. Gaya geser dasar seismik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$V = C_s \times W \quad (3.12)$$

Keterangan :

- V = Gaya geser dasar seismik
- C_s = Koefisien respon seismik
- W = Berat seismik gedung efektif

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.13)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan tidak perlu melebihi hasil berikut ini.

- Untuk $T \leq T_L$, Maka $C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$ (3.14)

- Untuk $T \geq T_L$, Maka $C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)}$ (3.15)

- C_s harus tidak kurang dari $C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$ (3.16)

3.11 Penentuan Skala Gaya

Berdasarkan pasal 7.9.1.4.1 SNI 1726-2019, apabila perioda fundamental hasil analisis lebih besar dari $C_u T_a$ pada suatu arah tertentu, maka periode struktur T harus diambil sebesar $C_u T_a$. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dimana V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil kombinasi ragam.

3.12 Simpangan Antar Lantai (*Drift Ratio*)

Suatu struktur harus memiliki kekakuan yang cukup untuk mencegah agar pergerakannya dapat dibatasi. Kekakuan struktur dapat diukur dari besarnya simpangan antar lantai (*drift*) bangunan. Semakin kecil simpangan struktur maka bangunan tersebut akan semakin kaku dan aman.

Jika analisis spektrum respons yang digunakan, simpangan antar tingkat maksimum dari struktur atas sistem isolasi tidak boleh melebihi $0,015h_{sx}$.

Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b, simpangan antar tingkat desain Δ harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal disepanjang salah satu bagi tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang di tinjau. Simpangan antar tingkat harus dihitung berdasarkan persamaan berikut ini.

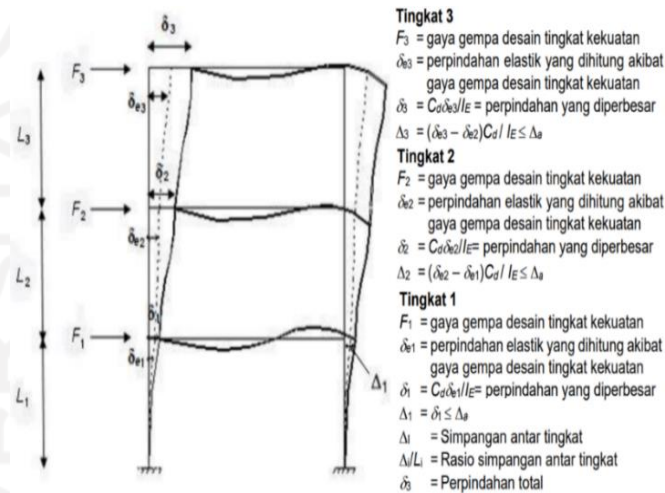
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.17)$$

Keterangan :

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = simpangan di tingkat-x

I_e = faktor keutamaan gempa



Gambar 3.6 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

Batasan simpangan antar tingkat tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti pada Tabel 3.16 berikut ini.

Tabel 3.16 Simpangan Antar Tingkat Izin

| Struktur | Kategori Risiko | | |
|---|-----------------|---------------|---------------|
| | I atau II | III | IV |
| Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit – langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. | $0,025h_{sx}^c$ | $0,020h_{sx}$ | $0,015h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser kantilever batu bata | $0,010h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser batu bata lainnya | $0,007h_{sx}$ | $0,007h_{sx}$ | $0,007h_{sx}$ |
| Semua struktur lainnya | $0,020h_{sx}$ | $0,015h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ |

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

3.13 Kinerja Batas Layan

Berdasarkan pasal 8.1.1 SNI 1726-2002, Kinerja batas layan struktur gedung (Δ_s) ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, di samping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal Simpangan antar tingkat maksimum (Δ_s) yang terjadi tidak boleh melebihi $0,03/R$ dikali tinggi tingkat atau 30 mm.

3.14 Kinerja Batas Ultimit

Berdasarkan pasal 8.2.1 SNI 1726-2002, Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung pada batas akan mengalami keruntuhan, yaitu membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar gedung atau antar bagian struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan faktor pengali ξ .

- a. Untuk struktur gedung beraturan

$$\xi = 0,7 \cdot R \quad (3.18)$$

- b. Untuk struktur gedung tidak beraturan

$$\xi = \frac{0,7 \cdot R}{\text{Faktor skala}} \quad (3.19)$$

Dengan R adalah faktor reduksi gempa gedung tersebut. Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melebihi $0,02$ dikali tinggi tingkat bersangkutan.

BAB IV

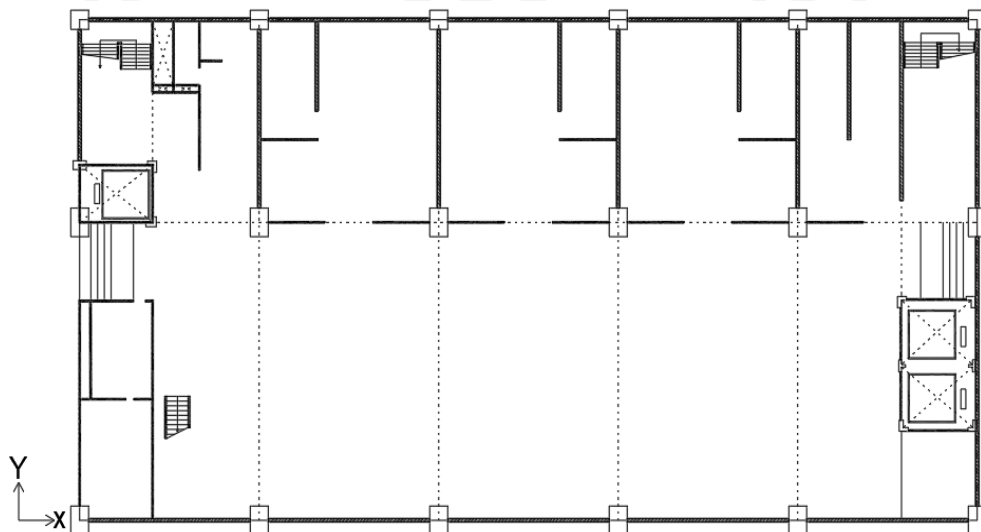
METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah Langkah-langkah ilmiah yang dilakukan oleh peneliti dengan tujuan mengumpulkan informasi dan menyelidiki data yang diperoleh. Metode penelitian menguraikan rancangan penelitian meliputi: prosedur Langkah-langkah yang akan dilakukan, waktu penelitian, sumber data dan Langkah-langkah perolehan data, kemudian diolah dan dianalisis.

4.2 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah gedung fakultas hukum yang berlokasi di kampus Universitas Sam Ratulangi, Jalan Kampus Barat, Bahu, Kecamatan Malalayang, Kota Manado, Sulawesi Utara. Gedung tersebut memiliki total jumlah 12 lantai dengan ketinggian total bangunan adalah 51,7 m. denah bangunan dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Denah Stuktur Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi

(Sumber : Data As Built Drawing, 2018)

4.3 Pengambilan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data *As Built Drawing*. Data yang diperoleh dari *As Built Drawing* adalah sebagai berikut.

1. Mutu beton
 - a. $f'c = 40$ MPa (data *as built drawing*)
 - b. Berat jenis beton = 2.4 ton/m^3
 - c. Modulus elastisitas beton (E_c) = $4700 \cdot \sqrt{f'c} = 29725,41001$ MPa
2. Mutu baja tulangan (data *as built drawing*)
 - a. Baja tulangan dengan diameter ≤ 13 mm dipakai jenis baja tulangan polos dengan tegangan leleh sebesar 240 MPa.
 - b. Baja tulangan dengan diameter ≥ 13 mm dipakai jenis baja tulangan ulir dengan tegangan leleh sebesar 400 MPa.
3. Dimensi elemen struktur
 - a. Kolom

Dimensi dan tipe kolom dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Tipe Dan Dimensi Kolom

| No | Tipe Kolom | Dimensi (mm) |
|----|------------|--------------|
| 1 | K1 | 800x1200 |
| 2 | K2 | 800x800 |
| 3 | K4 | 300X300 |
| 4 | K1A | 800x1200 |
| 5 | K2A | 800x800 |
| 6 | K1B | 800x1200 |
| 7 | K2B | 800x800 |

(Sumber : Data *As Built Drawing*, 2017)

Untuk lebih jelasnya terkait elemen dan formasi struktur kolom dapat dilihat pada Lampiran 6 Gambar denah struktur kolom halaman 129.

b. Balok

Dimensi dan tipe balok dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Tipe Dan Dimensi Balok

| No | Tipe Balok | Dimensi (mm) |
|----|------------|--------------|
| 1 | B1A | 600x1000 |
| 2 | B1B | 600x1000 |
| 3 | B2A | 400x700 |
| 4 | B2B | 400x700 |
| 5 | B1K | 600x1000 |
| 6 | B2K | 400x900 |
| 7 | B3K | 300x600 |
| 8 | B1C | 800x900 |
| 9 | B3 | 300x600 |
| 10 | B4 | 200x600 |

(Sumber : Data As Built Drawing, 2017)

Untuk lebih jelasnya terkait elemen dan formasi struktur balok dapat dilihat pada Lampiran 5 Gambar denah struktur Balok halaman 120.

c. Pelat

Dimensi dan tipe pelat dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Tipe Dan Dimensi Pelat

| No | Tipe Pelat | Tebal (mm) |
|----|------------|------------|
| 1 | P1 | 120 |
| 2 | P2 | 150 |

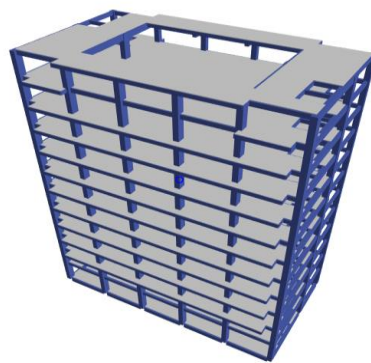
(Sumber : Data As Built Drawing, 2017)

Untuk lebih jelasnya terkait elemen dan formasi struktur pelat dapat dilihat pada Lampiran 4 Gambar denah struktur Pelat halaman 112.

4.4 Program atau *Software* yang Digunakan

Pada penelitian ini penulis menggunakan beberapa program komputer atau *software* untuk mempermudah menyelesaikan masalah. *Software* yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. ETABS v.17, aplikasi struktur ini digunakan untuk memodelkan struktur bangunan secara 2D maupun 3D dan juga untuk mendapatkan hasil *output* analisis struktur sebagai bahan pembahasan pada tugas akhir ini. Pemodelan struktur gedung pada program ETABS v.17 dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Pemodelan Geometrik Struktur 3D

2. *Microsoft Excel 2019*, program ini digunakan dalam menghitung pembebanan struktur, analisis statik ekuivalen, dan menganalisis hasil *output* dari program ETABS v.17
3. *Autocad 2019*, program ini digunakan untuk menggambar denah bangunan gedung tersebut.

4.5 Tahapan Tugas Akhir

Tahapan pengerjaan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut ini.

1. Studi Literatur

Pada studi literatur bersumber dari tugas akhir, jurnal, dan buku-buku yang terkait dengan analisis dinamik respon spektrum. Referensi yang digunakan dalam studi literatur ini adalah SNI 1726-2019 untuk tata cara perencanaan

bangunan tahan gempa, SNI 1727-2013 untuk pembebanan yang digunakan.

2. Pengumpulan Data

Pada tugas akhir ini data yang diperoleh berupa data struktur dan arsitek sesuai *As built drawing* dari bangunan gedung tersebut.

3. Perhitungan Pembebanan

Pada tahap ini dilakukan perhitungan pembebanan yang dalam perhitungannya terdiri atas beban mati, beban hidup dan beban gempa.

4. Pemodelan 3D

Pemodelan 3D dilakukan menggunakan bantuan program komputer analisis struktur ETABS v.17.

5. Input Pembebanan

Setelah melakukan pemodelan 3D tahap selanjutnya yang dilakukan adalah input pembebanan. Masukan beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang telah dihitung pada program ETABS v.17.

6. Kontrol Berat Struktur

Tahap ini dilakukan agar mengetahui kesesuaian struktur dari persentase total berat struktur yang dimodelkan dengan perhitungan pembebanan yang telah direncanakan.

7. Analisa perilaku struktur

Pada tahap ini analisis yang digunakan adalah analisis dinamik metode respons spektrum berdasarkan SNI 1726-2019.

8. Pengecekan periode getar alami, ketidakberaturan struktur, *base Shear*, dan partisipasi massa struktur sebesar 100%

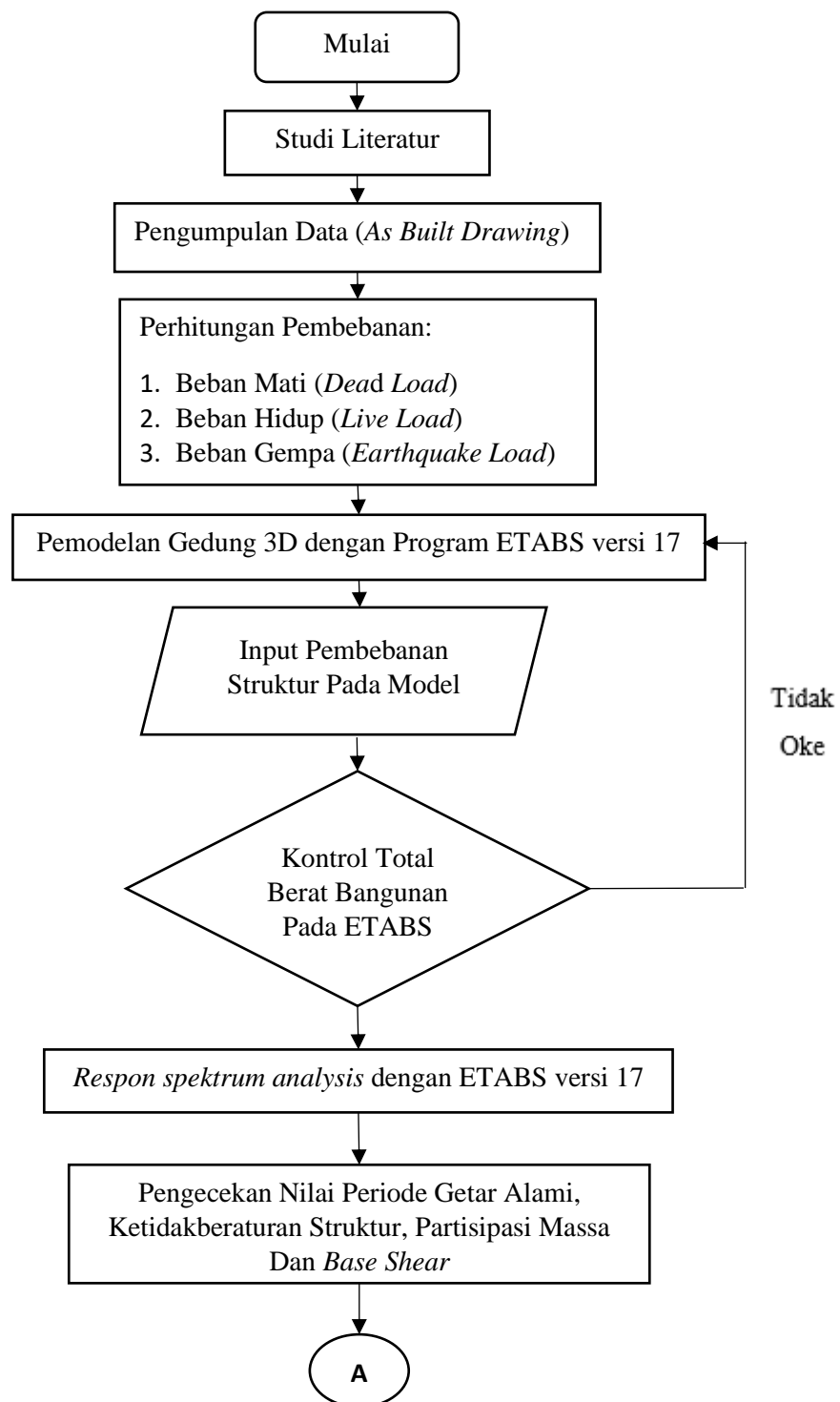
9. Pengolahan data dan evaluasi struktur

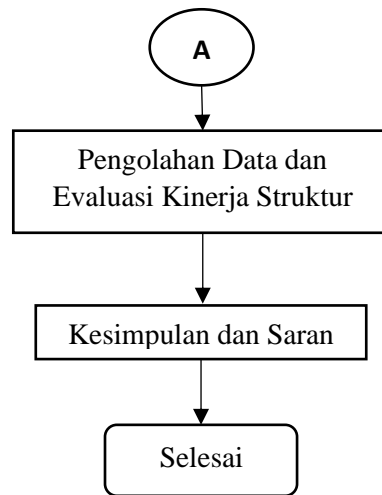
Dari hasil analisis didapatkan nilai *base shear*, *displacement* dan *drif*, kemudian dari nilai tersebut dilanjutkan mengevaluasi kinerja struktur berdasarkan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit.

10. Membuat kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang telah dilakukan.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Skema proses pelaksanaan penelitian secara garis besar dapat dilihat dalam bagan alir pada Gambar 4.2 berikut ini.





Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Struktur

Gedung yang menjadi studi kasus dalam penelitian ini merupakan gedung kampus Fakultas Hukum Unsrat Manado. Berikut ini Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 adalah data struktur bangunan gedung kampus Unsrat.

Tabel 5.1 Data Struktur

| No | Data Bangunan | |
|----|-------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Fungsi gedung | Sekolah |
| 2 | Tinggi bangunan | 51,70 m |
| 3 | Jenis Struktur | Beton bertulang |
| 4 | Sistem struktur | SRPMK |
| 5 | Jenis tanah | Tanah sedang (diasumsikan) |
| 6 | Mutu beton ($f'c$) | 40 MPa |
| 7 | Mutu baja ≥ 13 mm (f_y) | 400 MPa |
| 8 | Mutu baja ≤ 13 mm (f_{ys}) | 240 MPa |

Tabel 5.2 Elevasi Pada Setiap Tingkat

| No | Lantai | Elevasi Tiap Lantai (m) | Tinggi Lantai (m) |
|----|-----------|-------------------------|-------------------|
| 1 | Dasar | -0,05 | 4,9 |
| 2 | Lantai 2 | +4,95 | 4,25 |
| 3 | Lantai 3 | +9,20 | 4,25 |
| 4 | Lantai 4 | +13,45 | 4,25 |
| 5 | Lantai 5 | +17,70 | 4,25 |
| 6 | Lantai 6 | +21,95 | 4,25 |
| 7 | Lantai 7 | +26,20 | 4,25 |
| 8 | Lantai 8 | +30,45 | 4,25 |
| 9 | Lantai 9 | +34,70 | 4,25 |
| 10 | Lantai 10 | +38,95 | 4,25 |
| 11 | Lantai 11 | +43,20 | 4,25 |
| 12 | Lantai 12 | +47,45 | 4,25 |
| 13 | ATAP | +51,70 | 4,25 |

5.2 Perhitungan Pembebanan

Beban-beban yang diperhitungkan dalam analisis adalah beban mati, beban hidup dan beban gempa yang masing-masing beban tersebut didistribusikan pada struktur bangunan utama.

5.2.1 Beban Mati

Beban mati yang dimaksud terdiri dari berat sendiri struktur dan beban mati tambahan. Berat sendiri struktur tidak perlu dimasukkan dikarenakan ETABS telah memperhitungkan berat sendiri struktur secara otomatis, sehingga hanya perlu memasukan beban mati tambahan.

1. Kolom

Berikut dicontohkan perhitungan berat struktur kolom pada lantai 3

K1A (1,2 m x 0,8 m)

Tinggi Lantai = 4,25 m

Jumlah Kolom = 12 buah

Volume = Dimensi kolom x Tinggi lantai x Jumlah kolom
 = (1,2 x 0,8) x 4,25 x 12
 = 48,960 m³

Berat Kolom = Volume x B_j beton
 = 48,960 x 23,563
 = 1153,650 kN/m³

Rekapitulasi hasil perhitungan berat struktur kolom dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Beban Struktur Kolom Pada Setiap Tingkat

| Tingkat | Elemen | Jumlah | Volume | Berat Struktur |
|---------|--------|--------|-------------------|----------------|
| | | | (m ³) | (kN) |
| Atap | K1B | 10 | 40,800 | 961,3754 |
| | K2B | 6 | 16,320 | 384,550 |
| 12 | K1B | 12 | 48,960 | 1153,650 |
| | K2B | 6 | 16,320 | 384,5501 |
| 11 | K1B | 12 | 48,960 | 1153,650 |
| | K2B | 6 | 16,320 | 384,550 |

Lanjutan Tabel 5.3 Rekapitulasi Berat Struktur Kolom Pada Setiap Tingkat

| Tingkat | Elemen | Jumlah | Volume | Berat Struktur |
|---------|--------|--------|-------------------|----------------|
| | | | (m ³) | (kN) |
| 10 | K1B | 12 | 48,960 | 1153,650 |
| | K2B | 6 | 16,320 | 384,550 |
| 9 | K1B | 12 | 48,960 | 1153,650 |
| | K2B | 6 | 16,320 | 384,550 |
| 8 | K1B | 12 | 48,960 | 1153,650 |
| | K2B | 6 | 16,320 | 384,550 |
| 7 | K1B | 12 | 48,960 | 1153,650 |
| | K2B | 6 | 16,320 | 384,550 |
| 6 | K1A | 12 | 48,960 | 1153,650 |
| | K2A | 6 | 16,320 | 384,550 |
| 5 | K1A | 12 | 48,960 | 1153,650 |
| | K2A | 6 | 16,320 | 384,550 |
| 4 | K1A | 12 | 48,960 | 1153,650 |
| | K2A | 6 | 16,320 | 384,550 |
| 3 | K1A | 12 | 48,960 | 1153,650 |
| | K2A | 6 | 16,320 | 384,550 |
| 2 | K1A | 12 | 56,448 | 1330,091 |
| | K2A | 6 | 18,816 | 443,364 |

2. Balok

Berikut dicontohkan perhitungan berat struktur balok pada lantai 3

B1A (1 m x 0,6 m)

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Bersih Balok} &= \text{Panjang balok} - \frac{1}{2} \text{ Kolom kiri} - \frac{1}{2} \text{ Kolom kanan} \\
 &= 12,5 - 0,5 \cdot 1,2 - 0,5 \cdot 1,2 \\
 &= 11,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Balok} = 6$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= \text{Dimensi Balok} \times \text{Panjang Bersih} \times \text{Jumlah} \\
 &= (1 \times 0,6) \times 11,3 \times 6 \\
 &= 40,680 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok} &= \text{Volume} \times \text{Bj beton} \\
 &= 40,680 \times 23,563 \\
 &= 958,548 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan berat struktur balok dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Berat Struktur Balok Pada Setiap Tingkat

| Tingkat | Elemen | Jumlah | Volume | Berat Struktur |
|---------|--------|--------|-------------------|----------------|
| | | | (m ³) | (kN) |
| Atap | B1B | 8 | 36,120 | 851,100 |
| | B2B | 16 | 28,392 | 669,004 |
| | B1K | 4 | 6,120 | 144,206 |
| | B3K | 20 | 6,606 | 155,658 |
| | B3 | 23 | 28,939 | 681,884 |
| | B4 | 20 | 12,634 | 297,687 |
| 12 | B1B | 6 | 40,680 | 958,548 |
| | B2B | 27 | 42,840 | 1009,444 |
| | B3 | 56 | 72,180 | 1700,786 |
| | B4 | 25 | 7,206 | 169,796 |
| 11 | B1B | 6 | 40,680 | 958,548 |
| | B2B | 27 | 42,840 | 1009,444 |
| | B3 | 56 | 72,180 | 1700,786 |
| | B4 | 47 | 15,798 | 372,250 |
| 10 | B1B | 6 | 36,436 | 958,548 |
| | B2B | 27 | 42,840 | 1009,444 |
| | B3 | 56 | 72,180 | 1700,786 |
| | B4 | 47 | 15,798 | 372,250 |
| 9 | B1A | 6 | 36,436 | 958,548 |
| | B2 | 27 | 42,840 | 1009,444 |
| | B3 | 56 | 72,180 | 1700,786 |
| | B4 | 47 | 15,798 | 372,250 |
| 8 | B1A | 6 | 36,436 | 958,548 |
| | B2A | 27 | 42,840 | 1009,444 |
| | B3 | 56 | 72,180 | 1700,786 |
| | B4 | 47 | 15,798 | 372,250 |
| 7 | B1A | 6 | 36,436 | 958,548 |
| | B2A | 27 | 42,840 | 1009,444 |
| | B3 | 56 | 72,180 | 1700,786 |
| | B4 | 47 | 15,798 | 372,250 |

Lanjutan Tabel 5.4 Rekapitulasi Berat Struktur Balok Pada Setiap Tingkat

| Tingkat | Elemen | Jumlah | Volume | Berat Struktur |
|---------|--------|--------|-------------------|----------------|
| | | | (m ³) | (kN) |
| 6 | B1A | 6 | 36,436 | 958,548 |
| | B2A | 27 | 42,840 | 1009,444 |
| | B3 | 56 | 72,180 | 1700,786 |
| | B4 | 47 | 15,798 | 372,250 |
| 5 | B1A | 6 | 36,436 | 958,548 |
| | B2A | 27 | 42,840 | 1009,444 |
| | B3 | 56 | 72,180 | 1700,786 |
| | B4 | 47 | 15,798 | 372,250 |
| 4 | B1A | 6 | 36,436 | 958,548 |
| | B2A | 27 | 42,840 | 1009,444 |
| | B3 | 56 | 72,180 | 1700,786 |
| | B4 | 47 | 15,798 | 372,250 |
| 3 | B1A | 6 | 36,436 | 958,548 |
| | B2A | 27 | 42,840 | 1009,444 |
| | B3 | 56 | 72,180 | 1700,786 |
| | B4 | 47 | 15,798 | 372,250 |
| 2 | B1A | 3 | 40,800 | 479,273 |
| | B2A | 27 | 16,320 | 384,550 |
| | B1C | 1 | 36,120 | 851,100 |
| | B2K | 3 | 28,392 | 669,004 |
| | B3 | 45 | 6,120 | 144,206 |
| | B4 | 7 | 6,606 | 155,658 |

3. Pelat

Perhitungan beban mati tambahan pada pelat lantai dan pelat atap dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.5 Perhitungan Beban Mati Tambahan Pelat Lantai

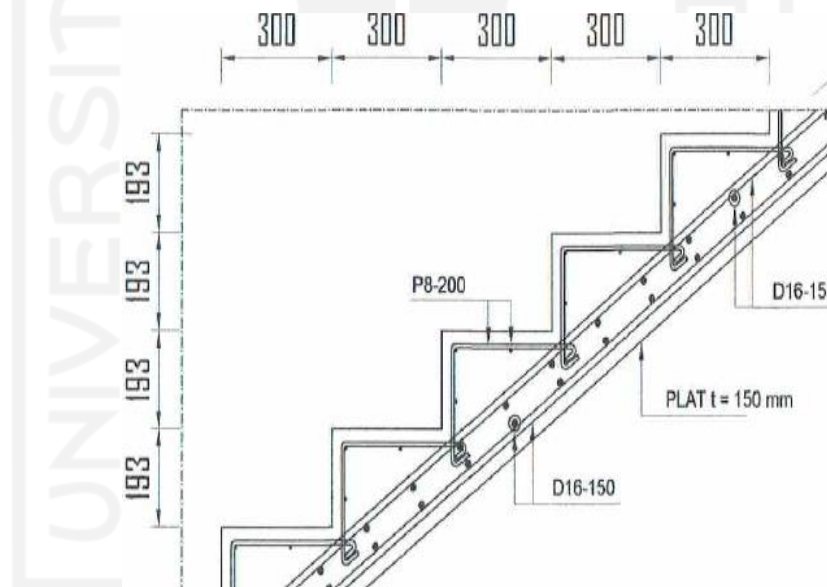
| No | Material | Tebal (m) | Bj (kN/m ³) | Beban (kN/m ²) |
|-----------|-----------------------|-----------|-------------------------|----------------------------|
| 1 | Spesi | 0,02 | 22 | 0,44 |
| 2 | Pasir | 0,05 | 16,677 | 0,834 |
| 3 | Keramik | | | 0,17 |
| 4 | Plafon | | | 0,11 |
| 5 | Instalasi Plumbing+ME | | | 0,25 |
| Qd Lantai | | | | 1,804 |

Tabel 5.6 Perhitungan Beban Mati Tambahan Pelat Atap

| No | Material | Tebal (m) | Bj (kN/m ³) | Beban (kN/m ²) |
|---------|---------------------|-----------|-------------------------|----------------------------|
| 1 | Spesi | 0,02 | 22 | 0,44 |
| 2 | Lap. Kedap Air | 0,04 | 18,64 | 0,746 |
| 3 | Genangan Air | | | 0,10 |
| 4 | Sanitasi + Plumbing | | | 0,25 |
| Qd Atap | | | | 1,536 |

4. Tangga

Pada penelitian ini tangga tidak dimodelkan namun berat sendiri tangga tetap dimasukkan sebagai pembebanan. Perhitungan pembebanan pada tangga dan bordes dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 berikut.

**Gambar 5.1 Detail Struktur Tangga**

(sumber: *As built drawing*, 2018)

$$\begin{aligned}
 \text{a. } s &= 19,3 \text{ cm} \\
 \text{b. } a &= 30 \text{ cm} \\
 \text{c. Sudut kemiringan} &= \tan^{-1} \left(\frac{s}{a} \right) \\
 &= \tan^{-1} \left(\frac{19,3}{30} \right) \\
 &= 32,755^\circ
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. Berat sendiri pelat tangga} &= \frac{t}{\cos \alpha} \cdot B_j & (5.2) \\
 &= \frac{0,15}{32,755} \cdot 24 \\
 &= 4,281 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{e. Beban anak tangga / 1 m} &= \frac{1}{2} \cdot s \cdot a \cdot B_j & (5.3) \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 0,193 \cdot 0,3 \cdot 24 \\
 &= 0,695 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{f. Berat anak tangga / 1 m} &= \text{Beban anak tangga} \times \frac{100}{a} & (5.4) \\
 &= 0,695 \times \frac{100}{30} \\
 &= 2,316 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.7 Perhitungan Beban Mati Tambahan Pada Pelat Tangga

| No | Material | Tebal (m) | Bj (kN/m ³) | Beban (kN/m) |
|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------------|
| 1 | Berat sendiri tangga | 0,15 | 24 | 4,281 |
| 2 | Berat anak tangga / 1 m | | | 2,316 |
| 3 | Spesi | 0,02 | 19,130 | 0,382 |
| 4 | Keramik | | | 0,170 |
| 5 | Pasir | 0,03 | 17,658 | 0,530 |
| QD Tangga | | | | 7,679 |

Tabel 5.8 Perhitungan Beban Mati Tambahan Pada Pelat Bordes

| No | Material | Tebal (m) | Bj (kN/m ³) | Beban (kN/m) |
|-----------|----------------------|-----------|-------------------------|--------------|
| 1 | Berat sendiri bordes | 0,15 | 24 | 3,6 |
| 2 | Spesi | 0,02 | 19,130 | 0,382 |
| 3 | Keramik | | | 0,170 |
| 4 | pasir | 0,03 | 17,658 | 0,530 |
| QD Bordes | | | | 4,682 |

5. Dinding

Pada beban dinding terdiri dari dinding tidak penuh di asumsikan (dinding 60%) dan dinding penuh. Dinding akan dibebankan tepat di atas balok disetiap tingkat. contoh perhitungan berat dinding pada lantai 2 dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Berat Dinding Pada Lantai 2

| No | Nama | % | Kode Balok | Panjang | Tebal Dinding | T Kolom | H Balok | Tebal Pelat | T Dinding | Jumlah | Volume | Bj | Berat (Vol X Bj) |
|--------|---------------------------|-----|------------|---------|---------------|---------|---------|-------------|-----------|--------|-------------------|----------------------|------------------|
| | | | | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | | (m ³) | (kN/m ³) | (kN) |
| 1 | Full Dinding | 1 | B1A | 7,55 | 0,15 | 4,25 | 1 | 0,12 | 3,13 | 2 | 7,0895 | 16,677 | 118,231 |
| 2 | Full Dinding | 1 | B2A | 7,36 | 0,15 | 4,25 | 0,7 | 0,12 | 3,43 | 6 | 22,7203 | 16,677 | 378,907 |
| 3 | Dinding + Pintu + Jendela | 0,6 | | 7,36 | 0,15 | 4,25 | 0,7 | 0,12 | 3,43 | 1 | 3,7867 | 16,677 | 37,891 |
| 4 | Full Dinding | 1 | | 8 | 0,15 | 4,25 | 0,7 | 0,12 | 3,43 | 7 | 28,8120 | 16,677 | 480,498 |
| 5 | Dinding + Pintu + Jendela | 0,6 | | 8 | 0,15 | 4,25 | 0,7 | 0,12 | 3,43 | 4 | 16,4640 | 16,677 | 164,742 |
| 6 | Full Dinding | 1 | | B1C | 7,55 | 0,15 | 4,25 | 0,9 | 0,12 | 3,23 | 1 | 3,6580 | 16,677 |
| 7 | Dinding + Pintu + Jendela | 0,6 | B3 | 8 | 0,15 | 4,25 | 0,6 | 0,12 | 3,53 | 1 | 4,2360 | 16,677 | 42,386 |
| 8 | Dinding + Pintu + Jendela | 0,6 | | 6,1 | 0,15 | 4,25 | 0,6 | 0,12 | 3,53 | 2 | 6,4599 | 16,677 | 64,639 |
| 9 | Full Dinding | 1 | | 2,365 | 0,15 | 4,25 | 0,6 | 0,12 | 3,53 | 2 | 2,4992 | 16,677 | 41,680 |
| 10 | Full Dinding | 1 | B4 | 2,365 | 0,15 | 4,25 | 0,6 | 0,12 | 3,53 | 3 | 3,7568 | 16,677 | 62,652 |
| Jumlah | | | | | | | | | | | 99,482 | | 1452,629 |

Rekapitulasi hasil perhitungan berat struktur dinding dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Berat Dinding Pada Setiap Tingkat

| Lantai | Elevasi | Berat (kN) |
|--------|---------|------------|
| 12 | +47,45 | 849,598 |
| 11 | +43,20 | 1253,540 |
| 10 | +38,95 | 1253,540 |
| 9 | +34,70 | 1256,355 |
| 8 | +30,45 | 1256,355 |
| 7 | +26,20 | 1256,355 |
| 6 | +21,95 | 1256,355 |
| 5 | +17,70 | 1256,355 |
| 4 | +13,45 | 1256,355 |
| 3 | +9,20 | 1301,462 |
| 2 | +4,90 | 1452,629 |
| Dasar | -0,05 | 1729,638 |

5.2.2 Beban Hidup

Beban hidup yang diperhitungkan mengacu pada SNI 1727-2013. Berikut merupakan nilai beban hidup yang digunakan sesuai dengan fungsi ruangan.

Ruang Kelas = 1,92 kN/m²

Koridor di lantai pertama = 4,79 kN/m²

Koridor di atas lantai pertama = 3,83 kN/m²

Ruang pertemuan = 4,79 kN/m²

Atap = 0,96 kN/m²

5.3 Berat Total Bangunan

Berat suatu bangunan sangat berpengaruh terhadap gaya gempa yang terjadi, semakin besar berat bangunan maka semakin besar juga gaya gempa yang terjadi pada bangunan tersebut. Rekapitulasi berat bangunan perhitungan Excel pada setiap tingkat dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Total Berat Bangunan Pada Setiap Tingkat

| Lantai | Elevasi (m) | Berat Total Bangunan (kN) |
|-----------------------------|-------------|---------------------------|
| Atap | +51,70 | 5914,453 |
| 12 | +47,45 | 8491,207 |
| 11 | +43,20 | 9214,762 |
| 10 | +38,95 | 9214,762 |
| 9 | +34,70 | 9217,576 |
| 8 | +30,45 | 9217,576 |
| 7 | +26,20 | 9217,576 |
| 6 | +21,95 | 9217,576 |
| 5 | +17,70 | 9217,576 |
| 4 | +13,45 | 9217,576 |
| 3 | +9,20 | 9262,683 |
| 2 | +4,90 | 7475,892 |
| Dasar | -0,05 | 8031,888 |
| Berat Total Bangunan | | 112911,106 |

Beban mati pada perhitungan berat bangunan dengan bantuan aplikasi telah terhitung otomatis oleh program ETABS v.17, sehingga beban yang perlu di *input* adalah beban mati tambahan, dan beban hidup yang bekerja sesuai fungsi ruangan. Setelah itu dilakukan pengecekan untuk mengetahui kesesuaian struktur dari total berat bangunan hasil *output* program ETABS dengan perhitungan berat struktur menggunakan Excel. Berat bangunan hasil ETABS dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 Berat Total Bangunan Pada ETABS V.17

| Story | Element Type | Material | Total Weight | Floor Area | Unit Weight |
|-------|--------------|----------|--------------|----------------|-------------------|
| | | | kN | m ² | kN/m ² |
| TOTAL | ALL | ALL | 113828,217 | 10521,35 | 9,3555 |

(Sumber : Hasil Analisis Berat Total Bangunan ETABS v.17)

$$\begin{aligned}
\text{Kontrol Pembebanan} &= \frac{(\text{Beban Etabs} - \text{Perhitungan Beban Rencana})}{\text{Perhitungan Beban Rencana}} \times 100\% \\
&= \frac{(113828,217 - 112911,106)}{112911,106} \times 100\% \\
&= 0,81 \%
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapat selisih berat bangunan dengan persentase sebesar 0,81% yang dimana kurang dari 5% syarat selisih berat hitungan dengan program, sehingga pemodelan dapat dilanjutkan untuk perhitungan.

5.4 Spektrum Respon Desain

Perhitungan beban gempa berupa respon spektrum mengacu pada SNI 1726-2019. Berikut merupakan Langkah-langkah perhitungan respon spektrum.

1. Kategori Resiko Bangunan dan Faktor Keutamaan (I_e)

Gedung berfungsi sebagai sekolah dan fasilitas Pendidikan sehingga berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 3 (kategori resiko bangunan untuk bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa) gedung termasuk kategori resiko IV. Sehingga faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,5.

2. Parameter Percepatan Gempa (S_s dan S_l)

Jenis tanah pada bangunan gedung diasumsikan berjenis tanah sedang (SD). Percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) berdasarkan peta zonasi gempa pada SNI 1726-2019 wilayah Manado memiliki nilai 1,0 – 1,2g, sehingga nilai S_s diambil 1,0 sedangkan nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek 1 detik (S_l) wilayah Manado memiliki nilai 0,4 – 0,5g sehingga nilai S_l diambil 0,45g.

3. Koefisien Situs dan Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa (MCER)

Berdasarkan nilai S_s dan S_l yang didapat, kemudian adalah menentukan nilai faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran periode 1 detik (F_v). Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7 pada SNI 1726-2019 didapatkan nilai F_a sebesar 1,1 dan F_v sebesar 1,85.

4. Parameter Respon Spektrum

Hubungan koefisien situs dan parameter *respon spectra* tersebut adalah:

Percepatan pada periode pendek (S_{ms})

$$\begin{aligned} S_{ms} &= F_a \times S_s \\ &= 1,1 \times 1 \\ &= 1,1 \text{ g} \end{aligned} \quad (5.5)$$

Percepatan pada perioda 1 detik (S_{m1})

$$\begin{aligned} S_{m1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1,85 \times 0,45 \\ &= 0,833 \text{ g} \end{aligned} \quad (5.6)$$

5. Parameter Percepatan Spektral Desain

Spektral desain untuk periode pendek (S_{Ds})

$$\begin{aligned} S_{Ds} &= \frac{2}{3} \times S_{ms} \\ &= \frac{2}{3} \times 1,1 \\ &= 0,733 \end{aligned} \quad (5.7)$$

Spektral desain perioda 1 detik (S_{D1})

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{m1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,833 \\ &= 0,555 \end{aligned} \quad (5.8)$$

6. Spektrum Respon Percepatan Desain

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \\ &= 0,2 \frac{0,555}{0,733} \\ &= 0,151 \end{aligned} \quad (5.9)$$

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \\ &= \frac{0,555}{0,733} \\ &= 0,757 \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$S_a = S_{D_s} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (5.11)$$

$$= 0,733 \left(0,4 + 0,6 \frac{0}{0,151} \right)$$

$$= 0,293 \text{ untuk } T < T_0$$

$$S_a = S_{D_s}$$

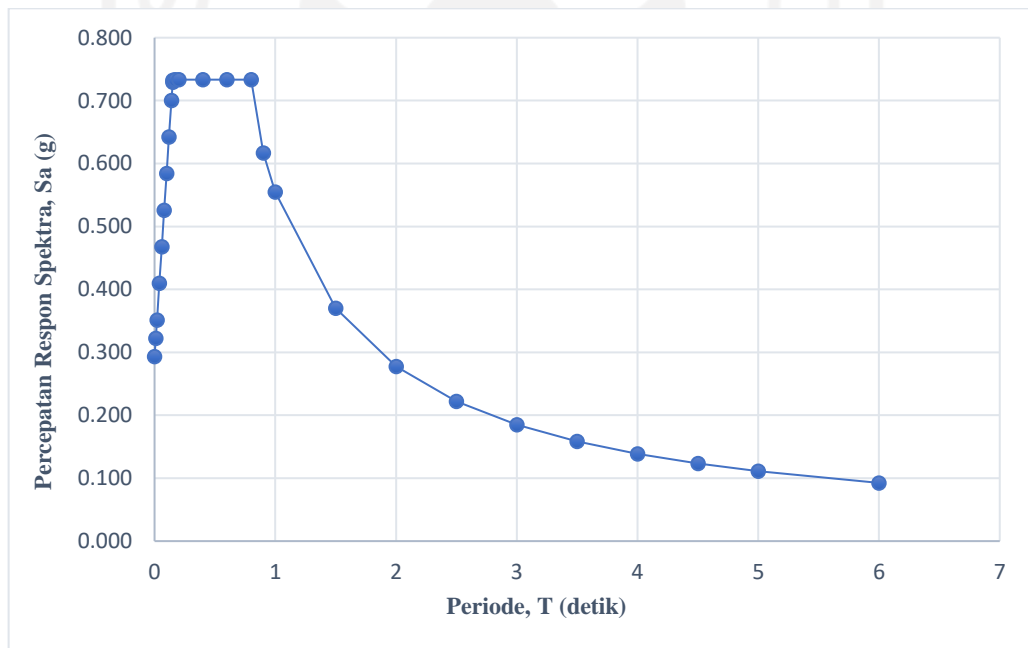
$$= 0,733 \text{ untuk } T_0 \leq T \leq T_s$$

$$S_a = \frac{SD_1}{T} \quad (5.12)$$

$$= \frac{0,555}{2}$$

$$= 0,278 \text{ untuk } T_0 > T_s$$

Berdasarkan parameter dari perhitungan di atas grafik respon spektrum dapat dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Grafik Respon Spektrum

5.5 Periode Fundamental Struktur

1. Menentukan Waktu Getar Struktur (T)

$$\begin{aligned} T_a &= C_t h_n^x \\ &= 0,0466 \times 51,7^{0,9} \\ &= 1,624 \text{ detik} \end{aligned}$$

Keterangan:

- h_n = Tinggi total bangunan dari dasar sampai atap (m)
 C_t = Koefesien didapat dari Tabel 18 SNI 1726-2019
 dimana nilai C_t diambil 0,0466
 x = Didapat dari Tabel 18 SNI 1726-2019 diambil 0,9
 karena tipe struktur menggunakan rangka beton
 pemikul momen

2. Nilai Periode Maksimum

Karena nilai $SDI > 0,4$ digunakan $C_u = 1,4$ (diambil dari Tabel 17 SNI 1726-2019)

$$\begin{aligned} T_{max} &= C_u \times T_a && (5.13) \\ &= 1,4 \times 1,624 \\ &= 2,273 \text{ detik} \end{aligned}$$

3. Nilai Periode Struktur Hasil Pemodelan

Nilai T_c merupakan nilai yang didapatkan dari hasil analisis ETABS v.17

Nilai $T_c = 1,900$ detik

Dari hasil perhitungan di atas, dapat ditentukan periode fundamental struktur yang digunakan sesuai dengan persyaratan berikut.

- Jika $T_{comp} > T_a \text{ max}$ maka digunakan $T = T_a \text{ max}$
- Jika $T_a < T_{comp} < T_a \text{ max}$ maka digunakan $T = T_{comp}$
- Jika $T_{comp} < T_a$ maka digunakan $T = T_a$

Dari hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa nilai $T_a < T_{comp} < T_a \text{ max}$ sehingga nilai T yang digunakan adalah $T_a = 1,900$ detik.

5.6 Koefesien Respon Seismik

Nilai koefesien respon seismik dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

- a. Nilai C_s

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{SD_s}{\frac{R}{I_e}} & (5.14) \\
 &= \frac{0,733}{\frac{8}{1,5}} \\
 &= 0,1375
 \end{aligned}$$

Keterangan:

R = Koefesien modifikasi respons didapat dari Tabel 12 SNI 1726-2019 diambil nilai $R = 8$ karena tipe struktur merupakan rangka beton bertulang pemikul momen khusus

I_e = Faktor keutamaan gempa

- b. Nilai C_s tidak perlu melebihi $C_s \max$

$$\begin{aligned}
 C_s \max &= \frac{SD1}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} & (5.15) \\
 &= \frac{0,555}{1,9 \left(\frac{8}{1,5} \right)} \\
 &= 0,055
 \end{aligned}$$

- c. Nilai C_s tidak kurang dari

$$\begin{aligned}
 C_s \min &= 0,044 \times SD_s \times I_e > 0,01 & (5.16) \\
 &= 0,044 \times 0,733 \times 1,5 \\
 &= 0,048
 \end{aligned}$$

Nilai C_s tidak perlu melebihi $C_s \max$ dan tidak kurang dari $C_s \min$, jadi didapatkan nilai C_s pakai = 0,055

d. Gaya Geser Dasar

Perhitungan gaya geser dasar seismik dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

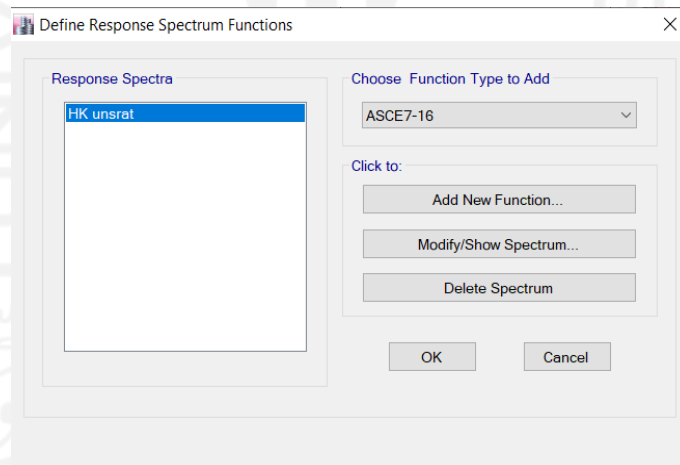
$$\begin{aligned} V_{\text{statik}} &= C_s \times W_t & (5.17) \\ &= 0,055 \times 112911,106 \\ &= 6184,1116 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.7 Analisis Beban Gempa Respon Spektrum

Pada analisis beban gempa respon spektrum meliputi input data respon spektrum, definisi tipe analisis respon spektrum, penentuan massa struktur, gaya lateral respon spektrum, dan kombinasi beban dengan penjelasan berikut ini.

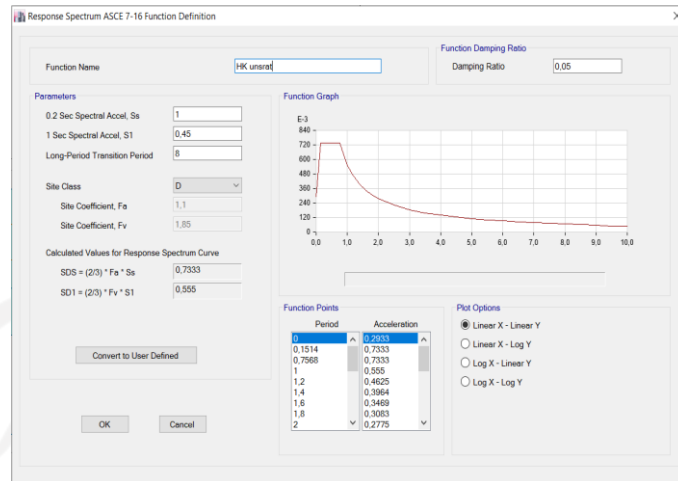
5.7.1 Input Data Respon Spektrum

Cara input data respon spektrum adalah dengan cara, pilih menu *Define – Function – Response Spectrum* pada *boxes option* di *chose function type to add* – pilih ASCE 7-16 (ASCE 7-16 dipilih karena peraturan ini merupakan adaptasi dari peraturan terbaru yaitu SNI 1726-2019) kemudian disesuaikan zonasi peta gempa di Indonesia. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.3 Responses Spectrum Function

Kemudian akan muncul kotak dialog, kemudian diisi sesuai dengan parameter yang diperlukan S_s , S_l , *site clas* seperti pada Gambar 5.4 berikut ini.



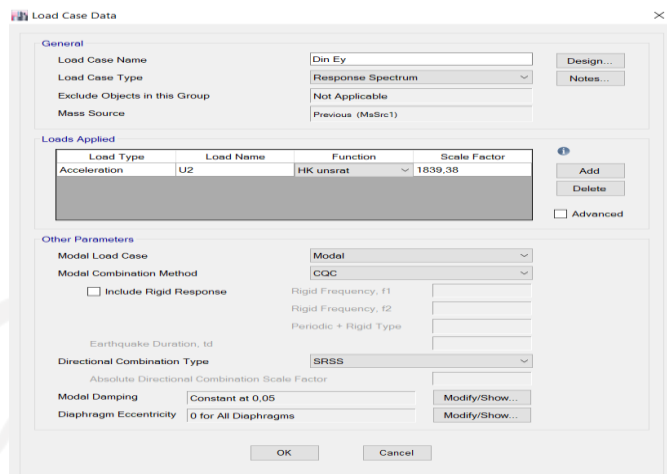
Gambar 5.4 Mengisi Parameter Respon Spektrum

5.7.2 Definisi Tipe Analisis Respon Spektrum

Mendefinisikan tipe analisis respon spektrum dilakukan dengan cara pilih menu *define – Load case – Add New Case*. Kemudian Langkah pertama isikan *Load Case Name* DinEx untuk arah-x dan DinEy untuk arah-y. Kemudian pilih *Load Cases Type Response Spectrum*. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 berikut ini.

| Load Type | Load Name | Function | Scale Factor |
|--------------|-----------|-----------|--------------|
| Acceleration | U1 | HK unsrat | 1839.38 |

Gambar 5.5 Response Spectrum Cases DinEx

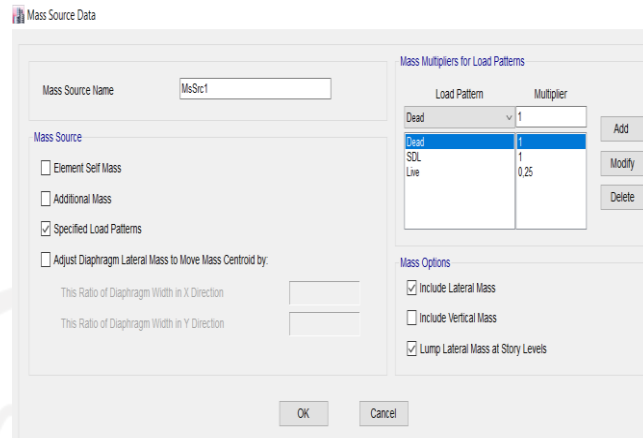


Gambar 5.6 Response Spectrum Cases DinEy

Pada kotak dialog modal *combination* dipilih CQC (*Complete quadratic combination*) dan pada kotak dialog *directional combination type* dipilih SRSS (*Square Root of the Sum of Squares*). Untuk DinEx dan DinEy pada kotak dialog *Input Response Spectra* U1 untuk arah-x dan U2 untuk arah-y yang masing-masing diisi dengan nilai 1839,38 didapatkan dari $\frac{I_e}{R} \times 9,81$.

5.7.3 Penentuan Massa Struktur (*Mass Source*)

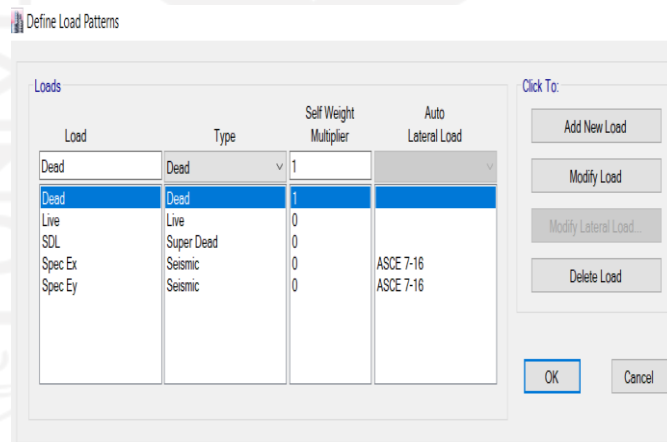
Dalam melakukan analisis dinamik respon spektrum, secara garis besar beban berasal dari percepatan gempa dikalikan dengan massa struktur. Oleh karena itu pendefinisian massa struktur juga sangat penting dalam analisis, mengingat dalam mendefinisikan suatu gaya atau beban gempa yang tidak tepat maka akan menghasilkan gaya terlalu besar atau terlalu kecil. Pendefinisian massa struktur dapat dilakukan dengan cara pilih *Menu Define – Mass Source* – pada *Boxes Option Mass Source* pilih *Specified Load Patterns* – isikan pada *Mass Multipliers For Load Patterns* dengan *dead load* = 1, *SDL (super dead Load)* = 1, dan *live load* = 0,25 berat seismik efektif diambil minimum 25% dari total beban hidup yang dihitung berdasarkan SNI 1726-2019. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.



Gambar 5.7 Mass Source

5.7.4 Gaya Lateral Spectrum Response Analysis

Pemberian beban lateral dilakukan dengan cara pilih *define – Load Patterns* – buat SpecEx untuk arah-x dan specEy untuk arah-y lalu pilih *type seismic* – isi kotak dialog *lateral load* dengan ASCE 7-16. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini.



Gambar 5.8 Define Load Patterns

Kemudian klik specEx lalu klik *Modify Lateral Load*. Kemudian isi kotak dialog *seismic coefficients* dengan data gempa yang telah dihitung. Setelah diisi kemudian sesuaikan *Direction and Eccentricity* untuk arah-x centang kotak dialog yang arah-x dan untuk arah-y centang kotak dialog arah-y – lalu klik ok. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 berikut ini.

Gambar 5.9 User Seismic Loading (SpecEx)

Gambar 5.10 User Seismic Loading (SpecEy)

5.7.5 Kombinasi Beban

Dari hasil analisis desain respon spektrum didapatkan nilai SD_s sebesar 0,733 dengan kategori resiko IV dan termasuk kategori desain seismik D.

Berikut ini adalah 18 kombinasi pembebanan yang digunakan dalam analisis dinamik respon spektrum pada penelitian ini.

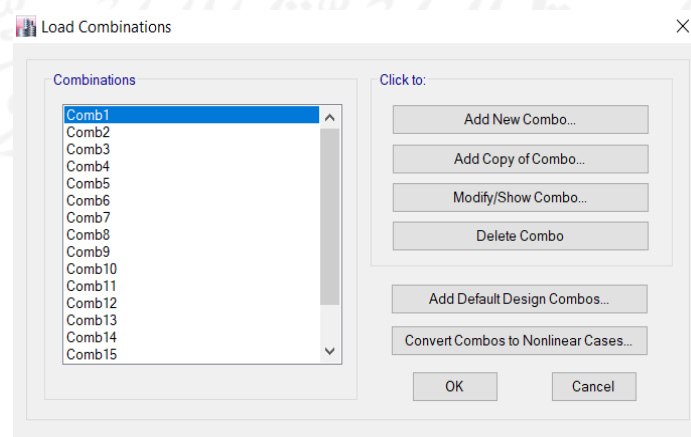
1. Combo 1 : $1,4 D$
2. Combo 2 : $1,2 D + 1,6 L$
3. Combo 3 : $1,34 D + 1,0 L + 1,30 E_{qx} + 0,39 E_{qy}$
4. Combo 4 : $1,34 D + 1,0 L + 1,30 E_{qx} - 0,39 E_{qy}$
5. Combo 5 : $1,34 D + 1,0 L - 1,30 E_{qx} - 0,39 E_{qy}$

6. Combo 6 : $1,34 D + 1,0 L - 1,30 Eqx + 0,39 Eqy$
7. Combo 7 : $1,34 D + 1,0 L + 0,39 Eqx + 1,30 Eqy$
8. Combo 8 : $1,34 D + 1,0 L + 0,39 Eqx - 1,30 Eqy$
9. Combo 9 : $1,34 D + 1,0 L - 0,39 Eqx - 1,30 Eqy$
10. Combo 10 : $1,34 D + 1,0 L - 0,39 Eqx + 1,30 Eqy$
11. Combo 11 : $0,76 D + 1,30 Eqx + 0,39 Eqy$
12. Combo 12 : $0,76 D + 1,30 Eqx - 0,39 Eqy$
13. Combo 13 : $0,76 D - 1,30 Eqx - 0,39 Eqy$
14. Combo 14 : $0,76 D - 1,30 Eqx + 0,39 Eqy$
15. Combo 15 : $0,76 D + 0,39 Eqx + 1,30 Eqy$
16. Combo 16 : $0,76 D + 0,39 Eqx - 1,30 Eqy$
17. Combo 17 : $0,76 D - 0,39 Eqx - 1,30 Eqy$
18. Combo 18 : $0,76 D - 0,39 Eqx + 1,30 Eqy$

Keterangan :

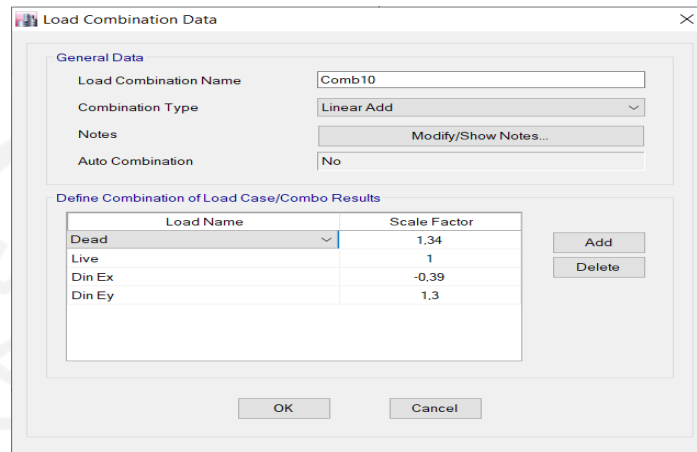
- D = Beban Mati
 L = Beban Hidup
 Eqx = Beban Gempa Arah X
 Eqy = Beban Gempa Arah Y

Cara input nilai kombinasi beban, pilih menu *Define – Load Combinaton –* kemudian pilih *Add New Combo*. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini.



Gambar 5.11 Membuat Load Combination

lalu akan muncul kotak dialog, kemudian masukan nilai *Scale Factor* sesuai kombinasi yang telah ditentukan pada tiap-tiap *Load Pattern* – lalu klik ok. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut ini.



Gambar 5.12 Load Combination Data

5.8 Pengecekan *Base Shear* dan *Mass Participant Ratio*

Setelah bangunan dimodelkan dan analisis dinamik respon spektrum telah dilakukan selanjutnya perlu dilakukan pengecekan nilai *Base Shear* dan *Mass Participant Ratio*.

5.8.1 Pengecekan Nilai *Base Shear*

Nilai gaya geser dasar dinamik harus lebih besar dari nilai gaya geser dasar statik. Jika nilai nilai gaya geser dasar dinamik kurang dari gaya geser dasar statik maka perlu dikalikan angka *scale factor*. Nilai gaya geser dasar dinamik dari hasil analisis ETABS dapat dilihat pada tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Nilai Gaya Geser Dasar

| | Vstatik (kN) | Vdinamik (kN) | Kontrol |
|--------|--------------|---------------|----------------|
| Arah X | 6184,1116 | 4143,2548 | Belum Memenuhi |
| Arah Y | 6184,1116 | 4760,0516 | Belum Memenuhi |

Berdasarkan hasil analisis program ETABS didapatkan nilai gaya geser dasar dinamik kurang dari nilai gaya geser dasar statik sehingga harus dilakukan penskalaan gaya. Berikut ini merupakan tahapan perhitungan faktor skala.

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala arah X} &= \frac{100\% V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \\ &= \frac{6184,1116}{4143,2548} \\ &= 1,50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala arah Y} &= \frac{100\% V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \\ &= \frac{6184,1116}{4760,0516} \\ &= 1,30 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan faktor skala selanjutnya nilai tersebut di *input* pada program ETABS v.17 kemudian dilakukan analisis ulang untuk mendapatkan hasil gaya geser dasar Vdinamik baru setelah di skala ulang kemudian dari hasil Vdinamik baru tersebut dibandingkan kembali dengan gaya geser dasar Vstatik. Untuk hasil analisis Vdinamik setelah dikali faktor skala dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5.14 Nilai Gaya Geser Dasar Setelah Dilakukan Faktor Skala

| | Vstatik (kN) | Vdinamik (kN) | Kontrol |
|--------|--------------|---------------|----------|
| Arah X | 6184,1116 | 6190,0143 | Memenuhi |
| Arah Y | 6184,1116 | 6188,0568 | Memenuhi |

Berdasarkan tabel di atas didapatkan nilai gaya geser dasar setelah dilakukan penskalaan gaya Vdinamik lebih besar dari Vstatik sehingga telah memenuhi gaya geser dasar yang diisyaratkan sesuai SNI-1726-2019.

5.8.2 Cek *Mass Participant Ratio*

Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1, Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik. Nilai partisipasi massa dapat dilihat dengan cara *Display – Show Table – Results – Modal Mass*

Participating Ratios. Partisipasi massa masing-masing mode dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut ini.

Tabel 5.15 Partisipasi Massa

| Mode | <i>Mass Participating Ratio</i> | | |
|------|---------------------------------|--------|--------|
| | Period | SUM UX | SUM UY |
| 180 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| 181 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| 182 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| 183 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| 184 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| 185 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| 186 | 0,002 | 0,9981 | 0,999 |
| 187 | 0,002 | 0,9981 | 1 |
| 188 | 0,002 | 0,9991 | 1 |
| 189 | 0,002 | 1 | 1 |

Setelah dilakukan analisis struktur menggunakan ETABS v.17 didapatkan hasil nilai partisipasi massa mencapai 100% untuk arah-x dan arah-y terdapat pada mode 189 sehingga sudah memenuhi syarat. Untuk lebih jelasnya terkait nilai partisipasi massa pada tiap-tiap mode dapat dilihat pada Lampiran 2 halaman 105.

5.9 Cek Ketidakberaturan Struktur

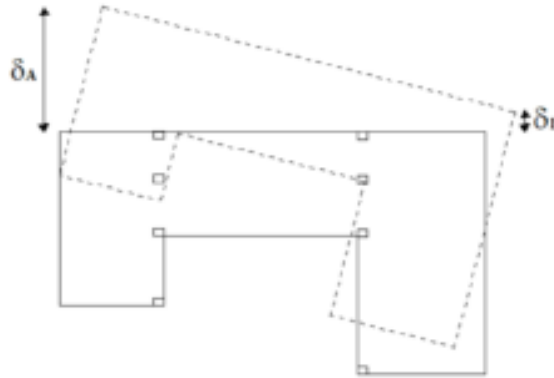
Struktur bangunan gedung harus diklasifikasikan sebagai beraturan atau tidak beraturan berdasarkan pada kriteria dalam SNI 1726-2019 pasal 7.3.2. klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung.

5.9.1 Ketidakberaturan Horizontal

1. Ketidakberaturan Torsi

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 13, ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur (ketidak beraturan 1.a). ketidakberaturan torsi berlebihan dinyatakan ada bila simpangan maksimum melebihi 1,4 kali simpangan rata-rata (ketidakberaturan

1.b). persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.



Gambar 5.13 Ketidakberaturan Torsi

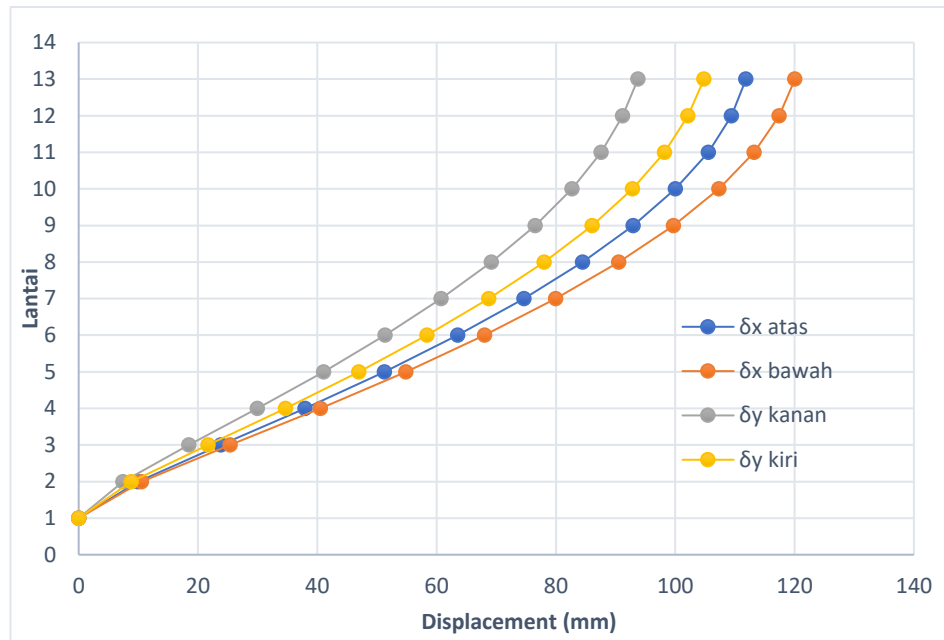
(Sumber: SNI 1726-2019)

Simpangan antar tingkat didapatkan dari hasil analisis program ETABS dengan cara *Display - Show Table – Results – Displacement – Joint Displacement*. Berikut nilai simpangan antar tingkat dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5.16 Simpangan Antar Tingkat Hasil ETABS

| Lantai | δ_{xatas} | δ_{xbawah} | δ_{ykanan} | δ_{ykiri} |
|--------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) |
| Atap | 111,863 | 120,074 | 93,748 | 104,832 |
| 12 | 109,402 | 117,415 | 91,207 | 102,123 |
| 11 | 105,538 | 113,243 | 87,589 | 98,203 |
| 10 | 100,033 | 107,31 | 82,689 | 92,851 |
| 9 | 92,959 | 99,695 | 76,524 | 86,089 |
| 8 | 84,455 | 90,543 | 69,19 | 78,027 |
| 7 | 74,632 | 79,972 | 60,782 | 68,767 |
| 6 | 63,557 | 68,059 | 51,376 | 58,392 |
| 5 | 51,288 | 54,871 | 41,058 | 46,983 |
| 4 | 37,937 | 40,535 | 29,984 | 34,676 |
| 3 | 23,830 | 25,412 | 18,477 | 21,714 |
| 2 | 9,926 | 10,532 | 7,412 | 8,822 |
| Dasar | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,003 |

Berdasarkan data pada Tabel 5.16 penampilan grafis dapat dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.14 berikut ini.



Gambar 5.14 Displacement Pada Setiap Tingkat

Berikut dicontohkan perhitungan pengecekan ketidakberaturan torsi dan perhitungan faktor pembesaran torsi pada lantai 3.

$$\begin{aligned}\Delta 1 &= \delta x_{\text{atas}} \text{ tingkat 3} - \delta x_{\text{atas}} \text{ tingkat 2} \\ &= 23,830 - 9,926 \\ &= 13,904 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta 2 &= \delta x_{\text{bawah}} \text{ tingkat 3} - \delta x_{\text{bawah}} \text{ tingkat 2} \\ &= 25,412 - 10,532 \\ &= 14,880 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_x &= \left(\frac{\delta_{\text{max}}}{1,2 \delta_{\text{avg}}} \right)^2 \\ &= \left(\frac{25,412}{1,2 \cdot 24,621} \right)^2 \\ &= 0,740\end{aligned} \tag{5.18}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan cek ketidakberaturan torsi dan faktor pembesaran torsi dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan Tabel 5.18 berikut ini.

Tabel 5.17 Cek Torsi Arah X

| Lantai | $\Delta 1$ | $\Delta 2$ | $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ | Cek torsi 1a | cek torsi 1b | Ax |
|--------|------------|------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-------|
| | (mm) | (mm) | | | | |
| Atap | 2,461 | 2,659 | 1,039 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,744 |
| 12 | 3,864 | 4,172 | 1,038 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,744 |
| 11 | 5,505 | 5,933 | 1,037 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,744 |
| 10 | 7,074 | 7,615 | 1,037 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,744 |
| 9 | 8,504 | 9,152 | 1,037 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,744 |
| 8 | 9,823 | 10,571 | 1,037 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,744 |
| 7 | 11,075 | 11,913 | 1,036 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,743 |
| 6 | 12,269 | 13,188 | 1,036 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,743 |
| 5 | 13,351 | 14,336 | 1,036 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,742 |
| 4 | 14,107 | 15,123 | 1,035 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,741 |
| 3 | 13,904 | 14,880 | 1,034 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,740 |
| 2 | 9,923 | 10,529 | 1,030 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,736 |
| Dasar | 0,003 | 0,003 | 1,000 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,694 |

Tabel 5.18 Cek Torsi Arah Y

| Lantai | $\Delta 1$ | $\Delta 2$ | $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ | Cek torsi 1a | cek torsi 1b | Ax |
|--------|------------|------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-------|
| | (mm) | (mm) | | | | |
| Atap | 2,541 | 2,709 | 1,032 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,774 |
| 12 | 3,618 | 3,920 | 1,040 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,775 |
| 11 | 4,900 | 5,352 | 1,044 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,776 |
| 10 | 6,165 | 6,762 | 1,046 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,777 |
| 9 | 7,334 | 8,062 | 1,047 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,779 |
| 8 | 8,408 | 9,260 | 1,048 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,780 |
| 7 | 9,406 | 10,375 | 1,049 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,783 |
| 6 | 10,318 | 11,409 | 1,050 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,786 |
| 5 | 11,074 | 12,307 | 1,053 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,791 |
| 4 | 11,507 | 12,962 | 1,059 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,799 |
| 3 | 11,065 | 12,892 | 1,076 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,811 |
| 2 | 7,410 | 8,819 | 1,087 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 0,820 |
| Dasar | 0,002 | 0,003 | 1,000 | Tidak ada torsi | Tidak ada torsi | 1,000 |

Berdasarkan data rekapitulasi hasil perhitungan pada Tabel 5.17 dan Tabel 5.18 penampilan grafis dapat dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.15 berikut ini.

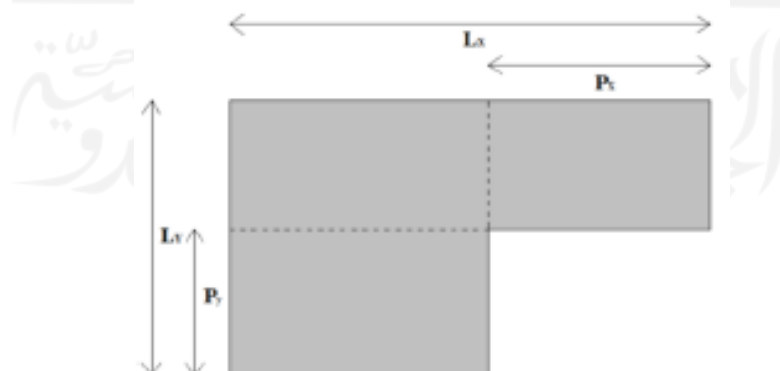


Gambar 5.15 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi

Berdasarkan penampilan grafis dari Gambar 5.15 menunjukkan nilai $\Delta_{max}/\Delta_{avg} \leq 1,2$ (ketidakberaturan torsi 1a) dan $\Delta_{max}/\Delta_{avg} \leq 1,4$ (ketidakberaturan 1b) pada setiap tingkat sehingga berdasarkan persyaratan dapat disimpulkan bangunan tidak terjadi ketidakberaturan torsi.

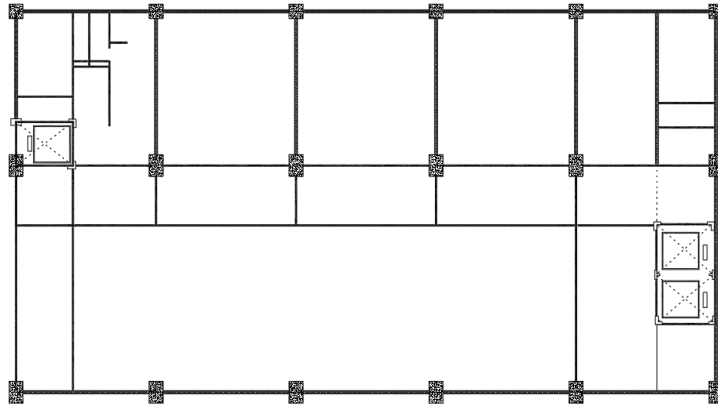
2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 13, Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.



Gambar 5.16 Ketidaberaturan Sudut Dalam

(Sumber: SNI 1726-2019)



Gambar 5.17 Pengecekan Ketidakeraturan Sudut Dalam

Berdasarkan Gambar 5.17 di atas, denah struktur dengan formasi struktur dan peletakan kolom simetris terhadap sumbu ortogonal sehingga dapat disimpulkan bangunan tidak memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

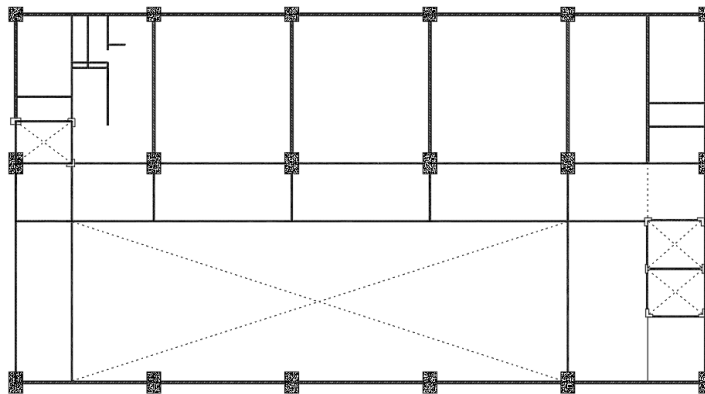
3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 13, ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.



Gambar 5.18 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

(Sumber: SNI 1726-2019)



Gambar 5.19 Pengecekan Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Berdasarkan Gambar 5.19 di atas, didapatkan luas total adalah 515,66 m² dan luas bukaan adalah 270,73 m². bangunan dinyatakan memiliki ketidakberaturan diskontinuitas diafragma jika luas bukaan lebih dari 50%. Berdasarkan perhitungan dilakukan kontrol luas bukaan dengan total < 50% luas total sebagai berikut.

$$\frac{\text{Luas Bukaan}}{\text{luas Total}} \times 100\% < 50\%$$

$$\frac{270,73}{569,27} \times 100\% < 50\%$$

$$0,475 \times 100\% < 50\%$$

$$47,56 \% < 50\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas didapatkan rasio luas bukaan terhadap rasio luas total sebesar 47,56% sehingga dapat disimpulkan bangunan tidak terjadi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma. Rekapitulasi hasil perhitungan kontrol ketidakberaturan diskontinuitas diafragma dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut ini.

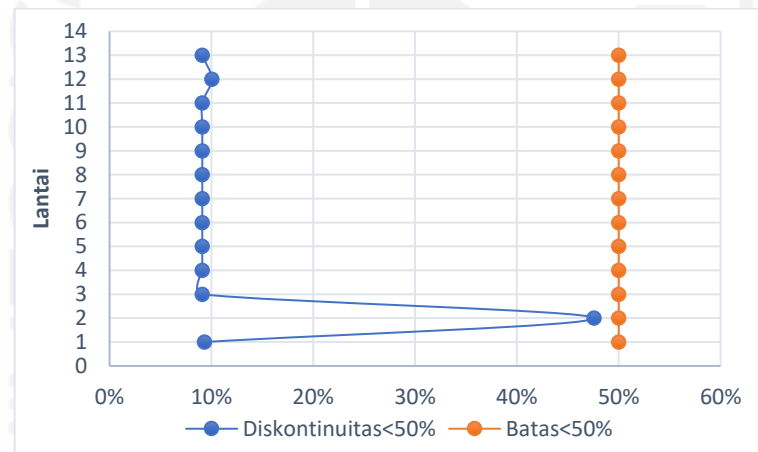
Tabel 5.19 Rekapitulasi Pengecekan Ketidakberturan Diskontinuitas

| Lantai | Atotal (m ²) | Abukaan (m ²) | Rasio Bukaan (%) | Kontrol |
|--------|--------------------------|---------------------------|------------------|-----------|
| Atap | 516,78 | 47,03 | 9,10 | Tidak ada |
| 12 | 800,98 | 80,30 | 10,03 | Tidak ada |
| 11 | 877,78 | 79,98 | 9,11 | Tidak ada |
| 10 | 877,78 | 79,98 | 9,11 | Tidak ada |
| 9 | 877,78 | 79,98 | 9,11 | Tidak ada |
| 8 | 877,78 | 79,98 | 9,11 | Tidak ada |
| 7 | 877,78 | 79,98 | 9,11 | Tidak ada |

**Lanjutan Tabel 5.19 Rekapitulasi Pengecekan Ketidakberturan
Diskontinuitas**

| Lantai | Atotal (m ²) | Abukaan (m ²) | Rasio Bukaan (%) | Kontrol |
|--------|--------------------------|---------------------------|------------------|-----------|
| 6 | 877,78 | 79,98 | 9,11 | Tidak ada |
| 5 | 877,78 | 79,98 | 9,11 | Tidak ada |
| 4 | 877,78 | 79,98 | 9,11 | Tidak ada |
| 3 | 877,78 | 79,98 | 9,11 | Tidak ada |
| 2 | 515,66 | 270,73 | 47,56 | Tidak ada |
| Dasar | 787,90 | 73,32 | 9,31 | Tidak ada |

Berdasarkan data rekapitulasi hasil perhitungan pada Tabel 5.19 penampilan grafis dapat dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.20 berikut ini.

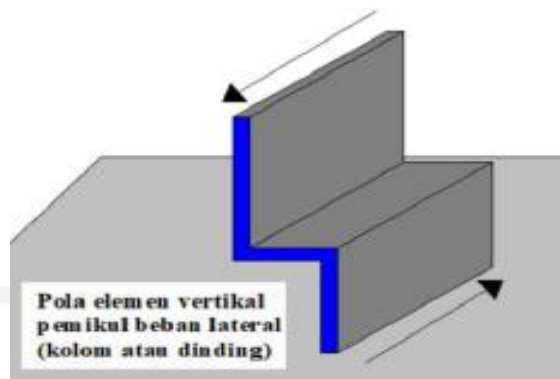


Gambar 5.20 Pengecekan Ketidakberturan Diskontinuitas

Berdasarkan penampilan grafis dari Gambar 5.20 menunjukkan nilai rasio bukaan pada setiap lantai (warna biru) tidak melebihi dari nilai batasan yang diisyaratkan (warna oranye) sehingga berdasarkan persyaratan dapat disimpulkan bangunan tidak memiliki ketidakberturan diskontinuitas diafragma. Persentase Rasio bukaan terbesar berada pada lantai 2 hal ini disebabkan karena pada lantai 2 memiliki luas bukaan lebih besar dibandingkan lantai yang lainnya.

4. Ketidakberturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 13, ketidakberturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.



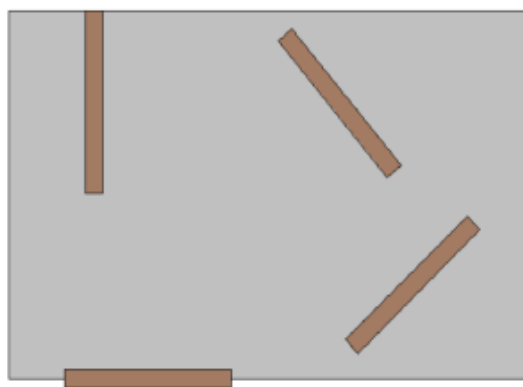
Gambar 5.21 Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

(Sumber: SNI 1726-2019)

Berdasarkan formasi peletakan struktur kolom yang menerus dari bawah sampai atas dan tanpa ada kolom yang menjuru ke dalam atau luar sehingga bangunan dapat dinyatakan tidak memiliki ketidakberaturan pergeseran tegak lurus terhadap bidang.

5. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 13, ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.



Gambar 5.22 Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

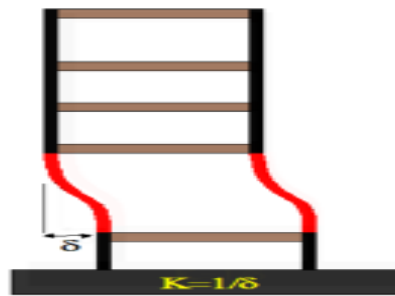
(Sumber: SNI 1726-2019)

Berdasarkan peletakan elemen kolom yang simetris terhadap sumbu ortogonal utama sehingga dapat dinyatakan bangunan tidak memiliki ketidakberaturan sistem nonparalel.

5.9.2 Ketidakberaturan Vertikal

1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 14, ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1.a). ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan dinyatakan ada jika terdapat suatu tingkat kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan 1.b)



Gambar 5.23 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

(Sumber: SNI 1726-2019)

Nilai kekakuan (*stiffness*) didapat dari hasil analisis program ETABS, dengan cara *Display – Show Tables – Analysis – Results – Structure Results – Story Stiffness*. Berikut dicontohkan perhitungan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada lantai 3.

a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Ketidakberaturan vertikal tipe 1.a dinyatakan terjadi apabila,

Kekakuan lateral tingkat $< 70\%$ kekakuan tingkat di atasnya

$$377388,762 < 0,7 \cdot 350091,595$$

$$377388,762 \text{ kN/m} > 245064,117 \text{ kN/m}$$

Kekakuan lateral tingkat < 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya

$$377388,762 < 0,8 (350091,595 + 341811,585 + 339257,896) / 3$$

$$377388,762 \text{ kN/m} > 274976,287 \text{ kN/m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas didapatkan nilai kekakuan lateral lebih besar dari kekakuan lateral satu tingkat di atas dan rata-rata tiga tingkat di atasnya sehingga dapat disimpulkan bangunan pada lantai 3 tidak memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak. Rekapitulasi hasil perhitungan pada setiap tingkat dapat dilihat pada Tabel 5.20 dan Tabel 5.21 berikut ini.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Ketidakeraturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah X

| Lantai | Kekakuan kN/m | Ketidaberaturan 1.a | | Kontrol |
|--------|------------------|---------------------|------------|-----------|
| | | 70% | 80% | |
| 13 | 227929,085 | | | Tidak ada |
| 12 | 328040,508 | 159550,360 | | Tidak ada |
| 11 | 343766,253 | 229628,356 | | Tidak ada |
| 10 | 343767,246 | 240636,377 | 239929,559 | Tidak ada |
| 9 | 341698,789 | 240637,072 | 270819,735 | Tidak ada |
| 8 | 339939,446 | 239189,152 | 274461,943 | Tidak ada |
| 7 | 339007,858 | 237957,612 | 273441,462 | Tidak ada |
| 6 | 339257,896 | 237305,501 | 272172,291 | Tidak ada |
| 5 | 341811,585 | 237480,527 | 271521,387 | Tidak ada |
| 4 | 350091,595 | 239268,110 | 272020,624 | Tidak ada |
| 3 | 377388,762 | 245064,117 | 274976,287 | Tidak ada |
| 2 | 542391,375 | 264172,133 | 285144,518 | Tidak ada |
| 1 | 17130351 | 379673,963 | 338632,462 | Tidak ada |

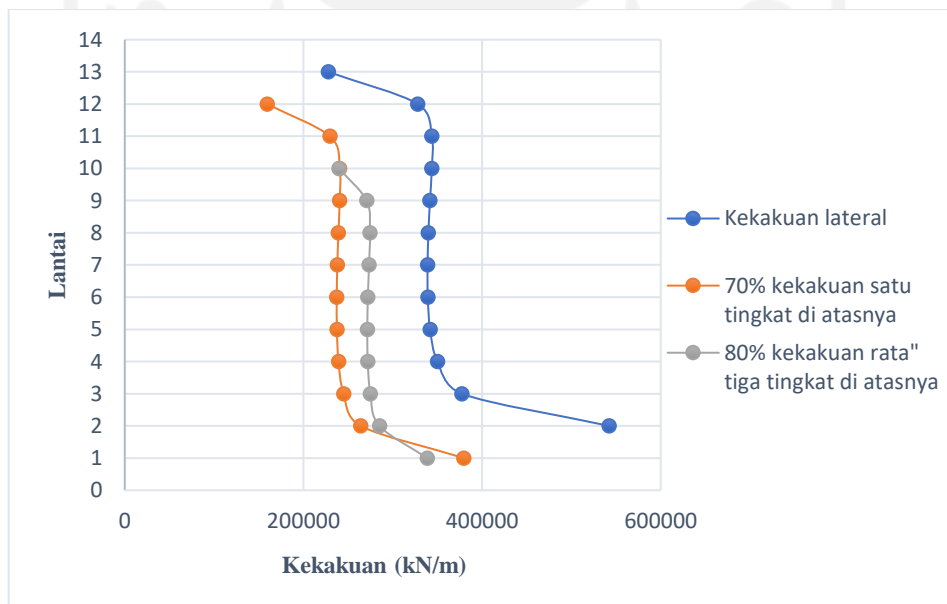
Tabel 5.21 Rekapitulasi Ketidakeraturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y

| Lantai | Kekakuan kN/m | Ketidaberaturan 1.a | | Kontrol |
|--------|------------------|---------------------|------------|-----------|
| | | 70% | 80% | |
| 13 | 257492,406 | | | Tidak ada |
| 12 | 404428,652 | 180244,684 | | Tidak ada |
| 11 | 440277,276 | 283100,056 | | Tidak ada |
| 10 | 446977,684 | 308194,093 | 293919,556 | Tidak ada |
| 9 | 447306,345 | 312884,379 | 344448,963 | Tidak ada |
| 8 | 446814,203 | 313114,442 | 355883,015 | Tidak ada |
| 7 | 447484,894 | 312769,942 | 357626,195 | Tidak ada |
| 6 | 450275,563 | 313239,426 | 357761,451 | Tidak ada |

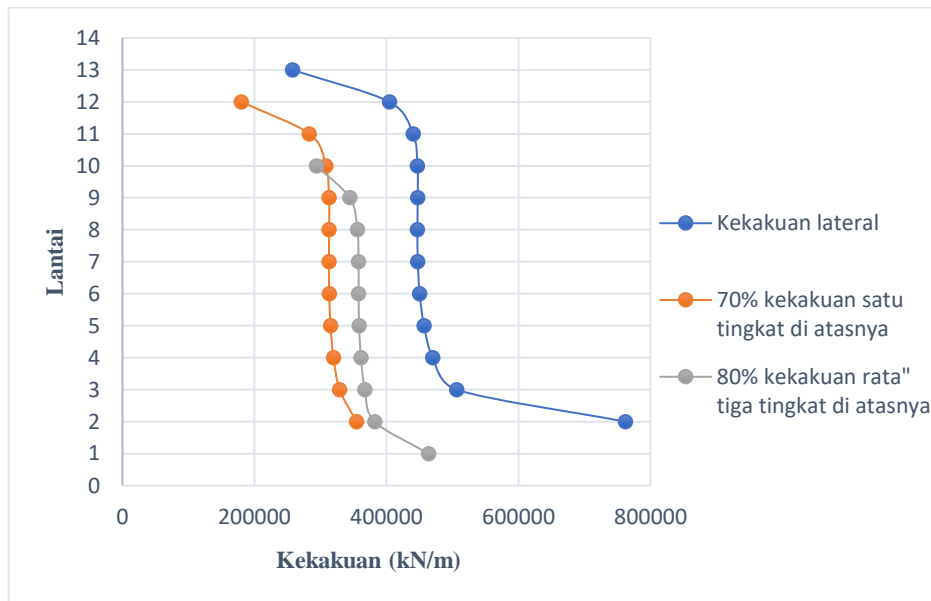
Lanjutan Tabel 5.21 Rekapitulasi Ketidakeraturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y

| Lantai | Kekakuan kN/m | Ketidaberaturan 1.a | | Kontrol |
|--------|------------------|---------------------|------------|-----------|
| | | 70% | 80% | |
| 5 | 456867,349 | 315192,894 | 358553,243 | Tidak ada |
| 4 | 470217,031 | 319807,144 | 361234,082 | Tidak ada |
| 3 | 506386,698 | 329151,922 | 367295,985 | Tidak ada |
| 2 | 762097,943 | 354470,689 | 382258,954 | Tidak ada |
| 1 | 22138038 | 533468,560 | 463653,779 | Tidak ada |

Berdasarkan data rekapitulasi hasil perhitungan pada Tabel 5.20 dan Tabel 5.21 penampilan grafis dapat dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 berikut ini.



Gambar 5.24 Pengecekan Ketidakeraturan Vertikal 1a arah X



Gambar 5.25 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1a Arah Y

Berdasarkan penampilan grafis dari Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 untuk arah-x dan arah-y menunjukkan nilai dari 70% kekakuan lateral satu tingkat di atas (warna oranye) maupun 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (warna abu-abu) tidak melebihi dari nilai kekakuan lateral tingkat (warna biru) pada setiap lantai sehingga berdasarkan persyaratan dapat disimpulkan bangunan tidak memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak.

b. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan

Ketidakberaturan vertikal tipe 1.b dinyatakan terjadi apabila,

Kekakuan lateral tingkat < 60% kekakuan tingkat di atasnya

$$377388,762 < 0,6 \cdot 350091,595$$

$$377388,762 \text{ kN/m} > 210054,957 \text{ kN/m}$$

Kekakuan lateral tingkat < 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya

$$377388,762 < 0,7 (350091,595 + 341811,585 + 339257,896) / 3$$

$$377388,762 \text{ kN/m} > 240604,251 \text{ kN/m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas didapatkan nilai kekakuan lateral lebih besar dari kekakuan lateral satu tingkat di atas maupun kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya sehingga dapat disimpulkan bangunan pada lantai 3 tidak

memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan. Rekapitulasi hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan Tabel 5.23 berikut ini.

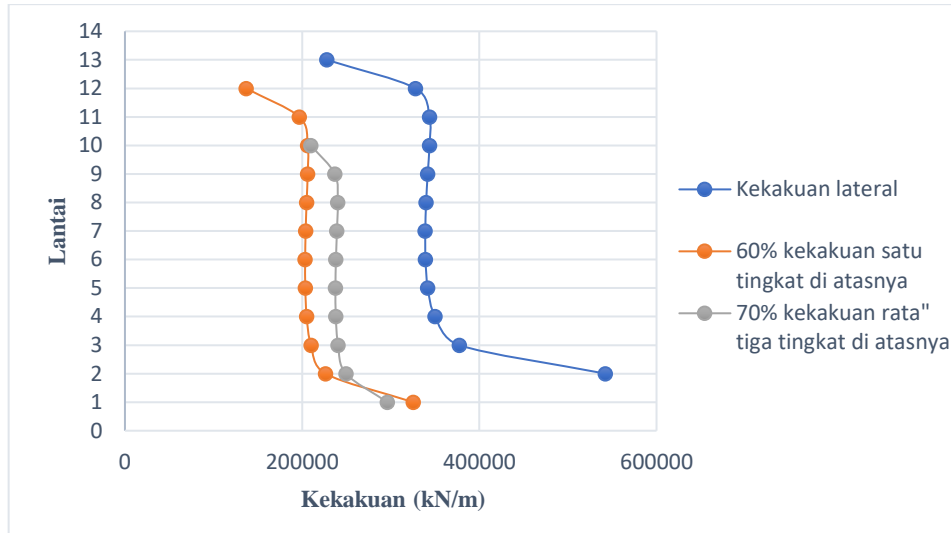
Tabel 5.22 Rekapitulasi Pengecekan Ketidakeraturan Kekakuan Tingkat Lunak berlebihan Arah X

| Lantai | Kekakuan | Ketidakberaturan 1b | | Kontrol |
|--------|------------|---------------------|------------|-----------|
| | kN/m | 60% | 70% | |
| 13 | 227929,085 | | | Tidak ada |
| 12 | 328040,508 | 136757,451 | | Tidak ada |
| 11 | 343766,253 | 196824,305 | | Tidak ada |
| 10 | 343767,246 | 206259,752 | 209938,364 | Tidak ada |
| 9 | 341698,789 | 206260,348 | 236967,268 | Tidak ada |
| 8 | 339939,446 | 205019,273 | 240154,201 | Tidak ada |
| 7 | 339007,858 | 203963,668 | 239261,279 | Tidak ada |
| 6 | 339257,896 | 203404,715 | 238150,755 | Tidak ada |
| 5 | 341811,585 | 203554,738 | 237581,213 | Tidak ada |
| 4 | 350091,595 | 205086,951 | 238018,046 | Tidak ada |
| 3 | 377388,762 | 210054,957 | 240604,251 | Tidak ada |
| 2 | 542391,375 | 226433,257 | 249501,453 | Tidak ada |
| 1 | 17130351 | 325434,825 | 296303,404 | Tidak ada |

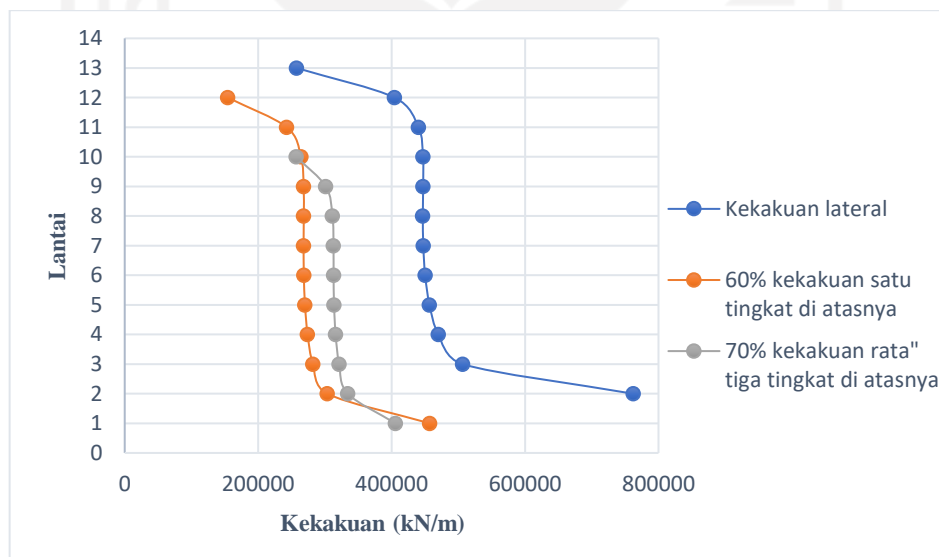
Tabel 5.23 Rekapitulasi Pengecekan Ketidakeraturan Kekakuan Tingkat Lunak berlebihan Arah Y

| Lantai | Kekakuan | Ketidakberaturan 1b | | Kontrol |
|--------|------------|---------------------|------------|-----------|
| | kN/m | 60% | 70% | |
| 13 | 257492,406 | | | Tidak ada |
| 12 | 404428,652 | 154495,444 | | Tidak ada |
| 11 | 440277,276 | 242657,191 | | Tidak ada |
| 10 | 446977,684 | 264166,366 | 257179,611 | Tidak ada |
| 9 | 447306,345 | 268186,610 | 301392,843 | Tidak ada |
| 8 | 446814,203 | 268383,807 | 311397,638 | Tidak ada |
| 7 | 447484,894 | 268088,522 | 312922,921 | Tidak ada |
| 6 | 450275,563 | 268490,936 | 313041,270 | Tidak ada |
| 5 | 456867,349 | 270165,338 | 313734,087 | Tidak ada |
| 4 | 470217,031 | 274120,409 | 316079,821 | Tidak ada |
| 3 | 506386,698 | 282130,219 | 321383,987 | Tidak ada |
| 2 | 762097,943 | 303832,019 | 334476,585 | Tidak ada |
| 1 | 22138038 | 457258,766 | 405697,057 | Tidak ada |

Berdasarkan data rekapitulasi hasil perhitungan pada Tabel 5.22 dan Tabel 5.23 penampilan grafis dapat dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.26 dan Gambar 5.27 berikut ini.



Gambar 5.26 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1b Arah X



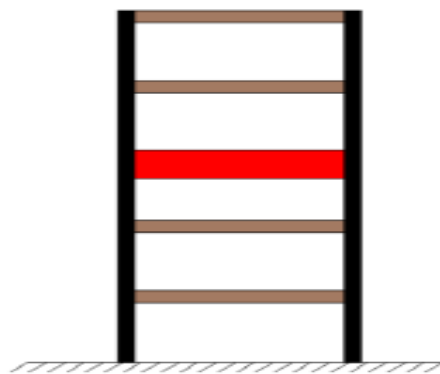
Gambar 5.27 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1b Arah Y

Berdasarkan penampilan grafis dari Gambar 5.26 dan Gambar 5.27 untuk arah-x dan arah-y menunjukkan nilai dari 60% kekakuan lateral satu tingkat di atas (warna oranye) maupun 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (warna abu-abu) tidak melebihi dari nilai kekakuan lateral tingkat (warna biru) pada setiap lantai

sehingga berdasarkan persyaratan dapat disimpulkan bangunan tidak memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan.

2. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 14, ketidakberaturan berat massa didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai dibawahnya tidak perlu ditinjau



Gambar 5.28 Ketidakberaturan Berat (Massa)

(Sumber: SNI 1726-2019)

Nilai massa struktur didapat dari hasil analisis ETABS dengan cara, *Display – Model – Structure Data - Mass Summary – Mass Summary By Story*. Berikut dicontohkan Perhitungan pengecekan ketidakberaturan berat pada lantai 3.

$$\text{Massa lantai 3} = 103311,310 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa di atas} &= 1,5 \times \text{Massa satu tingkat di atas} \\ &= 1,5 \times 1033156,040 \\ &= 1549734,060 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa di bawah} &= 1,5 \times \text{Massa satu tingkat di bawah} \\ &= 1,5 \times 747414,440 \\ &= 1121121,660 \text{ kg} \end{aligned}$$

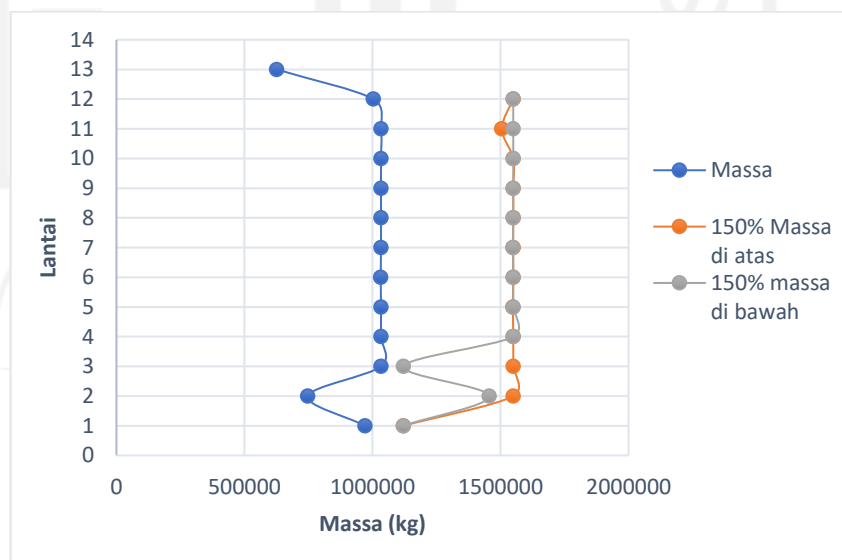
Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan nilai massa efektif pada lantai 3 tidak melebihi 150% massa efektif di atas maupun massa efektif di bawah sehingga

dapat dinyatakan lantai 3 tidak memiliki ketidakberaturan berat (massa). Rekapitulasi hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut ini.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan Berat (Massa)

| Lantai | Massa | Massa di atas | Massa di bawah | Cek |
|--------|-------------|---------------|----------------|-----------|
| | kg | kg | kg | |
| Atap | 626080,290 | | | Tidak ada |
| 12 | 1003311,310 | 1549734,060 | 1549734,060 | Tidak ada |
| 11 | 1033156,040 | 1504966,965 | 1549734,060 | Tidak ada |
| 10 | 1033156,040 | 1549734,060 | 1549734,060 | Tidak ada |
| 9 | 1033156,040 | 1549734,060 | 1549734,060 | Tidak ada |
| 8 | 1033156,040 | 1549734,060 | 1549734,060 | Tidak ada |
| 7 | 1033156,040 | 1549734,060 | 1548251,190 | Tidak ada |
| 6 | 1032167,460 | 1549734,060 | 1549734,060 | Tidak ada |
| 5 | 1033156,040 | 1548251,190 | 1549734,060 | Tidak ada |
| 4 | 1033156,040 | 1549734,060 | 1549734,060 | Tidak ada |
| 3 | 1033156,040 | 1549734,060 | 1121121,660 | Tidak ada |
| 2 | 747414,440 | 1549734,060 | 1456038,645 | Tidak ada |
| Dasar | 970692,430 | 1121121,660 | 1121121,660 | Tidak ada |

Berdasarkan data rekapitulasi hasil perhitungan pada Tabel 5.24 penampilan grafis dapat dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.29 berikut ini.

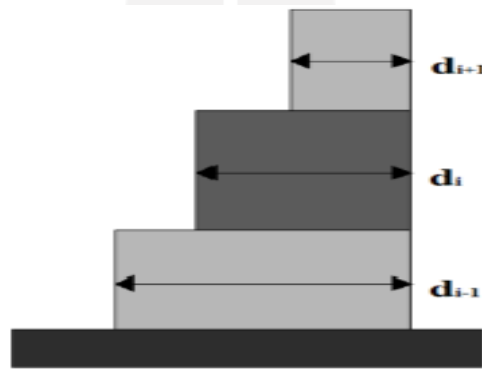


Gambar 5.29 Pengecekan Ketidakberaturan Berat (Massa)

Berdasarkan penampilan grafis dari Gambar 5.29 menunjukkan nilai dari 150% massa efektif di atas (warna oranye) maupun 150% massa efektif di bawah (warna abu-abu) lebih besar dari nilai massa efektif (warna biru) pada setiap lantai sehingga berdasarkan persyaratan dapat disimpulkan bahwa bangunan tidak memiliki ketidakberaturan berat (massa).

3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 14, ketidakberaturan geometri didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.



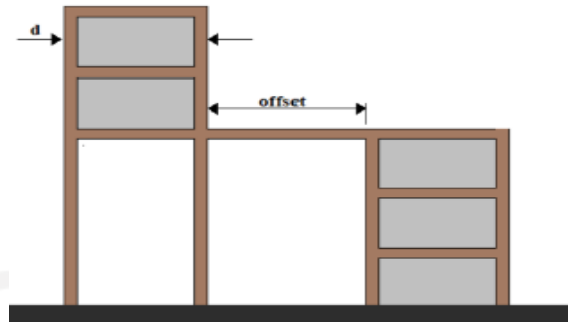
Gambar 5.30 Ketidakberaturan Geometri Vertikal

(Sumber: SNI 1726-2019)

Pada bangunan, kolom tidak mengalami pengecilan atau perubahan dimensi penampang sehingga dapat dikatakan bahwa struktur tidak memiliki ketidakberaturan geometri vertikal.

4. Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 14, ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul ditingkat di bawahnya.



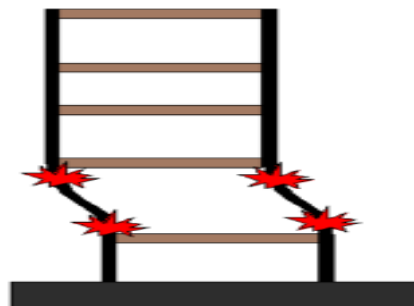
Gambar 5.31 Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang

(Sumber: SNI 1726-2019)

Berdasarkan formasi peletakan struktur kolom yang menerus dari bawah sampai atas tanpa ada pergeseran kolom atau dinding sehingga bangunan dapat dikatakan tidak memiliki ketidakberaturan pergeseran tegak lurus terhadap bidang.

5. Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 14, ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekuatan lateral tingkat di atasnya (ketidakberaturan 5a). ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65% kekuatan tingkat di atasnya (ketidakberaturan 5b). kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.



Gambar 5.32 Ketidakberaturan Tingkat Lemah

(Sumber: SNI 1726-2019)

Nilai gaya tingkat didapat dari hasil analisis ETABS dengan cara, *Display – Analysis - Results – Structure Results – Story Forces*. Nilai gaya tingkat hasil ETABS dapat dilihat pada Tabel 5.25 berikut ini.

Tabel 5.25 Story Forces

| Lantai | V _x | V _y |
|--------|----------------|----------------|
| | kN | kN |
| Atap | 872,687 | 839,940 |
| 12 | 1925,001 | 1870,507 |
| 11 | 2759,368 | 2703,430 |
| 10 | 3392,352 | 3350,429 |
| 9 | 3878,939 | 3856,975 |
| 8 | 4275,755 | 4274,065 |
| 7 | 4633,452 | 4651,634 |
| 6 | 4988,854 | 5023,642 |
| 5 | 5359,710 | 5403,440 |
| 4 | 5732,665 | 5768,894 |
| 3 | 6056,447 | 6072,975 |
| 2 | 6189,944 | 6187,987 |
| 1 | 6190,014 | 6188,057 |

Lalu dengan mengasumsikan nilai kekuatan lateral tingkat menggunakan persamaan berikut.

$$V_n = \frac{Vu}{\phi} \quad (5.19)$$

Yang mana V_n adalah kapasitas geser tingkat dan ϕ adalah faktor reduksi kekuatan untuk geser diambil nilai 0,75 sehingga dari nilai gaya tingkat hasil ETABS harus dibagi dengan faktor reduksi. Berikut dicontohkan perhitungan ketidakberaturan tingkat lemah pada lantai 3.

a. Ketidakberaturan Tingkat Lemah

Ketidakberaturan vertikal tipe 5.a dinyatakan terjadi apabila,

$$V_x / 0,75 < 80\% \text{ kekuatan lateral tingkat di atasnya}$$

$$6056,447 / 0,75 < 0,8 \cdot 7643,553$$

$$8075,263 \text{ kN} > 6114,843 \text{ kN}$$

b. Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan

Ketidakberaturan vertikal tipe 5.b dinyatakan terjadi apabila,

$$V_x / 0,75 < 65\% \text{ kekuatan lateral tingkat di atasnya}$$

$$6056,447 / 0.75 < 0,65 \cdot 7643,553$$

$$8075,263 \text{ kN} > 4968,310 \text{ kN}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan nilai kekuatan lateral tingkat lebih besar dari 80% dan 65% kekuatan lateral tingkat di atasnya sehingga dapat disimpulkan pada lantai 3 tidak memiliki ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat. Rekapitulasi hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.26 dan Tabel 5.27 berikut ini.

Tabel 5.26 Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat Arah X

| Lantai | V _x | Ketidakberaturan 5.a | Ketidakberaturan 5.b | Cek |
|--------|----------------|----------------------|----------------------|-----------|
| | kN | 85% | 65% | |
| Atap | 1163,582 | | | |
| 12 | 2566,668 | 930,866 | 756,328 | Tidak ada |
| 11 | 3679,157 | 2053,334 | 1668,334 | Tidak ada |
| 10 | 4523,135 | 2943,326 | 2391,452 | Tidak ada |
| 9 | 5171,919 | 3618,508 | 2940,038 | Tidak ada |
| 8 | 5701,007 | 4137,535 | 3361,747 | Tidak ada |
| 7 | 6177,935 | 4560,805 | 3705,654 | Tidak ada |
| 6 | 6651,805 | 4942,348 | 4015,658 | Tidak ada |
| 5 | 7146,281 | 5321,444 | 4323,673 | Tidak ada |
| 4 | 7643,553 | 5717,024 | 4645,082 | Tidak ada |
| 3 | 8075,263 | 6114,843 | 4968,310 | Tidak ada |
| 2 | 8253,259 | 6460,210 | 5248,921 | Tidak ada |
| Dasar | 8253,352 | 6602,607 | 5364,618 | Tidak ada |

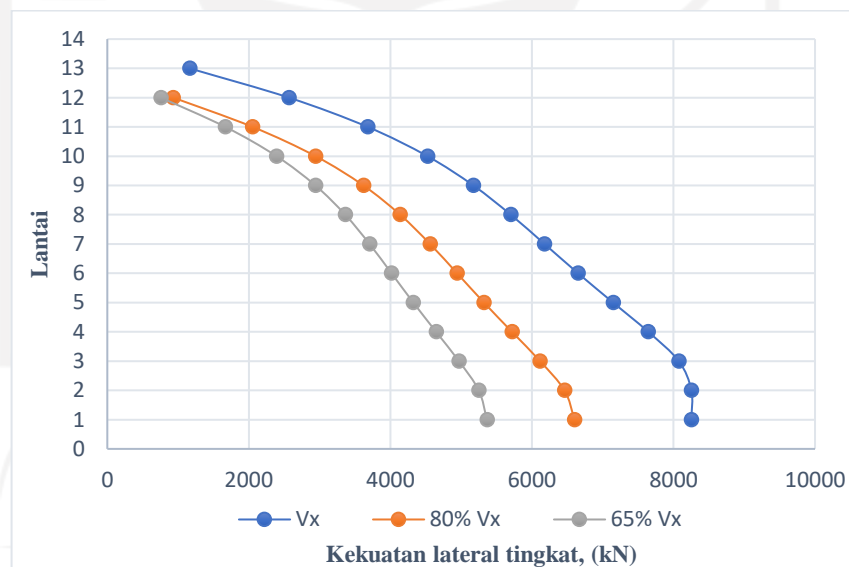
Tabel 5.27 Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat Arah Y

| Lantai | V _y | Ketidakberaturan 5.a | Ketidakberaturan 5.b | Cek |
|--------|----------------|----------------------|----------------------|-----------|
| | kN | 85% | 65% | |
| Atap | 1119,920 | | | |
| 12 | 2494,009 | 895,936 | 727,948 | Tidak ada |
| 11 | 3604,573 | 1995,207 | 1621,106 | Tidak ada |

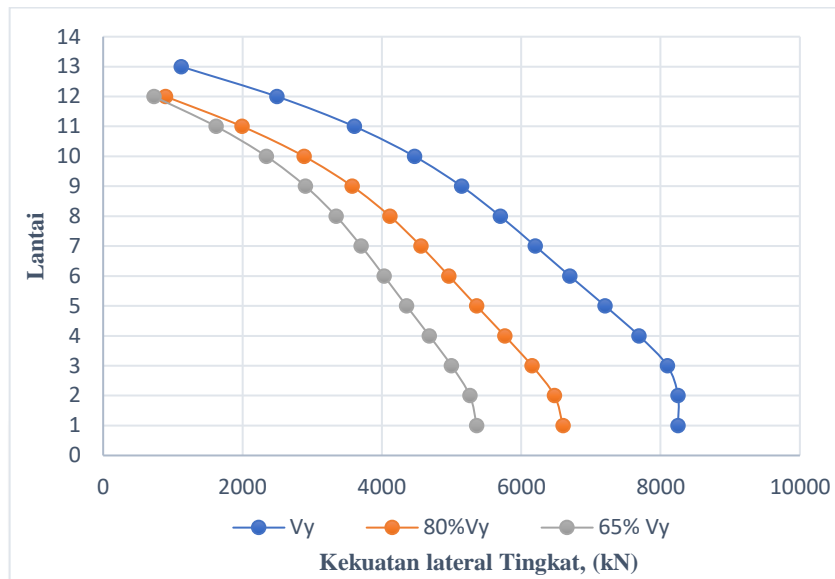
Lanjutan Tabel 5.27 Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat Arah Y

| Lantai | V _y | Ketidakteraturan 5.a | Ketidakteraturan 5.b | Cek |
|--------|----------------|----------------------|----------------------|-----------|
| | kN | 85% | 65% | |
| 10 | 4467,238 | 2883,658 | 2342,972 | Tidak ada |
| 9 | 5142,634 | 3573,790 | 2903,705 | Tidak ada |
| 8 | 5698,753 | 4114,107 | 3342,712 | Tidak ada |
| 7 | 6202,179 | 4559,002 | 3704,189 | Tidak ada |
| 6 | 6698,189 | 4961,743 | 4031,416 | Tidak ada |
| 5 | 7204,586 | 5358,551 | 4353,823 | Tidak ada |
| 4 | 7691,859 | 5763,669 | 4682,981 | Tidak ada |
| 3 | 8097,300 | 6153,487 | 4999,708 | Tidak ada |
| 2 | 8250,649 | 6477,840 | 5263,245 | Tidak ada |
| 1 | 8250,742 | 6600,519 | 5362,922 | Tidak ada |

Berdasarkan data rekapitulasi hasil perhitungan pada Tabel 5.26 dan Tabel 5.27 penampilan grafis dapat dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 berikut ini.



Gambar 5.33 Pengecekan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Arah X



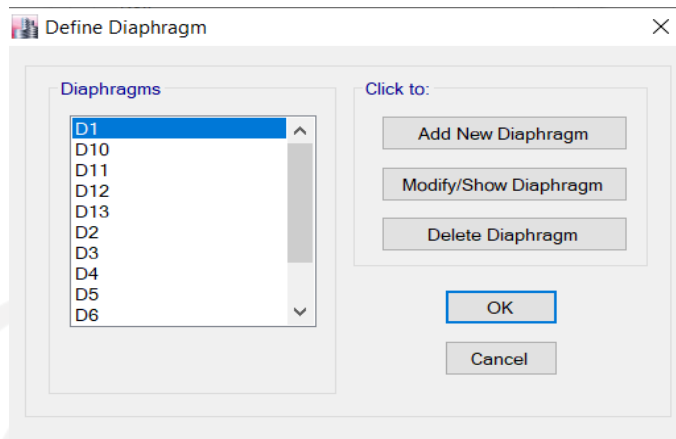
Gambar 5.34 Pengecekan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Arah Y

Berdasarkan penampilan grafis dari Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 menunjukan nilai dari 80% kekuatan lateral tingkat di atas (warna oranye) dan 65% kekuatan tingkat di atasnya tidak melebihi dari nilai kekuatan lateral tingkat (warna biru) pada setiap lantai sehingga berdasarkan persyaratan dapat disimpulkan bangunan tidak memiliki ketidakberaturan tingkat lemah.

Dari hasil pengecekan ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal berdasarkan persyaratan dapat disimpulkan bangunan tidak memiliki ketidakberaturan (*Irregularitas*).

5.10 Simpangan Antar Lantai

Nilai simpangan antar lantai pada program ETABS v.17 dapat dilihat dengan cara pertama-tama yang harus dilakukan adalah input diafragma pada setiap lantai. Cara input diafragma adalah dengan cara, *select* terlebih dahulu lantai yang ingin di input diafragma kemudian pilih menu *Assign – Shell – Diaphragm* – lalu klik *modify/show definitions* – lalu klik *Add New Diaphragm* – kemudian input diafragma pada setiap lantai – lalu klik ok. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut ini.



Gambar 5.35 define diaphragm

Setelah semua lantai selesai di *input* diafragma kemudian untuk melihat hasil analisis struktur nilai *displacement* antar tingkat pada program ETABS adalah dengan cara, *Display – Show Tables – Results – Displacement – Diapharagm Center Of Mass Displacement*. Analisis perhitungan nilai simpangan dihitung berdasarkan data koefesien amplifikasi defleksi (C_d) = 5,5, faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,5. Berikut contoh perhitungan hasil analisis simpangan elastik bangunan pada Lantai 3.

$$\begin{aligned}\delta_{xe} &= \delta \text{ Lantai 3} - \delta \text{ Lantai 2} \\ &= 24,667 - 10,188 \\ &= 14,479 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_x &= \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \\ &= \frac{5,5 \times 14,479}{1,5} \\ &= 53,090 \text{ mm}\end{aligned} \tag{5.20}$$

Simpangan antar tingkat desain memiliki batasan yang tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) yang nilainya berdasarkan tipe struktur dan kategori resiko. Karena kategori bangunan termasuk kategori IV maka Simpangan antar tingkat izin diambil dengan persamaan $0,015h_{sx}$.

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,015 \times 4250 \\ &= 63,75 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil contoh perhitungan di atas didapatkan nilai $\delta_x = 53,090$ mm < $\Delta_a = 63,75$ mm, maka simpangan antar lantai tersebut tidak melebihi dan memenuhi syarat batas simpangan antar tingkat izin. Rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dapat dilihat pada Tabel 5.28 dan Tabel 5.29 berikut ini.

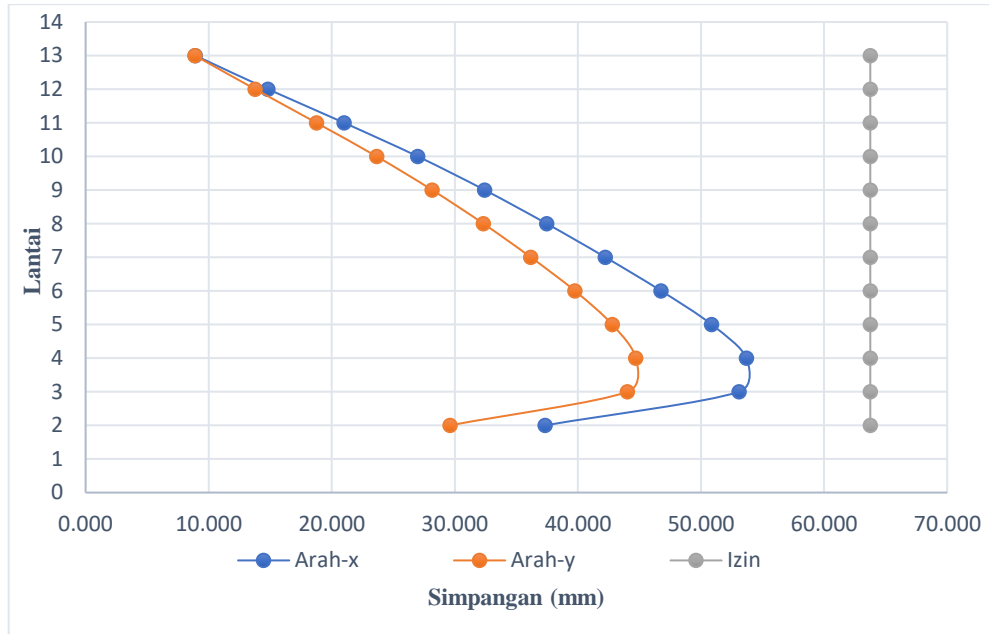
Tabel 5.28 Rekapitulasi Perhitungan Simpangan Antar Lantai Arah X

| Lantai | Tinggi | δ | δ_{xe} | Cd | δ_x | Δ_a | Ket |
|--------|--------|----------|---------------|-----|------------|------------|-----|
| | | mm | mm | | mm | mm | |
| Atap | 4250 | 116,082 | 2,434 | 5,5 | 8,925 | 63,75 | Oke |
| 12 | 4250 | 113,648 | 4,043 | 5,5 | 14,824 | 63,75 | Oke |
| 11 | 4250 | 109,605 | 5,731 | 5,5 | 21,014 | 63,75 | Oke |
| 10 | 4250 | 103,874 | 7,36 | 5,5 | 26,987 | 63,75 | Oke |
| 9 | 4250 | 96,514 | 8,845 | 5,5 | 32,432 | 63,75 | Oke |
| 8 | 4250 | 87,669 | 10,218 | 5,5 | 37,466 | 63,75 | Oke |
| 7 | 4250 | 77,451 | 11,518 | 5,5 | 42,233 | 63,75 | Oke |
| 6 | 4250 | 65,933 | 12,753 | 5,5 | 46,761 | 63,75 | Oke |
| 5 | 4250 | 53,18 | 13,871 | 5,5 | 50,860 | 63,75 | Oke |
| 4 | 4250 | 39,309 | 14,642 | 5,5 | 53,687 | 63,75 | Oke |
| 3 | 4250 | 24,667 | 14,479 | 5,5 | 53,090 | 63,75 | Oke |
| 2 | 4250 | 10,188 | 10,185 | 5,5 | 37,345 | 63,75 | Oke |
| 1 | 4900 | 0,003 | 0,003 | 5,5 | 0,011 | 73,50 | Oke |

Tabel 5.29 Rekapitulasi Perhitungan Simpangan Antar Lantai Arah Y

| Lantai | Tinggi | δ | δ_{ye} | Cd | δ_y | Δ_a | Ket |
|--------|--------|----------|---------------|-----|------------|------------|-----|
| | | mm | mm | | mm | mm | |
| Atap | 4250 | 98,896 | 2,422 | 5,5 | 8,881 | 63,75 | Oke |
| 12 | 4250 | 96,474 | 3,758 | 5,5 | 13,779 | 63,75 | Oke |
| 11 | 4250 | 92,716 | 5,116 | 5,5 | 18,759 | 63,75 | Oke |
| 10 | 4250 | 87,6 | 6,45 | 5,5 | 23,650 | 63,75 | Oke |
| 9 | 4250 | 81,15 | 7,681 | 5,5 | 28,164 | 63,75 | Oke |
| 8 | 4250 | 73,469 | 8,816 | 5,5 | 32,325 | 63,75 | Oke |
| 7 | 4250 | 64,653 | 9,866 | 5,5 | 36,175 | 63,75 | Oke |
| 6 | 4250 | 54,787 | 10,843 | 5,5 | 39,758 | 63,75 | Oke |
| 5 | 4250 | 43,944 | 11,669 | 5,5 | 42,786 | 63,75 | Oke |
| 4 | 4250 | 32,275 | 12,19 | 5,5 | 44,697 | 63,75 | Oke |
| 3 | 4250 | 20,085 | 12,008 | 5,5 | 44,029 | 63,75 | Oke |
| 2 | 4250 | 8,077 | 8,074 | 5,5 | 29,605 | 63,75 | Oke |
| 1 | 4900 | 0,003 | 0,003 | 5,5 | 0,011 | 73,50 | Oke |

Berdasarkan data rekapitulasi perhitungan pada Tabel 5.28 dan Tabel 5.29 penampilan grafis dapat dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.36 berikut ini.



Gambar 5.36 Grafik Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan Gambar 5.36 untuk arah-x (warna biru) maupun arah-y (warna oranye) menunjukkan nilai simpangan antar lantai pada masing-masing tingkat tidak melebihi batasan simpangan antar tingkat izin (warna abu-abu) sehingga dapat disimpulkan bangunan aman berdasarkan simpangan antar lantai yang diisyaratkan pada SNI 1726-2019.

5.11 Evaluasi Kinerja Struktur

Pada tahapan analisis evaluasi kinerja struktur ini meliputi kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit dengan penjelasan berikut ini.

5.11.1 Kinerja Batas Layan

Hasil dari analisis dinamik respon spektrum dengan program ETABS v.17 kemudian dicek berdasarkan kinerja batas layan sesuai SNI 1726-2002 dengan persyaratan sebagai berikut:

$$\frac{\Delta}{FS} \leq \frac{0,03}{R} \times h_i \leq 30 \text{ mm} \quad (5.21)$$

Dimana :

R = Koefisien modifikasi respons didapat dari Tabel 12 SNI 1726-2019 diambil nilai $R = 8$ karena tipe struktur merupakan rangka beton bertulang pemikul momen khusus

Δ = Simpangan antar tingkat maksimum

FS = Faktor Skala

h_i = Tinggi tingkat

Dari hasil analisis dinamik respon spektrum dengan program ETABS v.17, nilai *displacement* kemudian dicek dengan kinerja batas layan. Berikut di contohkan perhitungan kinerja batas layan pada lantai 3 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta s \text{ lantai 3} &= 0,0238 \text{ m} \\ \Delta s \text{ antar tingkat arah x} &= \Delta s \text{ lantai 3} - \Delta s \text{ lantai 2} \\ &= 0,0238 - 0,0099 \\ &= 0,0139 \text{ m} \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan kinerja batas layan pada arah-x dan arah-y dapat dilihat pada Tabel 5.30 dan Tabel 5.31 berikut ini.

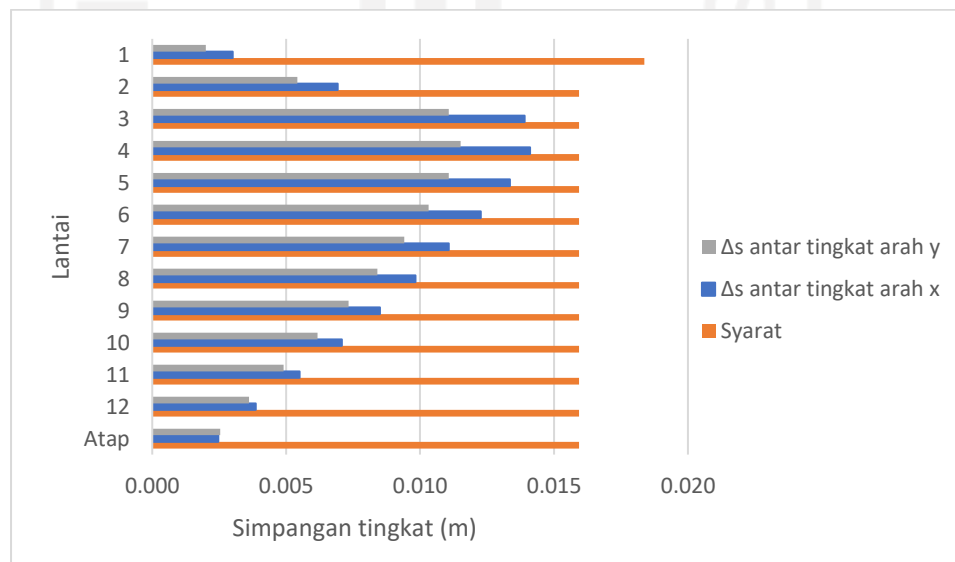
Tabel 5.30 Kinerja Batas Layan Arah X (Δs)

| Lantai | h | Δs arah X | Δs antar tingkat arah X | Syarat $(0.03/R)*H$ | Ket |
|--------|------|-------------------|---------------------------------|---------------------|------|
| | (m) | | | (m) | |
| Atap | 4,25 | 0,1119 | 0,0025 | 0,0159 | Aman |
| 12 | 4,25 | 0,1094 | 0,0039 | 0,0159 | Aman |
| 11 | 4,25 | 0,1055 | 0,0055 | 0,0159 | Aman |
| 10 | 4,25 | 0,1000 | 0,0071 | 0,0159 | Aman |
| 9 | 4,25 | 0,0930 | 0,0085 | 0,0159 | Aman |
| 8 | 4,25 | 0,0845 | 0,0098 | 0,0159 | Aman |
| 7 | 4,25 | 0,0746 | 0,0111 | 0,0159 | Aman |
| 6 | 4,25 | 0,0636 | 0,0123 | 0,0159 | Aman |
| 5 | 4,25 | 0,0513 | 0,0134 | 0,0159 | Aman |
| 4 | 4,25 | 0,0379 | 0,0141 | 0,0159 | Aman |
| 3 | 4,25 | 0,0238 | 0,0139 | 0,0159 | Aman |
| 2 | 4,25 | 0,0099 | 0,0069 | 0,0159 | Aman |
| Dasar | 4,90 | 0,0030 | 0,0030 | 0,0184 | Aman |

Tabel 5.31 Kinerja Batas Layan Arah Y (Δs)

| Lantai | h | Δs arah Y | Δs antar tingkat arah Y | Syarat $(0.03/R)*H$ | Ket |
|--------|------|-------------------|---------------------------------|---------------------|------|
| | (m) | (m) | (m) | (m) | |
| Atap | 4,25 | 0,0937 | 0,0025 | 0,0159 | Aman |
| 12 | 4,25 | 0,0912 | 0,0036 | 0,0159 | Aman |
| 11 | 4,25 | 0,0876 | 0,0049 | 0,0159 | Aman |
| 10 | 4,25 | 0,0827 | 0,0062 | 0,0159 | Aman |
| 9 | 4,25 | 0,0765 | 0,0073 | 0,0159 | Aman |
| 8 | 4,25 | 0,0692 | 0,0084 | 0,0159 | Aman |
| 7 | 4,25 | 0,0608 | 0,0094 | 0,0159 | Aman |
| 6 | 4,25 | 0,0514 | 0,0103 | 0,0159 | Aman |
| 5 | 4,25 | 0,0411 | 0,0111 | 0,0159 | Aman |
| 4 | 4,25 | 0,0300 | 0,0115 | 0,0159 | Aman |
| 3 | 4,25 | 0,0185 | 0,0111 | 0,0159 | Aman |
| 2 | 4,25 | 0,0074 | 0,0044 | 0,0159 | Aman |
| Dasar | 4,90 | 0,0030 | 0,0030 | 0,0184 | Aman |

Berdasarkan data rekapitulasi hasil perhitungan pada Tabel 5.30 dan Tabel 5.31 penampilan grafis dapat dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.37 berikut ini.

**Gambar 5.37 Grafik Kontrol Kinerja Batas Layan Arah X dan Arah Y**

Berdasarkan Gambar 5.36 menunjukkan nilai Δs antar tingkat arah-x maupun arah-y kurang dari nilai yang diisyaratkan berdasarkan persamaan $(0.03/R)*H$

sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan aman berdasarkan kinerja batas layan.

5.11.2 Kinerja Batas Ultimit

Hasil dari analisis dinamik respon spektrum dengan program ETABS v.17 kemudian dicek berdasarkan kinerja batas ultimit sesuai SNI 1726-2002 dengan persyaratan sebagai berikut:

$$\xi \cdot \Delta \leq 0,02 \cdot h_i \quad (5.22)$$

Dimana :

ξ = faktor pengali (Persamaan 3.18)

Δ = simpangan antar tingkat

h_i = Tinggi tingkat

Dari hasil analisis dinamik respon spektrum dengan program ETABS v.17, nilai *displacement* kemudian dicek dengan kinerja batas ultimit. Berikut di contohkan perhitungan kinerja batas ultimit pada lantai 3 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta m \text{ antar tingkat arah x} &= \Delta m \text{ lantai 3} - \Delta m \text{ lantai 2} \\ &= 0,0254 - 0,0105 \\ &= 0,0149 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan denah struktur dan karakteristik bangunan merupakan bangunan beraturan sehingga digunakan persamaan pada 3.18 dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \xi &= 0,7 \cdot R \\ &= 0,7 \cdot 8 \\ &= 5,6 \\ \xi \Delta m &= 5,6 \cdot 0,0149 \\ &= 0,0833 \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan kinerja batas ultimit pada arah-x dan arah-y dapat dilihat pada Tabel 5.32 dan Tabel 5.33.

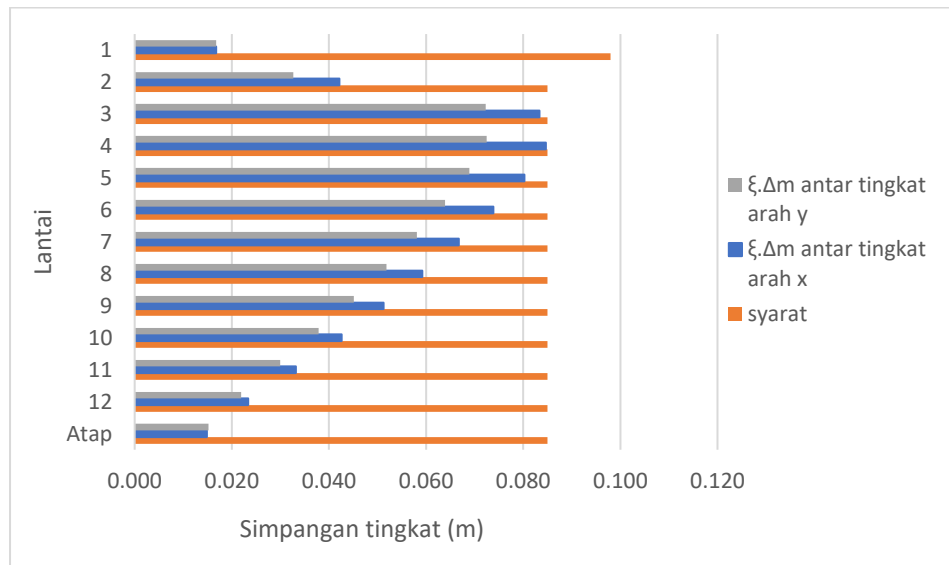
Tabel 5.32 Kinerja Batas Ultimit Arah X (Δm)

| Lantai | h | Δm arah X (m) | Δm antar tingkat arah X (m) | $\xi \cdot \Delta m$ antar tingkat arah X (m) | Syarat (0,02h) | Ket |
|--------|------|-----------------------|-------------------------------------|---|----------------|------|
| Atap | 4,25 | 0,1201 | 0,0027 | 0,0149 | 0,085 | Aman |
| 12 | 4,25 | 0,1174 | 0,0042 | 0,0234 | 0,085 | Aman |
| 11 | 4,25 | 0,1132 | 0,0059 | 0,0332 | 0,085 | Aman |
| 10 | 4,25 | 0,1073 | 0,0076 | 0,0426 | 0,085 | Aman |
| 9 | 4,25 | 0,0997 | 0,0092 | 0,0513 | 0,085 | Aman |
| 8 | 4,25 | 0,0905 | 0,0106 | 0,0592 | 0,085 | Aman |
| 7 | 4,25 | 0,0800 | 0,0119 | 0,0667 | 0,085 | Aman |
| 6 | 4,25 | 0,0681 | 0,0132 | 0,0739 | 0,085 | Aman |
| 5 | 4,25 | 0,0549 | 0,0143 | 0,0803 | 0,085 | Aman |
| 4 | 4,25 | 0,0405 | 0,0151 | 0,0847 | 0,085 | Aman |
| 3 | 4,25 | 0,0254 | 0,0149 | 0,0833 | 0,085 | Aman |
| 2 | 4,25 | 0,0105 | 0,0102 | 0,0573 | 0,085 | Aman |
| Dasar | 4,90 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0017 | 0,098 | Aman |

Tabel 5.33 Kinerja Batas Ultimit Arah Y (Δm)

| Lantai | h | Δm arah Y (m) | Δm antar tingkat arah Y (m) | $\xi \cdot \Delta m$ antar tingkat arah Y (m) | Syarat (0,02h) | Ket |
|--------|------|-----------------------|-------------------------------------|---|----------------|------|
| Atap | 4,25 | 0,1048 | 0,0027 | 0,0152 | 0,085 | Aman |
| 12 | 4,25 | 0,1021 | 0,0039 | 0,0219 | 0,085 | Aman |
| 11 | 4,25 | 0,0982 | 0,0054 | 0,0300 | 0,085 | Aman |
| 10 | 4,25 | 0,0929 | 0,0068 | 0,0379 | 0,085 | Aman |
| 9 | 4,25 | 0,0861 | 0,0081 | 0,0452 | 0,085 | Aman |
| 8 | 4,25 | 0,0780 | 0,0093 | 0,0519 | 0,085 | Aman |
| 7 | 4,25 | 0,0688 | 0,0104 | 0,0581 | 0,085 | Aman |
| 6 | 4,25 | 0,0584 | 0,0114 | 0,0639 | 0,085 | Aman |
| 5 | 4,25 | 0,0470 | 0,0123 | 0,0689 | 0,085 | Aman |
| 4 | 4,25 | 0,0347 | 0,0129 | 0,0724 | 0,085 | Aman |
| 3 | 4,25 | 0,0217 | 0,0129 | 0,0723 | 0,085 | Aman |
| 2 | 4,25 | 0,0088 | 0,0058 | 0,0327 | 0,085 | Aman |
| Dasar | 4,90 | 0,0030 | 0,0030 | 0,0168 | 0,098 | Aman |

Berdasarkan data rekapitulasi perhitungan pada Tabel 5.32 dan Tabel 5.33 penampilan grafis dapat dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.38 berikut ini.



Gambar 5.38 Grafik Kontrol Kinerja Batas Ultimit Arah X dan Arah Y

Berdasarkan Gambar 5.37 menunjukkan nilai Δm antar tingkat arah-x maupun arah-y kurang dari nilai yang diisyaratkan berdasarkan persamaan $(0,02 \cdot H)$ sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan aman berdasarkan kinerja batas ultimit.

Berdasarkan hasil analisis kontrol kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit menunjukkan bahwa struktur bangunan gedung kampus Fakultas Hukum Unsrat tersebut pada arah-x maupun arah-y aman dan memenuhi dari batas yang diisyaratkan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

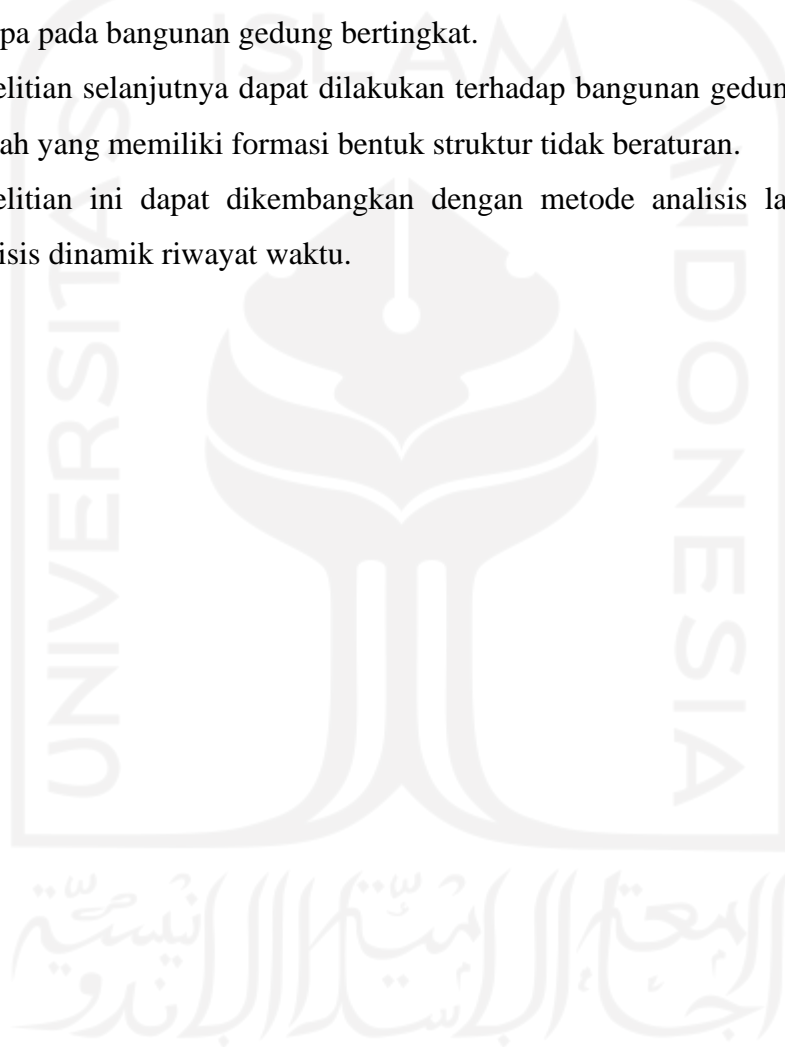
Setelah dilakukan analisis struktur, gedung Fakultas Hukum Unsrat dengan analisis dinamik menggunakan metode respon spektrum, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis dinamik menghasilkan $V_{dinamik}$ lebih besar dari V_{statik} untuk arah X sebesar 6190,0143 kN dan untuk arah Y sebesar 6188,0568 kN, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai akhir respon dinamik struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2019 dan Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan didapatkan nilai simpangan antar lantai terbesar berada pada lantai 4 dengan arah X didapat 0,053 m dan arah Y didapat 0,044 m sehingga nilai ini tidak melebihi dan memenuhi syarat batasan simpangan antar tingkat izin (Δa) = 0,063 m.
2. Berdasarkan hasil analisis dari nilai simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana untuk arah X terbesar didapat 0,1119 m dan arah Y terbesar didapat 0,0937 m sehingga dapat dinyatakan gedung Fakultas Hukum Unsrat Manado aman dan memenuhi syarat kinerja struktur gedung berdasarkan kinerja batas layan dengan persyaratan $(0,03/R)*H = 0,0159$ m
3. Berdasarkan hasil analisis dari nilai simpangan antar tingkat maksimum akibat pengaruh gempa rencana untuk arah X terbesar didapat 0,1201 m dan arah Y terbesar didapat 0,1048 m sehingga dapat dinyatakan gedung Fakultas Hukum Unsrat Manado aman dan memenuhi syarat kinerja struktur gedung berdasarkan kinerja batas ultimit dengan persyaratan $(0,02*H) = 0,0850$ m

6.2 Saran

Berdasarkan penulisan skripsi ini, saran yang dapat disampaikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Analisis dinamik respon spektrum berdasarkan SNI 03-1726-2019 perlu dilakukan pada bangunan gedung tinggi lainnya untuk mendalami perilaku gempa pada bangunan gedung bertingkat.
2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan terhadap bangunan gedung di berbagai daerah yang memiliki formasi bentuk struktur tidak beraturan.
3. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan metode analisis lainnya seperti analisis dinamik riwayat waktu.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung. (SNI 1726-2002)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. (SNI 1726-2012)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. (SNI 1727-2013)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. (SNI 1726-2019)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. (SNI 2847-2019)*. Jakarta: BSN.
- DPU. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung, SKBI – 1.3.53.1987* Penerbit Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Elliza, I. N. (2013). Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Respon Spektrum Menggunakan *Software* ETABS V 9.50 (Studi Kasus: Gedung Solo Center Point).
- Febbrian, D. B., Budi, A. S., & Sambowo, K. A. (2014). Evaluasi Kinerja Gaya Gempa Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Respon Spektrum Berdasarkan *Base Share, Displacement, dan Drift* Menggunakan *Software* ETABS (Studi Kasus: Hotel Di Daerah Karanganyar). *Matriks Teknik Sipil*, 2(2), 27-34.
- Harahap, M. F., & Fauzan, M. (2019). Perilaku Dinamik Pada Struktur Apartemen Metro Galaxy Park Terhadap Beban Gempa. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor* (Vol. 04. 195-204).

Rendra, R., Kurniawandy, A., & Djauhari, Z. (2016, January). Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa Dengan Metode Respon Spektrum Dan Time History. In *Proceedings ACES (Annual Civil Engineering Seminar)* (Vol. 1, pp. 153-160).

Wahyuningtyas, W. T., Krisnamurti, K., & Afrida, I. (2020). Analisis Ketahanan Gedung Apartemen Surabaya dengan Menggunakan Metode Respon Spektrum. *BERKALA SAINSTEK*, 8(4), 132-139.





LAMPIRAN

Lampiran 1 Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir

| Bulan | | Maret | | | | April | | | | Mei | | | | Juni | | | | Juli | | | |
|----------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Minggu ke | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Tahap Kegiatan | Jam Kerja | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Persiapan | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Survey Pengambilan Data | 4 | 2,00 | 2,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pembuatan Proposal | 25 | 6,25 | 6,25 | 6,25 | 6,25 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pelaksanaan | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pemodelan Struktur (ETABS) | 9 | | | 3,00 | 3,00 | 3,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Perencanaan Beban Gempa | 9 | | | | | 3,00 | 3,00 | 3,00 | | | | | | | | | | | | | |
| Perencanaan Respon Spektrum | 6 | | | | | | 3,00 | 3,00 | | | | | | | | | | | | | |
| Analisis Hasil Pemodelan (ETABS) | 20 | | | | | | | | 6,67 | 6,67 | 6,67 | | | | | | | | | | |
| Pengolahan Data | 16 | | | | | | | | | 5,33 | 5,33 | 5,33 | | | | | | | | | |
| Penyusunan Laporan | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Laporan Sementara Bab V dan VI | 22 | | | | | | | | | | | | | 5,50 | 5,50 | 5,50 | 5,50 | | | | |
| Laporan Akhir | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | 6,25 | 6,25 | 6,25 | 6,25 |
| Total Pengerjaan (Jam) | 136 | 8,25 | 8,25 | 6,25 | 9,25 | 3,00 | 6,00 | 6,00 | 12,67 | 6,67 | 12,00 | 5,33 | 5,33 | 5,50 | 5,50 | 5,50 | 5,50 | 6,25 | 6,25 | 6,25 | 6,25 |
| | | 8,25 | 16,50 | 22,75 | 32,00 | 35,00 | 41,00 | 47,00 | 59,67 | 66,34 | 78,34 | 83,67 | 89,00 | 94,50 | 100,00 | 105,50 | 111,00 | 117,25 | 123,50 | 129,75 | 136,00 |
| Bobot Kumulatif (%) | | 6,07 | 12,13 | 16,73 | 23,53 | 25,74 | 30,15 | 34,56 | 43,88 | 48,78 | 57,60 | 61,52 | 65,44 | 69,49 | 73,53 | 77,57 | 81,62 | 86,21 | 90,81 | 95,40 | 100 |

Lampiran 2 Hasil Rasio Partisipasi Rasio Pada ETABS V.17

| Case | Mode | Period | SUM UX | SUM UY |
|-------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless |
| Modal | 1 | 2,575 | 0,7632 | 0,7432 |
| Modal | 2 | 1,900 | 0,7632 | 0,7576 |
| Modal | 3 | 1,882 | 0,7654 | 0,7607 |
| Modal | 4 | 0,829 | 0,8519 | 0,7607 |
| Modal | 5 | 0,707 | 0,8519 | 0,8496 |
| Modal | 6 | 0,633 | 0,8521 | 0,8501 |
| Modal | 7 | 0,467 | 0,8822 | 0,8501 |
| Modal | 8 | 0,388 | 0,8822 | 0,8805 |
| Modal | 9 | 0,352 | 0,8823 | 0,8807 |
| Modal | 10 | 0,309 | 0,8972 | 0,8807 |
| Modal | 11 | 0,251 | 0,8972 | 0,8959 |
| Modal | 12 | 0,229 | 0,8974 | 0,8959 |
| Modal | 13 | 0,222 | 0,9058 | 0,8959 |
| Modal | 14 | 0,176 | 0,9058 | 0,9049 |
| Modal | 15 | 0,167 | 0,9114 | 0,9049 |
| Modal | 16 | 0,162 | 0,9114 | 0,9049 |
| Modal | 17 | 0,131 | 0,9153 | 0,905 |
| Modal | 18 | 0,13 | 0,9153 | 0,9109 |
| Modal | 19 | 0,12 | 0,9153 | 0,9109 |
| Modal | 20 | 0,106 | 0,9182 | 0,9109 |
| Modal | 21 | 0,101 | 0,9182 | 0,9152 |
| Modal | 22 | 0,093 | 0,9183 | 0,9153 |
| Modal | 23 | 0,089 | 0,9203 | 0,9153 |
| Modal | 24 | 0,081 | 0,9203 | 0,9186 |
| Modal | 25 | 0,077 | 0,9218 | 0,9186 |
| Modal | 26 | 0,074 | 0,9219 | 0,9186 |
| Modal | 27 | 0,07 | 0,9229 | 0,9187 |
| Modal | 28 | 0,068 | 0,9229 | 0,921 |
| Modal | 29 | 0,065 | 0,9232 | 0,921 |
| Modal | 30 | 0,062 | 0,9233 | 0,921 |
| Modal | 31 | 0,059 | 0,9233 | 0,922 |
| Modal | 32 | 0,054 | 0,9233 | 0,922 |
| Modal | 33 | 0,053 | 0,9233 | 0,9223 |
| Modal | 34 | 0,049 | 0,9233 | 0,9223 |
| Modal | 35 | 0,048 | 0,9233 | 0,9223 |
| Modal | 36 | 0,045 | 0,9233 | 0,9223 |
| Modal | 37 | 0,037 | 0,9233 | 0,9223 |
| Modal | 38 | 0,037 | 0,9233 | 0,9227 |
| Modal | 39 | 0,037 | 0,9233 | 0,9234 |

| Case | Mode | Period | SUM UX | SUM UY |
|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| Text | Unitless | sec | Unitless | Unitless |
| Modal | 40 | 0,024 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 41 | 0,02 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 42 | 0,02 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 43 | 0,02 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 44 | 0,02 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 45 | 0,019 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 46 | 0,019 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 47 | 0,019 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 48 | 0,019 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 49 | 0,019 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 50 | 0,019 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 51 | 0,019 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 52 | 0,018 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 53 | 0,018 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 54 | 0,018 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 55 | 0,018 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 56 | 0,018 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 57 | 0,017 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 58 | 0,017 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 59 | 0,017 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 60 | 0,017 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 61 | 0,017 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 62 | 0,017 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 63 | 0,016 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 64 | 0,015 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 65 | 0,014 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 66 | 0,013 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 67 | 0,012 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 68 | 0,012 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 69 | 0,012 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 70 | 0,012 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 71 | 0,012 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 72 | 0,012 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 73 | 0,012 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 74 | 0,012 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 75 | 0,012 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 76 | 0,012 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 77 | 0,012 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 78 | 0,012 | 0,9233 | 0,9234 |

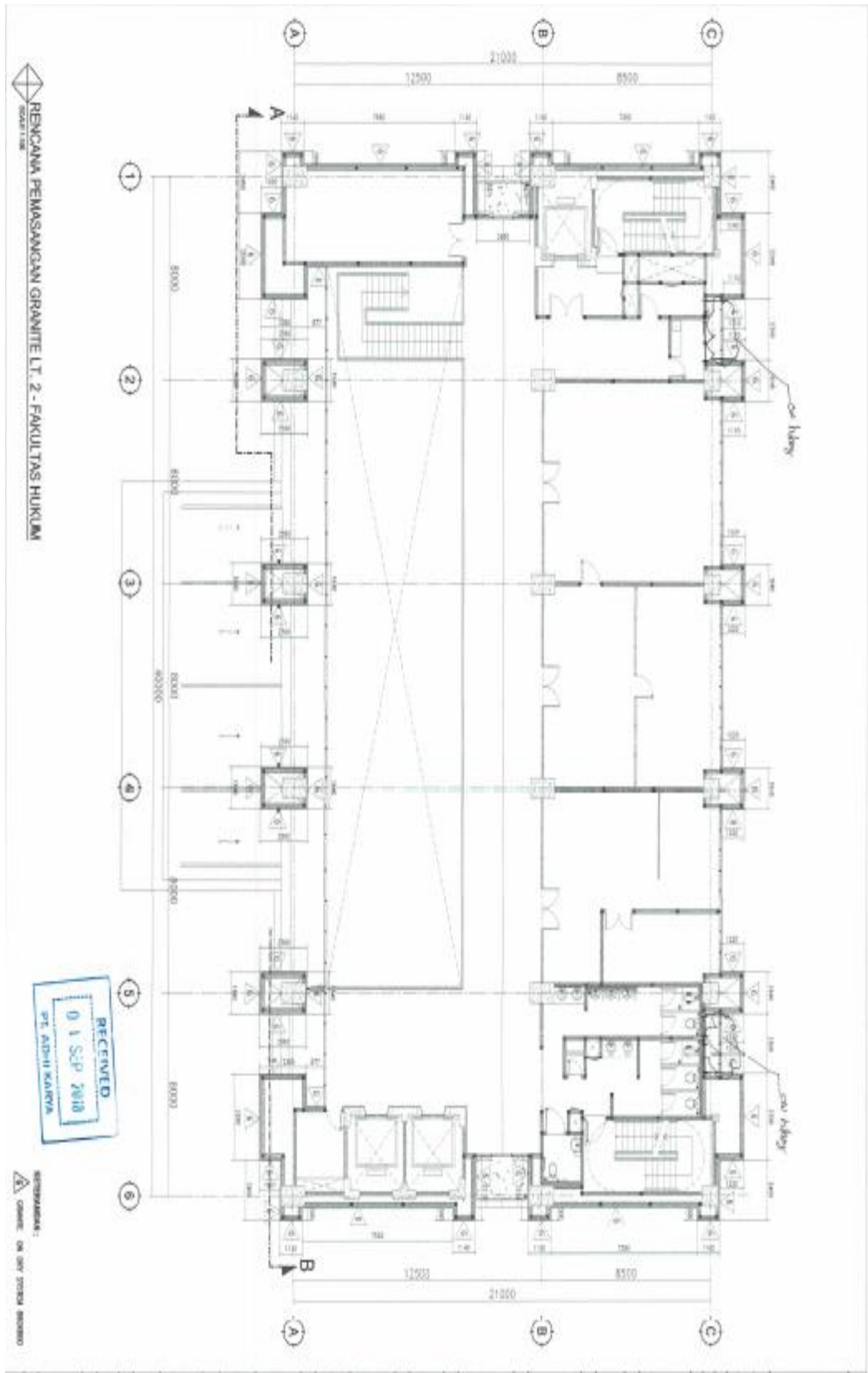
| Case | Mode | Period | SUM UX | SUM UY |
|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| Text | Unitless | sec | Unitless | Unitless |
| Modal | 79 | 0,011 | 0,9233 | 0,9234 |
| Modal | 80 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 81 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 82 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 83 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 84 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 85 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 86 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 87 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 88 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 89 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 90 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 91 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 92 | 0,01 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 93 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 94 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 95 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 96 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 97 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 98 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 99 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 100 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 101 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 102 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 103 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 104 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 105 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 106 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 107 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 108 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 109 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 110 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 111 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 112 | 0,009 | 0,9241 | 0,9234 |
| Modal | 113 | 0,007 | 0,9242 | 0,9234 |
| Modal | 114 | 0,006 | 0,9242 | 0,9234 |
| Modal | 115 | 0,006 | 0,9242 | 0,9234 |
| Modal | 116 | 0,006 | 0,9242 | 0,9234 |
| Modal | 117 | 0,006 | 0,9242 | 0,9234 |

| Case | Mode | Period | SUM UX | SUM UY |
|-------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Text | Unitless | sec | Unitless | Unitless |
| Modal | 118 | 0,006 | 0,9242 | 0,9234 |
| Modal | 119 | 0,006 | 0,9242 | 0,9234 |
| Modal | 120 | 0,006 | 0,9242 | 0,9234 |
| Modal | 121 | 0,006 | 0,9242 | 0,9234 |
| Modal | 122 | 0,006 | 0,9242 | 0,9234 |
| Modal | 123 | 0,006 | 0,9242 | 0,9234 |
| Modal | 124 | 0,006 | 0,9242 | 0,9234 |
| Modal | 125 | 0,006 | 0,9242 | 0,9234 |
| Modal | 126 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 127 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 128 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 129 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 130 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 131 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 132 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 133 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 134 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 135 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 136 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 137 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 138 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 139 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 140 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 141 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 142 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 143 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 144 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 145 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 146 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 147 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 148 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 149 | 0,006 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 150 | 0,005 | 0,9242 | 0,9237 |
| Modal | 151 | 0,005 | 0,9242 | 0,9253 |
| Modal | 152 | 0,004 | 0,9247 | 0,9253 |
| Modal | 153 | 0,004 | 0,936 | 0,9253 |
| Modal | 154 | 0,004 | 0,9684 | 0,9559 |
| Modal | 155 | 0,004 | 0,9952 | 0,9973 |
| Modal | 156 | 0,003 | 0,9952 | 0,9973 |

| Case | Mode | Period | SUM UX | SUM UY |
|--------------|------------|--------------|----------|----------|
| Text | Unitless | sec | Unitless | Unitless |
| Modal | 157 | 0,003 | 0,9952 | 0,9973 |
| Modal | 158 | 0,003 | 0,9952 | 0,9973 |
| Modal | 159 | 0,003 | 0,9952 | 0,9973 |
| Modal | 160 | 0,003 | 0,9952 | 0,9973 |
| Modal | 161 | 0,003 | 0,9952 | 0,9973 |
| Modal | 162 | 0,003 | 0,9952 | 0,9973 |
| Modal | 163 | 0,003 | 0,9952 | 0,9973 |
| Modal | 164 | 0,003 | 0,9952 | 0,9973 |
| Modal | 165 | 0,003 | 0,9952 | 0,9973 |
| Modal | 166 | 0,003 | 0,9952 | 0,9973 |
| Modal | 167 | 0,003 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 168 | 0,003 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 169 | 0,003 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 170 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 171 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 172 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 173 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 174 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 175 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 176 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 177 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 178 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 179 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 180 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 181 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 182 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 183 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 184 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 185 | 0,002 | 0,9981 | 0,998 |
| Modal | 186 | 0,002 | 0,9981 | 0,999 |
| Modal | 187 | 0,002 | 0,9981 | 1 |
| Modal | 188 | 0,002 | 0,9991 | 1 |
| Modal | 189 | 0,002 | 1 | 1 |
| Modal | 190 | 0,002 | 1 | 1 |
| Modal | 191 | 0,002 | 1 | 1 |
| Modal | 192 | 0,001 | 1 | 1 |
| Modal | 193 | 0,001 | 1 | 1 |
| Modal | 194 | 0,001 | 1 | 1 |
| Modal | 195 | 0,001 | 1 | 1 |

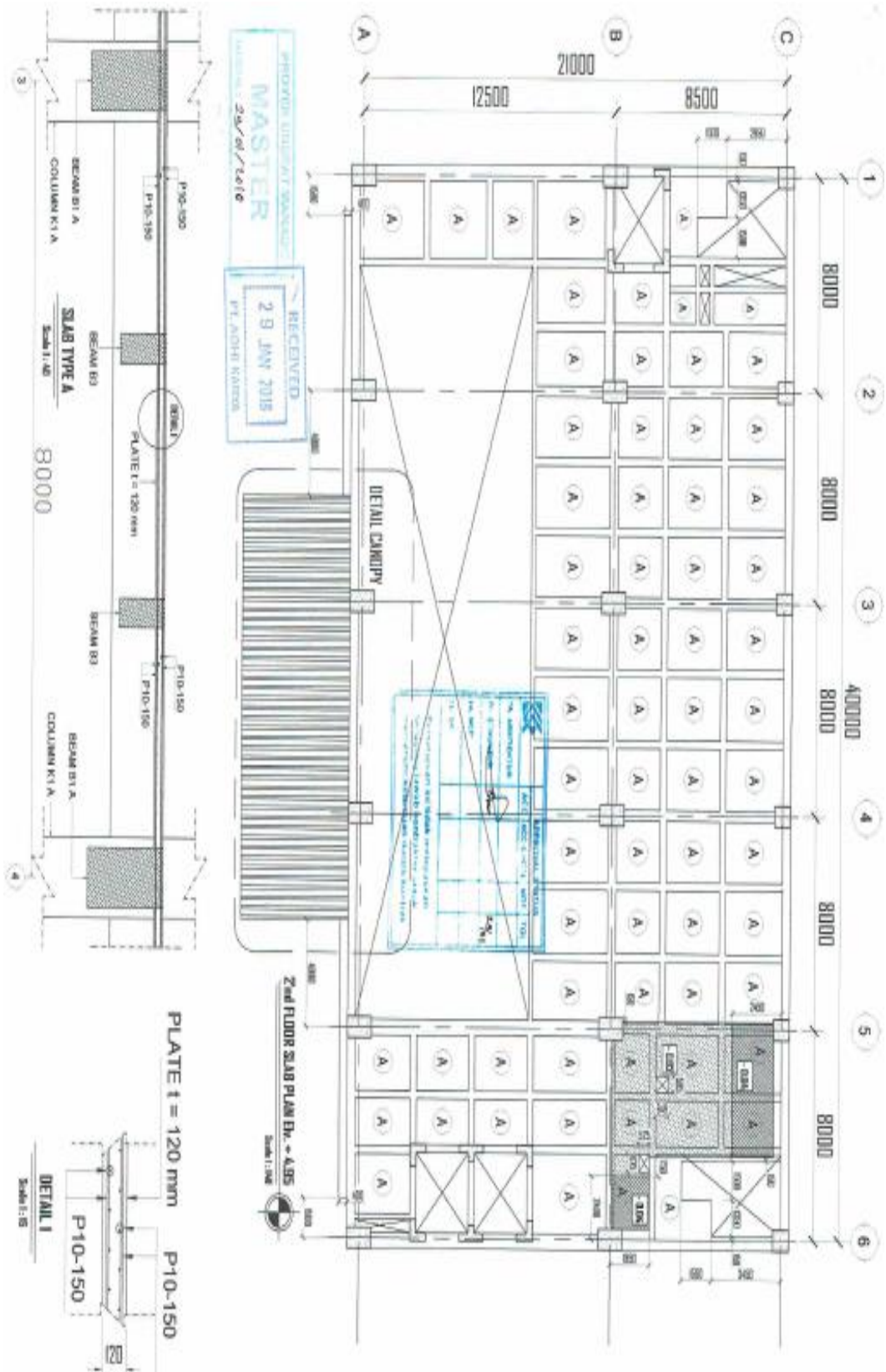
**LAMPIRAN 3 GAMBAR DENAH BANGUNAN GEDUNG KAMPUS
FAKULTAS HUKUM UNIVERSITAS SAM RATULANGI MANADO**

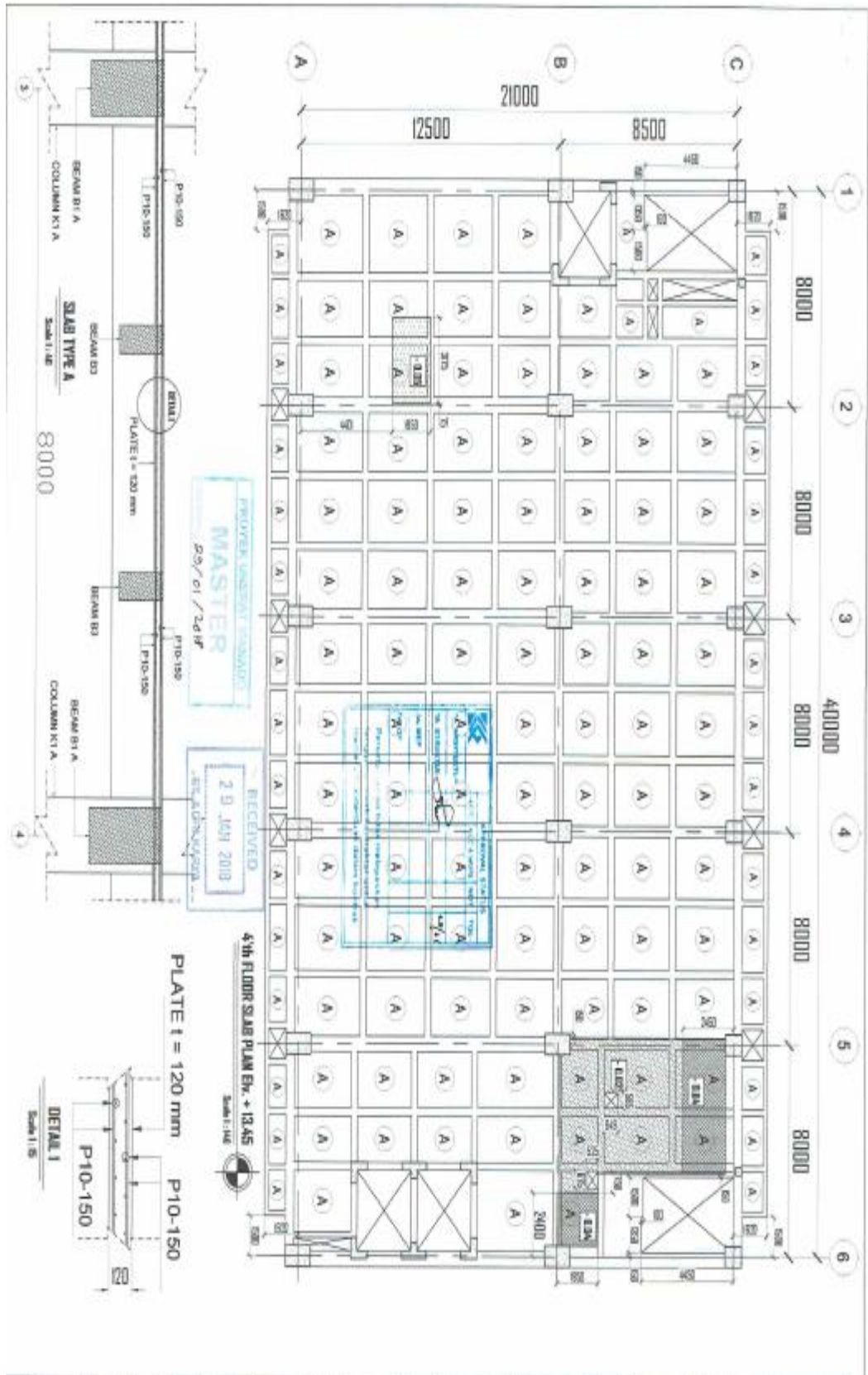




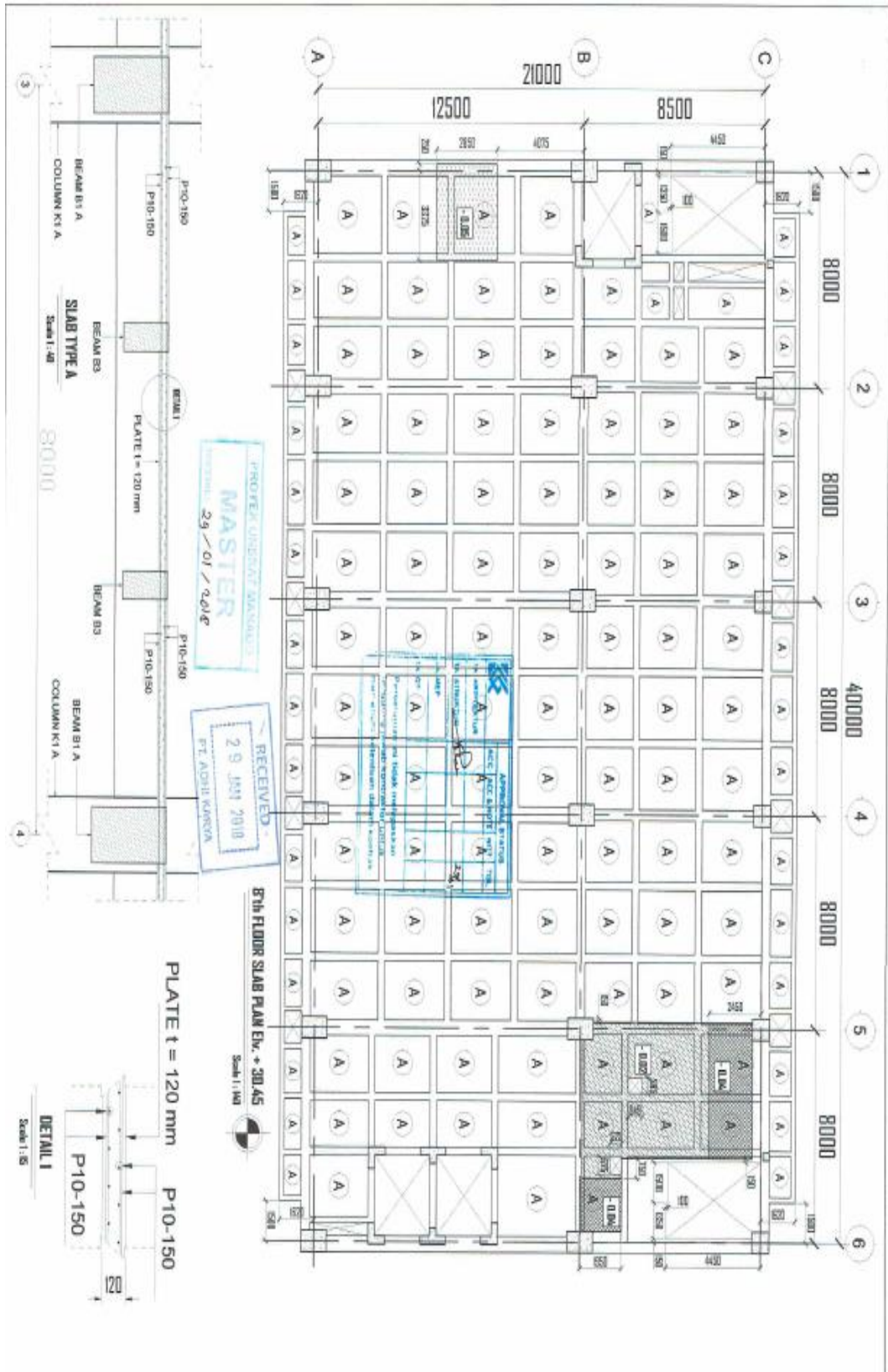
**LAMPIRAN 4 GAMBAR DENAH PELAT BANGUNAN GEDUNG
KAMPUS FAKULTAS HUKUM UNIVERSITAS SAM RATULANGI
MANADO**

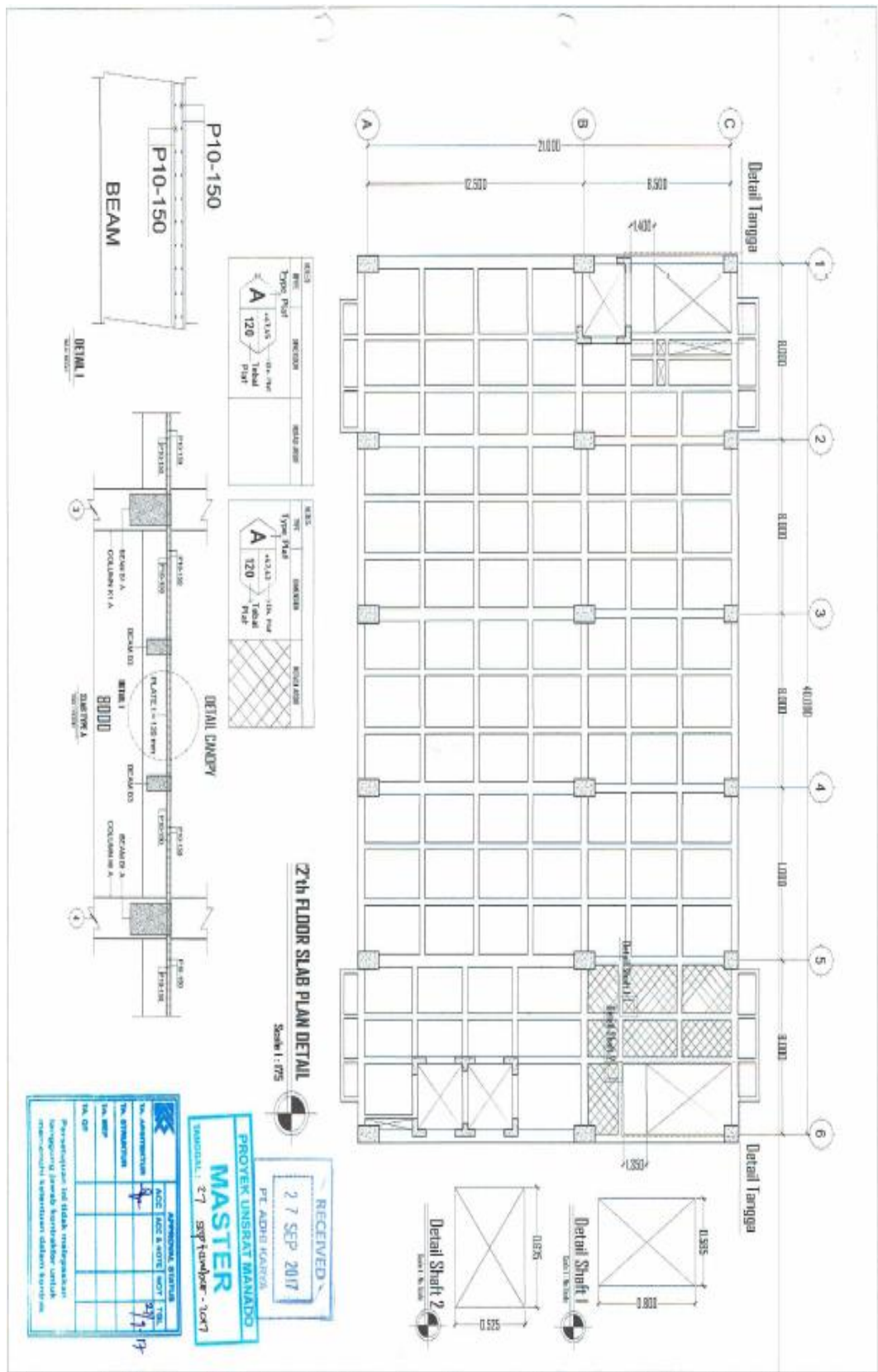


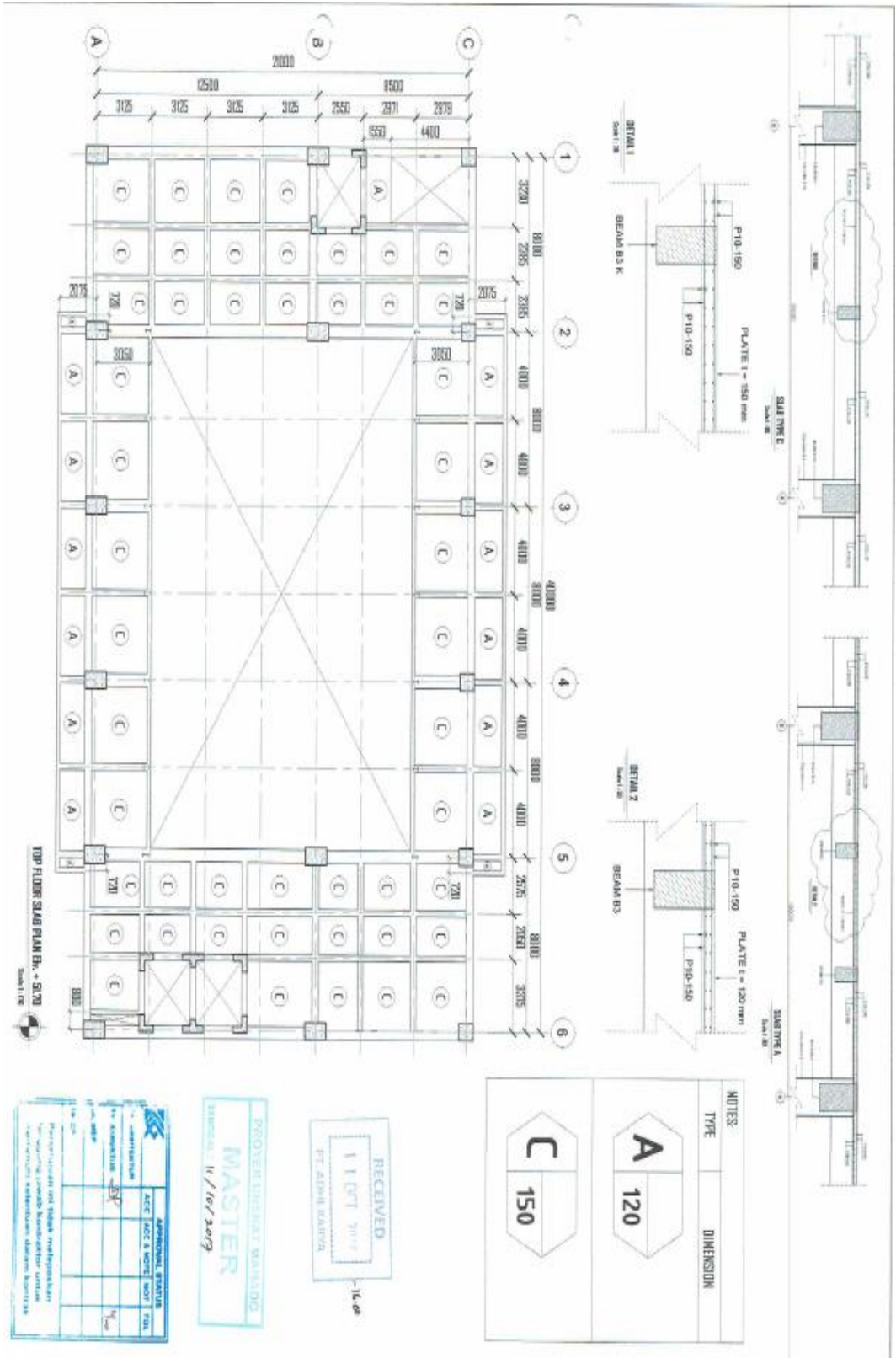












NOTES:

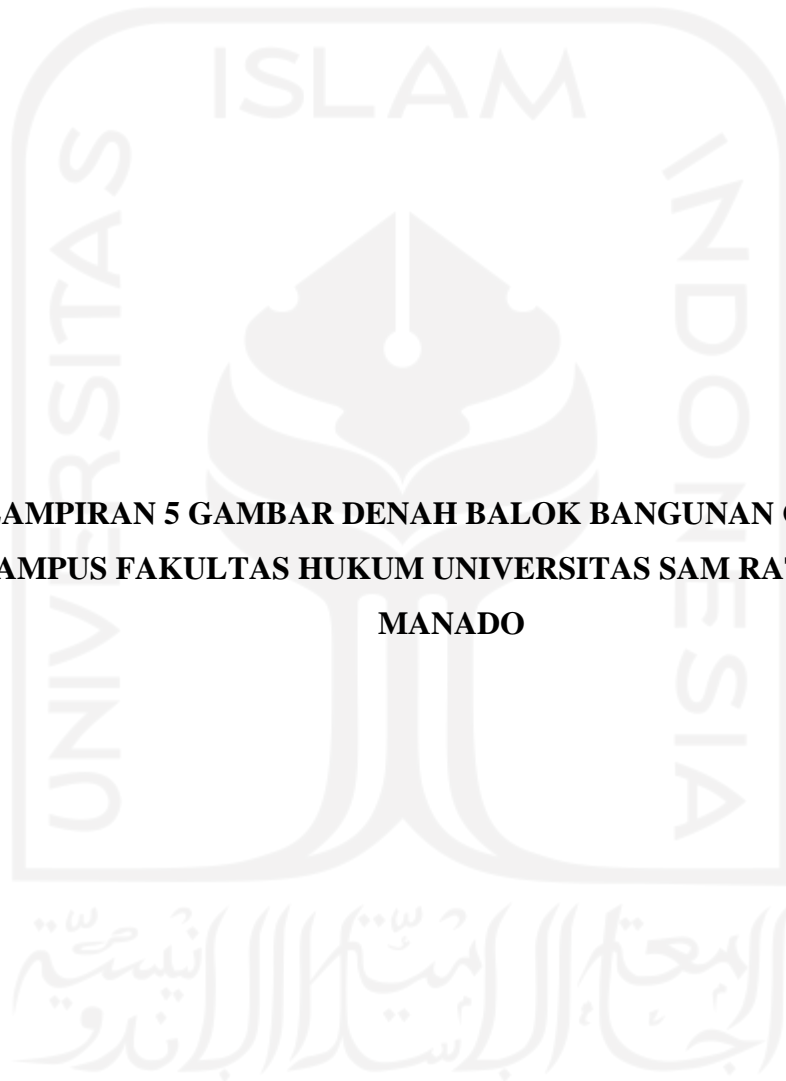
| TYPE | DIMENSION |
|------|-----------|
| A | 120 |
| C | 150 |

RECEIVED
 11 OCT 2017
 FT. ALPHI KAMPUS

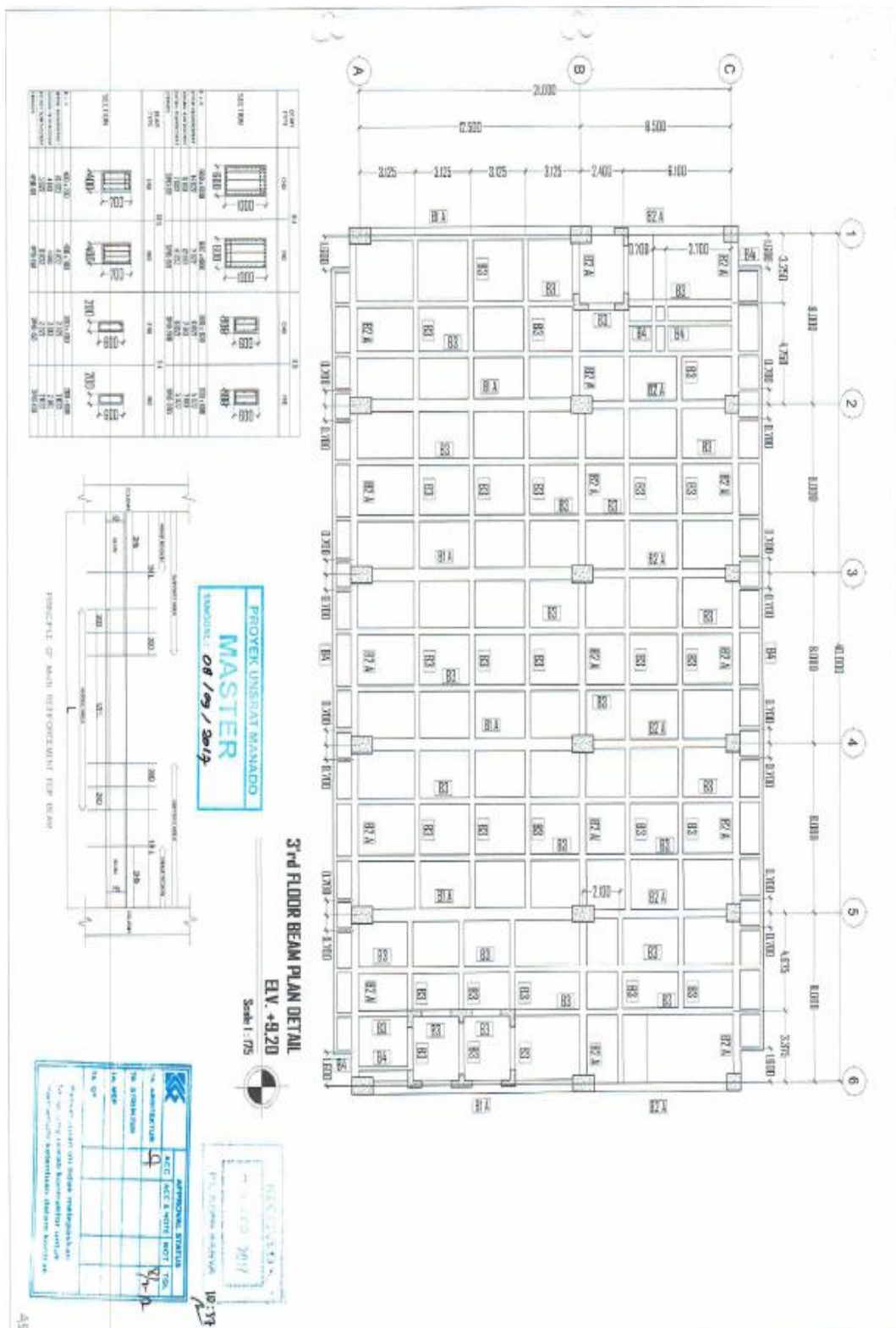
PROVER LUCRASI MANUNG
MASTER
 N/16/2017

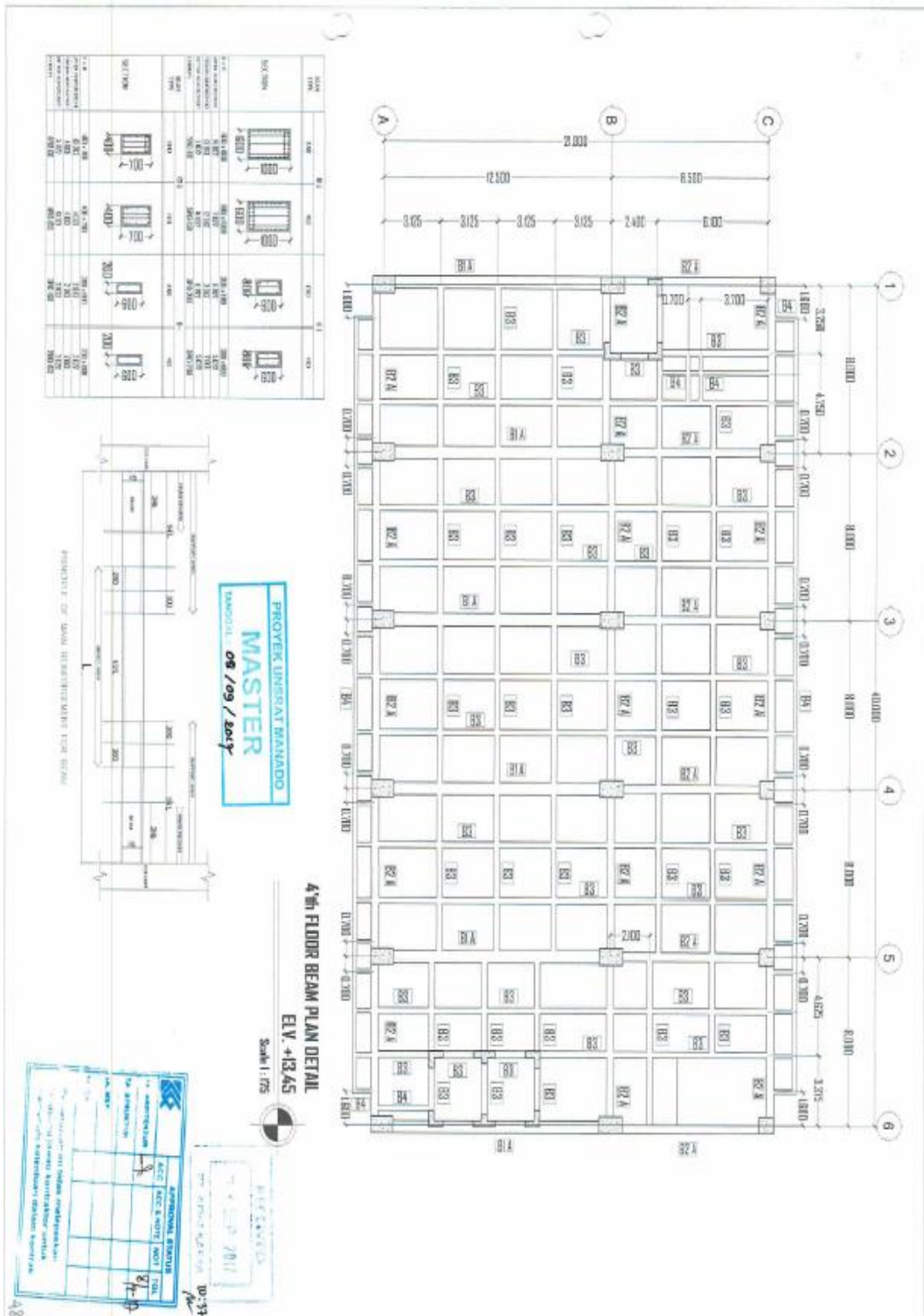
| NO | REVISI | REVISI | REVISI |
|----|--------|--------|--------|
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 4 | 4 | 4 |
| 5 | 5 | 5 | 5 |
| 6 | 6 | 6 | 6 |
| 7 | 7 | 7 | 7 |
| 8 | 8 | 8 | 8 |
| 9 | 9 | 9 | 9 |
| 10 | 10 | 10 | 10 |

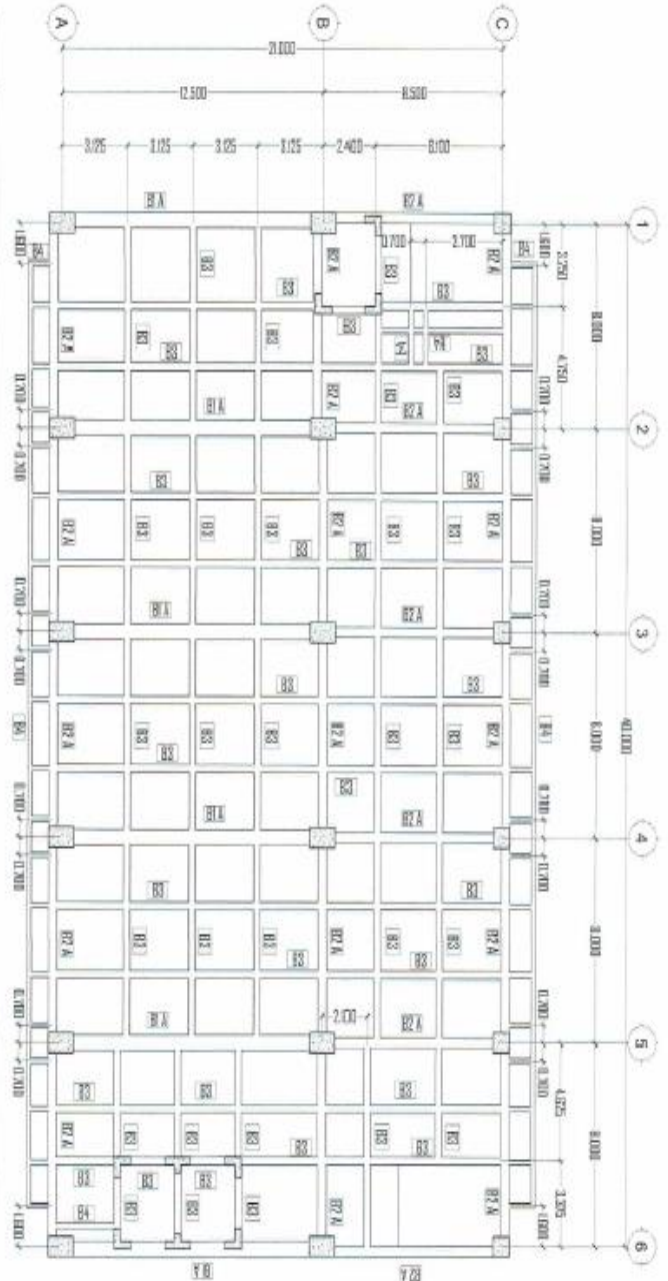
**LAMPIRAN 5 GAMBAR DENAH BALOK BANGUNAN GEDUNG
KAMPUS FAKULTAS HUKUM UNIVERSITAS SAM RATULANGI
MANADO**











5th & 6th FLOOR BEAM
PLAN & DETAIL

Scale: 1:75

| SECTION | 1/20 | 1/20 | 1/20 | 1/20 |
|---------|------|------|------|------|
| SECTION | | | | |
| SECTION | | | | |



REINFORCEMENT OF MAIN MEMBERS/BEAM FOR BEAM

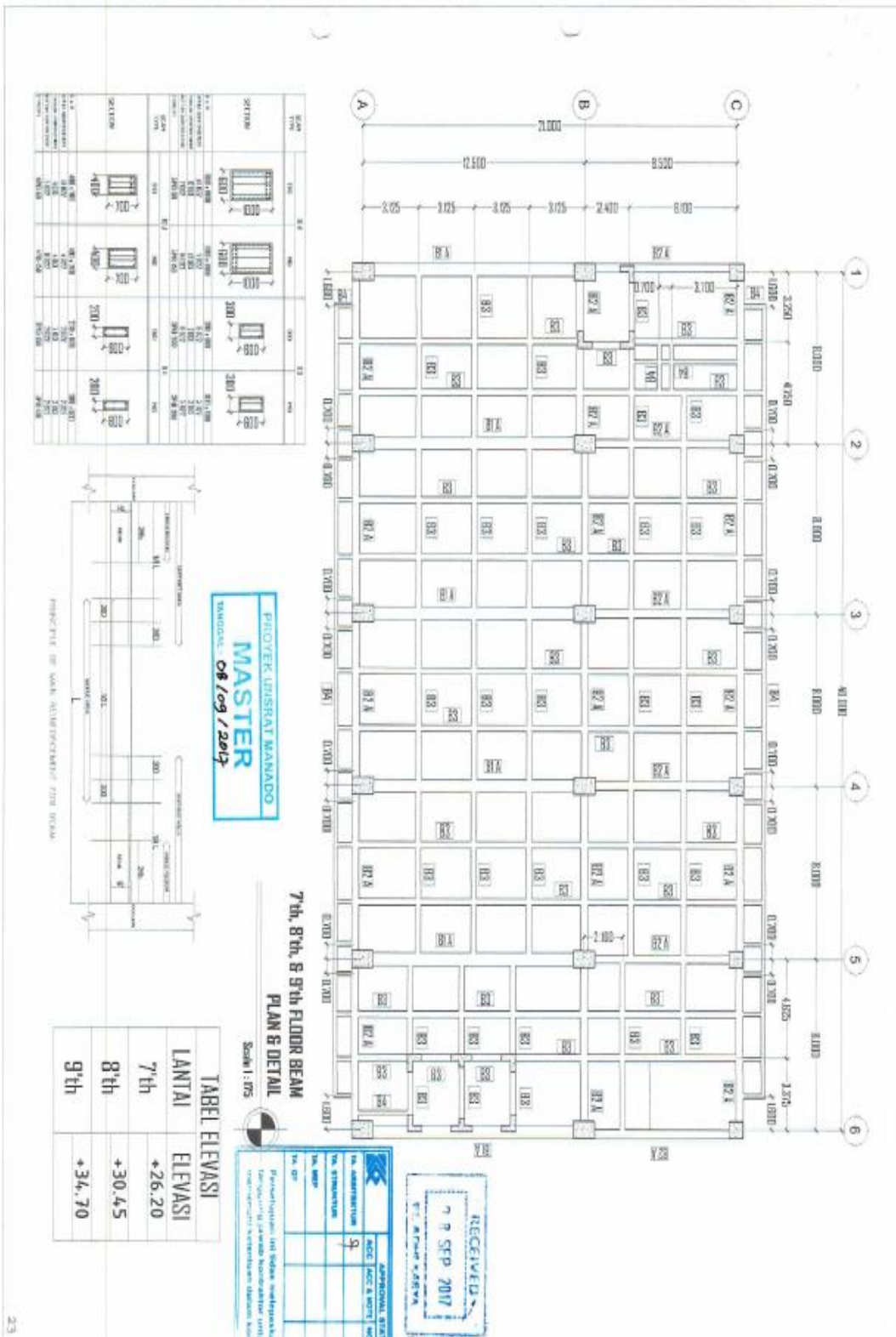
PROYEKSI CONSULTING MALINDO
MASTER
 08/09/2012

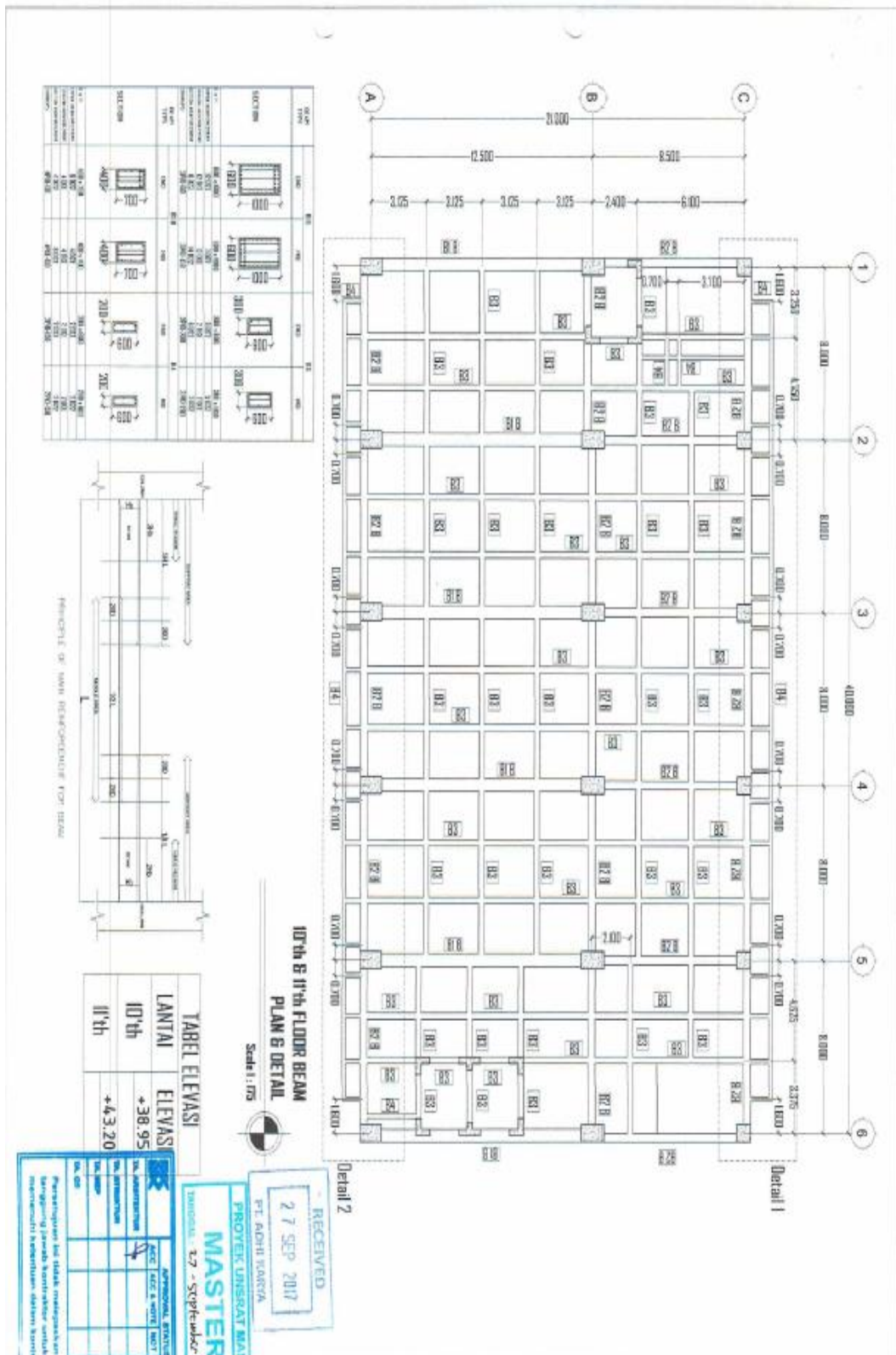
| TABEL ELEVASI | ELEVASI |
|---------------|---------|
| LANTAI | +17.70 |
| 5th | +21.95 |
| 6th | |

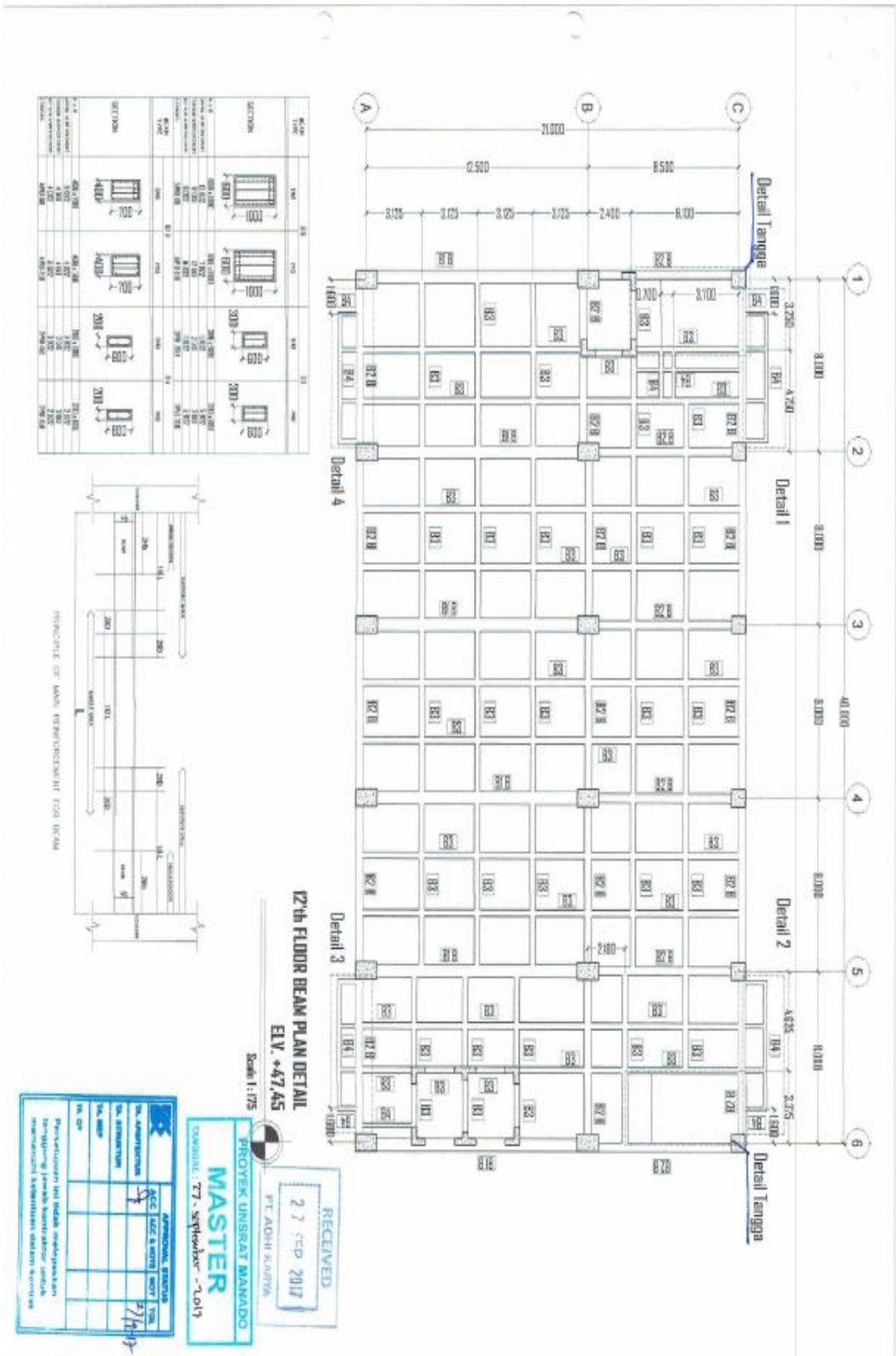


RECEIVED -
 08 SEP 2012
 PT. ADHI KARYA
 1839F/1A

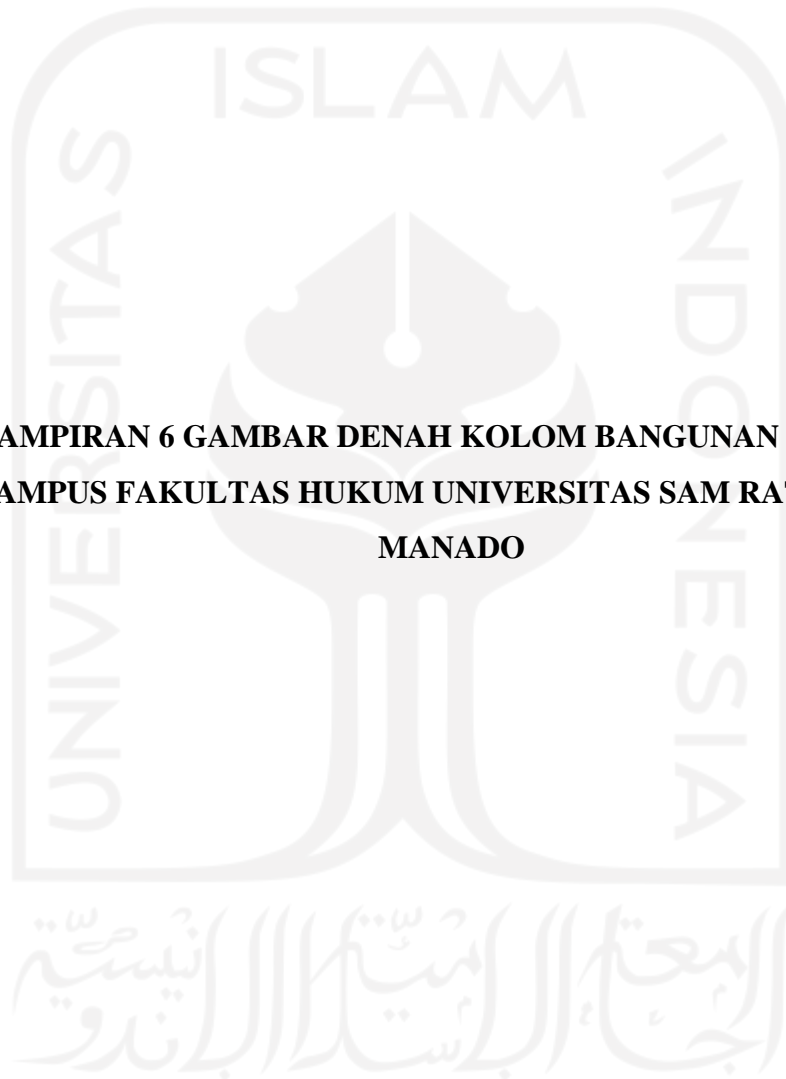
Permitting and approval stamp from the local government authority, including the name of the official and the date of approval.



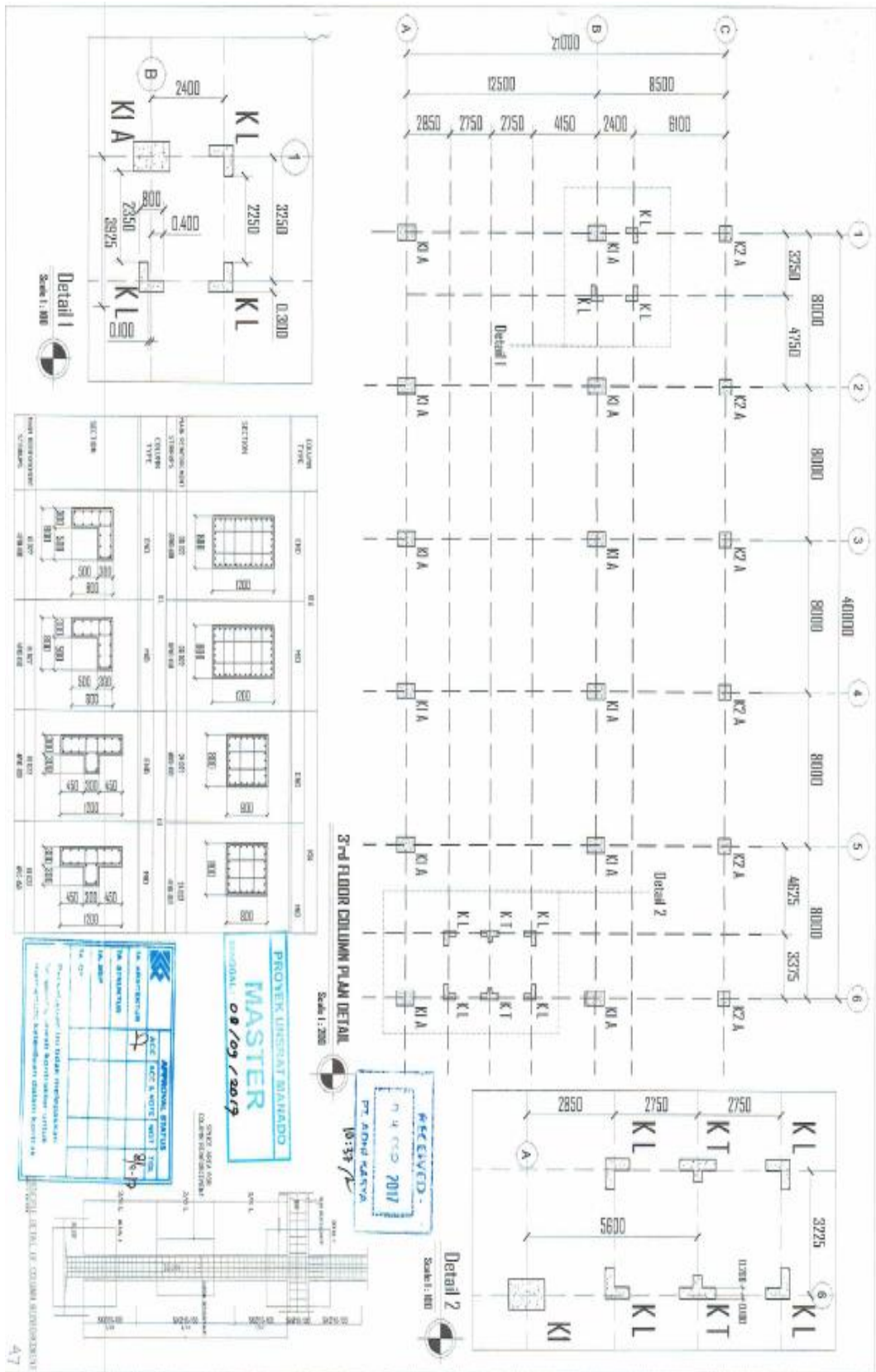


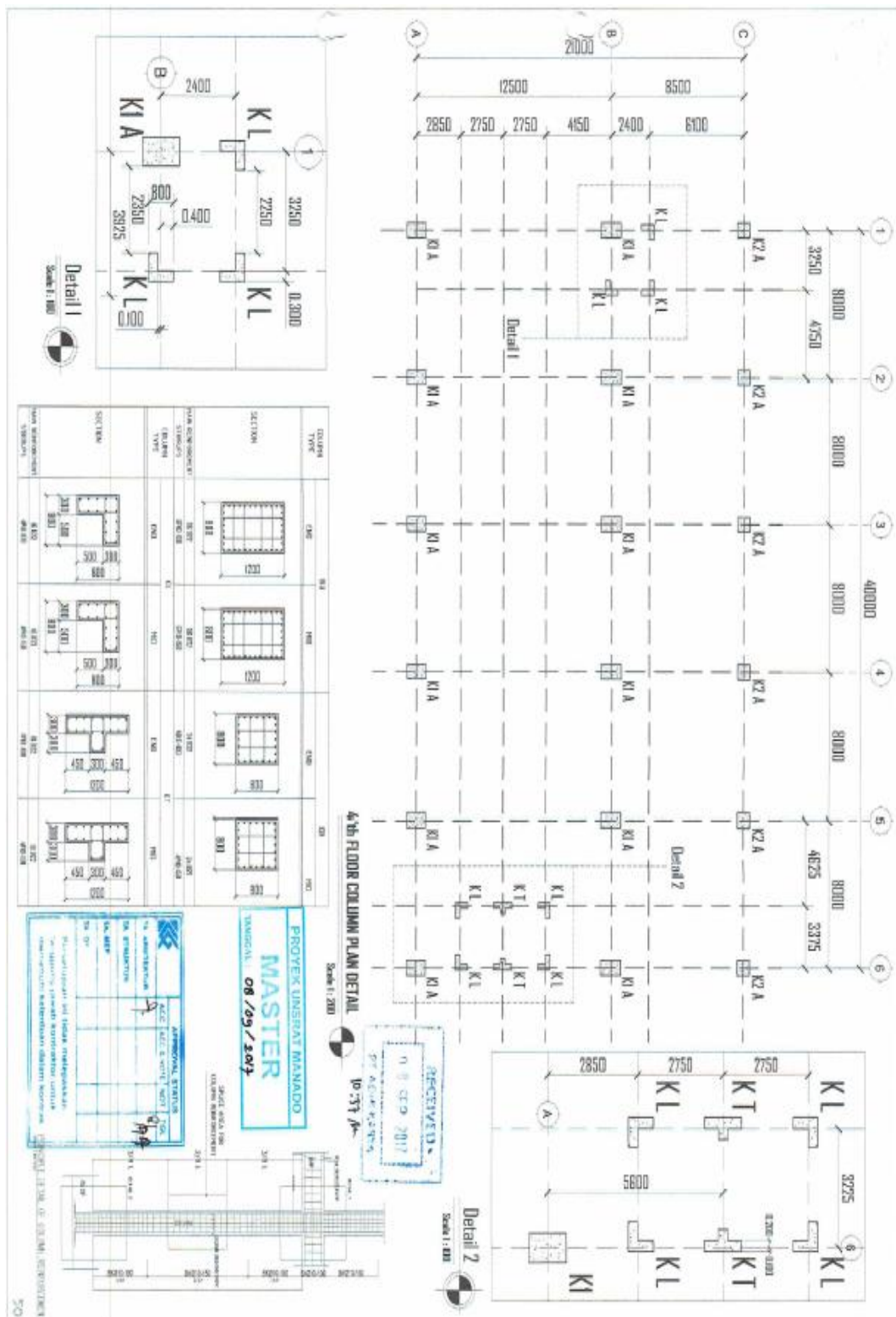


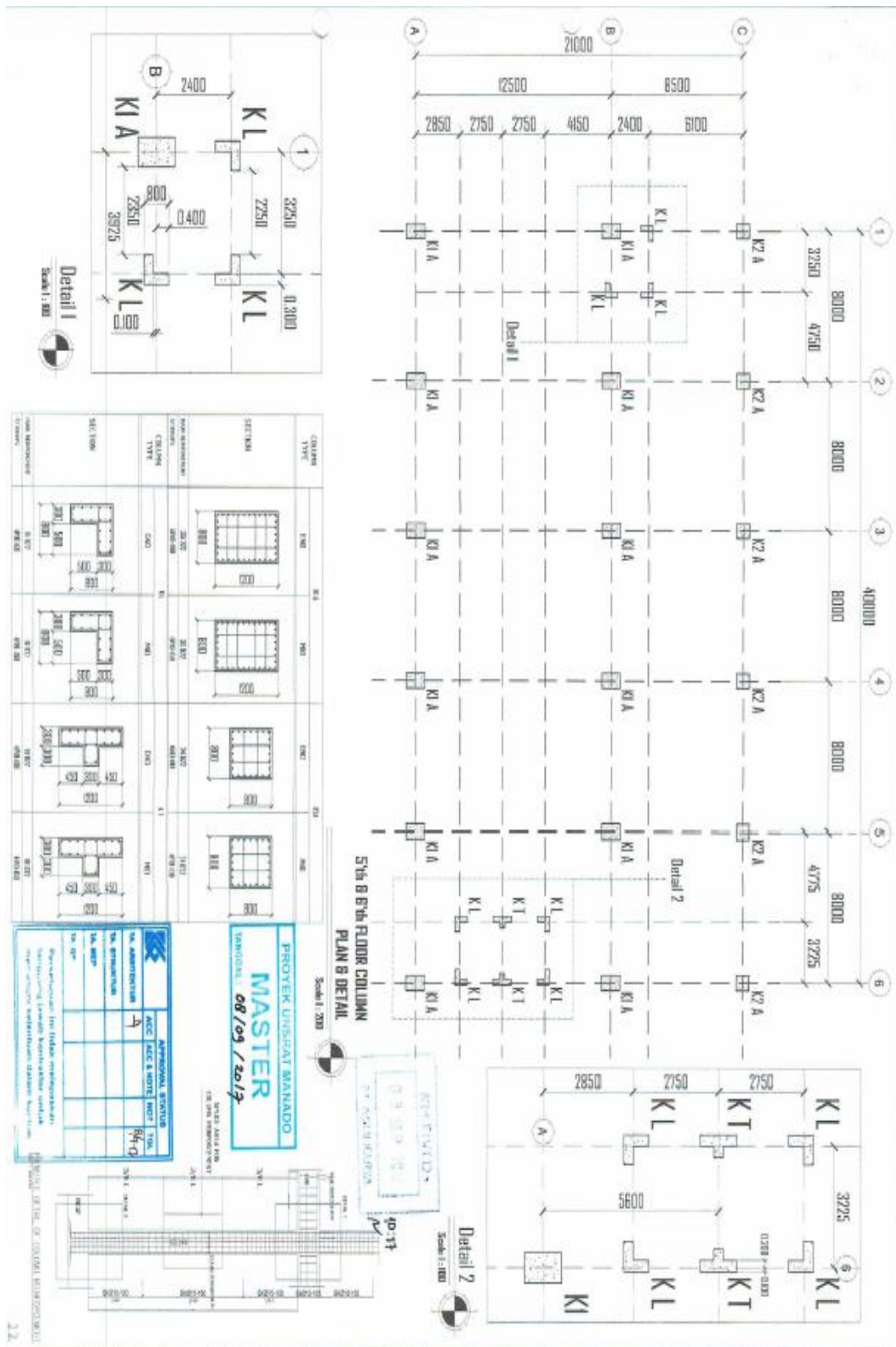
**LAMPIRAN 6 GAMBAR DENAH KOLOM BANGUNAN GEDUNG
KAMPUS FAKULTAS HUKUM UNIVERSITAS SAM RATULANGI
MANADO**

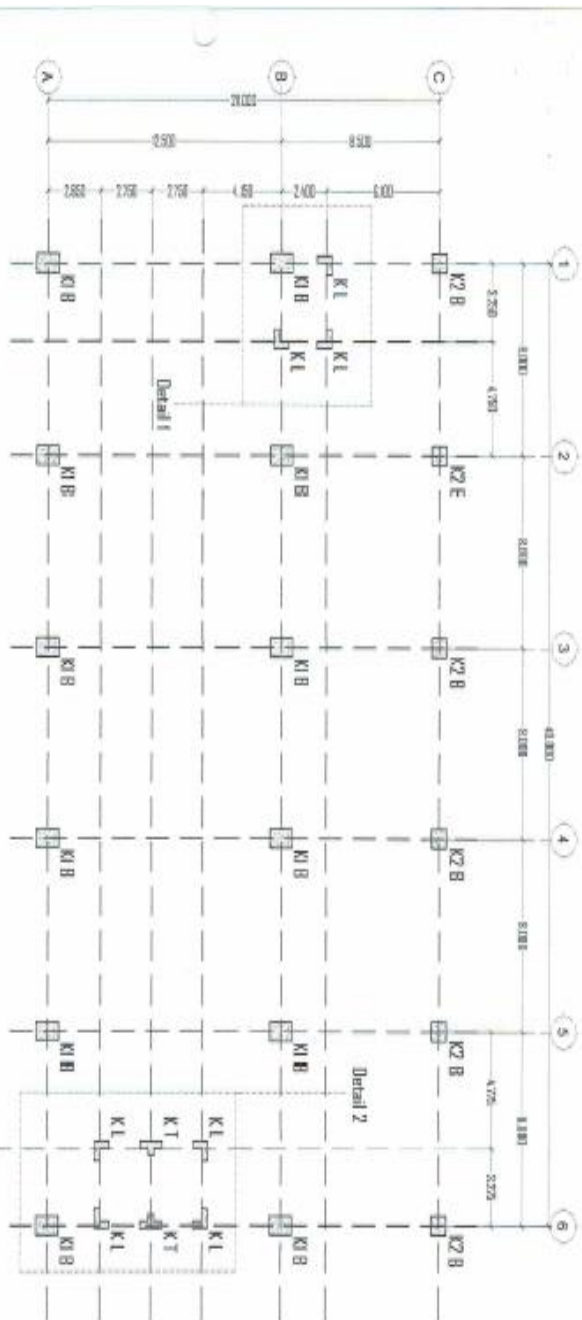






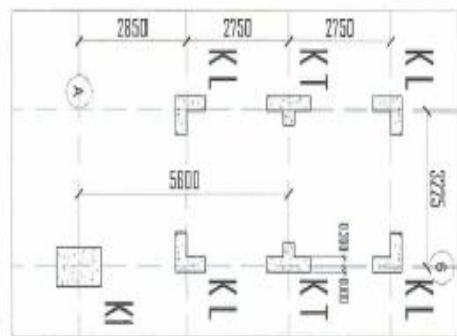






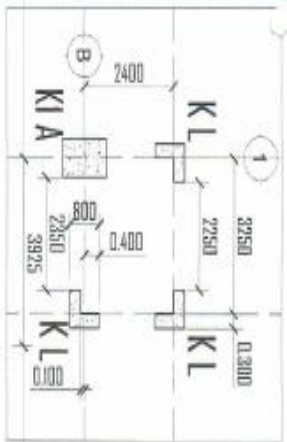
7th, 8th, & 9th FLOOR COLUMN PLAN & DETAIL

Scale: 1 : 200



Detail 2

Scale: 1 : 80



Detail 1

Scale: 1 : 80

| COLUMN TYPE | 1300 | 800 | 800 | 400 | 400 |
|-------------|------|-----|-----|-----|-----|
| SECTION | | | | | |
| SECTION | | | | | |
| SECTION | | | | | |
| SECTION | | | | | |
| SECTION | | | | | |

PROVEREK INSPIRAT BANANADO
MASTER
 TANGKALAN, 08/09/2017

| | | | | |
|--------------------|------------|-------|---------------|--------------|
| APPROVAL SIGNATURE | DATE | SCALE | NO. OF SHEETS | TOTAL SHEETS |
| | 08/09/2017 | 1:200 | 1 | 1 |





12th FLOOR COLUMN PLAN DETAIL

Scale: 1:200

| SECTION | SECTION TYPE | SECTION | SECTION | SECTION | SECTION |
|-----------|--------------|-----------|------------|------------|------------|
| SECTION 1 | SECTION 2 | SECTION 3 | SECTION 4 | SECTION 5 | SECTION 6 |
| SECTION 7 | SECTION 8 | SECTION 9 | SECTION 10 | SECTION 11 | SECTION 12 |

RECEIVED
15 SEP 2017
PT. ADHI KARTHA
ALUM SURABAYA

MASTER
PROYEK UNSHAT MANADO
MANADO

Perencanaan dan desain merupakan tanggung jawab kami. Untuk pelaksanaan, mohon koordinasi dan konfirmasi ke kantor kami.

Scale: 1:100