STUDI PERENCANAAN STRUKTUR BALOK DAN KOLOM PADA RENCANA GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UNIMUDA SORONG

SKRIPSI

OLEH

ARSYI QODRIYANTO

NIM.142220118003

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS PENDIDIKAN MUHAMMADIYAH SORONG

2026

STUDI PERENCANAAN STRUKTUR BALOK DAN KOLOM PADA RENCANA GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UNIMUDA SORONG

Skripsi

Untuk memperoleh derajat Sarjana pada

Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong

Dipertahankan dalam Ujian Skripsi

Pada tanggal

Oleh

Arsyi Qodriyanto

Lahir

Di Sorong

HALAMAN PERSETUJUAN

STUDI PERENCANAAN STRUKTUR BALOK DAN KOLOM PADA RENCANA GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UNIMUDA SORONG DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK)

Nama : Arsyi Qodriyanto
NIM : 142220118003

Tugas Akhir ini telah disetujui oleh Tim Pembimbing

Pada, 20 Desember 2025

Tim Pembimbing

Pembimbing I

Andi Rahmat, M.Eng.
NIDN. 1415059002

.....

Pembimbing II

Dr. Ir. Eko Tavip Maryanto, M.T., IPM.
NIDN. 1225036501

.....

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI PERENCANAAN STRUKTUR BALOK DAN KOLOM PADA RENCANA GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UNIMUDA SORONG DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK)

Nama : Arsyi Qodriyanto
NIM : 142220118003

Skripsi ini telah disahkan oleh Dekan Fakultas Teknik

Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong

Pada: 17 Juni 2026

Dekan Fakultas Teknik UNIMUDA Sorong

Yusnita La Goa, M.T.
NIDN. 1429048101

Tim Penguji Skripsi

1. **Muh. Rizal S, M.T.**
   NIDN. 1428099701 .....

2. **Elfiyusriningsi Syara, M.T.**
   NIDN.1428109701 .....

3. **Athiah Safari, M.T.**
   NIDN. 1416098801 .....

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar Pustaka.

Aimas, 3 Juni 2026

Matrai 10000

ARSYI QODRIYANTO

142220118003

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

فَتَعٰلَى اللّٰهُ الْمَلِكُ الْحَقُّ ۗ وَلَا تَعْجَلْ بِالْقُرْاٰنِ مِنْ قَبْلِ اَنْ يُّقْضٰٓى اِلَيْكَ وَحْيُهٗ ۖ وَقُلْ رَّبِّ زِدْنِيْ عِلْمًا

Maka Maha Tinggi Allah, Raja yang sebenar-benarnya. Dan janganlah engkau (Muhammad) tergesa-gesa (membaca) Al-Qur'an sebelum selesai diwahyukan kepadamu, dan katakanlah, "Ya Tuhanku, tambahkanlah ilmu kepadaku."

MOTTO

"Berilmulah, sebaik-baik manusia yang belajar berilmu dan mengajarkannya, karna dengan belajar kamu akan merdeka dari kebodohan dan bisa berbaik hati, serendah hati kita sebagai insan yang bertaqwa."

PERSEMBAHAN

Hasil penelitian ini saya persembahkan kepada :

1. Allah Subhanallahu wa ta'ala Zat yang memberi Rahmat dan Rizki.
2. Ibu dan Ayah tercinta, terima kasih atas Do'a dan restu serta segala yang kalian korbankan.
3. Keluargaku, Temanku, Terkasihku dahulu yang mendukung dengan luar biasa.
4. Pada diri sendiri.

ABSTRAK

Fakultas Teknik Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong adalah Perguruan Tinggi Swasta milik Muhammadiyah. Dengan dua program Studi Studi Jurusan Teknik, yaitu Teknik Sipil dan Teknik Kimia, maka munculah kebutuhan akan fasilitas sarana dan prasarana penunjang proses perkuliahan seperti ruang kuliah, laboratorium, dan kantor Program Studi. Maka dilakukan studi perencanaan gedung Fakultas Teknik Unimuda Sorong dengan lokasi perencanaan berada di wilayah rawan gempa karena dipengaruhi oleh Sesar Sorong dan zona kegempaan Papua, sehingga perencanaan struktur harus memperhatikan aspek ketahanan gempa. Pada perencanaan struktur gedung ini didapatkan konfigurasi dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai dengan ketentuan dan standar yang berlaku agar mampu memberikan daktilitas dan ketahanan terhadap beban lateral. Hasil analisis menunjukkan bahwa perilaku struktur gedung tidak melewati batas nilai maksimum yang diijinkan dari nilai Gaya Geser Dasar dan juga nilai P-Delta Efek yang terjadi akibat beban gempa. Serta didapatkan dimensi elemen struktur yang memenuhi syarat adalah kolom 100 cm × 100 cm dan balok 70 cm × 100 cm. Perencanaan ini diharapkan menjadi referensi dalam pembangunan Gedung Fakultas Teknik Unimuda Sorong yang aman sesuai dengan peraturan pembebanan serta memenuhi kebutuhan akademik.

Kata kunci: Struktur Gedung, SRPMK, Gempa, Sorong.

ABSTRACT

The Faculty of Engineering of Muhammadiyah University of Education Sorong is a private university owned by Muhammadiyah. With two study programs in the Department of Engineering, namely Civil Engineering and Chemical Engineering, the need for supporting facilities and infrastructure for the lecture process arises, such as lecture halls, laboratories, and study program offices. Therefore, a planning study was conducted for the Faculty of Engineering building at Unimuda Sorong with the planning location being in an earthquake-prone area because it is affected by the Sorong Fault and the Papua seismic zone, so that structural planning must pay attention to earthquake resistance aspects. In the structural planning of this building, a configuration with a Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) was obtained in accordance with applicable provisions and standards in order to provide ductility and resistance to lateral loads. The results of the analysis show that the behavior of the building structure does not exceed the maximum allowable value of the Basic Shear Force value and also the P-Delta Effect value that occurs due to earthquake loads. And the dimensions of the structural elements that meet the requirements are columns of 100 cm × 100 cm and beams of 70 cm × 100 cm. This planning is expected to be a reference in the construction of the Unimuda Sorong Faculty of Engineering Building which is safe in accordance with loading regulations and meets academic needs.

Keywords*: Building Structure, SMRF, Earthquake, Sorong.*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas Berkat dan Rahmat-NYA penulisan Skripsi dengan judul **"Studi Perencanaan Struktur Balok Dan Kolom Pada Rencana Gedung Fakultas Teknik Unimuda Sorong"** ini dapat terselesaikan.

Dalam penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan, hal ini disebabkan karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penulis. Oleh karna itu, untuk melengkapi hal tersebut diharapkan adanya saran dan kritik yang sifatnya membangun.

Tujuan penulisan Penelitian ini adalah untuk memenuhi salah satu kriteria dan syarat kelulusan untuk memperoleh derajat sarjana Universitas Pendidikan Muhammadiyah (Unimuda) Sorong. Dengan memberikan kesempatan kepada para Mahasiswa untuk memperluas dan memperdalam pemahaman mengenai bidang-bidang kerja keteknikkan dan penerapannya.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak yang telah membantu serta membimbing dalam menyelesaikan Penelitian ini. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Dr. Rustamadji, M.Si. selaku Rektor Universitas Pendidikan Muhammadiyah (UNIMUDA) Sorong.
2. Ibu Yusnita La Goa, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Pendidikan Muhammadiyah (UNIMUDA) Sorong.

3. Ibu Elfiyusriningsi Syara, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Pendidikan Muhammadiyah (UNIMUDA) Sorong.
4. Bapak Andi Rahmat, M.Eng selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Eko Tavip Maryanto, M.T., IPM. selaku Dosen Pembimbing II.
5. Kepada Bapak Muh. Rizal S, M.T., Ibu Elfiyusriningsi Syara, M.T., dan Bapak Athiah Safari, M.T. selaku Dewan Penguji.
6. Kepada Ahmad Sukma Andika, Aleksius Mitan, S.T., Yusro Nur Hamdani, S.T., Annisa Dewi Fitriani, S.T., Mellany Rahayu Ning Tyas, S.T., Ayu Indah Sulistiani, S.Pd., Gr
7. Seluruh Pihak yang terlibat dalam Penelitian ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati, Semoga Penelitian ini dapat bermanfaat untuk kita semua.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Aimas, 19 Juni 2026

Arsyi Qodriyanto

NIM. 142220118003

DAFTAR ISI

JUDUL ..... **i**
SUB JUDUL ..... **ii**
LEMBAR PERSETUJUAN ..... Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN ..... **iv**
PERNYATAAN ..... **v**
MOTTO DAN PERSEMBAHAN ..... **vi**
ABSTRAK ..... **vii**
ABSTRACT ..... **viii**
KATA PENGANTAR ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **xi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
DAFTAR TABEL ..... **xvii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xix**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 5
1.3. Tujuan Penelitian 5
1.4. Manfaat Penelitian 5
1.5. Batasan Masalah 6
1.6. Sistematika Penulisan 6
BAB II LANDASAN TEORI **8**
2.1. Landasaan Umum 8
2.2. Desain Bangunan 8
2.3. Penelitian Terdahulu 10
2.4. Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa 19
2.4.1. Filosofi Bangunan Tahan Gempa 19
2.4.2. Konsep Desain Bangunan Tahan Gempa 22
2.5. Beton 26
2.5.1. Beton Bertulang 27
2.5.2. Kelebihan Beton Bertulang 28
2.6. Pembebanan Struktur 29
2.6.1. Beban Mati (Dead Load)\ 29

2.6.2. Beban Hidup (*Life Load)* 31
2.6.3. Beban Gempa (Seismic Load) 33
2.6.4. Kombinasi Beban (Load Combination) 34
2.7. Analisis Beban Seismik 37
2.7.1. Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa 38
2.7.1.1. Klasifikasi Situs 40
2.7.1.2. Parameter Respon Spektral Desain 42
2.7.2. Prosedur Gaya Lateral Ekivalen 51
2.7.2.1. Periode Fundamental Struktur 51
2.7.2.2. Kontrol Geser Dasar Seismik (V) 54
2.7.3.3. Koefisien Respon Seismik ($\boldsymbol{Cs}$) 54
2.8. Analisis Spektrum Respons Ragam 55
2.8.1. Distribusi Beban 55
2.8.2. Simpangan Antar Tingkat (Δ) 56
2.8.3. Pengaruh P-Delta 58
2.8.4. Jumlah Ragam 59
2.8.5. Parameter Respon Ragam 59
2.8.6. Klasifikasi Struktur Beraturan dan Tidak Beraturan 60
2.9. Sistem Pemikul Gaya Seismik 66
2.9.1. Sistem Rangka Pemikul Momen 66
2.9.2. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus 67
2.9.3. Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus 68
2.9.4. Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus 73
2.9.5. Joint Kolom -Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus 78
2.10. Elemen Struktur 81
2.10.1. Balok Beton Bertulang 82
2.10.2. Kolom Beton Bertulang 103
2.10.3. Hubungan/Joint Balok Kolom 111
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 117
3.1. Lokasi 117
3.2. Waktu 118
3.3. Pengumpulan Data 118
3.3.1. Data Primer 118
3.3.2. Data Sekunder 118
3.4. Metode Analisis Struktur 119
3.5. Tahapan Penelitian 119

3.6. Bagan Alir Penelitian 120
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 121
4.1. Perencanaan Bangunan 121
4.2. Data Desain Bangunan 125
4.3. Permodelan Struktur 126
4.4. Pembebanan Struktur 132
4.4.1. Beban Mati (DL) 132
4.4.2. Beban Hidup (LL) 134
4.4.3. Beban Air Hujan 135
4.5. Kombinasi Beban 135
4.6. Analisis Beban Seismik 137
4.6.1.1. Kategori Resiko Gempa 138
4.6.1.2. Faktor Keutamaan Gempa 138
4.6.1.3. Parameter Respon Spektral Desain 139
4.6.1.4. Faktor Amplifikasi 139
4.6.1.5. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa ($\boldsymbol{MCER}$) 141
4.6.1.6. Parameter Percepatan Spektral Desain 141
4.6.1.7. Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik 142
4.7. Prosedur Gaya Lateral Ekivalen 143
4.7.1.1. Periode Fundamental Struktur 143
4.7.1.2. Koefisien Respon Seismik ($\boldsymbol{Cs}$) 144
4.7.1.3. Geser Dasar Seismik 144
4.7.1.4. Distribusi Beban 144
4.8. Prosedur Gaya Lateral Dinamik 146
4.8.1.1. Skala Gaya Desain 148
4.8.1.2. Simpangan Antar Lantai 150
4.8.1.3. Pengaruh P-delta 152
4.9. Perencanaan Balok 154
4.9.1.1. Pedoman Perhitungan Balok 154
4.9.1.2. Data Perencanaan Balok 154
4.9.1.3. Parameter Material dan Geometri 156
4.9.1.4. Pengecekan Syarat Geometri 156
4.9.1.5. Desain Lentur 157
4.9.1.10. Desain Geser 168
4.9.1.11. Gambar Detail Tulangan Balok 173
4.10. Perencanaan Kolom 174

4.10.1.1. Pedoman Perhitungan Kolom 174
4.10.1.2. Data Perencanaan Kolom 174
4.10.1.3. Pengecekan Syarat Geometri 176
4.10.1.4. Pengecekan Syarat Rasio Tulangan 176
4.10.1.5. Pengecekan Kapasitas Aksial-Lentur 177
4.10.1.6. Pengecekan Syarat Kuat-Balok Lemah/*Strong Column Weak Beam* (SCWB) 178
4.10.1.7. Desain Geser 179
4.10.1.8. Spasi dan Jarak Antar Kaki Sengkang Maksimum 185
4.10.1.9. Gambar Detail Tulangan Kolom 186
4.11. Hubungan Balok Kolom 188
4.11.1.1. Data Perencanaan 188
4.11.1.2. Dimensi Joint 191
4.11.1.3. Kuat Geser Joint 193
4.11.1.4. Gaya Geser Joint 194
4.11.1.7. Tulangan Transversal Joint 201
BAB V PENUTUP 204
5.1. Kesimpulan 204
5.2. Saran 205
DAFTAR PUSTAKA 206
LAMPIRAN 209

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Peta Sumber Gempa Indonesia: Wilayah Maluku-Papua Tahun 2017 (Sumber: Lampiran C-4 Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia PuSGeN Tahun 2017) 4

Gambar 2. 1. Mekanisme Runtuh pada Portal Terbuka (Sumber: Pawirodikromo, 2012) 25

Gambar 2. 2. Skema Pembentukan Beton (Sumber: Antonius, 2021) 27

Gambar 2. 3. Mekanisme Tegangan pada Balok (Sumber: Data Pribadi) 28

Gambar 2. 4. Parameter Gerak Tanah Ss, Gempa Maksium yang dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2-Detik (Redaman Kritis 5%) (Sumber : Program aplikasi RSA dan SNI 1726:2019) 43

Gambar 2. 5. Parameter Gerak Tanah, S_1, Gempa Maksimum yang dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2-Detik (Redaman Kritis 5%) (Sumber : Program aplikasi RSA dan SNI 1726:2019) 43

Gambar 2. 6. Spektrum Respon Desain (Sumber : Program aplikasi RSA dan gambar 3 SNI 1726:2019) 47

Gambar 2. 7. Penentuan simpangan antar tingkat (Sumber : Gambar 10 SNI 1726:2019). 56

Gambar 2.8. Ketidakberaturan horizontal (Sumber: Gambar 5, SNI 1726:2019**)** 62

Gambar 2.9. (Lanjutan) Ketidakberaturan horizontal (Sumber: Gambar 5, SNI 1726:2019) 62

Gambar 2.10. Ketidakberaturan vertikal (Sumber: Gambar 6, SNI 1726:2019) 65

Gambar 2.11. (lanjutan) Ketidakberaturan vertikal (Sumber: Gambar 6, SNI 1726:2019) 65

Gambar 2.12. Lebar efektif maksimum balok lebar (wide beam) dipersyaratan tulangan transversal (Sumber: Gambar R18.6.2 SNI 2847:2019) 69

Gambar 2.13. Ilustrasi untuk menggambarkan perbandingan antara tulangan kolom yang ditumpu lateral dan pengakuran sengkag ikat persegi (Sumber: Gambar R25.7.2.3a SNI 2847:2019) 72

Gambar 2.14. (Lanjutan) Ilustrasi untuk menggambarkan perbandingan antara tulangan kolom yang ditumpu lateral dan pengakuran sengkag ikat persegi (Sumber: Gambar R25.7.2.3a SNI 2847:2019) 72

Gambar 2.15. Pengangkuran sengkang ikat lingkaran dan Pengangkuran spiral (Sumber: Gambar R25.7.2.3b/4 SNI 2847:2019) 72

Gambar 2.16 Contoh sengkang tertutup (hoop) (Sumber: Gambar R18.6.4 SNI 2847:2019) 73
Gambar 2.17. Contoh penulangan transversal pada kolom. 76
Gambar 2.18. Contoh penulangan transversal pada kolom dengan Pu>0,3Ag$\boldsymbol{fc'}$ atau $\boldsymbol{fc'}$ > 70 Mpa (Sumber: Gambar R18.7.5.2 SNI 2847:2019) 76
Gambar 2.19. Luas joint efektif (Sumber: Gambar R18.8.4 SNI 2847:2019) 81
Gambar 3. 1. Peta Lokasi Perencanaan Gedung Fakultas Teknik Sumber : Citra ©2023 CNES / Airbus,Maxar Technologies,Data peta ©2023 50m, Google Maps. 117
Gambar 3. 2. Bagan Alir Penelitian 120
Gambar 4. 1 Set Elevation View - Zonasi Lantai (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2025) 122
Gambar 4.2. Gambar Denah Lantai 1-3 (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023) 127
Gambar 4.3. Gambar Denah Lantai 4 (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023) 127
Gambar 4.4. Gambar Denah Lantai 5 (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023) 128
Gambar 4.5. Gambar Denah Lantai 6 (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023) 128
Gambar 4.6. Gambar Denah Lantai 7-Atap 1 (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023) .. 129
Gambar 4.7. Gambar Denah Atap 2 (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023) 129
Gambar 4.8. Gambar Tampak Depan (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023) 130
Gambar 4.9. Gambar Tampak Belakang (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023) 130
Gambar 4.10. Gambar Tampak Belakang (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023) 131
Gambar 4.11. Gambar Potongan Melintang (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023) 131
Gambar 4.12. Gambar Potongan Melintang (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023) 132
Gambar 4. 13. Parameter Respon Spektral Desain (Sumber : Program Respons Spektra Peta Gempa Indonesia 2019) 139
Gambar 4. 14. Grafik Respon Spektrum Desain 148
Gambar 4. 15. Simpangan Antar Lantai 151
Gambar 4. 16. Pengaruh P-delta 153
Gambar 4. 17. Rencana Balok yang Ditinjau 154
Gambar 4. 18. (a), (b) Gambar Detail Tulangan Balok 173
Gambar 4. 19. Rencana Kolom yang Ditinjau 174
Gambar 4. 20. (a), (b), (c), (d), (e), (f) Diagram Interaksi Kolom 177
Gambar 4. 21. (a), (b) Gambar Detail Tulangan Kolom 187

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) SNI 2847:2019.....23
Tabel 2.2. (Lanjutan) Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) SNI 2847:2019.....24
Tabel 2. 3. Berat Sendiri Bahan Bangunan dan komponen Gedung sebagai Beban Mati (Dead Load).....30
Tabel 2.4. Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, *Lo* Dan Beban Terpusat Minimum.....32
Tabel 2.5. (Lanjutan) Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, *Lo* Dan Beban Terpusat Minimum.....33
Tabel 2.6. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa....38
Tabel 2.7. (Lanjutan) Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa.....39
Tabel 2.8. Faktor Keutamaan Gempa.....40
Tabel 2.9. Klasifikasi Situs.....41
Tabel 2.10. Koefisien situs, Fa.....44
Tabel 2.11. Koefisien situs, *Fv*.....45
Tabel 2.12. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek.....48
Tabel 2.13. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.....48
Tabel 2.14. Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik.....49
Tabel 2.15. (Lanjutan) Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik.....50
Tabel 2.16. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.....51
Tabel 2.17. Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x.....52
Tabel 2.18. (Lanjutan) Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x.....53
Tabel 2. 19. Simpangan antar tingkat izin, Δa^{ab}.....57
Tabel 2.20. Ketidakberaturan horizontal pada struktur.....60
Tabel 2.21. (Lanjutan) Ketidakberaturan horizontal pada struktur.....61
Tabel 2.22 Ketidakberaturan vertikal pada struktur.....63
Tabel 2.23 (Lanjutan) Ketidakberaturan vertikal pada struktur.....64
Tabel 2.24. Bagian pasal 18 yang harus dipenuhi dalam penerapan pada umumnya.....67
Tabel 2.25. Tulangan transversal untuk kolom-kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....77
Tabel 2.26. Kekuatan geser nominal joint Vn.....79
Tabel 4. 1. Tabel Kategori Resiko Gempa.....138
Tabel 4. 2. Faktor Keutamaan Gempa.....138
Tabel 4. 3. Koefisien situs Fa.....139
Tabel 4. 4. Koefisien situs Fv.....140
Tabel 4. 5. Faktor Koefisien Modifikasi Respons, Kuat Lebih Sistem, Pembesaran Defleksi.....142
Tabel 4.6. Tabel Parameter Periode Pendekatan.....143
Tabel 4.7. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.....143
Tabel 4. 8 Priode Getar Struktur.....143
Tabel 4. 9 Beban Struktur.....144

Tabel 4. 10 Distribusi Vertikal Gaya Gempa Dan Distribusi Gaya Gempa Horizontal (Arah X).....145
Tabel 4. 11 Distribusi Vertikal Gaya Gempa Dan Distribusi Gaya Gempa Horizontal (Arah y).....145
Tabel 4. 12 Perhitungan Arah Gempa Statik Ekuivalen (Fi) untuk arah-X dan arah-Y .146
Tabel 4.13. Tabel Parameter Periode Pendekatan.....146
Tabel 4.14 Base Reaction Output Etabs 148
Tabel 4.15 Base Reaction Output Etabs Setelah diskalakan 149
Tabel 4. 16. Tabel Simpangan antar tingkat izin 150
Tabel 4. 17. Simpangan Antar Lantai 150
Tabel 4. 18. Pengaruh P-delta.....152
Tabel 4. 19. Aksial Lentur.....175
Tabel 4. 20. Rekapitulasi 177

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Zonasi Ruang Lantai 1 209
Lampiran 2 Zonasi Ruang Lantai 2 210
Lampiran 3 Zonasi Ruang Lantai 3 211
Lampiran 4 Zonasi Ruang Lantai 4 212
Lampiran 5 Zonasi Ruang Lantai 5 213
Lampiran 6 Zonasi Ruang Lantai 6 214
Lampiran 7 Zonasi Ruang Lantai 7 215
Lampiran 8 Rencana Kolom Lantai 1-2 216
Lampiran 9 Rencana Kolom Lantai 3-4 217
Lampiran 10 Rencana Kolom Lantai 5-6 218
Lampiran 11 Rencana Kolom Lantai 7 219
Lampiran 12 Rencana Balok Lantai 2-3 220
Lampiran 13 Rencana Balok Lantai 4-5 221
Lampiran 14 Rencana Balok Lantai 6-7 222
Lampiran 15 Rencana Balok Atap Dak 223
Lampiran 16 Potongan Melintang Struktur Grid 1 224
Lampiran 17 Potongan Melintang Struktur Grid 2 225
Lampiran 18 Potongan Melintang Struktur Grid 3 226
Lampiran 19 Potongan Melintang Struktur Grid 4-6 227
Lampiran 20 Potongan Melintang Struktur Grid 7 228
Lampiran 21 Potongan Melintang Struktur Grid 8 229
Lampiran 22 Potongan Melintang Struktur Grid 9 230
Lampiran 23 Potongan Melintang Struktur Grid A 231
Lampiran 24 Potongan Melintang Struktur Grid B 232
Lampiran 25 Potongan Melintang Struktur Grid C 233
Lampiran 26 Potongan Melintang Struktur Grid D 234
Lampiran 27 Portal Struktur Parsial 235
Lampiran 28 Detail Penampang Memanjang Balok SRPMK 236
Lampiran 29 Detail Penampang Memanjang Balok SRPMK 237
Lampiran 30 Detail Pembesian Balok SRPMK 238
Lampiran 31 Detail Pembesian Balok SRPMK 239
Lampiran 32 Detail Penampang Memanjang Kolom SRPMK 240
Lampiran 33 Detail Penampang Memanjang Kolom SRPMK 241
Lampiran 34 Detail Pembesian Kolom SRPMK 242
Lampiran 35 Detail Pembesian Kolom SRPMK 243
Lampiran 36 Detail Penampang Hubungan Kolom-Balok (HBK) SRPMK 244
Lampiran 37 Detail Penampang Hubungan Kolom-Balok (HBK) SRPMK 245
Lampiran 38 Perhitungan Beban Gempa 246
Lampiran 39 Perhitungan Beban Gempa 247
Lampiran 40 Perhitungan Beban Gempa 248
Lampiran 41 Perhitungan Beban Gempa 249
Lampiran 42 Perhitungan Beban Gempa Prosedur Diagram Respon Spektrum 250
Lampiran 43 Perhitungan Simpangan Antar Tingkat 251

Lampiran 44 Diagram Simpangan Antar Tingkat 252
Lampiran 45 Perhitungan dan Diagram P-Delta.....253
Lampiran 46 Output Gaya Dalam Momen Balok (Beam Flexure) 254
Lampiran 47 Output Gaya Dalam Geser Balok (Beam Shear) 254
Lampiran 48 Output Gaya Dalam Momen Kolom (Column PMM).....254
Lampiran 49 Output Gaya Dalam Geser Kolom (Column Shear) 254
Lampiran 50 3D Model Non-Deformasi 255
Lampiran 51 3D Model Deformasi 256
Lampiran 52 2D Melintang Model Deformasi 257
Lampiran 53 2D Memanjang Model Deformasi.....257
Lampiran 54 3D Model Deformasi Periode 0.55 detik Mode #3.....258
Lampiran 55 Diagram Max Strory Drift.....258
Lampiran 56 Diagram Max Strory Displacment 259

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perguruan Tinggi adalah satuan pendidikan yang menyelenggarakan Pendidikan Tinggi yang berfungsi mengembangkan kemampuan dan membentuk watak serta peradaban bangsa yang bermartabat dalam rangka mencerdaskan kehidupan bangsa, dan bertujuan mengembangkan potensi Mahasiswa agar menjadi manusia yang beriman dan bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan berakhlak mulia, sehat, berilmu, cakap, kreatif, mandiri, terampil, kompeten, dan berbudaya untuk kepentingan bangsa, serta dihasilkannya lulusan yang menguasai cabang Ilmu Pengetahuan dan/atau Teknologi untuk memenuhi kepentingan nasional dan peningkatan daya saing bangsa (Permendikbud no.12 tahun 2012).

Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong adalah salah satu Perguruan Tinggi Swasta milik Organisasi Muhammadiyah yang berdiri di Kabupaten Sorong Provinsi Papua Barat, Perguruan Tinggi yang memiliki tujuh (7) kelompok rumpun keilmuan dalam bentuk Fakultas dan salah satunya adalah Fakultas Teknik, Fakultas Teknik Unimuda Sorong berdiri dan diresmikan pada tanggal 1 Desember 2022, dengan dua program studi didalamnya yaitu program studi Teknik Sipil dan program studi Teknik Kimia.

Dengan terbentuknya Fakultas Teknik Unimuda Sorong, maka dibutuhkan juga fasilitas sarana dan prasarana ruang kuliah baru sebagai

penunjang kegiatan perkuliahan, dalam (BSNP, 2011) menyatakan Ruang kuliah adalah ruang tempat berlangsungnya kegiatan pembelajaran secara tatap muka. Kegiatan pembelajaran ini dapat dalam bentuk ceramah, diskusi, seminar, tutorial, dan sejenisnya. Gedung Perkuliahan merupakan fasilitas prasarana milik Perguruan Tinggi sebagai tempat penyelenggaraan kegiatan pembelajaran.

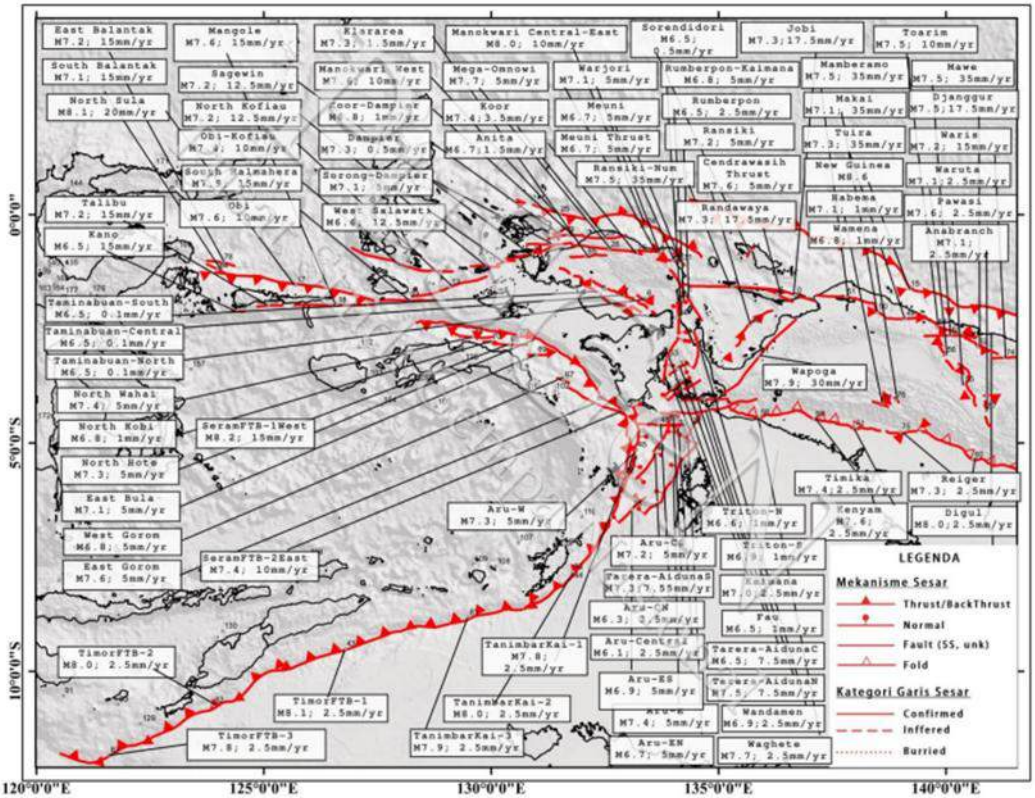
Kampus Unimuda Sorong memiliki 3 gedung utama sebagai fasilitas prasarana belajar, yaitu gedung K.H. Ahmad Dahlan, gedung Imam Mas Mansyur dan gedung Drs. Malak yang digunakan sebagai fasilitas ruang perkuliahan, ruang praktek, ruang laboratorium dan kantor. Akan tetapi gedung-gedung tersebut digunakan secara acak dan tidak terbagi berdasarkan fungsi pemakaiannya maupun berdasarkan program studinya, yang mengakibatkan ketidakberaturan dan mengalami kekurangan berbagai fasilitas utama maupun pendukung.

Oleh sebab itu, sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan fasilitas yang ada seperti ruang perkuliahan, ruang praktek, area terbuka, perpustakaan, laboratorium dan kantor serta upaya untuk menambah kapasitas bangku perkuliahan bagi dua program studi yang telah ada di dalam Fakultas Teknik Unimuda Sorong, maka dilakukan studi perencanaan struktur Gedung Fakultas Teknik Unimuda Sorong yang nantinya dapat digunakan sebagai referensi dalam pembangunan dan pengembangan infrastruktur.

Dalam perencanaan struktur gedung Fakultas Teknik Unimuda Sorong mengusung konsep bangunan tahan gempa sebagai usaha untuk memenuhi aspek keamanan sebab direncanakan pada wilayah yang memiliki resiko gempa. Aspek keamanan adalah nilai yang diprioritaskan dikarenakan gedung yang bersifat fasilitas pendidikan dan dipakai oleh orang banyak, hal ini dimaksudkan sebagai langkah untuk menjamin keselamatan dan keamanan bagi pengguna di dalamnya, jika suatu saat akan terjadi bencana alam berupa gempa bumi maka bangunan tersebut dapat mempertahankan kemampuan layannya.

Disebutkan oleh Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN, 2017), setidaknya ada tiga sumber gempa di Kepala Burung (Papua Barat) yang merupakan bagian dari zona deformasi Pasifik-Australia, yaitu Sesar Sorong, Sesar Koor, dan Zona Lipatan Teminabuan (Pamumpuni, 2016). Paling tidak terdapat 21 gempa dengan kekuatan lebih Magnitudo 6 tercatat sejak 1900. Salah satunya gempa terkini adalah gempa 24 September 2015 yang berlokasi di 31 km sebelah barat Kota Sorong.

Dalam Katalog Gempa Bumi Merusak (Badan Geologi Nasional, 2014), Dimensi Sesar Sorong sebarannya sangat panjang, mulai dari daerah Sorong, Laut Seram, hingga sebelah timur Sulawesi Tengah. Sesar ini pernah bergerak yang mengakibatkan kejadian gempa bumi pada tahun 1998 dengan magnitudo 8,3 Mw dan mengakibatkan bencana di daerah Mangole dan Taliabu, Provinsi Maluku.



Gambar 1. 1. Peta Sumber Gempa Indonesia: Wilayah Maluku-Papua Tahun 2017 (Sumber: Lampiran C-4 Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia PuSGeN Tahun 2017)

Mempertimbangkan bahwa wilayah Sorong masuk dalam Zona Sesar Aktif di wilayah kegempaan Papua yaitu Sesar Kepala Burung. Dengan begitu, gedung akan menerima guncangan pada saat terjadi gempa bumi yang tidak dapat diprediksi kapan waktu kejadiaanya. Berdasarkan adanya kebutuhan akan fasilitas perkuliahan berupa Gedung Fakultas Teknik dan berdasarkan lokasi direncanakannya gedung Fakultas Teknik yang masuk dalam Zona Sesar Wilayah Kegempaan Papua, maka dalam penelitian ini akan direncanakan struktur gedung Fakultas Teknik menggunakan Sistem Rangka Pemikul Gaya Seismik yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar Belakang yang telah diuraikan diatas maka dapat dirumuskan masalah, yaitu :

1. Bagaimana menentukan sistem struktur yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung Fakultas Teknik?
2. Bagaimana perilaku struktur bangunan gedung (Story Drive dan P-Delta Effect) terhadap beban gempa?
3. Berapa dimensi elemen struktur dan penulangan elemen struktur yang memenuhi Standar yang berlaku, serta bagaiman gambar detail penulangan pada elemen struktur?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Merencanakan struktur gedung tahan gempa sesuai SNI 1726:2019.
2. Untuk mengetahui perilaku struktur bangunan gedung (Story Drive dan P-Delta Effect) terhadap beban gempa.
3. Membuat Gambar detail penulangan elemen struktur sesuai SNI 2847:2019.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis dalam studi perencanaan ini, diharapkan dapat memberi manfaat dan tambahan pengetahuan dalam perencanaan gedung bertingkat.
2. Manfaat Praktis dari hasil Struktur Balok dan Kolom pada Rencana Gedung Fakultas Teknik, diharapkan dapat menjadi referensi dalam

perencanaan pembangunan gedung prasarana Kampus Unimuda Sorong kedepannya.

1.5. Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak melebar dan lebih terarah, dalam pembahasan Tugas Akhir ini dibatasi dengan ruang lingkup sebagai berikut :

1. Analisa Model Struktur gedung beton bertulang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) tampa *shear wall*.
2. Kondisi tanah lunak (situs SE) diperoleh melalui aplikasi RSA Ciptakarya PUPR.
3. Perhitungan beban gempa menggunakan Dinamis Respons Spektrum.
4. Perencanaan meliputi :
   - Dimensi kolom dan balok.
   - Tidak merencanakan anggaran biaya, spesifikasi teknis dan metode pelaksanaan.
5. Perencanaan tulangan pada elemen struktur menggunakan hasil Running Output dari analisa aplikasi Etabs.

1.6. Sistematika Penulisan

Agar penulisan Tugas Akhir terarah dan sistematis, maka pembahasan akan dibagi menjadi lima bab sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, manfaat dan sistematika penulisan Tugas Akhir.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini menjelaskan mengenai teori-teori yang berhubungan dan digunakan dalam Tugas Akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah dalam perencanaan/analisis struktur, data perencanaan, pengumpulan dan pengolahan data, serta bagan alir perencanaan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang proses analisa dan perhitungan elemen struktur.

BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan bab yang berisikan kesimpulan dan saran yang diberikan penuls untuk peningkatan kualitas perencanaan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1.Landasaan Umum

Pentukan sistem struktur yang akan digunakan serta dasar-dasar perhitungan untuk elemen struktur bangunan berdasarkan literatur dan Standar Nasional Indonesia. Konsep sistem struktur pemikul gaya seismik dan desain struktur bangunan seperti pembebanan yang telah disesuaikan dengan syarat-syarat dasar perencanaan gedung bertingkat yang berlaku.

Peraturan terkait mengenai dasar perencanaan desain struktur bangunan menggunakan ketentuan-ketentuan yang merujuk dalam:

1. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung (SNI 1726:2019).
2. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (SNI 2847:2019).
3. Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2020).

2.2.Desain Bangunan

Rancangan standar sarana dan prasarana (sarpras) kampus terbaru mengacu pada (PERMENDIKBUD No. 3 Tahun 2020, 2020), yang berfokus pada efektivitas, keamanan, inklusivitas (disabilitas), dan teknologi informasi untuk mendukung mutu pembelajaran. Standar ini mencakup kriteria minimal rasio luas ruang permahasiswa, fasilitas penunjang (perpustakaan, lab, ruang komputer), dan pengelolaan berkelanjutan.

Berikut adalah poin-poin utama rancangan standar sarpras kampus

1. Rasio Luas Ruang per Mahasiswa:
    a. Ruang Kelas: Minimal 2 m2 per mahasiswa.
    b. Perpustakaan: Minimal 1,5 m2 per pengguna.
    c. Ruang Komputer: Minimal 2 m2 per mahasiswa.
    d. Ruang Dosen/Kerja: Minimal 4 m2 per dosen.
    e. Ruang Rapat: Minimal 2 m2 per peserta.
    f. Lahan Terbuka: Minimal 0,5 m2 per mahasiswa untuk kegiatan.
2. Fasilitas Utama dan Penunjang
    a. Ruang kelas yang memadai dan laboratorium/bengkel/studio sesuai bidang ilmu.
    b. Perpustakaan sebagai pusat sumber belajar.
    c. Jaringan internet dan teknologi informasi yang merata.
    d. Kantor, ruang kerja pimpinan, dan ruang administrasi.
3. Aksesibilitas dan Inklusivitas
    a. Penyediaan fasilitas untuk penyandang disabilitas, seperti jalan khusus kursi roda (ramp) sebagai pengganti tangga
    b. Fasilitas penunjang lainnya: kantin, lapangan olahraga, dan sarana transportasi kampus.
4. Asas Pengelolaan
    a. Tertib, adil, transparan, efisien, efektif, bermanfaat, dan aman.
    b. Perencanaan strategis dan berkelanjutan untuk meningkatkan daya saing perguruan tinggi.
    c. Pengecekan rutin dan perawatan sarpras.

d. Pengecekan rutin dan perawatan sarpras.

2.3. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu adalah penelitian mengenai studi perencanaan struktur bangunan gedung dengan portal beton bertulang serta menggunakan metode SRPMK, penelitian terdahulu memiliki kesamaan *(relevan)* dengan penelitian yang dibuat oleh penulis saat ini, yaitu perencanaan bangunan tahan gempa dengan metode SRPMK. Penelitian terdahulu juga dipakai sebagai alat ukur seberapa penting permasalahan yang diambil dalam penelitian serta latar belakang dari penelitian tersebut. Di bawah ini akan dicantumkan sepuluh (10) penelitian terdahulu tentang bangunan tahan gempa menggunakan metode SRPMK:

1. Patrisko Hirel Kariso, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Dalam penelitian oleh Patrisko Hirel Kariso (2019) dengan judul *"Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus"* bertujuan untuk merencanakan komponen-komponen struktur gedung beton bertulang agar berperilaku struktur yang daktail, dan diharapkan dapat menahan kondisi bencana gempa yang ekstrim sesuai dengan prinsip Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013. Lokasi perencanaan berada di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Manado, Indonesia, struktur gedung yang direncanakan adalah gedung fasilitas laboratorium Fakultas Teknik, memiliki 3 lantai dengan ketinggian 17 m dan luas gedung 1345 m², beban gempa desain

menggunakan metode response spectrum, untuk analisis struktur dan pemodelan menggunakan program ETABS 2016.

Kesimpulan yang didasarkan hasil analisis dan desain pada gedung laboratorium Fakultas Teknik, Unsrat penampang balok dengan dimensi 400 x 600 mm dan kolom 700 x 600 mm telah memenuhi kriteria penampang untuk sistem rangka pemikul momen khusus, karena secara teori telah memenuhi syarat-syarat yaitu: Strong Column Weak Beam, tahan terhadap geser dan telah memenuhi syara-syarat pendetailan setiap komponen-komponen rangka.

2. **Wildan Amrullah, Universitas Narotama, Surabaya.**

Dalam penelitian oleh Wildan Amrullah (2019) yang berjudul *"Desain Perencanaan Struktur Gedung 38 Lantai Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk)"* bertujuan untuk merencanakan struktur gedung dengan sistem rangka pemikul momen khusus pada daerah rawan gempa dan dapat merencanakan komponen struktur atas dan struktur bawah. Struktur direncanakan menggunakan konstruksi beton bertulang. Metode perencanaan meliputi struktur primer yaitu pendimensian dan penulangan balok induk, dan kolom. Serta struktur sekunder yaitu terdiri dari pendimensian dan penulangan pelat, balok anak dan tangga.

Dari hasil perencanaan struktur didapatkan kesimpulan sebagai yaitu dimensi balok induk 35/70 cm (5D22 ; 3D22), balok anak 30/55 cm (2D16 ; 2D16), pelat lantai tebal 14 cm (D10-275), pelat tangga

tebal 20 cm (D13-150 ; D10-150), kolom 190x190 cm (40D32). Perencanaan bore pile, direncanakan diameter 100 cm dengan kedalaman 30 m. Serta pile cap berdimensi cm dengan penulangan D25-175.

3. **Betania Mahendrayu, Universitas Pembangunan Nasional ”Veteran”, Surabaya.**

Dalam penelitian oleh Betania Mahendrayu (2012) dengan judul*”Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Struktur Beton Bertulang Pada Gedung Graha Siantar Top Surabaya”* bertujuan untuk mendimensikan penulangan struktur gedung dan hubungan balok–kolom akibat beban gravitasi dan beban lateral dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus setelah dilakukan modifikasi pada kasus daerah rawan gempa sesuai dengan peraturan SNI 03-2847:2002 dan SNI 03-1726:2002. Analisis untuk struktur gedung simetris adalah analisis gempa statik equivalen. Metode perencanaan meliputi struktur utama yaitu pendimensian dan penulangan balok induk, kolom, dan hubungan balok kolom. Dalam perencanaan struktur gedung Graha Siantar Top ini telah memenuhi konsep kolom kuat balok lemah sesuai SNI 2847 pasal 23.4.2.2.

Kesimpulan dari penilitian ini adalah pendimensian dan penulangan yaitu lantai atap dimensi 35/70 dengan jarak 10 m digunakan tulangan longitudinal D22 dan sengkang Ø10, pada dimensi 30/40 dengan jarak 4 m dan 30/50 dengan jarak 6 m digunakan tulangan

longitudinal D16 dan sengkang Ø10, sedangkan pada lantai 2-7 dimensi 35/70 dengan jarak 10 m digunakan tulangan longitudinal D25 dan sengkang Ø10, pada dimensi 30/40 dengan jarak 4 m dan 30/50 dengan jarak 6 m digunakan tulangan longitudinal D22 dan sengkang Ø10. Perencanaan kolom dengan dimensi 70/70 digunakan tulangan longitudinal 16D25 dan sengkang Ø12. Pada hubungan balok kolom tepi dan tengah, tulangan transversal 4Ø12 setinggi 400 mm.

4. **Muchammad Subkhan Ash Shubki, Universitas Wijaya Kusuma, Surabaya.**

Dalam penelitian oleh Muchammad Subkhan Ash Shubki (2019) dengan judul *"Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Intan Dengan Konstruksi Beton Menggunakan Metode Srpmk Di Kota Yogyakarta"* bertujuan untuk merencanakan struktur gedung 10 lantai dengan metode SRPMK untuk mendapatkan dimensi kolom dan balok sesuai peraturan SNI 2847:2013 dan mengetahui simpangan pada struktur tersebut. Metode perhitungan beban gempa adalah metode analisa statik ekivalen. Untuk analisa gaya-gaya dalam berupa beban vertikal (gravitasi) dan beban lateral yang terjadi pada struktur gedung apartemen menggunakan program SAP 2000, sedangkan rasio penulangan pada kolom dan sloof menggunakan program PCA Column.

Kesimpulan dari penilitian ini didapat nilai simpangan antar lantai gedung tingkat desain (Δ) = 3,695 mm < simpangan gedung tingkat ijin (Δa) = 61,54 mm, kontrol Trayleigh = 0,966 detik < T

empiris = 1,291 detik. Persyaratan strong column weak beam untuk kuat lentur kolom = 1783,07 kNm = 1769,44 kNm, dan momen gaya geser dalam HBK 4 balok adalah ϕVn = 3696,07 kN > = 2516,20 kN, maka sesuai peraturan dan persyaratan SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012 telah terpenuhi.

5. **Ricky Januar Honarto, Universitas Sam Ratulangi, Manado.**

Dalam penelitian oleh Ricky Januar Honarto (2019) dengan judul *"Perencanaan Bangunan Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Di Kota Manado"* bertujuan untuk merencanakan komponen struktur beton bertulang yang mampu menahan beban gempa ekstrim, serta dimensi penampang dan tulangan perlu struktur yang memenuhi kriteria desain dari bangunan beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen Khusus. Perencanaan dilakukan di kota Manado, dimana nilai SDS dan SD1 adalah 0,75 dan 0,459 sehingga kategori desain seismik masuk ke kategori D. Data tanah yang didapat dari pengujian di lapangan menunjukan nilai SPT rata-rata adalah 40, sehingga tanah di lokasi konstruksi dikategorikan sebagai tanah sedang. Struktur gedung terdiri dari 5 lantai, dan berfungsi sebagai fasilitas pendidikan.

Kesimpulan dari penelitian yang berdasarkan hasil analisis dan desain menunjukan dimensi-dimensi kolom, balok, plat, dan pilecap telah memenuhi kriteria penampang untuk SRPMK, dimana syarat *strong column weak beam* telah terpenuhi. Simpangan yang terjadi lebih

kecil dari simpamgan maksimum yang diijinkan, dimana simpangan terbesar berada di lantai 5 dengan nilai Δ (60,2860mm) lebih kecil dari Δa (90mm). Rasio penulangan kolom, balok dan plat telah memenuhi persyaratan penulangan dimana ρ kolom didapat sebesar 1,68% s/d 2,43%, ρ balok didapat sebesar 1,4% s/d 6%, ρ slab didapat sebesar 3,8%, dan ρ pilecap sebesar 2% s/d 5%.

6. Hendra Tiasmoro, Univrsitas Wijaya Kusuma, Surabaya.

Dalam penelitian oleh Hendra Tiasmoro (2021) dengan judul *"Perencanaan Gedung Apartemen Soedono 10 Lantai Dengan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Menggunakan SRPMK"* bertujuan untuk merencanakan komponen struktur gedung beton bertulang tahan gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus bertulang berdasarkan peraturan SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012. Metode perhitungan pembebanan gempa adalah analisa respon spectrum dan pembebanan gravitasi yang dikombinasikan pada analisa SAP 2000 v.14 untuk mencari gaya dalam. Perencanaan kolom dan sloof dibantu oleh PCACOL sehingga mendapatkan dimensi yang sesuai dan dikontrol menggunakan SNI 2847:2013.

Kesimpulan dari penelitian yaitu pada perencanaan gedung apartemen nilai simpangan horisontal terbesar 71,2 mm dengan syarat maksimal simpangan ijin sebesar 80 mm, rasio penulangan kolom K1 sebesar 2,75 % , T-Rayleigh Ta= 1,28 detik < 3,5 Trx = 5,40 detik. Persyaratan *strong coloumn weak beam* 3087,6 kNm dan 2082,4 kNm.

Hasil dari perencanaan gedung apartemen dengan metode SRPMK telah telah sesuai dengan peraturan dan persyaratan SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012.

7. **Almufid, Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah, Tangerang.**

Dalam penelitian oleh Almufid (2019) dengan judul *"Perencanaan Struktur Atas Gedung Hunian 12 Lantai Menggunakan SRMPK"* tujuan dari studi ini adalah dapat memahami perencanaan bangunan gedung hunian 12 lantai yang tahan gempa dengan menggunakan (SRPMK) yang merupakan sistem struktur dengan faktor daktil yang tinggi. Saat terjadi gempa, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi penghuni bangunan dapat menyelamatkan diri. Maka dari itu bangunan hunian perlu direncanakan untuk memiliki ketahanan terhadap gempa. Perencanaan bangunan tahan gempa pada umumnya didasarkan pada analisa elastik yang diberi faktor beban untuk simulasi kondisi ultimit (batas). Kenyataannya, perilaku runtuh struktur bangunan pada saat gempa adalah pada saat kondisiinelastis. Adapun daktil penuh dapat menjadi alternatif dalam perencanaan struktur tahan gempa. Dari hasil perencanaan didapat hasil dimensi dan penulangan struktur yang lebih efisien dan sederhana.

8. **Slamet Prayitno, Universitas Hasyim Asy'ari, Jombang.**

Dalam penelitian oleh Slamet Prayitno (2022) dengan judul penilitian adalah *"Perencanaan Struktur Pembangunan Gedung*

Madrasah *Tsanawiyah Sains Putri Salahuddin Wahid Tebuireng"* penelitian ini bertujuan untuk merencanakan bangunan yang aman dari gempa perlu diperhatikan. Dalam SNI 1726-2012, bahwasanya bangunan ini berada dalam kategori risiko gempa tingka IV disebabkan pada jenis pemanfaatan sebagai fasilitas penting. Perencanaan gedung sekolah ini menggunakan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) serta untuk untuk perhitungan komponen-komponen pada bangungan dengan beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen.

Kesimpulan dari penelitian yaitu hasil perhitungan diperoleh untuk plat lantai dengan tebal 12 cm. Untuk kolom K1= 400 x 600 mm, K2= 300 x 500 mm, K3= 300 x 450 mm, K4= 250 x 400 mm dan balok B1= 350 x 650 mm, B2= 300 x 500 mm, B3= 250 x 400 mm. Untuk sloof SL= 300 x 500 mm, poerplat P1= 1500 x 1500 x 400 mm, P2= 1500 x 1000 x 300 mm serta minipile 25 cm.

9. Ismail Batara, Universitas Muslim Indonesia, Makasar.

Dalam penelitian oleh Ismail Batara (2019) dengan judul penilitian adalah *"Perbandingan Perencanaan Gedung Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah Studi Kasus: Gedung Grand UMI Tower"* tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana besarnya pengaruh gaya gempa dan perbandingan jumlah luasan tulangan pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) pada Gedung Grand UMI Tower di wilayah

dengan tingkat kegempaan sedang (kategori desain seismic C). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis struktur Gedung dengan memanfaatkan software bantu yaitu Etabs v16.2.1.

Hasil penelitian menunjukan bahwa pengaruh gaya geser dasar gempa yang bekerja pada struktur bangunan pada model I (SRPMK) lebih kecil dibandingkan dengan bangunan model II (SRPMM) yaitu selisih 28,83% pada gempa arah x-x dan 28,77% pada gempa arah y-y. Dari hasil desain penulangan pada model I (SRPMK) jumlah luas tulangan longitudinal elemen balok dan kolom sebesar 121673 mm2 dan 183577 mm2 sedangkan pada model II (SRPMM) sebesar 118916 mm2 dan 183577 mm2 . Untuk luas tulangan geser balok dan kolom model I (SRPMK) sebesar 70393 mm2/m dan 172160 mm2/m sedangkan pada model II (SRPMM) sebesar 63436 mm2/m dan 56872 mm2/m.

10. Imelda Budiarty, Universitas Mulawarman, Samarinda.

Dalam penelitian oleh Imelda Budiarty (2022) dengan judul penilitian adalah *"Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Menggunakan Sistem Rangka Pemikul* Momen *Khusus (Studi Kasus : Hotel Fox Harris Lite Di Jln. S. Parman, Kota Samarinda, Kalimantan Timur)"* bertujuan untuk merencanakan struktur gedung yang tahan terhadap beban gempa yang akan diterima oleh struktur dengan menggunakan sistem struktur rangka pemikul momen khusus dan mengacu pada persyaratan yang berlaku sesuai dengan SNI 03-2847 Tahun 2019. Konsep dari sistem rangka pemikul momen khusus ini

adalah Strong Column-Weak Beam yaitu kolom dirancang memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan balok, dengan harapan pada saat terkena beban gempa sendi plastis terbentuk diujung-ujung balok.

Hasil dari perencanaan struktur menggunakan SRPMK yaitu jumlah tulangan yang dibutuhkan pada perencanaan balok dengan dimensi 500 x 700 mm sebanyak 4D22 pada daerah tumpuan balok, 3D22 pada daerah lapangan balok, dengan jumlah sengkang 3D10 dan jarak 80 mm pada daerah tumpuan, 3D10 jarak 100 mm pada daerah lapangan. Sedangkan pada kolom dengan dimensi 700 x 700 mm diperoleh tulangan longitudinal sebanyak 16D22 dan sengkang sebanyak 6D10 dengan jarak 100 mm pada daerah tumpuan dan 6D10 dengan jarak 125 mm pada daerah lapangan. Dan pada joint atau hubungan balok kolom diperoleh tulangan sebanyak 6D22.

2.4. Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

2.4.1. Filosofi Bangunan Tahan Gempa

Indonesia merupakan salah satu daerah yang mempunyai patahan tektonik di dunia, dan mempunyai intensitas gempa yang tinggi. Sebagian besar wilayah Indonesia berpotensi mengalami vibrasi akibat gempa, baik gempa ringan, sedang maupun gempa kuat. Oleh sebab itu desain struktur bangunan dengan memperhitungkan gaya gempa wajib menjadi prioritas dan perhatian khusus. Di dalam perencanaan struktur tahan gempa terutama gedung bertingkat dan pilar jembatan, zonasi elemen struktur yang berpotensi mengalami sendi plastis harus didetailkan sedemikian rupa sehingga elemen struktur tersebut mempunyai daktilitas yang memadai dan

mampu menyerap energi getaran akibat gempa agar struktur tidak runtuh (Antonius, 2021).

Filosofi desain struktur bangunan tahan gempa berdasarkan standar bangunan tahan gempa Indonesia (SNI 1726:2019) adalah bahwa struktur gedung yang menerima beban gempa kuat boleh mengalami kerusakan namun tidak boleh runtuh. Dengan dasar filosofi tersebut struktur diperbolehkan mengalami deformasi inelastik. Salah satu dasar penting dalam memilih sistem struktur gedung adalah mengenai konfigurasi bangunan. Sedapat mungkin bentuk bangunan yang dirancang mempunyai bentuk mendekati simetris sehingga pusat massa dan pusat kekakuan relatif berdekatan untuk menghindari eksentrisitas yang besar.

Bentuk yang tidak beraturan salah satunya dapat berakibat terjadinya konsentrasi tegangan di daerah tertentu. Selain itu sedapat mungkin hindari ketidak beraturan struktur dalam arah horizontal maupun arah vertikal karena salah satunya menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Jika ketidakberaturan struktur tidak dapat dihindari, yang mungkin disebabkan oleh bentuk arsitektur maupun kebutuhan ruangan, maka harus dipenuhi syarat-syarat tertentu misal pendetailan yang khusus sesuai yang disyaratkan SNI-1726-2019 dan SNI-2847-2019 (Antonius, 2021).

Perlu diperhatikan bahwa dalam desain bangunan tahan gempa akan terjadi dua kondisi dimana bangunan didesain sangat kuat dan aman (*arthquake proof building*) akan tetapi memerlukan pembiayaan yang sangat besar dan kondisi kedua dimana bangunan didesain dengan kekuatan yang

lemah (*ragile building*) yang hanya memerlukan pembiayaan yang relatif lebih dengan resiko adanya pembangunan secara berulang jika terjadi gempa bumi. Dengan dua kondisi diatas, maka dapat disimpulkan bahwa bangunan yang dibangun direncanakan berada dalam kedua kondisi tersebut, yaitu bangunan yang relatif kuat menahan beban gempa serta memiliki pembiyayaan yang ekonomis.

Menurut Widodo Pawirodikromo (2012), didalam desain filosofi (*Earthquake Design Philosophy*) suatu bangunan akibat beban gempa dikelompokan. Desain filosopi yang dimaksud adalah sebagai berikut :

1. Pada gempa kecll *(light*, atau *minor earthquyake)* yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non-struktur masih dibolehkan.
2. Pada gempa menengah *(moderate earthquake)* yang relatif jarang tedadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tetapi masih dapat/ekonomis untuk diperbaiki. Elemen non-struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti dengan yang baru.
3. Pada gempa kuat *(strong earthquake)* yang jarang terjadi, maka struktur bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total *(totally collapse).* Kondisi seperti ini juag diharapkan pada gempa besar *(great earthquake)*, yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.

2.4.2. Konsep Desain Bangunan Tahan Gempa

Menurut SNI (1726:2019), Persyaratan dasar struktur bangunan gedung harus memiliki sistem pemikul gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah seismik desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekakuan perlu.

SNI 1726:2019 memuat persyaratan minimum mengenai beban, tingkat bahaya, kriteria yang terkait, dan sasaran kinerja yang diperkirakan untuk bangunan gedung, struktur lain dan komponen non-strukturalnya yang memenuhi persyaratan peraturan bangunan. Beban, kombinasi pembebanan, dan kriteria terkait yang diberikan dalam SNI 1726:2019 harus digunakan untuk perancangan dengan metode kekuatan atau perancangan dengan metode tegangan izin yang terdapat dalam spesifikasi desain untuk material struktural konvensional. Kombinasi pembebanan dan kekuatan desain dianggap mampu memberikan tingkat kinerja yang diharapkan dalam ketentuan standar ini. Prosedur penerapan dengan cara alternatif untuk menunjukkan kinerja yang dapat diterima juga dijelaskan dalam standar SNI 1726:2019.

2.4.2.1.Faktor Reduksi Kekuatan (*Force Reduction Factor*)

Beban gempa yang sebenarnya adalah beban dinamik, namun beban tersebut kemudian disederhanakan menjadi beban ekivalen statik, penggunaan beban ekivalen statik relatif terbatas yaitu untuk analisis awal *(preliminary analysis)*. Analisis dinamik yaitu analisis struktur yang

memperhitungkan beban dinamik digunakan hanya untuk kontrol terhadap analisis awal.

Periode ulang gempa rencana akan menentukan seberapa besar kekuatan gempa, percepatan tanah akibat gempa yang perlu diperhitungkan. Sementara itu masa layan *(life-time)* bangunan pada umumnya berkisar antara 50 - 75 tahun. Para ahli kemudian membuat perhitungan bahwa selama masa layan tersebut berapa persen (%) kejadian gempa tersebut dapat terlampaui, artinya gempa tersebut benar-benar akan terjadi. Untuk bangunan biasa umumnya diambil probabilitas sebesar l0% terlampaui selama masa layan bangunan 50 tahun.

Adanya gempa dengan periode ulang tertentu probabilitas terlampauinya (gempa benar-benar terjadi) sebesar l0% selama 50 tahun (periode ulang gempa ±475 tahun). Dengan menentukan hanya 10% probabllitas terlampaui selama 50 tahun maka gempa rencana sebenarnya sudah cukup besar, sementara probabilitas kejadiannya tiap tahun hanya pa=0,02%. Selama masa layan bangunan tidak perlu dibuat sangat kuat atau bangunan tidak perlu elastik selama masa layan sehingga timbul level kerusakan yang masil diperbolehkan.

Kekuatan gempa rencana boleh diturunkan sampai pada nilai atau level tertentu melalui reduksi yang disebut *force reduction factor R.*

Tabel 2.1. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) SNI 2847:2019

Gaya atau Elelmen Struktur	Φ	Pengecualian
Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65-0,90 Sesuai pasal 21.2.2 SNI 2847:2019	Di dekat ujung komponen pratarik *(pretension)* dimana strand belum sepenuhnya

		bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3
Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
Torsi	0,75	-
Tumpu *(bearing)*	0,65	-
Zona angkur pascatarik *(post-tention)*	0,85	-
Bracket dan korbel	0,75	-

Sumber: SNI 2847:2019

Tabel 2.2. (Lanjutan) Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) SNI 2847:2019

Gaya atau Elelmen Struktur	**Φ**	**Pengecualian**
Strut, ties, zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan strut and-tie di Pasal 23	0,75	-
Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0.90	-
Beton polos	0,60	-
Angkur dalam elemen beto	0,45 – 0,75 sesuai Pasal 17	-

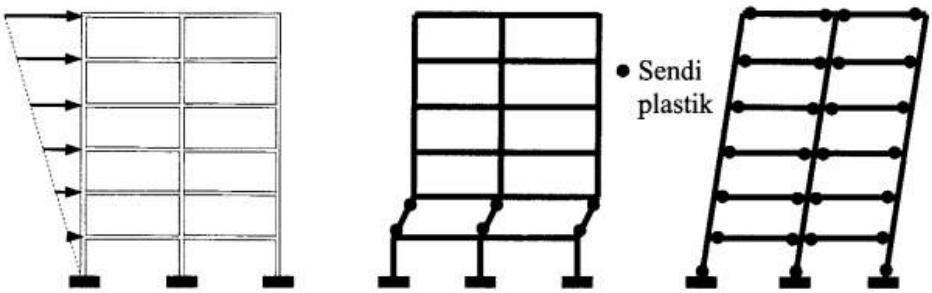
Sumber: SNI 2847:2019

2.4.2.2.Konsep Desain Kapasitas (*Capacity Design)*

Elemen struktur yang saling membentuk portal ruang menggunakan konsep desain kapasitas dimana pada salah satu elemen (dalam hal ini adalah balok) sengaja dibuat sebagai elemen-lemah *(weak-link)* dan kolom dibuat lebih kuat dari balok tersebut. Karena berfungsi sebagai elemen lemah, maka elemen balok akan mengalami tegangan leleh pertama kali sebagaimana terjadinya sendi-plastik.

Elemen balok dibuat lemah tetapi didesain sangat daktail, sehingga tidak runtuh secara total saat terjadi beban lateral yang bekerja total. Elemen selain balok (kolom, join, fondasi) disengaja menjadi elemen yang lebih kuat daripada kekuatan maksimum balok, sebagaimana ditunjukkan oleh

adanya koefisien kuat-lebih *(overstrength factor).* Dengan demikian, hierarki kerusakan struktur pada desain kapasitas sudah direncanakan sejak awal disebut prinsip Kolom Kuat Balok Lemah *(Strong Column and Weak Bec*



Gambar 2. 1. Mekanisme Runtuh pada Portal Terbuka (Sumber: Pawirodikromo, 2012)

Pada Gambar 2.1 juga tampak mekanisme goyangan struktur yang lain yaitu *column sway mechanism*, yaitu produk desain yang mengacu pada kolom lemah balok kuat *(Weak Colum and Strong Beam ,WCSB)*. Mekanisme runtuh struktur ini akan mengakibatkan struktur akan runtuh total *(totally collapse)*, sehingga dilarang untuk dipakai.

Paulay dan Priestley (1992) dalam (Pawirodikromo, 2012) memaparkan secara ringkas ciri-ciri desain kapasitas adalah :

1. Tempat-tempat kemungkinan terjadinya sendi-sendi plastik telah ditentukan sejak awal. Hal ini di diawali dengan penetuan mekanisme goyangan (*sway mechanism*) yaitu sturktur yang didesain menurut *Strong Column and Weak Beam (SCWB).*
2. Deformasi-inelastik yang tidak dikehendaki, yaitu deformasi yang menggangu kestabilan misalnya deformasi inelastik akibat geser baik di

balok maupun di join serta slip antara tulangan dengan beton dicegah dengan memberikan kekuatan yang lebih besar dari yang diperlukan.

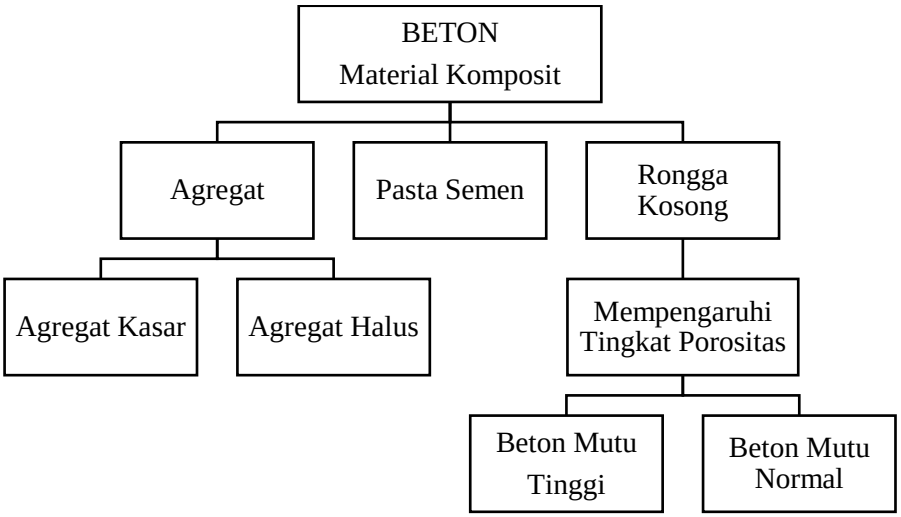
3. Tempat-tempat sendi plastik jangan sampai menjadi tempat yang getas (*brittle*), tetapi didetail dengan tulangan lentur dan geser sedemikian rupa sehingga menjadi daktail dan dapat menjadi tempat disipasi energi secara stabil/berkelanjutan. Join antara balok dan kolom didesain sedemikian supaya masih dalam kondisi elastik, yaitu dengan memberikan kekuatan yang lebih besar daripada balok/kolom.

2.5. Beton

Beton merupakan bahan komposit yang terdiri dari semen, air dan agregat. Beton mengeras akibat adanya reaksi kimia yang terjadi antara semen portland dan air. Teknologi beton telah berkembang dengan pesat dalam kurun waktu tiga dasawarsa terakhir. Kebutuhan material yang berkualitas, berdaya guna tinggi, memiliki masa layan yang panjang dan tahan terhadap perubahan cuaca telah menjadi tujuan utama atas berkembangnya teknologi beton di era modern ini. Kualitas atau mutu beton dinyatakan dari kuat tekan beton *(f'c)* yang dimiliki (Antonius, 2021).

Beton terdiri dari beberapa material yang berbeda (bahan komposit) dan dicampur dengan merata menggunakan media air, reaksi kimia yang terjadi menyebabkan beton akan mengeras dengan estimasi waktu tertentu, Gambar 2.2 adalah skema pembentukan beton. Beton memiliki kuat rencana atau kita sebut sebagai mutu kuat tekan beton *(f'c)* didapat berdasarkan beberapa aspek salah satunya adalah kepadatan material beton atau porositas, porositas adalah perbandingan volume beton dengan volume pori-

pori pada beton, semakin rendah nilai porositas berarti semakin padat beton maka akan semakin tinggi kuat tekan beton.



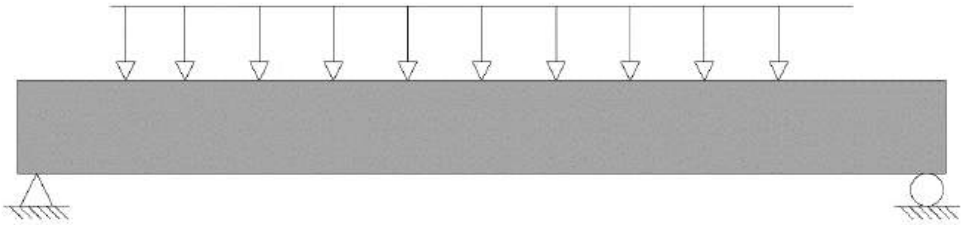
Gambar 2. 2. Skema Pembentukan Beton (Sumber: Antonius, 2021)

2.5.1. Beton Bertulang

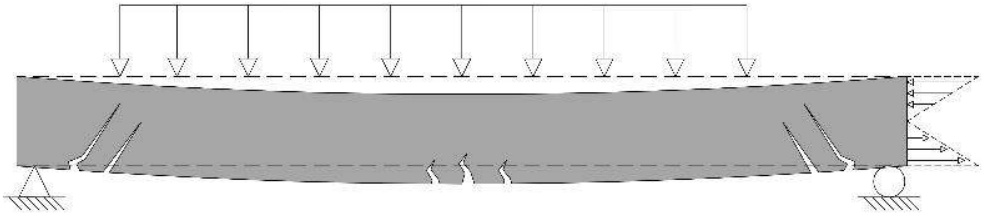
Beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang sangat lemah. Beton bertulang merupakan kombinasi antara beton dan batangan baja yang digunakan secara bersama, dimana tulangan baja berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki beton. Oleh karena itu desain struktur elemen beton bertulang dilakukan berdasarkan prinsip yang berbeda dengan perencanaan desain satu bahan (Tampubolon, 2022).

Dalam prinsip bahan mekanis beton, beton akan sangat kuat terhadap tekan namun sangat lemah terhadap tarik. Inilah konsep yang mendasari bahan komposit beton bertulang, beton akan mengalami tegangan akibat beban yang dipikulnya sebagai pencegahan kegagalan beton maka ditanamkan tulangan baja *(reinforcing bars)* pada daerah tertentu sesuai

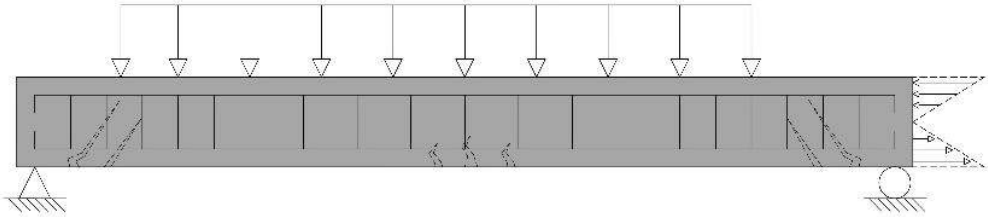
mekanisme gaya tekan dan tarik yang mengakibatkan tegangan tekan dan tarik pada penampang beton.



a. Balok beton dengan beban merata.



b. Tegangan balok beton tampa tulangan.



c. Tegangan balok beton dengan tulangan.

Gambar 2. 3. Mekanisme Tegangan pada Balok (Sumber: Data Pribadi)

2.5.2. Kelebihan Beton Bertulang

Beton sebagai bahan konstruksi dikarenakan beton bertulang memiliki beberapa kelebihan antara lain :

1. Beton memiliki kuat tekan yang relative lebih tinggi dibandingkan dengan bahan lainnya, serta beton bertulang memiliki usia layan yang panjang dan kekuatan beton bertulang tidak berkurang dengan berjalannya waktu.

2. Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, bahkan merupakan bahan struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air. Pada peristiwa kebakaran, batang-batang struktur beton bertulang dengan ketebalan penutup beton (selimut beton) yang memadai dapat melindungi tulangan dari kerusakan sehingga mencegah keruntuhan.
3. Sifat ekonomis beton serta beton betulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi.
4. Beton dapat dicetak menjadi bentuk yang sangat beragam seperti pelat, balok, kolom, kubah dan cangkang yang besar.

2.6. Pembebanan Struktur

2.6.1. Beban Mati (Dead Load)\

Beban mati *(dead load)* merupakan beban gravitasi yang ditimbulkan oleh berat sendiri bangunan berdasarkan jumlah elemen struktur yang ada pada bangunan, besar beban mati pada bangunan harus diperhitungkan secara detail sebab akan digunakan dalam analisa struktur bangunan tersebut. Jenis beban terdiri dari elemen struktur seperti kolom, balok dan plat lantai juga elemen tambahan seperti jaringan elektrikal dan mekanikal, jaringan pemipaan, elemen interior dan eksterior, dan elemen permanen lainnya. BSN (2020) menyatakan, Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material.

Tabel 2. 3. Berat Sendiri Bahan Bangunan dan komponen Gedung sebagai Beban Mati (Dead Load)

Komponen Gedung	**Berat (kN/m2)**
Ceilings	0,18
Plaster on tile or concrete	0,24
Suspended metal lath and gypsum plaster	0,48
Mechanical duct allowance	0,19
Suspended steel channel system	0,10
Celling Acoustic fiberboard	0.05
Coverings, Roof, and Wall	
Cement tile	0,77
Gypsum sheathing, 13 mm	0,10
Waterproofing membranes/liquid	0,05
Floors and Floors Finishes	
Ceramic or quarry tile (19 mm) on 25-mm mortar bed	1,10
Frame Walls	
Windows, glass, frame, and sash	0,38
Clay brick wythes	1,87
Concrete, reinforced	**kN/m3**
Stone	24
Mortar, cement or lim	20,4

Komponen Gedung		Berat (kN/m2)
Sand		
	Clean and dry	14,1
Water		
	Fresh	9,7
Wood		
	Oak, commercial reds and whites	7,4
Steel, cold-drawn		77,3

Sumber : Tabel C31.1-1 SNI 1727:2020

2.6.2. Beban Hidup (*Life Load)*

Beban hidup *(live load)* adalah beban gravitasi yang diakibatkan oleh adanya aktivitas pada masa layan bangunan, beban hidup seperti aktivitas manuasia, peralatan berguncang, dan keadaan dari aktivitas massa. Beban hidup harus diperhitungkan dengan nilai beban maksimum pada saat masa layan berlangsung dan tidak diperkenankan lebih rendah dari beban merata minumum yang ditetapkan.

BSN (2020) menyatakan, 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. Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan

struktur lain harus merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020.

Tabel 2.4. Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, *Lo* Dan Beban Terpusat Minimum

Hunian atau penggunaan	**Merata, Lo psf (kN/m2)**	**Terpusat lb (kN)**
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2.000 (8,9)
Ruang Komputer	100 (4,79)	2.000 (8,9)
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
Panggung pertemuan	100 (4,79)	
Lantai podium	150 (7,18)	
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	

Sumber : Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020

Tabel 2.5. (Lanjutan) Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, *Lo* Dan Beban Terpusat Minimum

Hunian atau penggunaan	**Merata, Lo psf (kN/m2)**	**Terpusat lb (kN)**
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melibihi 100 psf (4,79 kN/m2)	
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1.000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	1.000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3.83)	1.000 (4,45)
Atap		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	
Elevator machine room	150a (7,18)	
Laboratories, scientific	100 (4,79)	

Sumber : Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020

2.6.3. Beban Gempa (Seismic Load)

Beban gempa adalah beban yang timbul pada struktur bangunan gedung yang terjadi akibat gerakan pada lapisan tanah oleh fenomena

gempa bumi dengan arah gaya bolak balik. Clough dan Penzien (1996) dan Widodo (2012) dalam Widodo (2012) mengatakan bahwa percepatan tanah akibat gempa akan berfungsi sebagai beban gempa efektif (ingat $F : m.a$, yang mana F adalah gaya gempa, m adalah massa bangunan dan a adalah percepatan tanah) yang bekerja pada elevasi tingkat bangunan (rusat massa tingkat).

Pada SNI 1726:2019 telah diatur mengenai pembebanan gempa di Indonesia, memuat persyaratan minimum mengenai beban dan kombinasinya yang harus digunakan pada perancangan struktur bangunan gedung tahan gempa.

Pada analisa yang berkaitan terhadap beban gempa masuk dalam beberapa point di bawah ini :

1. Wilayah Kegempaan Indonesia
2. Kategori Resiko Bangunan
3. Faktor Keutamaan Gempa
4. Kategori Desain
5. Kombinasi Sistem Struktur
6. Prosedur Analisa

2.6.4. Kombinasi Beban (Load Combination)

2.6.4.1.Kombinasi Pembebanan Dasar Sesuai SNI 1726:2019

Struktur dalam komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi

sebagai di bawah. Pengaruh adanya satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismik harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan. Lihat pasal 7.4 SNI 1726:2019 untuk definisi khusus mengenai pengaruh beban gempa *E*.

1. 1,4*D*
2. 1,2*D* + 1,6*L* + 0,5 (L_r atau *R*)
3. 1,2*D* + 1,6*L* (L_r atau *R*) + (*L* atau 0,5*W*)
4. 1,2*D* + 1,0*W* + *L* + 0,5 (L_r atau S atau *R*)
5. 0,9*D* +1,0*W*

Faktor beban untuk *L* pada kombinasi 3 dan 4 diizinkan diambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila beban hidup desain tak tereduksi (L_o) dalam SNI 1727, lebih kecil atau sama dengan 4,78 kN/m2, kecuali garasi atau ruang pertemuan publik.

2.6.4.2.Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, Apabila suatu struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi-kombinasi beban berikut harus diperhitungkan bersama dengan kombinasi beban dasar di atas. Pengaruh beban seismik yang paling menentukan harus ditinjau, tetapi tidak perlu diperhitungkan secara bersamaan dengan beban angin.

Apabila pengaruh beban seismik yang dimaksud, $E = f(E_v,E_h)$ (pada pasal 7.4.2 atau 8.3.1) dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik yang harus digunakan adalah:

3. $1{,}2D + E_v + E_h + L$
4. $0{,}9D - E_v + E_h$

Apabila pengaruh beban seismik dengan kuat lebih yang ditinjau $E_m = f(E_v, E_{mh})$ (7.4.3 atau 8.3.2) dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik untuk struktur yang harus digunakan adalah:

1. $1{,}2D + E_v + E_{mh} + L$
2. $0{,}9D - E_v + E_{mh}$

Faktor beban untuk L pada kombinasi 6 diizinkan diambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila L_o dalam SNI 1727, lebih kecil atau sama dengan 4,78 kN/m2 , kecuali garasi atau ruang pertemuan publik.

Pada pasal 7.4.2, pengaruh beban seismik, *E*, harus ditentukan sebagai berikut ini:

$E = E_h + E_v$

$E = E_h - E_v$

Pada pasal 7.4.2.1, pengaruh beban seismik horizontal

$Eh = \rho Q_E$

Pada pasal 7.4.2.2, pengaruh beban seismik vertikal

$Ev = 0{,}2\ S_{DS}\ D$

Keterangan :

E = pengaruh beban seismik

E_h = pengaruh beban seismik horizontal

E_v = pengaruh beban seismik vertikal

Q_E = adalah pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau F_p

ρ = adalah faktor redundansi (pasal 7.3.4.)

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

D = pengaruh beban mati.

2.7.Analisis Beban Seismik

Respons Spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur *T*, lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa terstentu. Respons masimum dapat berupa simpangan maksimum *(Spectral Displacement, SD),* kecepatan maksimum *(Spectral Velocity, SI/)* atau percepatan maksimum *(Spectral Acceleration, Sl)* suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal *(Single Degree of Freedom, SDOF)* (Widodo, 2012).

Dalam perencanaan struktut bangunan gedung tahan gempa dilakukan analisis dan perhitungan berdasarkan SNI 1726:2019 tentang ”Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedunng”.

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan nongedung serta berbagai bagian dan peralatannya.

2.7.1. Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Dalam SNI 1726:2019 pasal 4.1.2 (BSN,2019), Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai Tabel 3 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa (*Ie)* menurut Tabel 4.

Tabel 2.6. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

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

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

Tabel 2.7. (Lanjutan) Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	**Kategori Resiko**
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan - bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat	IV

- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Sumber : Tabel 3 SNI 1726:2019

Tabel 2.8. Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber : Tabel 4 SNI 1726:2019

2.7.1.1.Klasifikasi Situs

Kelas situs dilakukan dengan cara penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, klasifikasi situs ditetapkan berdasarkan kondisi tanah di lapangan pada profil tanah sedalam 30 meter dari permukaan tanah eksisting.

Menurut SNI 1726-2019 (BSN, 2019), dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 meter, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/izin keahlian dengan menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi geotekniknya.

Jika sifat tanah yang memadai tidak tersedia untuk penentuan kelas situs, maka kelas situs *SE* harus digunakan sesuai dengan persyaratan pasal 6.2, kecuali otoritas yang berwenang atau data geoteknik menunjukkan situs termasuk dalam kelas situs lainnya.Penetapan kelas situs SA dan kelas situs SB tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 meter lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit pondasi dan permukaan batuan dasar.

Tabel 2.9. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	**V_s (m/detik)**	**N atau N_{ck}**	**S_u (kPa)**
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	175 sampai 350	50 sampai100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, PI > 20, 2. Kadar air, w		

Tabel 2.7. (lanjutan) Klasifikasi Situs

	≥ 40%, 3. Kuat geser niralir, s < u 25 kPa		

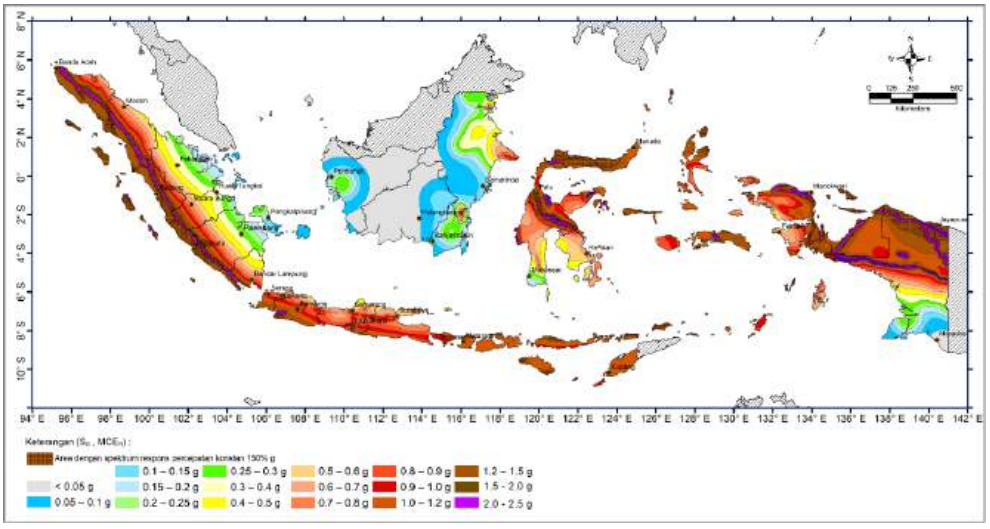
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan H > 3 m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan H > 7,5 m dengan indeks plasitisitas PI > 75) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan H > 35 m dengan S_u < 50 kPa

N/A = tidak dapat dipakai

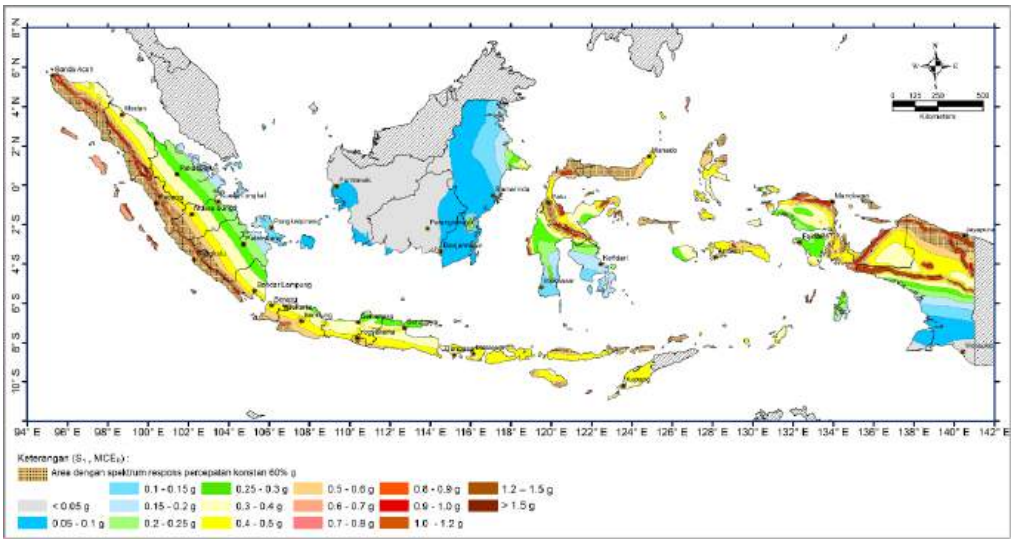
Sumber : Tabel 5 SNI 1726:2019

2.7.1.2.Parameter Respon Spektral Desain

Nilai parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek 0,2 detik *(S_s)* dan parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik *(S_1)* didapatkan melalui Aplikasi Desain Spektra Indonesia 2021 yang dikeluarkan oleh PUSGEN-PUSKIM PUPR.



Gambar 2. 4. Parameter Gerak Tanah Ss, Gempa Maksium yang dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2-Detik (Redaman Kritis 5%) (Sumber : Program aplikasi RSA dan SNI 1726:2019)



Gambar 2. 5. Parameter Gerak Tanah, S_1, Gempa Maksimum yang dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2-Detik (Redaman Kritis 5%) (Sumber : Program aplikasi RSA dan SNI 1726:2019)

2.7.1.3. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa (MCE_r)

Percepatan gempa MCE_R 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:

$S_{MS} = F_a \times S_s$

S_{m1} = F_v x S_1

Keterangan:

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Dengan koefisien situs Fa dan Fv mengikuti Tabel 6 dan Tabel 7 SNI 1726:2019. Menentukan nilai koefisien situs berdasarkan tabel di bawah :

Tabel 2.10. Koefisien situs, Fa

Kelas Situs	**Parameter respon spektral percepatan gempa mamsimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada priode pendek, T = 0,2 detik, S_S**					
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S = 1,25$	$S_S = 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS[(a)]					

Sumber : Tabel 6 SNI 1726:2019

Tabel 2.11. Koefisien situs, *Fv*

Kelas Situs	**Parameter respon spektral percepatan gempa mamsimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada priode 1 detik, S_1**					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS[(a)]					

Sumber : Tabel 7 SNI 1726:2019

Catatan :

SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.10.1 SNI 1726:2019.

2.7.2. Parameter Percepatan Spektral Desain

Sesuai pasal 6.3 SNI 1726:2019, Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1}, harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

Nilai parameter diatas digunakan sebagai acuan penentuan kategori desain seismik (KDS) pada perencanaan struktur bangunan gedung.

2.7.2.1. Spektrum Respon Desain

Sesuai pasal 6.4 SNI 1726:2019, kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu gambar di bawah dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0, spektrum respons percepatan desain, S_a, harus diambil dari persamaan;

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

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

   $$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

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

   $$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2}$$

   Keterangan:

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

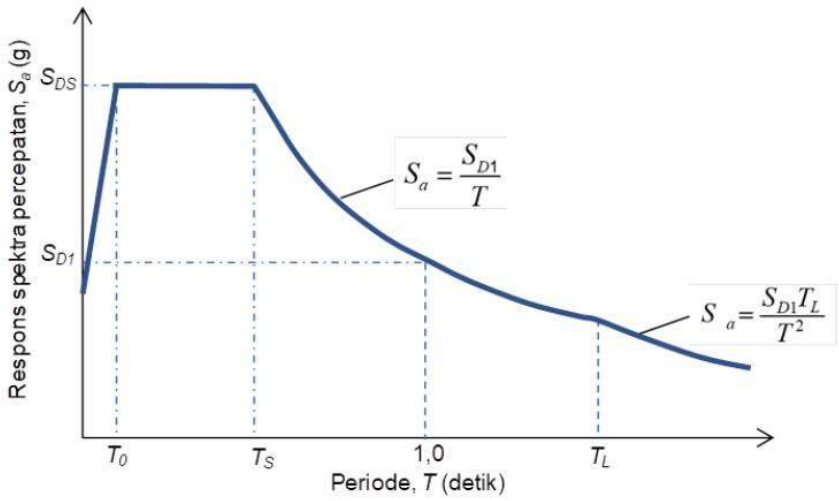
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

T = periode getar fundamental struktur.

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

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

T_L = Peta Transisi periode panjang yang ditunjukan pada gambar 3 yang nilainya diambil dari gambar 20 SNI 1726:2019.



Gambar 2. 6. Spektrum Respon Desain (Sumber : Program aplikasi RSA dan gambar 3 SNI 1726:2019)

2.7.2.2. Kategori Desain Seismik

Sesuai pasal 6.5 SNI 1726:2019, Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1}, sesuai pasal 6.3. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 8 dan Tabel 9 SNI 1726:2019, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, *T*.

Tabel 2.12. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	**Kategori risiko**	
	I atau II atau III	**IV**
$S_{Ds} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : Tabel 8 SNI 1726:2019

Tabel 2.13. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

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

$0{,}133 \leq S_{D1} < 0{,}20$	C	D
$0{,}2 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : Tabel 9 SNI 1726:2019

2.7.2.3. Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Pemilihan Struktur Pemikul Gaya Seismik

Disebutkan dalam pasal 7.2.1 SNI 1726:2019, Sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan pada Tabel 12 atau kombinasi sistem seperti pasal 7.2.2, pasal 7.2.3 dan pasal 7.2.4, kecuali apabila sistem struktur tersebut termasuk dalam pasal 7.2.1.1.

2.7.2.4. Kombinasi Sistem Struktur

Disebutkan dalam pasal 7.2.2 SNI 1726:2019, Sistem pemikul gaya seismik yang berbeda diizinkan untuk digunakan menahan gaya seismik di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R, C_d, dan Ω_0 harus diterapkan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 12.

Tabel 2.14. Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	**Koefisien modifikasi respons, R[a]**	**Faktor kuat lebih sistem, Ω_0[b]**	**Faktor pembesaran defleksi, C_d[c]**	**Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur**				
				Kategori desain seismik				
				B	**C**	**D[e]**	**E[e]**	**F[f]**
B. Sistem rangka bangunan								
	Koefisien modifikasi	**Faktor kuat**	**Faktor pembe**	**Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur**				

	i respons, R[a]	lebih sistem, Ω_0[b]	saran defleksi, C_d[c]	Kategori desain seismik				
				B	C	D[e]	E[e]	F[f]

Tabel 2.15. (Lanjutan) Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5^{1/2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5^{1/2}$	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menegah	4½	3	4	TB	TB	10[K]	TI[K]	TI[K]
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI[J]	TI[J]	TI[J]
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus[m]	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI

10. Rangka baja dan beton komposit terekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan[n]	3½	3^0	3½	10	10	10	10	10

Sumber : Tabel 12 SNI 1726:2019

Catatan :

TB = Tidak Dibatasi dan

TI = Tidak Diizinkan.

R = Faktor Modifikasi Respom

C_d = Faktor Pembesaran Defleksi

Ω_0 = Faktor Kuat-lebih Sistem

2.7.2. Prosedur Gaya Lateral Ekivalen

2.7.2.1. Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur, *T*, tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung *(Cu)* dari Tabel 17 dan periode fundamental pendekatan, *Ta*, yang ditentukan sesuai pasal 7.8.2.1.

Tabel 2.16. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.

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

Sumber : Tabel 17 SNI 1726:2019

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut, $T_a = C_t\, h_n^x$

Keterangan :

h_n = ketinggian struktur (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

Koefisien C_t dan x ditentukan dalam tabel 2.11.

Tabel 2.17. Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul moment dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari deflesi jika dikenai gaya seismic ;	0,0724	0,8
- Rangka baja pemikul momen	0,0466	0,9

- Rangka beton pemikul momen		
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75

Tabel 2.18. (Lanjutan) Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x

Tipe struktur	C_t	***x***
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0731	0,75

Sumber : Tabel 18 SNI 1726:2019

Batasan maksimal dari priode struktur yang boleh digunakan :

$T \leq C_u T_a$

Sebagai alternatif, diizinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan *(T_a)*, dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata-rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3 m :

$Ta = 0,1\ N$

Keterangan :

N = jumlah tingkat.

2.7.2.2. Kontrol Geser Dasar Seismik (V)

Gaya geser dasar seismik, *V*, dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$V = C_s W$

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif.

2.7.3.3. Koefisien Respon Seismik (C_s)

Koefisien respons seismik, *Cs*, harus ditentukan sesuai dengan persamaan (2.12).

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{Ie}\right)}$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan (2.13) tidak perlu melebihi berikut ini :

Untuk $T \leq T_L$:

$$(0{,}01 \leq 0{,}044\ S_{DS} \times I_e) \leq C_s \leq \frac{S_{D1}\ x\ I_e}{T\ x\ R}$$

Untuk $T > T_L$:

$$0{,}01 \leq 0{,}044\ S_{DS} \times I_e \leq C_s \leq \frac{S_{D1}\ x\ T_L\ x\ I_e}{T^2\ x\ R}$$

C_s , dibatasi oleh nilai minimum :

$C_s = 0{,}044\ S_{DS}\ I_e \geq 0{,}01$

Keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode 1,0 detik

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa.

T = periode fundamental struktur (detik)

2.8. Analisis Spektrum Respons Ragam

2.8.1. Distribusi Beban

Dalam pasal 7.8.3 SNI 1726:2019, Gaya seismik lateral, *Fx*, (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

F_x = C_{vx} V

Dimana : C_s = $\frac{W_x \, x \, H_x^k}{\sum_{i=1}^{n} W_i \, h_i^k}$

Keterangan :

C_{vx} = factor distribusi vertical

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

W_i dan W_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

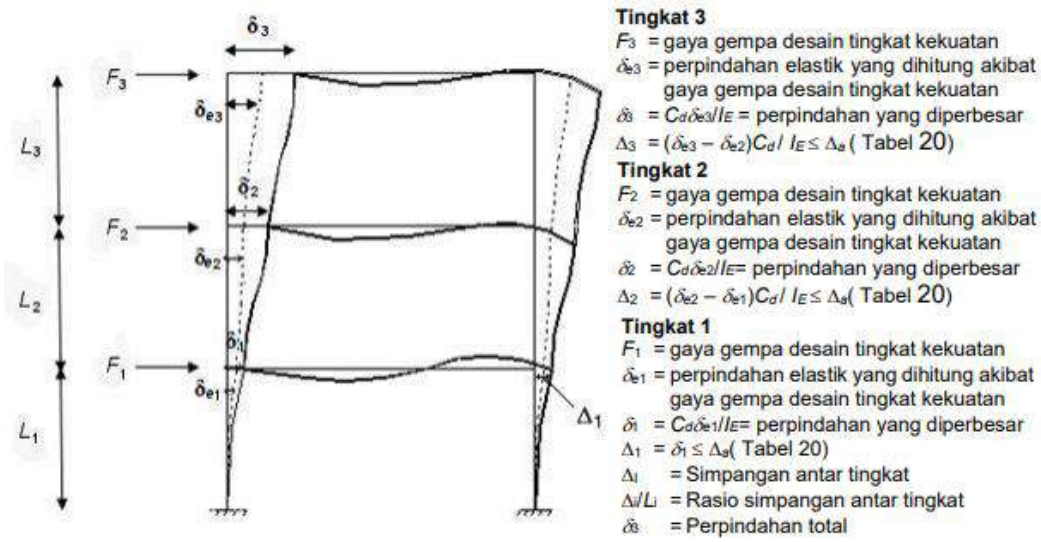
- untuk struktur dengan T ≤ 0,5 detik, = 1

- untuk struktur dengan T ≥ 2,5 detik, = 2

- untuk struktur dengan 0,5 < T < 2,5 detik, = 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

2.8.2. Simpangan Antar Tingkat (Δ)

Dalam pasal 7.8.6 SNI 1726:2019, Penentuan simpangan antar tingkat desain (*Δ*) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau (lihat Gambar 10). Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya.



Gambar 2. 7. Penentuan simpangan antar tingkat (Sumber : Gambar 10 SNI 1726:2019).

Simpangan pusat massa di tingkat-x (δx) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$

$\Delta n = \delta_n \leq \Delta a$

Dimana :

Δa = nilai x h_{sx}

Keterangan :

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = simpangan di tingkat-x yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = faktor keutamaan gempa.

Δa = simpangan antar tingkat izin

Tabel 2. 19. Simpangan antar tingkat izin, Δa^{ab}

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	0,025 h_{sx}^{c}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}

untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.			
Struktur dinding geser kantilever batu bata[d]	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,020 h_{sx}

Sumber : Tabel 20 SNI 1726:2019

Catatan :

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat-x

Δa = nilai x h_{sx} / ρ

Keterangan : Kategori desain seismik D, E, atau F, simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi $\Delta a/\rho$ untuk semua tingkat. ρ harus ditentukan sesuai dengan pasal 7.3.4.2.

2.8.3. Pengaruh P-Delta

Dalam pasal 7.8.7 SNI 1726:2019, Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila $\theta \leq 0{,}10$:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

Keterangan :

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN); bila menghitung P_x, faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0;

Δ= simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam 7.8.6, terjadi secara serentak dengan V_x (mm);

I_e= faktor keutamaan gempa;

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat dan x – 1 (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat , (mm);

C_d = faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 12.

2.8.4. Jumlah Ragam

Dalam pasal 7.9.1.1 SNI 1726:2019, 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.

Pengecualian : Sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

2.8.5. Parameter Respon Ragam

Dalam pasal 7.9.1.2 SNI 1726:2019, Nilai untuk masing-masing parameter desain terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-

masing ragam respons harus dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan spektrum respons didefinisikan dalam passal 6.4 atau pasal 6.10.2 dibagi dengan kuantitas *(R/Ie)*. Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar tingkat harus dikalikan dengan kuantitas *(Cd/Ie)*.

2.8.6. Klasifikasi Struktur Beraturan dan Tidak Beraturan

Struktur harus diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan pada kriteria dalam pasal ini. Klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur.

Ketidakberaturan Horizontal

Dalam pasal 7.3.2.1 SNI 1726:2019, Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 13 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 13 SNI 1726:2019 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 2.20. Ketidakberaturan horizontal pada struktur.

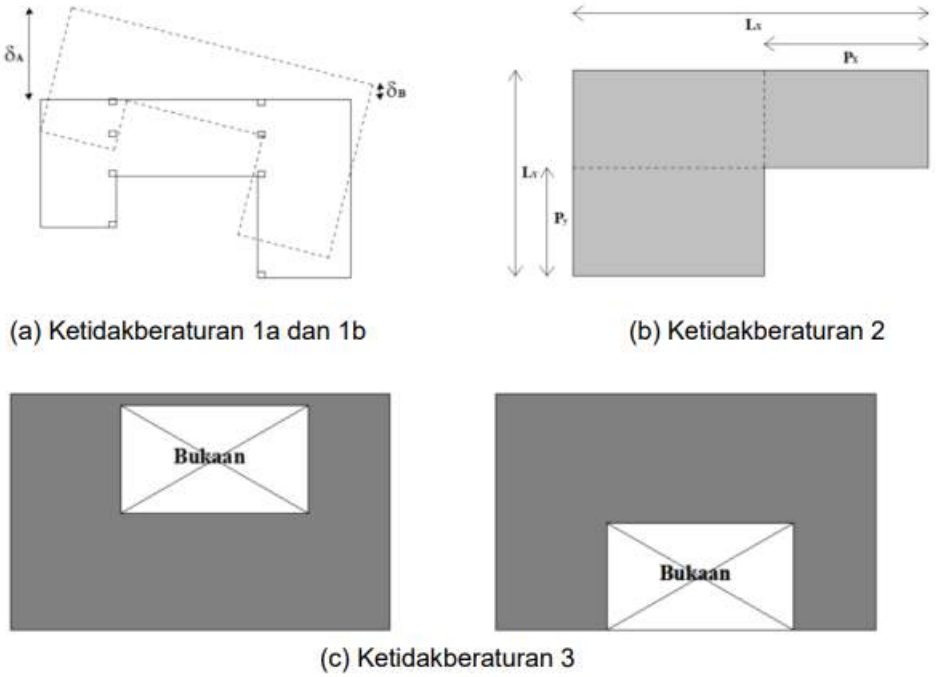
	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	**Ketidakberaturan torsi** didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan Ax = 1,0, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih 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 diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 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 degan Ax = 1,0, di salah satu ujung	0 0 0 0	E dan F D B, C, dan D C dan D

	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	C dan D D B, C, dan D

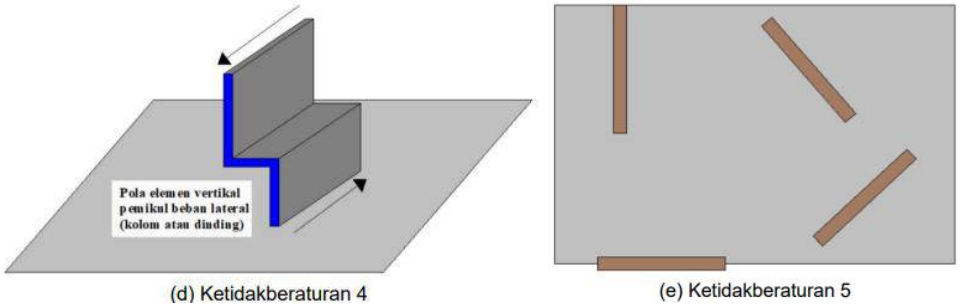
Tabel 2.21. (Lanjutan) Ketidakberaturan horizontal pada struktur.

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
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 didefninisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	0 0 Tabel 16 0	C,D,E,dan F B,C,D,E, dan F D,E, dan F B,C,D,E, dan F

Sumber : Tabel 13 SNI 1726:2019



Gambar 2.8. Ketidakberaturan horizontal (Sumber: Gambar 5, SNI 1726:2019**)**



Gambar 2.9. (Lanjutan) Ketidakberaturan horizontal (Sumber: Gambar 5, SNI 1726:2019)

Ketidakberaturan Vertikal

Dalam pasal 7.3.2.2 SNI 1726:2019, Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 14 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 14 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 2.22 Ketidakberaturan vertikal pada struktur.

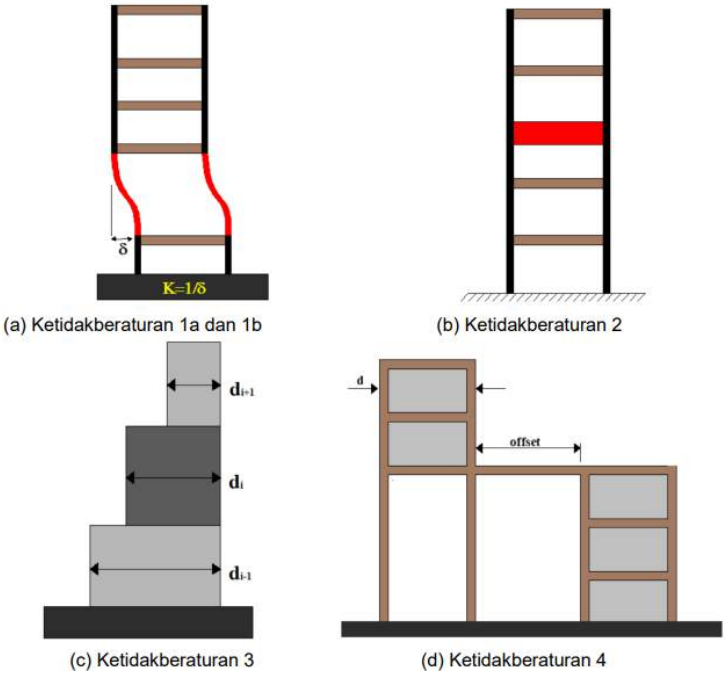
	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	**Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak** didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga 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

Tabel 2.23 (Lanjutan) Ketidakberaturan vertikal pada struktur.

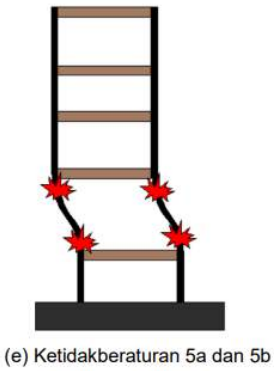
	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
3.	**Ketidakberaturan Geometri Vertikal** didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	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**	0 0	D,E, dan F B dan C

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.	Tabel 16	D,E, dan F

Sumber : Tabel 14 SNI 1726:2019



Gambar 2.10. Ketidakberaturan vertikal (Sumber: Gambar 6, SNI 1726:2019)



Gambar 2.11. (lanjutan) Ketidakberaturan vertikal (Sumber: Gambar 6, SNI 1726:2019)

2.9. Sistem Pemikul Gaya Seismik

2.9.1. Sistem Rangka Pemikul Momen

Dalam SNI 1726:2019 pasal-3.50.4 rangka pemikul momen (RPM) adalah sistem struktur rangka yang elemen-elemen struktur dan sambungannya menahan beban-beban lateral melalui mekanisme lentur. Sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu Sistem RangkaPemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Sedangkan dalam SNI 2847:2019 desain struktur gedung direncanakan menggunakan sistem rangka pemikul momen *(Moment frame)*, yaitu rangka dimana komponen balok, pelat, kolom dan *joint* menahan gaya melalui lentur, geser, dan gaya aksial. Sistem rangka Pemikul Momen dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Sistem rangka pemikul momen biasa *(Ordinary moment frame)* adalah Rangka balok kolom atau rangka pelat kolom yang dicor di tempat atau pracetak dan memenuhi persyaratan 18.3.
2. Sistem rangka pemikul momen khusus *(Special moment frame)* adalah Rangka balok kolom yang dicor di tempat dan memenuhi persyaratan 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.6 hingga 18.8. Untuk rangka balok kolom pracetak memenuhi 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.9.
3. Sistem rangka pemikul momen menengah *(Intermediate moment frame)* adalah Rangka balok kolom atau rangka kolom dan pelat dua arah tanpa balok yang dicor di tempat dan memenuhi persyaratan 18.4.

2.9.2. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Dalam SNI 2847:2019 menyebutkan struktur yang masuk dalam KDS D, E atau F dapat terkena guncangan tanah yang kuat. Berdasarkan ketentuan SNI ini, sistem struktur beton pemikul gaya seismik yang berlaku untuk KDS D, E atau F adalah **Rangka Pemikul Momen Khusus**, dinding struktural khusus atau kombinasi keduanya.

Sebagai tambahan terhadap 18.2.2 hingga 18.2.8, sistem struktur tersebut juga diperlukan untuk memenuhi persyaratan pasal 26.13.1.4, 18.12, 18.13, dan elemen-elemen pemikul gaya gravitasi yang tidak ditetapkan sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik (18.14).

Ketentuan ini diberlakukan agar struktur memiliki kapasitas deformasi yang memadai untuk menghadapi tuntutan yang tinggi pada kategori desain seismik ini.

Tabel 2.24. Bagian pasal 18 yang harus dipenuhi dalam penerapan pada umumnya

Komponen yang menahan pengaruh gempa, kecuali jika dinyatakan sebaliknya	**Kategori Desain Seismik**			
	A (Tidak ada)	**B (18.2.1.3)**	**C (18.2.1.4)**	**D, E, F (18.2.1.5)**
Persyaratan analisis dan desain	Tidak ada	18.2.2	18.2.2	18.2.2, 18.2.4
Material		Tidak ada	Tidak ada	18.2.5 hingga 18.2.8
Komponen sistem rangka pemikul momen		18.3	18.4	18.6 hingga 18.9
Dinding struktural dan balok kopel		Tidak ada	Tidak ada	18.10
Dinding struktural pracetak		Tidak ada	18.5	18.5(2), 18.11
Diafragma dan rangka batang *(trusses)*		Tidak ada	Tidak ada	18.12
Fondasi		Tidak ada	Tidak ada	18.13
Komponen struktur rangka pemikul momen yang tidak ditetapkan		Tidak ada	Tidak ada	18.14

sebagai sistem pemikul gaya seismik			
Angkur	Tidak ada	18.2.3	18.2.3

Sumber : Tabel R18.2 SNI 2847:2019

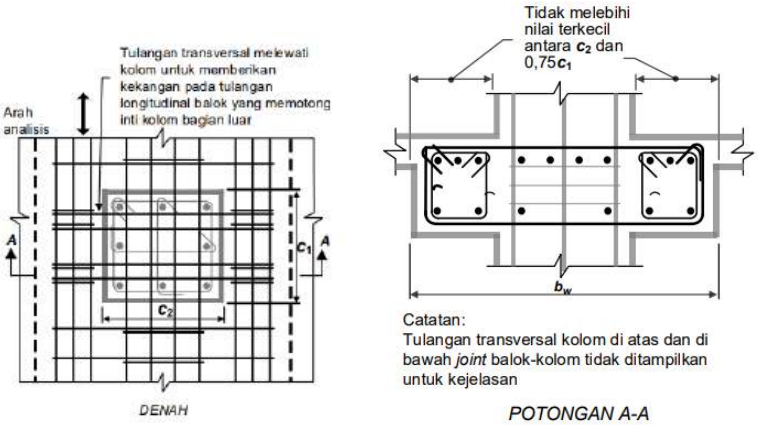
2.9.3. Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Balok sistem rangka pemikul momen khusus adalah balok yang didesain untuk memikul menahan gaya geser dan lentur serta balok harus merangka (tersambung) ke kolom sistem rangka pemikul momen khusus dapat di artikan sebagai balok sebagai elemen horizontal dan kolom sebagai elemen vertikal yang saling berhubungan oleh joint balok-kolom.

Dimensi Balok SRPMK

Dimensi harus memenuhi kriteria dimensi pasal 18.6.2.1 (b-d) sebagai berikut:

a. Setiap komponen rangka yang terkena gaya tekan aksial terfaktor *(Pu)* tidak boleh melebihi $Ag\ f'_c/10$.
b. Bentang bersih ℓ_n, harus minimal $4d$;
c. Lebar penampang b_w, harus sekurang-kurangnya nilai terkecil dari $0{,}3h$ dan $250\ mm$;
d. Proyeksi lebar balok, b_w, yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0{,}75_{c1}$ pada masing-masing sisi kolom.



Gambar 2.12. Lebar efektif maksimum balok lebar (wide beam) dipersyaratan tulangan transversal (Sumber: Gambar R18.6.2 SNI 2847:2019)

Tulangan Longitudinal Balok SRPMK

Tulangan Longitudinal harus memenuhi kriteria sesuai pasal 18.6.3.1 sebagai berikut:

a. Rasio tulangan lentur ρ tidak boleh kurang dari ***0.025*** pada sisi atas maupun bawah.

b. Jumlah tulangan tidak boleh kurang dari yang diisyaratkan pasal 9.6.1.2, $\boldsymbol{A_{s,min}}$ harus lebih besar dari :

$$As, min > \frac{0.25\sqrt{fc'}}{fy} bw\ d$$

$$As, min > \frac{1.4}{fy} bw\ d$$

c. Balok harus memiliki dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang.

d. Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif. Dan kekuatan momen negatif dan

positif pada sebarang penampang di sepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat ($^1/_4$) kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.

Persyaratan Sambungan Lewatan Balok SRPMK

Sambungan Lewatan Balok SRPMK memeliki beberapa persyaratan diantaranya:

a. Sambungan lewatan pada balok diijinkan dengan penambahan sengkang sepanjang tulangan sambungan. Spasi sengkang tidak diperbolehkan lebih kecil dari ***d/4*** dan ***100*** mm**.**
b. Sambungan lewatan tulangan longitudinal tidak berada di daerah *joint* atau sejauh ***2h*** dari muka *joint* di mana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.

Tulangan Transversal Balok SRPMK

Tulangan transversal disyaratkan pasal 18.6.4 terutama untuk kekangan beton dan mempertahankan pendukung lateral untuk batang tulangan pada daerah dimana kelelehan terjadi. Contoh sengkang tertutup yang sesuai untuk balok ditunjukkan pada Gambar 2.6 SNI 2847:2019.

Tulangan transversal harus memenuhi persyaratan diantara lain :

a. Sesuai pasal 18.6.4.1, tulangan pengekang dipasang pada daerah sepanjang jarak yang sama dengan ***2h*** (dua kali tinggi balok) yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang, di kedua

ujung balok. Pada daerah dimana pelelehan lentur (sendi plastis) mungkin terjadi.

b. Sesuai pasal 18.6.4.2, bila diperlukan sengkang pengekang, batang tulangan longitudinal utama yang terdekat ke muka tarik dan tekan harus diberi tumpuan lateral yang memenuhi 25.7.2.3 lihat pada gambar 2.6.a atau 25.7.2.4 lihat pada gambar 2.6.b Spasi tulangan longitudinal yang tertumpu secara lateral tidak boleh melebihi ***350*** mm. Tulangan longitudinal samping yang disyaratkan 9.7.2.3 tidak perlu tertumpu secara lateral.

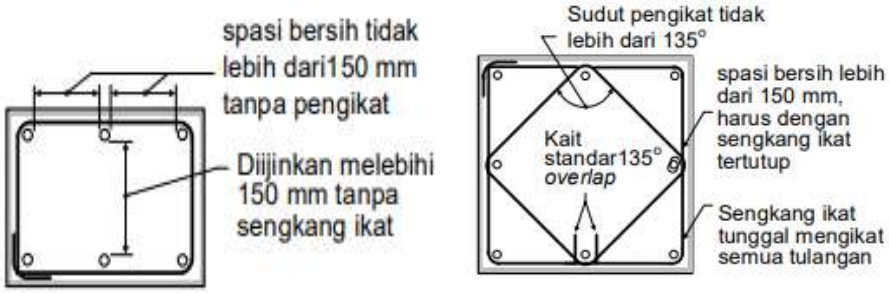
c. Sesuai pasal 18.6.4.4, sengkang pengekang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari ***50*** mm dari muka kolom penumpu dengan spasi sengkang ***d/4***, ***6db***, dan ***150*** mm.

d. Sesuai pasal 18.6.4.7 pada balok yang mengalami gaya tekan aksial terfaktor melebihi ***Ag.fc/10*** harus dipasang sengkang pengekang yang memenuhi 18.7.5.2 hingga 18.7.5.4 sepanjang jarak

e. Tulangan sengkang harus didesain untuk memikul gaya geser rencana V_e, yang ditimbulkan oleh kuat lentur maksimum dengan arah yang berlawanan pada kedua ujung muka tumpuan, pada saat yang bersamaan, selain itu, komponen struktur itu juga diharuskan untuk menahan gaya gravitasi terfaktor yang bekerja di sepanjang komponen lentur.

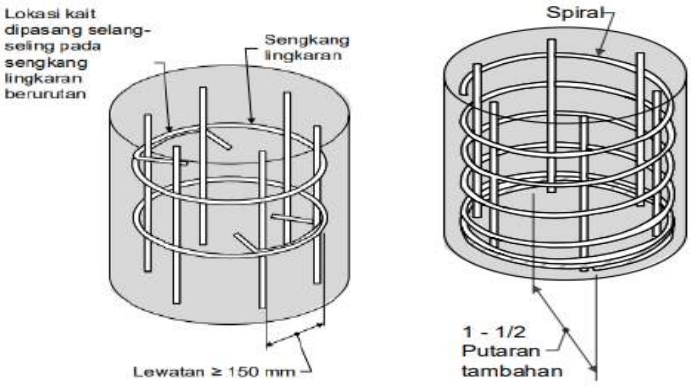
f. Sesuai pasal 18.6.5.2 kuat geser yang dipikul oleh beton V_c = 0 apabila gaya geser yang ditimbulkan oleh gaya gempa lebih besar daripada 50% dari kuat geser perlu pada sepanjang bentang,

g. Apabila terdapat gaya aksial terfaktor P_u akibat gaya gempa besarnya kurang dari ***Ag.fc/20***.

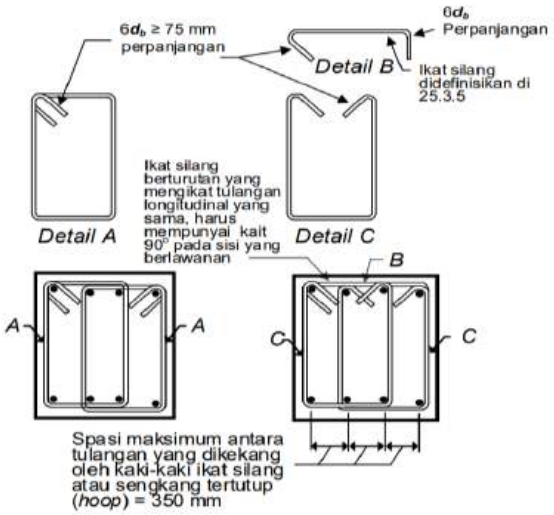


Gambar 2.13. Ilustrasi untuk menggambarkan perbandingan antara tulangan kolom yang ditumpu lateral dan pengakuran sengkag ikat persegi (Sumber: Gambar R25.7.2.3a SNI 2847:2019)

Gambar 2.14. (Lanjutan) Ilustrasi untuk menggambarkan perbandingan antara tulangan kolom yang ditumpu lateral dan pengakuran sengkag ikat persegi (Sumber: Gambar R25.7.2.3a SNI 2847:2019)



Gambar 2.15. Pengangkuran sengkang ikat lingkaran dan Pengangkuran spiral (Sumber: Gambar R25.7.2.3b/4 SNI 2847:2019)



Gambar 2.16 Contoh sengkang tertutup *(hoop)* (Sumber: Gambar R18.6.4 SNI 2847:2019)

2.9.4. Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem struktur yang dirancang untuk menahan beban lateral, seperti gempa dengan menggunakan konsep *Strong Column-Weak Bean.* Sistem ini memiliki Tingkat daktilitas tinggi, yang memungkinkan struktur untuk berdeformasi plastis tanpa mengalami keruntuhan signifikan.

Batasan Dimensi Kolom SRPMK

Kolom-kolom pasal 18.7.2.1 harus memenuhi :

a. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari ***300 mm***.

b. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak kurang dari ***0,4 (b/h ≥ 0,4)***.

Tulangan Longitudinal Kolom SRPMK

Batas bawah luas tulangan longitudinal adalah untuk mengontrol deformasi jangka panjang dan untuk memiliki momen leleh melebihi momen retaknya, tulangan longitudinal harus memenuhi persyaratan pasal 18.7.4 sebagai berikut :

a. Luas tulangan longitudinal $\boldsymbol{A_{st}}$ tidak boleh kurang dari $\boldsymbol{0{,}01A_g}$ dan tidak lebih dari $\boldsymbol{0{,}06A_g}$.

b. Sengkang bundar jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6 buah.

c. Kekuatan Lentur harus memenuhi :

$\sum \mathrm{Mnc} \geq (1{,}2)\sum \mathrm{Mn}$

d. Pada pasal 10.6.1.1 untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata-rata $\boldsymbol{f_{pe} < 1{,}6\ MPa}$, luas tulangan longitudinal harus sekurang-kurangnya *0,01Ag*, namun tidak boleh melebihi *0,08Ag*.

Tulangan Transversal Kolom SRPMK

Tulangan transversal yang disyaratkan pasal 18.7.5.1 harus dipasang sepanjang $\boldsymbol{\ell_o}$ tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari :

a. Tinggi kolom pada muka *joint.*

b. ***1/6*** tinggi bersih kolom.

c. ***450*** mm.

Tulangan transversal harus sesuai pasal 18.7.5.2 yaitu :

a. Tulangan transversal harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpuk *(overlap),* sengkang pengekang bundar, atau sengkang pengekang persegi, dengan atau tanpa ikat silang.

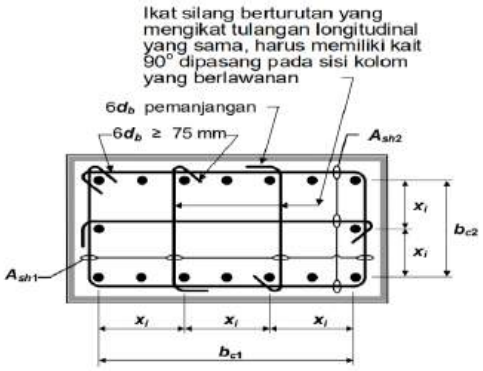
b. Setiap tekukan ujung sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.

c. Ikat silang dengan ukuran batang tulangan yang sama atau yang lebih kecil dari diameter sengkang pengekang diizinkan, ikat silang yang berurutan harus diselang-seling ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.

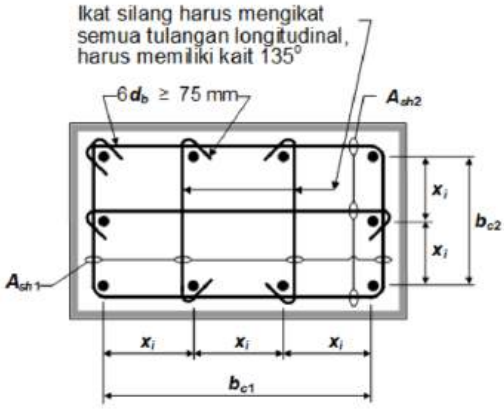
d. Jika digunakan sengkang pengekang persegi ataupun ikat silang, tulangan transversal tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal.

e. Tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi h_x antara tulangan longitudinal di sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengekang tidak boleh melebihi ***350 mm.***

f. Ketika $Pu > 0{,}3Agf_c'$ atau $f_c' > 70\ MPa$ pada kolom dengan sengkang pengekang, setiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang ataupun oleh kait gempa, dan nilai h_x tidak boleh lebih dari ***200*** mm (h_x < ***200*** mm). *Pu* harus merupakan gaya tekan terbesar yang konsisten dengan kombinasi beban terfaktor termasuk ***E***.



Gambar 2.17. Contoh penulangan transversal pada kolom.



Gambar 2.18. Contoh penulangan transversal pada kolom dengan Pu>0,3Ag$f\ c'$ atau $f\ c'$ > 70 Mpa (Sumber: Gambar R18.7.5.2 SNI 2847:2019)

Tulangan transversal menurut pasal 18.7.5.3 yaitu :

a. Seperempat dimensi terkecil penampang kolom, ***d/4.***

b. Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil, ***6.d.b***.

c. Nilai S_o tidak boleh melebihi ***150*** mm dan tidak perlu kurang dari ***100*** mm***, 100*** mm < ***So*** < ***150*** mm.

$$so = 100\ mm < \frac{350-hx}{3} < 150\ mm$$

Jumlah tulangan transversal harus sesuai Tabel 2.3 Faktor kekuatan beton, kf dan faktor keefektifan pengekangan *kn* dihitung dengan :

a. $kf = \frac{fc'}{1753} + 0{,}6 \geq 1{,}0$

b. $kn = \frac{n\ell}{n\ell-2}$

Tabel 2.25. Tulangan transversal untuk kolom-kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

Tulangan tranfersal	Kondisi		Persamaan yang berlaku
A_{sh}/sb_c Untuk sengkang pengekang persegi	Pu ≤ $0{,}3A_g f_c'$ dan $f_c' \leq 70$ MPa	Terbesar antara (a) dan (b)	$0{,}3 = \left(\frac{Ag}{Ach} - 1\right)\frac{fc'}{fyt}\,(a)$ $0{,}09\left(\frac{fc'}{fyt}\right)(b)$
	$P_u > 0{,}3A_g$ f_c' atau f_c' > MPa	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	$0{,}2kfkn\left(\frac{Pu}{FytAch}\right)(c)$
ρs untuk spiral ataupun Sengkang pengekang lingkaran	Pu ≤ $0{,}3A_g f_c'$ dan $f_c' \leq 70$ MPa	Terbesar antara (d) dan (e)	$0{,}45 = \left(\frac{Ag}{Ach} - 1\right)\frac{fc'}{fyt}\,(d)$ $0{,}12\left(\frac{fc'}{fyt}\right)(e)$
Tulangan tranfersal	**Kondisi**		**Persamaan yang berlaku**
ρs untuk spiral ataupun Sengkang pengekang lingkaran	$P_u > 0{,}3A_g$ f_c' atau f_c' > MPa	Terbesar antara (d), (e) dan (f)	$0{,}35kf\left(\frac{Pu}{FytAch}\right)(f)$

Sumber : Tabel 18.7.5.4 SNI 2847:2019

Gaya Geser

1. Gaya Desain

   Gaya geser desain $\boldsymbol{V_e}$ harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka-muka joint pada setiap ujung kolom. Gaya-gaya joint ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi, $\boldsymbol{M_{pr}}$, di setiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor, $\boldsymbol{P_u}$, yang bekerja pada kolom. Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi

nilai geser yang dihitung dari kekuatan joint berdasarkan Mpr balok yang merangka ke joint. Nilai V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

2. Tulangan Transversal

Tulangan transversal sepanjang ℓ_o berdasarkan *18.7.5.1*, harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bila a) dan b) terjadi:

a. Gaya geser akibat gempa berdasarkan Gaya Desain setidaknya setengah (50%) kekuatan geser perlu mamsimum di sepanjang ℓ_o.

b. Gaya tekan aksial terfaktor ***Pu*** termasuk pengaruh gempa kurang dari ***Ag.fc/20***.

2.9.5. Joint Kolom -Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

2.9.5.1. Syarat Panjang Joint

Sesuai pasal 18.8.2.3, bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui joint balok-kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari ***20*** kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal *(normalweight)*. Untuk beton ringan *(lightweight)*, dimensinya tidak boleh kurang dari ***26*** kali diameter tulangan.

2.9.5.2.Syarat Tinggi Joint

Sesuai pasal 18.8.2.4, Tinggi joint ***h*** tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok-balok yang merangka pada joint tersebut dan yang menyebabkan geser pada joint sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik.

2.9.5.3.Tulangan Transversal dan Longitudinal

Bila pada keempat sisi joint terdapat balok yang merangka kepadanya dan bila lebar dari setiap balok tersebut setidaknya tiga perempat ***(3/4)*** lebar kolom, maka jumlah tulangan yang diperlukan pada pasal 18.7.5.4 diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang disyaratkan pasal 18.7.5.3 diizinkan untuk ditingkatkan hingga ***150*** mm dalam ketinggian balok ***h*** yang terendah yang merangka pada joint tersebut.

Sesuai pasal 18.8.3.3, Tulangan longitudinal balok yang berada di luar inti kolom harus dikekang oleh tulangan transversal yang menembus kolom dengan spasi sesuai pasal 18.6.4.4, dan persyaratan pasal 18.6.4.2 dan pasal 18.6.4.3, jika pengekangan tersebut tidak diberikan oleh balok yang merangka ke dalam *joint*.

2.9.5.4.Kuat Geser

Sesuai pasal 18.8.4.1, Kekuatan geser ***Vn*** joint harus sesuai Tabel 18.8.4.1 SNI 2847:2019.

Tabel 2.26. Kekuatan geser nominal joint Vn

Konfigurasi Joint	Vn
Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada	1,7 λ $\sqrt{fc'}$ Aj [2]

keempat sisinya [1]	
Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan [1]	1,2 λ $\sqrt{fc'}$ Aj [2]
Untuk kasus-kasus lainnya	1,0 λ $\sqrt{fc'}$ Aj [2]

[1]Mengacu pada 18.8.4.2

[2] λ diambil 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal.

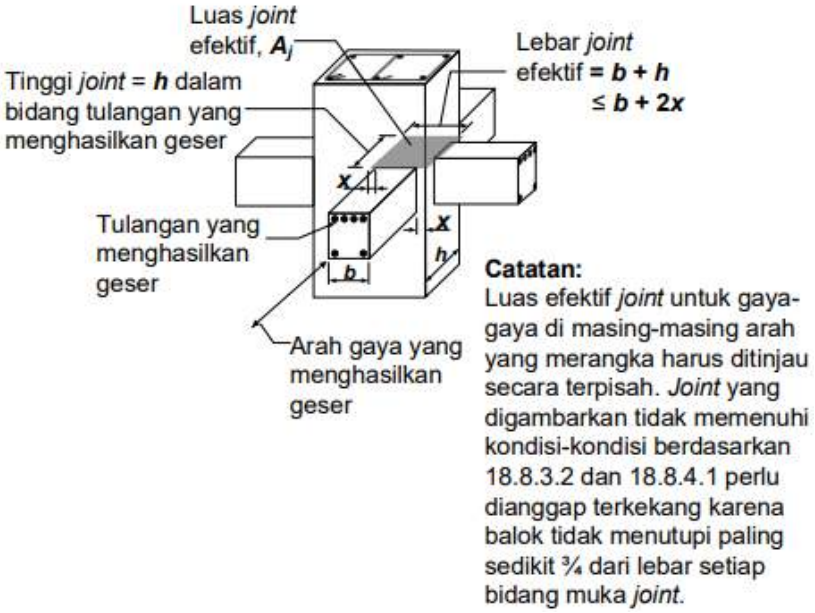
Nilai Aj berdasarkan 18.8.4.3

Sumber : Tabel 18.8.4.1 SNI 2847:2019

2.9.5.5.Luas Penampang

Sesuai pasal 18.8.4.3, Luas penampang efektif dalam suatu *joint*, ***Aj***, harus dihitung dari tinggi *joint* kali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus sebesar lebar kolom, ***h***. Lebar joint efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar joint efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) dan b):

a. Lebar balok ditambah tinggi joint.
b. Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.



Gambar 2.19. Luas joint efektif (Sumber: Gambar R18.8.4 SNI 2847:2019)

2.9.5.6.Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Untuk tulangan D10 hingga D36 yang ujungnya diberi kait standar, panjang penyaluran ℓ_{dh} harus dihitung berdasarkan Pers. (18.8.5.1). Untuk beton normal, ℓ_{dh} yang diperoleh tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara ***8db*** dan ***150*** mm; dan untuk beton ringan tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara ***10db*** dan ***190*** mm.

$$\ell dh = \frac{fy\ db}{5{,}4\lambda\sqrt{fc'}} + 0{,}6 \geq 1{,}0$$

2.10. Elemen Struktur

Struktur adalah suatu gabungan dari beberapa elemen penyusun yang membentuk suatu rangka penopang yang tertata dan terukur, untuk menyalurkan berbagai jenis beban yang bekerja pada gedung melalui elemem-elemennya ke tanah dasar. Berikut adalah elemen-elemen pada struktur bangunan.

2.10.1. Balok Beton Bertulang

Balok adalah suatu elemen struktur vertikal berbentuk penampang persegi panjang dengan bilah sisi tinggi lebih besar dari bilah sisi lebar penampang, balok merupakan struktur yang berfungsi sebagai penyangga plat lantai dan penghubung antara kolom. Bila suatu gelagar balok terletak di atas dua tumpuan sederhana, menerima beban yang menimbulkan momen lentur, maka akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi pada bagian atas balok, dan pada bagian bawah tampang balok terjadi regangan tarik. Regangan –regangan ini menimbulkan tegangan tekan di sebelah atas dan tegangan tarik di bawah, yang harus ditahan oleh balok (Kurniati, 2020).

2.10.1.1. Syarat Geometri dan Gaya

a. Bentang bersih balok (Pasal 18.6.2.1) :

$L_n \geq 4\ d$

Tinggi efektif balok

$d = h - c_c - d_s - d_b/2$

b. Lebar minimum (Pasal 18.6.2.1) :

$b_{min1} \geq 0{,}3\ h$

$b_{min2} = 250$ mm

c. Lebar maksimum (Pasal 18.6.2.1) :

b_{maks} $\leq c_2 + 2 \times c_2$

b_{maks} $\leq c_2 + 2 \times 0{,}75\ c_1$

Dengan :

Ln = Panjang efektif (mm)

d = Tinggi efektif (mm)

h = Tinggi balok (mm)

c_c = Selimut beton (mm)

d_s = Tulangan sengkang (mm)

d_b = Tulangan Longitudinal (mm)

b = Lebar balok (mm)

c_2 = Lebar kolom, sisi yang sejajar lebar balok (mm)

c_1 = Panjang Kolom (mm) Kolom Beton Bertulang

d. Faktor material (pasal 22.2.2.4.3) :

Jika kuat tekan beton < 28 MPa

$\beta 1$ = 0,85

Jika kuat tekan beton antara 28 Mpa dan 56 MPa

$\beta 1$ = 0,85 − 0,05 (($f\ c'$ − 28) / 7)

Jika kuat tekan beton < 56 MPa

$\beta 1$ = 0,65

e. Regangan tarik netto (pasal 21.2.2.1) :

$\varepsilon_{sy} = \frac{fy}{Es}$

2.10.1.2. Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Negatif

1. Tulangan Longitudinal Tumpuan (pasal 9.6.1.2) :

Luas Tulangan Minimum :

As,min1 $= \frac{0.25\sqrt{fc'}}{fy} bw\ d$

As,min2 $= \frac{1,4}{fy} bw\ d$

Luas Tulangan Maksimum :

$As,_{maks}$ = 0,025%

Luas Tulangan Terpakai :

$As, pakai = \frac{n \times \pi}{fy}\ db2$

As,terpakai > As,min1 atau As,min2

Dengan :

As = Luas tulangan (mm2)

fc' = Kuat tekan beton (Mpa)

fy = Kuat leleh baja (MPa)

d_b = Diameter tulangan longitudinal (mm)

n = Jumlah tulangan (asumsi dari perkiraan)

b = Balok lebar (mm)

d = Tinggi efektif (mm)

2. Nilai rasio luas tulangan lentur:

ρ = As,terpakai / (b x d)

= %

Syarat rasio tulangan (pasal 18.6.3.1) :

$\rho_{,maks1} \leq 0{,}75\ \rho_b$

$\rho_{,maks2} = 0{,}75 \text{ x } 0{,}85 \text{ x } \beta 1 \frac{fc'}{fy}\ x\ (\frac{600}{(600+fy)})$

3. Tinggi blok tegangan

$a = \frac{\text{As x fy}}{0{,}85 \text{ x } fc'\ x\ b}$

4. Kuat momen (Mn)

$Mn = \frac{(\text{As x fy})}{(d-\frac{a}{2})}$

5. Tinggi daerah tekan tinggi garis netral

$c = \frac{a}{\beta 1}$

6. Regangan maksimum tulangan terluar :

$\varepsilon_{st} = 0{,}003\ \frac{(d-c)}{c}$

7. Faktor Reduksi ϕ (pasal 21.2.2.2)

$\phi = \varepsilon_{st} \leq \varepsilon_{sy} = 0.65$

$\phi = \varepsilon_{sy} < \varepsilon_{st} < 0{,}005 = 0.65 + \frac{(\varepsilon st - \varepsilon sy)}{(0{,}005 - \varepsilon sy)} \times 0.25$

$\phi = \varepsilon_{st} \geq 0{,}005 = 0{,}90$

8. Kapasitas Momen (ϕMn)

$\phi\ Mn > Mu$

$\phi\ Mn = \phi \times (A_{s,1} \times f_y \times (d-a/2) + A_{s,2} \times f_y \times (d-a/2))$

9. Jarak bersih tulangan (pasal 25.2) :

s > 25 mm atau d_b dan (4/3) d_{agg}

$s = \frac{b - 2\ cc - 2\ ds - n \times db}{n-1}$

Dengan :

d_b = Diameter tulangan longitudinal (mm)

d_s = Diameter tulangan sengkang (mm)

c_c = tebal selimut beton (mm)

2.10.1.3. Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Positif

1. Tulangan Longitudinal Tumpuan (pasal 9.6.1.2) :

Luas Tulangan Minimum :

$As,_{min1} = \frac{0.25\sqrt{fc'}}{fy} bw\ d$

$As,_{\min 2}$ $= \frac{1,4}{fy} bw\ d$

$As,_{\min 3}$ = 0.5 x As,pakai Tumpuan Negatif

Luas Tulangan Maksimum :

$As,_{maks}$ = 0,025%

Luas Tulangan Terpakai :

$As,pakai$ $= \frac{\text{n x } \pi}{fy}\ db2$

As,terpakai > As,min1 atau As,min2

Dengan :

As = Luas tulangan (mm2)

fc' = Kuat tekan beton (Mpa)

fy = Kuat leleh baja (MPa)

d_b = Diameter tulangan longitudinal (mm)

n = Jumlah tulangan (asumsi dari perkiraan)

b = Balok lebar (mm)

d = Tinggi efektif (mm)

2. Nilai rasio luas tulangan lentur:

ρ = As,terpakai / (b x d)

= %

Syarat rasio tulangan (pasal 18.6.3.1) :

$\rho_{,maks1}$ $\leq 0{,}75\ \rho_b$

$\rho_{,maks2}$ $= 0{,}75 \text{ x } 0{,}85 \text{ x } \beta 1 \frac{fc'}{fy}\ x\ (\frac{600}{(600+fy)})$

3. Tinggi blok tegangan

a $= \frac{\text{As x fy}}{0{,}85 \text{ x } fc' x\ b}$

4. Kuat momen (Mn)

Mn $= \frac{(\text{As x fy})}{(\text{d}-\frac{\text{a}}{2})}$

5. Tinggi daerah tekan tinggi garis netral

c $= \frac{\text{a}}{\beta 1}$

6. Regangan maksimum tulangan terluar :

ε_{st} $= 0{,}003\ \frac{(\text{d}-\text{c})}{c}$

7. Faktor Reduksi ϕ (pasal 21.2.2.2)

ϕ $= \varepsilon_{st} \leq \varepsilon_{sy} = 0.65$

ϕ $= \varepsilon_{sy} < \varepsilon_{st} < 0{,}005 = 0.65 + \frac{(\varepsilon st - \varepsilon sy)}{(0{,}005-\varepsilon sy)} \text{ x } 0.25$

ϕ $= \varepsilon_{st} \geq 0{,}005 = 0{,}90$

8. Kapasitas Momen (ϕMn)

ϕ Mn > Mu

ϕ Mn $= \phi \text{ x } (A_{s,1} \text{ x } f_y \text{ x } (d\text{-}a/2) + A_{s,2} \text{ x } f_y \text{ x } (d\text{-}a/2))$

9. Jarak bersih tulangan (pasal 25.2) :

s > 25 mm atau d_b dan (4/3) d_{agg}

s $= \frac{b-2\ cc\ -2\ ds-n\ x\ db}{n-1}$

Dengan :

d_b = Diameter tulangan longitudinal (mm)

d_s = Diameter tulangan sengkang (mm)

c_c = tebal selimut beton (mm)

2.10.1.4. Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan Negatif

1. Tulangan Longitudinal Tumpuan (pasal 9.6.1.2) :

Luas Tulangan Minimum :

$A_{s,min1}$ $= \frac{0.25\sqrt{fc'}}{fy} bw\ d$

$A_{s,min2}$ $= \frac{1,4}{fy} bw\ d$

$A_{s,min3}$ = 0.25 x $A_{s,pakai\ Tumpuan\ Negatif}$

Luas Tulangan Maksimum :

$As,_{maks}$ = 0,025%

Luas Tulangan Terpakai :

$A_{s,pakai}$ $= \frac{n\ x\ \pi}{fy}\ db2$

$A_{s,terpakai} > A_{s,min1}$ atau $A_{s,min2}$

Dengan :

As = Luas tulangan (mm2)

fc' = Kuat tekan beton (Mpa)

fy = Kuat leleh baja (MPa)

d_b = Diameter tulangan longitudinal (mm)

n = Jumlah tulangan (asumsi dari perkiraan)

b = Balok lebar (mm)

d = Tinggi efektif (mm)

2. Nilai rasio luas tulangan lentur:

ρ = $A_{s,terpakai}$ / (b x d)

= %

Syarat rasio tulangan (pasal 18.6.3.1) :

ρ,*maks1* ≤ 0,75 ρb

ρ,*maks2* $= 0{,}75 \text{ x } 0{,}85 \text{ x } \beta 1 \frac{fc'}{fy} \; x \; (\frac{600}{(600+fy)})$

3. Tinggi blok tegangan

a $= \frac{\text{As x fy}}{0{,}85 \text{ x } fc' x \; b}$

4. Kuat momen (Mn)

Mn $= \frac{(\text{As x fy})}{(\text{d}-\frac{\text{a}}{2})}$

5. Tinggi daerah tekan tinggi garis netral

c $= \frac{\text{a}}{\beta 1}$

6. Regangan maksimum tulangan terluar :

ε_{st} $= 0{,}003 \frac{(\text{d}-\text{c})}{c}$

7. Faktor Reduksi ϕ (pasal 21.2.2.2)

ϕ $= \varepsilon_{st} \leq \varepsilon_{sy} = 0.65$

ϕ $= \varepsilon_{sy} < \varepsilon_{st} < 0{,}005 = 0.65 + \frac{(\varepsilon\text{st} - \varepsilon\text{sy})}{(0{,}005-\varepsilon\text{sy})}$ x 0.25

ϕ $= \varepsilon_{st} \geq 0{,}005 = 0{,}90$

8. Kapasitas Momen (ϕMn)

ϕ Mn > Mu

ϕ Mn $= \phi$ x ($A_{s,1}$ x f_y x (d-a/2) + $A_{s,2}$ x f_y x (d-a/2))

9. Jarak bersih tulangan (pasal 25.2) :

s > 25 mm atau d_b dan (4/3) d_{agg}

s $= \frac{\text{b}-2\text{ cc }-2\text{ ds}-\text{n x db}}{\text{n}-1}$

Dengan :

d_b = Diameter tulangan longitudinal (mm)

d_s = Diameter tulangan sengkang (mm)

c_c = tebal selimut beton (mm)

2.10.1.5. Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan Positif

1. Tulangan Longitudinal Tumpuan (pasal 9.6.1.2) :

Luas Tulangan Minimum :

$A_{s,min1}$ = $\frac{0.25\sqrt{fc'}}{fy} bw\ d$

$A_{s,min2}$ = $\frac{1,4}{fy} bw\ d$

$A_{s,min3}$ = 0.25 x $A_{s,pakai\ Tumpuan\ Negatif}$

Luas Tulangan Maksimum :

$As,_{maks}$ = 0,025%

Luas Tulangan Terpakai :

$A_{s,pakai}$ = $\frac{n \times \pi}{fy}\ db2$

$A_{s,terpakai}$ > As,min1 atau As,min2

Dengan :

As = Luas tulangan (mm2)

fc' = Kuat tekan beton (Mpa)

fy = Kuat leleh baja (MPa)

d_b = Diameter tulangan longitudinal (mm)

n = Jumlah tulangan (asumsi dari perkiraan)

b = Balok lebar (mm)

d = Tinggi efektif (mm)

2. Nilai rasio luas tulangan lentur:

ρ = $A_{s,terpakai}$ / (b x d)

= %

Syarat rasio tulangan (pasal 18.6.3.1) :

$\rho_{,maks1}$ $\leq 0{,}75\ \rho_b$

$\rho_{,maks2}$ $= 0{,}75 \text{ x } 0{,}85 \text{ x } \beta 1 \frac{fc'}{fy}\ x\ (\frac{600}{(600+fy)})$

3. Tinggi blok tegangan

a $= \frac{\text{As x fy}}{0{,}85 \text{ x } fc' x\ b}$

4. Kuat momen (Mn)

Mn $= \frac{(\text{As x fy})}{(\text{d}-\frac{\text{a}}{2})}$

5. Tinggi daerah tekan tinggi garis netral

c $= \frac{\text{a}}{\beta 1}$

6. Regangan maksimum tulangan terluar :

ε_{st} $= 0{,}003\ \frac{(\text{d}-\text{c})}{c}$

7. Faktor Reduksi ϕ (pasal 21.2.2.2)

ϕ $= \varepsilon_{st} \leq \varepsilon_{sy} = 0.65$

ϕ $= \varepsilon_{sy} < \varepsilon_{st} < 0{,}005 = 0.65 + \frac{(\varepsilon st - \varepsilon sy)}{(0{,}005 - \varepsilon sy)} \times 0.25$

ϕ $= \varepsilon_{st} \geq 0{,}005 = 0{,}90$

8. Kapasitas Momen (ϕMn)

ϕ Mn > Mu

ϕ Mn $= \phi \times (A_{s,1} \times f_y \times (d\text{-}a/2) + A_{s,2} \times f_y \times (d\text{-}a/2))$

9. Jarak bersih tulangan (pasal 25.2) :

s > 25 mm atau d_b dan (4/3) d_{agg}

s $= \frac{b - 2\ cc - 2\ ds - n \times db}{n - 1}$

Dengan :

d_b = Diameter tulangan longitudinal (mm)

d_s = Diameter tulangan sengkang (mm)

c_c = tebal selimut beton (mm)

2.10.1.6. Perhitungan Desain Geser

1. Kapasitas Momen

Tinggi Blok Propable

A_{pr}^{+} = 1,25 x nilai a dari desain lentur tumpuan positif

A_{pr}^{-} = 1,25 x nilai a dari desain lentur tumpuan negatif

Dengan :

A_{pr} = tinggi balok propable saat plastis (mm)

Momen Probable

$M_{pr}^{+} = A_s^{+}$ x (1,25 x fy) x (d-A_{pr}^{+}/2)

$M_{pr}^{-} = A_s^{-}$ x (1,25 x fy) x (d-A_{pr}^{-}/2)

Dengan :

M_{pr} = Kemungkinan Kapasitas Momen Plastis (N-mm)

Gaya Geser Probable

V_{pr} = (M_{pr}^{+} + M_{pr}^{-}) / Ln

Dengan :

V_{pr} = Kemungkinan Gaya Geser Plastis (N)

2. Geser Desain

V_e = V_g + V_{pr}

Dengan :

V_g = Output gaya geser Etabs pada kombinasi 1,2D +L

Gaya Geser pakai

Vc = 0 apabila :

V_{pr} ≥ (V_e/2) dan Pu < (A_g x fc')/20

Dengan :

A_g = Luas bidang balok (mm2)

Pu = Gaya aksial, Etabs (N.mm)

Ve = Gaya Geser desain (N)

3. Penulangan Geser Tumpuan

Jumlah Kaki = n_{vs} (asumsi, 2)

Luas Efektif Tulangan Sengkang

A_v = n x π / 2 x ds^2 (mm^2)

Spasi Sengkang

Spasi Asumsi = 100 mm

$S,_{maks1}$ = d/4

$S,_{maks2}$ = 6 x db

$S,_{maks3}$ = 150 mm

$S,_{asumsi} < S,_{maks123}$

Mengitung Vs untuk tulangan geser (pasal 22.5.10.5.3)

Vs = Av x fy x d/s (N)

Mengitung batas Vs (pasal 22.5.2)

Vs_{maks} = $0{,}66\ x\ \sqrt{fc'}\ x\ b\ x\ d$ (N)

Pada bagian tumpuan, nila Vc menggunakan pasal 18.6.5.2.

Vc = 0, jika :

V_{pr} ≥ (V_e/2) dan Pu < (A_g x fc')/20

Kekuatan geser nominal, N

Vn = Vc + Vs

Vn = 0 + Vs

Nilai, Vs adalah nilai terkecil dari Vs dan Vsmax

Faktor Reduksi (pasal 12.5.3.2, 21.2.4)

ϕ = 0,75

Kuat Geser Rencana (N)

ϕ Vn > Vu

Vu = Kuat geser ultimate, kN (Etabs)

ϕ Vn = ϕ x (Vc + Vs)

4. Penulangan Geser Lapangan

Jumlah Kaki = n_{vs} (asumsi, 2)

Luas Efektif Tulangan Sengkang

A_v = n x π / 2 x ds^2 (mm^2)

Spasi Sengkang

Spasi Asumsi = 100 mm

$S,_{maks1}$ = d/2

$S,_{asumsi} < S,_{maks1}$

Mengitung Vs untuk tulangan geser (pasal 22.5.10.5.3)

Vs = Av x fy x d/s (N)

Mengitung batas Vs (pasal 22.5.2)

Vs_{maks} = $0{,}66\ x\ \sqrt{fc'}\ x\ b\ x\ d$ (N)

Pada bagian lapangan, nila Vc menggunakan pasal 18.6.5.2 atau 22.5.5.1.

Vc = $0{,}17\ x\ \sqrt{fc'}\ x\ b\ x\ d$ (N)

Kekuatan geser nominal (pasal 22.5.1.1), N

Vn = Vc + Vs

Nilai, Vs adalah nilai terkecil dari Vs dan Vsmax

Faktor Reduksi (pasal 12.5.3.2, 21.2.4)

ϕ = 0,75

Kuat Geser Rencana (N)

ϕ Vn > Vu

Vu = Kuat geser, kN (Etabs)

ϕ Vn = ϕ x (Vc + Vs)

2.10.1.7. Perhitungan Tulangan Torsi

1. Parameter Penampang Geometri

Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm2

Acp = b x h

Keliling luar penampang beton, mm

Pcp = 2 x (b+b)

Lebar penampang beton

x_o = b – 2 x c_c – d_s

Tinggi penampang beton

y_o = h – 2 x c_c – d_s

Luas penampang inti beton

Aoh = x_o – y_o

Luas efektif penampang inti, (pasal 22.7.6.1.1) nilai Ao diambil 0,85 Aoh.

Ao = 0,85 x Aoh

Keliling penampang inti, tulangan torsi transversal tertutup terluar, mm

Ph = 2 x (x_o – y_o)

2. Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

Tahanan Retak Torsi (pasal 22..7.5.), N-mm

T_{cr} = 0,33 x $\sqrt{fc'}$ x A_{cp}^2 / P_{cp}

Faktor Reduksi Torsi

ϕ = 0,75

Kebutuhan tulangan torsi

ϕ x T_{cr} / 4

Tu > ϕ x T_{cr} / 4 Perlu Tulangan Torsi

3. Pengecekan kecukupan dimensi

Momen Torsi pakai

$T_{u,pakai}$ = minimal dari ϕT_{cr} atau Tu

Vu = nilai Vu tumpuan tulangan geser

Vc = nilai Vc lapangan tulangan geser

Tengangan akibat Torsi dan Geser

$$\sqrt{\left[\frac{Vu}{b\ x\ d}\right]^2 + \left[\frac{Tu\ x\ Ph}{(1{,}7\ x\ Aoh^2)}\right]^2}$$

Kapasitas tegangan Torsi dan Geser

$$\phi\ \left[\frac{Vc}{b\ x\ d} + 0{,}66\sqrt{fc'}\right]$$

Jika Tegangan ≤ Kapasitas Tegangan, dimensi tercukupi.

4. Jarak Tulangan Transversal Torsi

Spasi pada torsi tranversal (pasal 9.7.6.3.3)

$S_{tumpuan,geser}$ < Ph/8 atau 300 mm

$S_{lapangan,geser}$ < Ph/8 atau 300 mm

5. Kebutuhan Tulangan Transversal Torsi

Av+t / s Tumpuan pasang = n x π/4 x ds2/s

Nilai n, s dan ds sama dengan desain tulangan geser tumpuan.

Av+t / s Lapangan pasang = n x π/4 x ds2/s

Nilai n, s dan ds sama dengan desain tulangan geser lapangan.

$A_{t/s}$ = $Tu/(2\ x\ \phi\ x\ Ao\ x\ fyt)$

Kebutuhan Tulangan Geser Tumpuan

$A_{v/s}$ = (Vu Tumpuan / φ - Vc) / (fyv * d)

Kebutuhan Tulangan Geser Lapangan

$A_{v/s}$ = (Vu Lapangan / φ - Vc) / (fyv * d)

Persyaratan untuk tulangan torsi dan geser adalah dijumlahkan dan sengkang yang disediakan sekurang kurangnya adalah jumlah total yang diperlukan.

Kebutuhan Tulangan Geser + Torsi Tumpuan

A_{v+t} / s Tumpuan perlu = 2 x At/s + Av/s

Kebutuhan Tulangan Geser + Torsi Lapangan

A_{v+t} / s Lapangan perlu = 2 x At/s + Av/s

Jika tulangan torsi diperlukan, tulangan transversal minimum (Av + 2 At)$_{min}$ / s harus lebih besar dari :

A_{v+t} / S_{min1} = 0.062 x $\sqrt{fc'}$ x b / fyv

A_{v+t} / S_{min2} = 0.35 x b / fyv

Cek torsi, persyaratan :

A_{v+t} / s Tumpuan Pasang ≥ A_{v+t} / s Tumpuan Perlu dan A_{v+t} / $S_{min1,2}$

A_{v+t} / s Lapangan Pasang ≥ A_{v+t} / s Tumpuan Perlu dan A_{v+t} / $S_{min1,2}$

6. Penulangan longitudinal torsi

Tulangan torsi longitudinal minimum harus memiliki diameter minimal 0,042 kali spasi tulangan transversal dan minimal diameter 10 mm (pasal 9.7.5.2.).

$d_{bt,min}$ = 0,042s (spasi tul. Tranversal terbesar)

A_I = At / s x Ph

$A_{I,min}$ = 0.42 x $\sqrt{fc'}$ x Acp / fy – ((At/s) x Ph)

Kebutuhan Tulangan Perlu

$A_{s,t,perlu,tumpuan}$ = maksimu A_I, A_{Imin} + As perlu Tumpuan

$A_{s,t,perlu,lapangan}$ = maksimu A_I, A_{Imin} + As perlu Lapangan

Spasi Tulangan Longitudinal Torsi

Spasi ≤ 300 mm ?

Kebutuhan Tulangan Perlu

$A_{s,t,pakai,tumpuan}$ = $A_{s,perlu}$ tul. Longitudinal atas+bawah + n, tul. Tum. tengah x (π / 4) x db^2

$A_{s,t,pakai,lapangan}$ = $A_{s,perlu}$ tul. Longitudinal atas+bawah + n, tul. Tum. tengah x (π / 4) x db^2

2.10.2. Kolom Beton Bertulang

Kolom adalah komponen struktur dengan rasio tinggi di dalam menahan/ menopang struktur dari beban balok maupun pelat yang diterima, yang digunakan terutama untuk mendukung beban aksial tekan (Tampubolon, 2022). Kolom adalah komponen struktur umumnya vertikal, digunakan untuk memikul beban tekan aksial, tapi dapat juga memikul momen, geser atau torsi. Kolom yang digunakan sebagai bagian sistem rangka pemikul gaya lateral menahan kombinasi beban aksial, momen dan geser (BSN, 2019).

2.10.2.1. Desain Longitudinal

Syarat Geometri dan Gaya

1. Dimensi penampang terkecil

   b > 300 mm.

2. Rasio dimensi penampang terkecil

   b/h $\geq$ 0,4

3. Syarat Gaya Aksial

   Pu > 0.1 Ag fc'

4. Syarat Rasio Tulangan

   Luas Tulangan Longitudinal

   As $= n \times A\ b$

Luas Tulangan Longitudinal

Ag = b x h

ρ = As /Ag = (%)

syarat $1\% < \rho\% < 6\%$

2.10.2.2. Gaya Dalam Aksial Lentur

Gaya dalam beban Aksial Lentur.

Aksial - Lentur			
Kondisi	**P (kN)**	**M2 (kN-m)**	**M3 (kN-m)**
P max			
P min			
M2 Max			
M2 Min			
M3 Max			
M3 Min			

2.10.2.3. Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial Lentur

Jumlah Tulangan terpakai = n

Luas Tulangan Longitudinal = n x π x db2

Perbandingan rasio, = %

Cek ρ_{min} *dan* ρ_{max} = %

2.10.2.4. Pengecekan Strong Coloumn Weak Bean (SCWB)

1. Momen nominal

Momen nominal kolom sumbu X,

MnkX = Input Perhitungan

Momen nominal kolom sumbu Y,

MnkY = Input Perhitungan

2. Momen nominal tumpuan Y

Momen nominal tumpuan (-) balok arah Y,

$MnbY^{--}$ = Input Perhitungan

Momen nominal tumpuan (+) balok arah Y,

$MnbY^{+}$ = Input Perhitungan

3. Momen nominal tumpuan X

Momen nominal tumpuan (-) balok arah X,

$MnbX^{--}$ = Input Perhitungan

Momen nominal tumpuan (+) balok arah X,

$MnbX^{+}$ = Input Perhitungan

4. Pengecekan SCWB momen arah X

SCWB $= 2 \times MnkX > 1{,}2\ MnbY^{-} + MnbY^{+}$

5. Pengecekan SCWB momen arah Y

SCWB $= 2 \times MnkY > 1{,}2\ MnbX^{-} + MnbX^{+}$

2.10.2.5. Desain Transversal

Panjang zona sendi plastis

l_{o1} = h (sisi panjang kolom terhadap balok)

l_{o2} = Ln / 6 (Seperenam tinggi bersih kolom)

l_{o3} = 450 mm

l_o= max (l_{o1} l_{o2} l_{o3})

2.10.2.6. Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan

Ketentuan jumlah kaki sengkang = n

n1 = Sisi pendek input

n2 = Sisi panjang input

s = jarak, spasi sengkang

Xi max = spasi kaki terbesar input (200 mm)

Ash 1 = n x π/4 x ds^2

Ash 2 = n x π/4 x ds^2

sumbu lemah = Ash / s, 1

sumbu lemah = Ash / s, 2

2.10.2.7. Confinement/Kekang Zona Sendi Plastis

Lebar penampang inti beton

bc = b - 2cc

Panjang penampang inti beton

hc = h – 2cc

Luas penampang kolom

Ag = b x h

Luas penampang inti beton

Ach = bc x hc

1. Sisi Pendek/Sumbu Lemah

   Ash/s min, 1 = 0.3 (bc x fc' / fyv) x (Ag / Ach - 1)

   Ash/s min, 2 = 0.09 x bc x fc' / fyv

   Cek Ash/s 1= Ash/s 1 ≥ max Ash/s min 1,2

2. Sisi Panjang/Sumbu Kuat

   Ash/s min, 1 = 0.3 (bc x fc' / fyv) x (Ag / Ach - 1)

   Ash/s min, 2 = 0.09 x bc x fc' / fyv

   Cek Ash/s 2= Ash/s 1 ≥ max Ash/s min 1,2

3. Cek Spasi

   Smax,1 = b / 4

   Smax,2 = 6 x db

   hx = xi max

   Smax,3 = so = 100 ≤ 100 + (350 - hx) / 3 ≤ 150

   Smax, pakai = Min (Smax,1 Smax,2 Smax,3)

2.10.2.8. Kuat Geser Zona Sendi Plastis

1. Gaya Geser Desain (Perlu input dari PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll. dengan fpr = 1.25 fy)

   Mpr Kolom = Input, (nilai terbesar)

   Vu 1 = 2 * Mpr Kolom / Ln

2. Gaya Geser Hasil Analisis Struktur

   $V_{u\,2}$, Sumbu Lemah = Input, (nilai terkecil)

   $V_{u\,2}$, Sumbu Kuat = Input, (nilai terbesar)

3. Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

   Vu = Max (V_{u1}, V_{u2})

   φ = faktor reduksi geser 0,75

   Vc = $0.17\ (1 + \frac{Nu}{14Ag})\ x\ \sqrt{fc'}$ x h x d

   Dimana d = b - cc - ds - db / 2

   V_s Perlu = Vu / φ - Vc

   As/s Perlu = Vs / (fyv * d)

   Dimana d = b - cc - ds - db / 2

   A_s/s Min 1 = $0.062\ x\ \sqrt{fc'}$ x b / fyv

   As/s Min 2 = 0.35 b / fyv

   Cek As/s = Ash/s 2 ≥ Max (As/s Perlu, As/s Min1, As/s Min2)

4. Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

Vu = Max (Vu1, Vu2)

φ = faktor reduksi geser 0,75

Vc = 0.17 (1 + Nu/14Ag) x √(fc') x h x d

Dimana d = b - cc - ds - db / 2

Vs Perlu = Vu / φ - Vc

As/s Perlu = Vs / (fyv * d)

Dimana d = b - cc - ds - db / 2

As/s Min 1 = 0.062 x √(fc') x b / fyv

As/s Min 2 = 0.35 b / fyv

Cek As/s = Ash/s 2 ≥ Max (As/s Perlu, As/s Min1, As/s Min2)

2.10.2.9. Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan

Ketentuan jumlah kaki sengkang = n

n1 = Sisi pendek input

n2 = Sisi panjang input

s = jarak, spasi sengkang

Av sumbu lemah = n x π/4 x ds^2

Av sumbu kuat = n x π/4 x ds^2

2.10.2.10. Confinement/Kekangan Zona Sendi Plastis

Spasi max 1 = 6 x db

Spasi max 2 = 150mm

Cek spasi = spasi ≤ spasi max 1,2

2.10.2.11. Kuat Geser Zona Sendi Plastis

1. Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

   Vu = Max (V_{u1}, V_{u2})

   φ = faktor reduksi geser 0,75

   Vc = 0.17 $(1 + \frac{Nu}{14Ag})$ x $\sqrt{fc'}$ x h x d

   Dimana d = b - cc - ds - db / 2

   V_s Perlu = max (Vu / φ – Vc;0)

   Av/s Perlu = Vs / (fyv * d)

   Dimana d = b - cc - ds - db / 2

   A_s/s Min 1 = 0.062 x $\sqrt{fc'}$ x b / fyv

   A_s/s Min 2 = 0.35 b / fyv

   Cek As/s = Av/s ≥ Max (As/s Perlu, As/s Min1, As/s Min2)

2. Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

   Vu = Max (V_{u1}, V_{u2})

φ = faktor reduksi geser 0,75

Vc = 0.17 (1 + $\frac{Nu}{14Ag}$) x $\sqrt{fc'}$ x h x d

Dimana d = b - cc - ds - db / 2

V_s Perlu = max (Vu / φ – Vc;0)

Av/s Perlu = Vs / (fyv * d)

Dimana d = b - cc - ds - db / 2

A_s/s Min 1 = 0.062 x $\sqrt{fc'}$ x b / fyv

A_s/s Min 2 = 0.35 b / fyv

Cek As/s = Av/s ≥ Max (As/s Perlu, As/s Min1, As/s Min2)

2.10.3. Hubungan/Joint Balok Kolom

Joint merupakan Bagian struktur yang dipakai bersama pada komponen struktur yang berpotongan. Luas penampang efektif joint rangka momen khusus, Aj, untuk perhitungan kekuatan geser seperti yang didefinisikan dalam 21.7.4.1. Lihat Pasal 21 (BSN, 2019).

2.10.3.1. Properti Material dan Penampang

Lebar Y Kolom = b

Lebar X Kolom = h

Panjang Kolom = L

Tinggi Balok Terbesar = hb

Panjang Bersih Kolom, Ln = L - hb

1. Data Lebar dan Eksentrisitas Balok

Lebar Balok 1	= bb1
Lebar Balok 2	= bb2
Lebar Balok 3	= bb3
Lebar Balok 4	= bb4
x1a	= (h-bb1)/2
x1b	= (h-bb1)/2
Cek Lebar Sisi Kolom 1	= bb1+x1a+x1b
x2a	= (h-bb2)/2
x2b	= (h-bb2)/2
Cek Lebar Sisi Kolom 2	= bb2+x2a+x2b
x3a	= (b-bb3)/2
x3b	= (b-bb3)/2
Cek Lebar Sisi Kolom 3	= bb3+x3a+x3b
x4a	= (b-bb4)/2
x4b	= (b-bb4)/2
Cek Lebar Sisi Kolom 4	= bb4+x4a+x4b

2. Dimensi Joint

x terkecil sisi 1, x1	= MIN (x1a, x1b)

x terkecil sisi 2, x2 = MIN (x2a, x2b)

x terkecil sisi 3, x3 = MIN (x3a, x3b)

x terkecil sisi 4, x4 = MIN (x4a, x4b)

Lebar Joint Sisi 1, bj1 = MIN (bb1+h, bb1+2 x x1)

Lebar Joint Sisi 2, bj2 = MIN (bb2+h, bb2+2 x x2)

Lebar Joint Sisi 3, bj3 = MIN (bb3+h, bb3+2 x x3)

Lebar Joint Sisi 4, bj4 = MIN (bb4+h, bb4+2 x x4)

Lebar Efektif Joint Y, bj = MIN (bj1, bj2)

Lebar Efektif Joint X, hj = MIN (bj3, bj4)

Luas Efektif Joint Gempa X, AjX = bj x h

Luas Efektif Joint Gempa Y, AjY = b x hj

Cek Tinggi Joint = hj ≥ 1/2 hb

3. Data dan Gaya Tulangan Balok

Diameter Tulangan Utama Balok, db = Input data

Cek Dimensi Kolom = b > 20 x db

Tulangan Atas Balok 1, As (-) dan (+) = n x π / 4 x db^2

Tulangan Atas Balok 2, As (-) dan (+) = n x π / 4 x db^2

Tulangan Atas Balok 3, As (-) dan (+) = n x π / 4 x db^2

Tulangan Atas Balok 4, As (-) dan (+) = n x π / 4 x db^2

Tegangan Probable Tulangan, fpr = 1.25 x fy

Gaya Tulangan Atas Balok 1, Fs 1 (-) dan (+) = A_s x f_{pr}

Gaya Tulangan Atas Balok 2, Fs 2 (-) dan (+) = A_s x f_{pr}

Gaya Tulangan Atas Balok 3, Fs 3 (-) dan (+) = A_s x f_{pr}

Gaya Tulangan Atas Balok 4, Fs 4 (-) dan (+) = A_s x f_{pr}

4. Gaya Geser Akibat Balok

Geser Ketika Arah Gempa X- = Fs-3 + Fs+4

Geser Ketika Arah Gempa X+ = Fs-4 + Fs+3

Geser Ketika Arah Gempa Y- = Fs-1 + Fs+2

Geser Ketika Arah Gempa Y+ = Fs-2 + Fs+1

5. Gaya Geser Kolom (Beam Hinging)

Mpr (-) dan (+) Balok 1 = input data

Mpr (-) dan (+) Balok 2 = input data

Mpr (-) dan (+) Balok 3 = input data

Mpr (-) dan (+) Balok 4 = input data

Ve Balok 1 = input data

Ve Balok 2 = input data

Ve Balok 3 = input data

Ve Balok 4 = input data

Geser Kolom Ketika Arah Gempa

Arah Gempa X- = [(Mpr+4+Mpr-3)+(Ve3+Ve4)*h/2]/Ln

Arah Gempa X+ = [(Mpr+3+Mpr-4)+(Ve3+Ve4)*h/2]/Ln

Arah Gempa Y- = [(Mpr+2+Mpr-1)+(Ve1+Ve2)*h/2]/Ln

Arah Gempa Y+ = [(Mpr+1+Mpr-2)+(Ve1+Ve2)*h/2]/Ln

6. Gaya Geser Total Joint

Geser Joint Ketika Arah Gempa X- = Fs + C – Vcol

Geser Joint Ketika Arah Gempa X+ = Fs + C – Vcol

Geser Joint Ketika Arah Gempa Y- = Fs + C - Vcol

Geser Joint Ketika Arah Gempa Y+ = Fs + C – Vcol

7. Kuat Geser Joint

Konfigurasi Joint sesuai pasal 18.8.4.1 dan Faktor Pengali Kuat Geser, c sesuai pasal 18.8.4.1 SNI 2847:2019.

Kuat Geser Nominal Joint Gempa X, VnX= c x λ x √fc' x AjX

Kuat Geser Nominal Joint Gempa Y, VnY= c x λ x √fc' x AjY

Faktor Reduksi, Φ = 0,85

Kuat Geser Joint Gempa X, ΦVnX = Φ x VnX

Kuat Geser Joint Gempa X, ΦVnY = Φ x VnY

Gaya Geser Joint Gempa X, VuX = MAX (Geser Joint X)

Gaya Geser Joint Gempa Y, VuY = MAX (Geser Joint Y)

Faktor Keamanan Gempa X, SFX = ΦVnX / VuX

Faktor Keamanan Gempa Y, SFY = ΦVnY / VuY

Cek Kuat Geser Joint arah x,y = SF ≥ 1

8. Tulangan Transversal

Tulangan transversal joint sesuai pasal 18.8.3.2 SNI 2847:2019. Konfigurasi sisi merangkak digunakan confinement tumpuan kolom dan Konfigurasi sisi mengekang confinement boleh direduksi 50%, spasi max 150 mm.

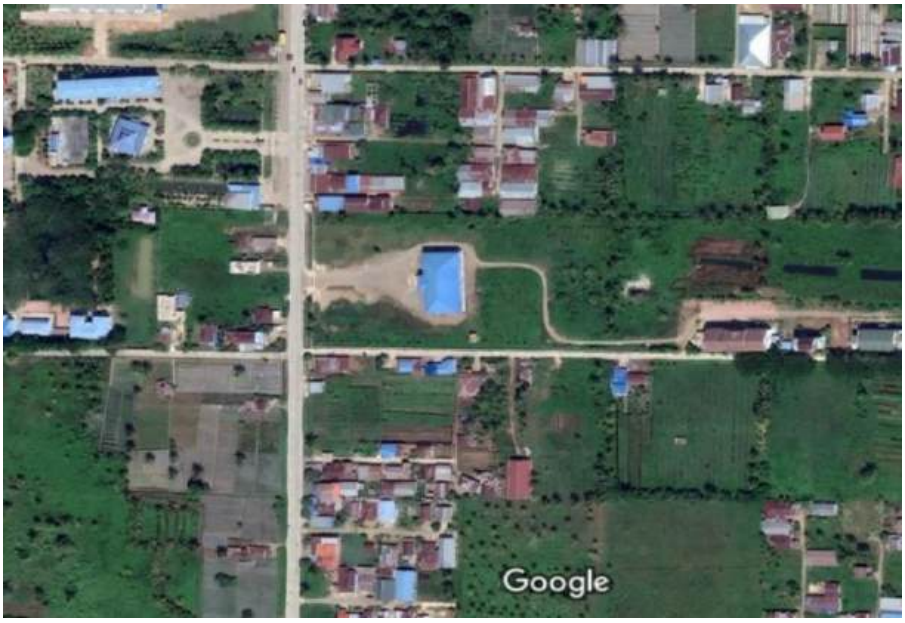
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi

Pada perencanaan struktur bangunan gedung Fakultas Teknik Unimuda Sorong terletak di lokasi/lahan yang dimilik Kampus Unimuda Sorong, lokasi perencanaan beralamat di Jl. KH. Ahmad Dahlan No.1, Mariat Pantai, Aimas, Kabupaten Sorong, Papua Barat Daya.

Lokasi Perencanaan berada tepat di belakang gedung Pra-Sarjana Unimuda Sorong. Lokasi pada peta adalah garis Bujur 131.306028 dan garis Lintang: -0.983255 adapun lokasi dapat dilihat pada Peta citra satelit sesuai dalam Link: https://goo.gl/maps/4LvVnGkiGgaHpbCGA.



Gambar 3. 1. Peta Lokasi Perencanaan Gedung Fakultas Teknik Sumber : Citra ©2023 CNES / Airbus,Maxar Technologies,Data peta ©2023 50m, Google Maps.

3.2. Waktu

Waktu penelitian berlangsung selama 3 bulan dimulai dari bulan Mei 2024 sampai dengan bulan Juli 2024.

3.3. Pengumpulan Data

3.3.1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari penelitian secara langsung tentang bangunan yang direncanakan. Data Primer bukanlah data *real*, tetapi data yang dibuat sebagai bahan dari penelitian untuk keperluan akademis. Data Tersebut adalah :

a. Data Bangunan berupa nama bangunaan yang direncananakan, fungsi bangunan, lokasi dan jenis tanah, jumlah dan bagian lantai, jenis struktur yang digunakan.
b. Jenis/mutu material penyusun dari struktur bangunan yang digunakan.
c. Data Gempa yang diperoleh dari Aplikasi Puskim Gempa RSA dan Buku Peta Gempa Indonesia yaitu parameter S1 dan Ss, serta data Parameter Respon Spektrum.

3.3.2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang bersifat referensi dari beberapa literatur tentang peraturan yang berlaku dan dapat digunakan dalam perhitungan struktur seperti buku Standar Nasional Indonesia, Pedoman perhitungan dan perencanaan struktur.

3.4. Metode Analisis Struktur

Metode yang digunakan dalam melakukan analisis struktur adalah metode kuantitatif, yaitu melakukan perhitungan secara ilmiah menggunakan standar dan ketetapan yang berlaku dalam perencanaan struktur berupa data angka dan rumus menggunkan aplikasi sofftware Etabs v.19 sebagai perangkat analisis pada komputer. Tahapan analisa struktur bangunan adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data, melakukan permodelan.
2. Analisa struktur dan cek/kontol struktur;
3. Menghasilkan output data dari hasil analisa struktur.
4. Pengolahan data output dalam perhitungan struktur.

3.5. Tahapan Penelitian

Dalam tahapan penyusunan Skripsi perencanaan struktur gedung yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Perizinan

   Perizinan yang dilakukan sebelum memulainya kegiatan penelitian sesuai syarat dan peraturan yang ditetapkan pada tingkat Program Studi, Fakultas dan Perguruan Tinggi.

2. Tinjauan Lokasi

   Melakukan peninjauan pada lokasi dimana objek dari penelitian akan dibangun termasuk didalamnya kegiatan survey untuk melihat topografi dan lokasi strategis.

3. Studi Literatur

Strudi literatur sebagaimana yang akan digunakan dalam penelitian berupa informasi, teori ilmiah, penelitian terdahulu, data teknis, peraturan, standarisasi, rumus dan metode analisa yang berkaitan dengan struktur gedung tahan gempa.

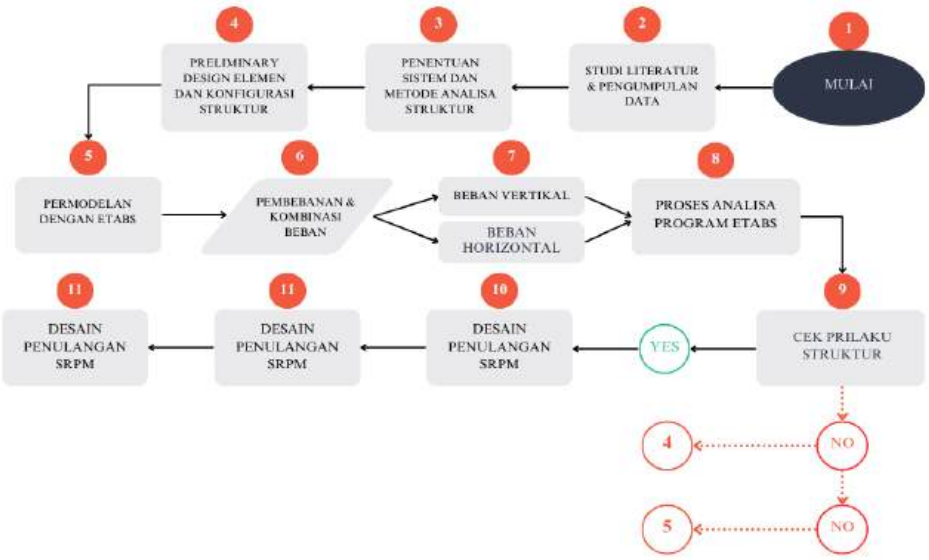
4. Pengumpulan dan Analisa Data

   Pengumpulan data teknis dalam permodelan, analisa dan perhitungan pada perencanaan bangunan. Berdasarkan data yang telah dikumpulkan selanjutnya akan dianalisis baik analisis gempa dan analisis struktur.

5. Pelaporan dan Kesimpulan

   Pelaporan berkala digunakan sebagai materi pada saat melakukan asistensi sebagai kontrol dan pelaporan Final yang bersifat akhir digunakan juga untuk menarik kesimpulan dari seluruh kegiatan penelitian.

3.6. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. 2. Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

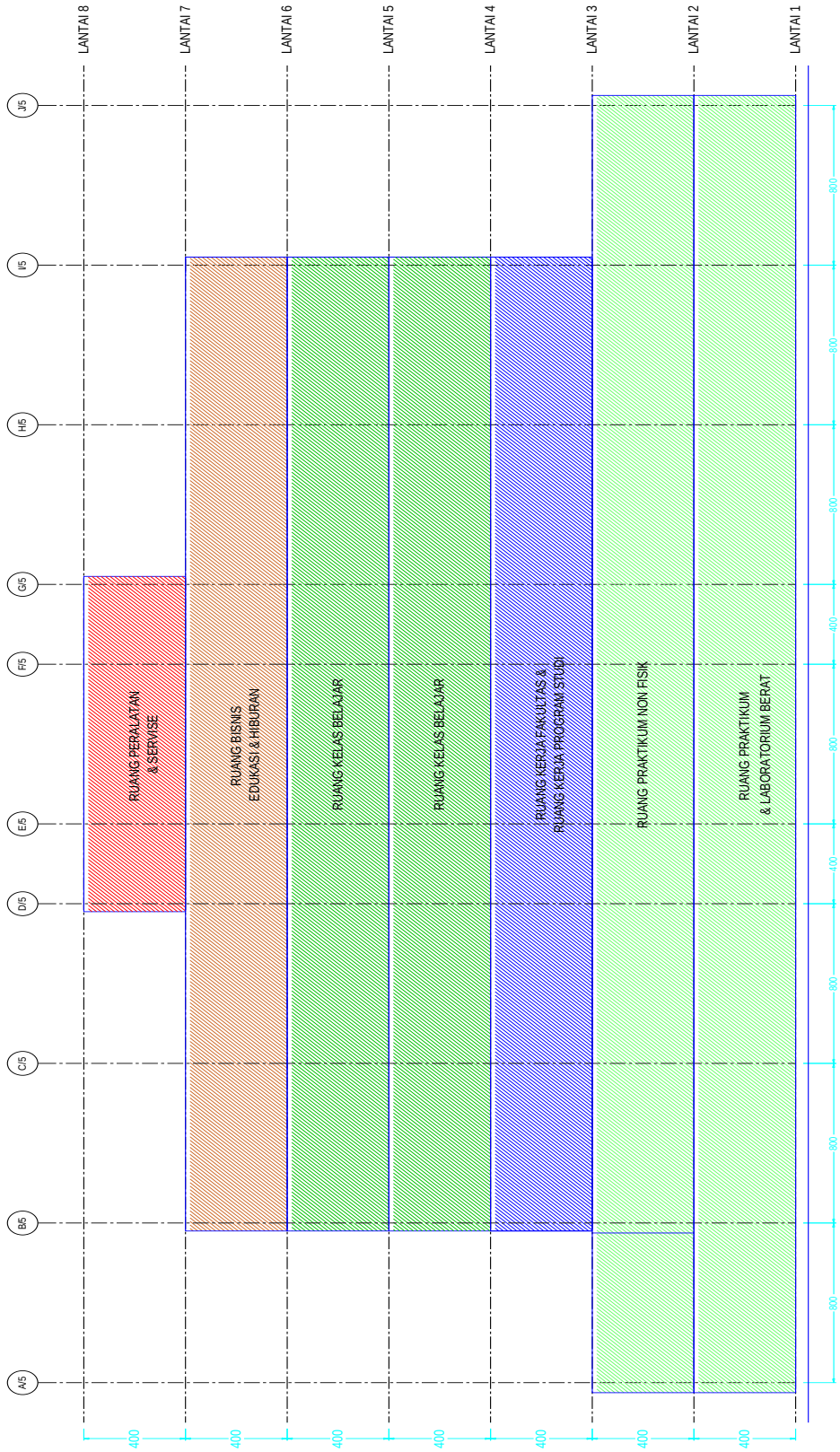
4.1. Perencanaan Bangunan

Pada tahap perencanaan desain bangunan di lakukan studi literatur maupun prakiraan kebutuhan akan ruang sebagai penentu untuk mengetahui hubungan antara susunan fungsi bangunan gedung dengan sistem struktur yang akan digunakan.

Dalam desain suatu bangunan gedung, tentunya memperhatikan fungsi dan kebutuhan pada masa ruang suatu bangunan, contohnya ruang sebagai fungsi tempat pertemuan, ruang sebagai fungsi tempat perkuliahan, ruang dengan mobilitas yang tinggi, ruang dengan area formal dan imformal.

Perencanaan pembagian ruang pada bangunan menurut elevasi ruang bangunan, direncanakan berdasarkan elevasi lantai zonasi vertikal dan juga berdasarkan perencanaan zonasi horizontal sebagai penataan ruang perlantainya. Perencanaan pembagian zonasi lantai menjadi 5 zona di 7 level elevasi lantai yang berbeda-beda.

Hal ini dimaksudkan sebagai pembatas atau border fungsional dari perencanaan bagunan gedung untuk memberikan aksesibilitas tinggi antar zona lantai, memisahkan standar ruang dan fasilitas yang berbeda-beda, fleksibilitas dalam layanan perawatan, inspeksi, perbaikan dan pelaksanaan layan gedung.



Gambar 4. 1 Set Elevation View - Zonasi Lantai (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2025)

1. Pada gambar 4.1 pembagian zonasi menurut elevasi bagunan yaitu pembagian fungsi lantai 1 dan lantai 2 bangunan sebagai ruang praktik dan laboratorium. Pembagian ini merujuk pada jenis peralatan yang digunakan atau sifat pengujian yang dilakukan di dalamnya, lantai 1 digunakan sebagai ruang praktik dan laboratorium berat sebagai berikut (lampiran 1) :

a. Sebagai fasilitas dengan Fokus Pengujian, melakukan pengujian yang melibatkan spesimen fisik berukuran besar atau berat, sering kali terkait dengan teknik sipil, struktur, dan material.
b. Penggunaan Peralatan, menggunakan mesin dan perkakas besar, berat, dan sering kali permanen, seperti mesin uji tekan beton, alat uji kepadatan berat tanah, atau peralatan pengujian bahan industri logam.
c. Sebagai Laboratorium Struktur dan Material, laboratorium pengujian mutu konstruksi, atau laboratorium yang melakukan uji CBR desain atau kepadatan berat batuan/tanah.

2. Pada zona lantai 2 digunakan sebagai zona khusus ruang praktik dan Laboratorium Ringan sebagai berikut (lampiran 2):

a. Sebagai fasilitas dengan Fokus Pengujian, melakukan analisis yang melibatkan volume sampel kecil, bahan kimia, biologi, atau elektronik, di mana penanganan utamanya bersifat manual atau menggunakan instrumen meja.
b. Penggunaan Peralatan, menggunakan peralatan yang lebih kecil, portabel, dan sering kali terbuat dari bahan gelas, plastik, atau

komponen elektronik ringan, seperti tabung reaksi, cawan petri, mikroskop, atau alat analitik standar seperti spektrofotometer.

c. Laboratorium kimia, laboratorium biologi, laboratorium mikrobiologi, laboratorium komputer, atau laboratorium klinik untuk pemeriksaan darah.

3. Pada zona lantai 3 digunakan sebagai zona khusus kantor dan ruang kerja untuk program studi (prodi) serta ruang kerja fakultas, zona 3 difungsikan sebagai pusat ruang kerja yang mudah di akses dari zona ruang praktik dan zona ruang belajar, sebagai pusat administrasi, koordinasi akademik, dan layanan bagi dosen serta mahasiswa. Tata ruangnya dirancang untuk mendukung efisiensi kerja dan kenyamanan dengan fungsi utama sebagai berikut (lampiran 3):

a. Sebagai Pusat Administrasi, tempat mengurus pekerjaan tata usaha dan kegiatan administrasi yang berkaitan dengan operasional fakultas atau program studi. Ini mencakup pengelolaan data akademik, surat-menyurat, dan arsip.

b. Sebagai pusat Koordinasi Akademik, pemusatan level lantai ruang ini digunakan oleh pimpinan (Dekan, Wakil Dekan, Ketua Program Studi) dan staf pengajar untuk rapat, menyusun kurikulum, penelitian, dan kegiatan akademik lainnya.

c. Sebagai pusat Layanan terpadu, menyediakan layanan langsung kepada mahasiswa, seperti konsultasi akademik, pengurusan administrasi perkuliahan, dan bimbingan.

d. Sebagai Ruang Kerja Dosen, fasilitas untuk dosen melakukan persiapan materi kuliah, penelitian, dan bimbingan mahasiswa.

e. Sebagai pusat Pengembangan & Akreditasi, Mengelola data dan mempersiapkan dokumen yang diperlukan untuk proses akreditasi program studi.

4. Pada lantai 4 dan lantai 5 digunakan sebagai Ruang kuliah dan belajar mahasiswa mencakup tempat formal seperti ruang kelas untuk interaksi tatap muka dengan dosen (dilengkapi proyektor, papan tulis, internet), ruang aktivitas mahasiswa untuk diskusi dan tugas.

5. Pada lantai enam sebagai area formal seperti perpustakaan dan informal seperti kantin, atau ruang terbuka untuk kelas belajar mandiri atau kelompok, dengan tujuan utama menciptakan lingkungan kondusif untuk proses belajar, diskusi, mengerjakan tugas, dan pengembangan diri mahasiswa di lingkungan kampus.

4.2. Data Desain Bangunan

1. Data desain bangunan :

Type Bangunan	: Gedung Perkuliahan
Fungsi Banguna	: Gedung Pendidikan
Jenis Kontruksi	: Struktur Beton Bertulang
Jumlah Lantai	: 7 Lantai + 1 Lantai Atap
Tinggi Perlantai	: 4 meter (1 Level, 4 Meter)

Tinggi Bangunan : 28 meter

Panjang Bangunan : 64 meter

Lebar Bangunan : 54 meter

2. Data mutu bahan :

Mutu Beton : 30 Mpa

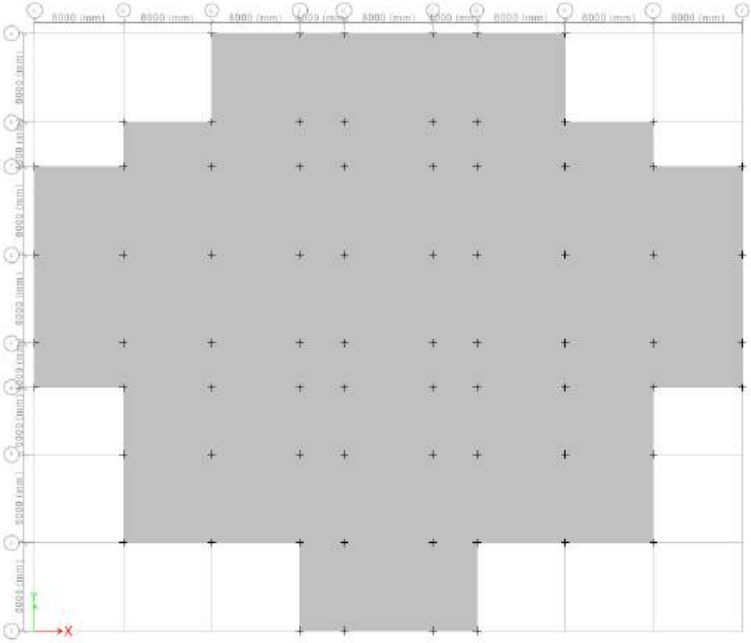
Mutu Baja Tul. Pokok : 420 Mpa

Mutu Baja Tul. Sengkang : 420 MPa

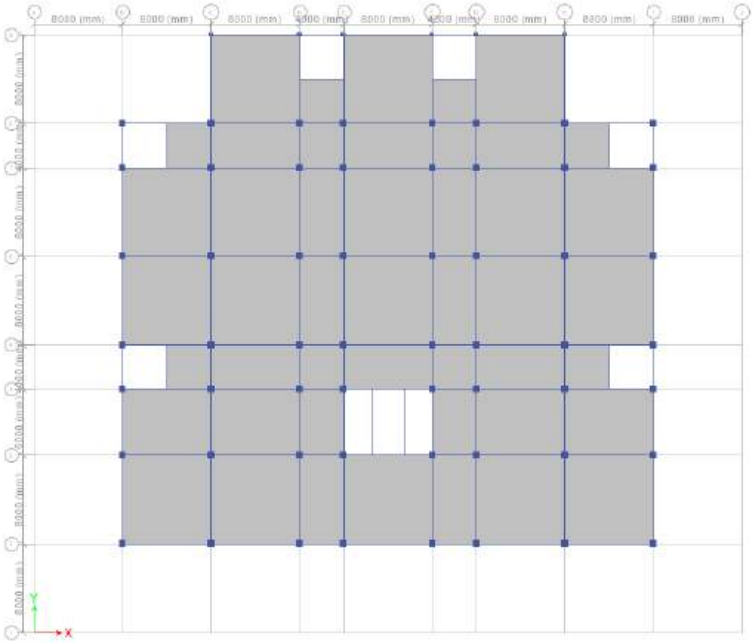
4.3. Permodelan Struktur

Program ETABS (*Extended Three dimension Analysis of Building Systems*) adalah salah satu dari sekian banyak program komputer yang digunakan oleh praktisi teknik sipil untuk melakukan perencanaan gedung maupun kontruksi bangunan lainnya seperti kontruksi beton, baja, ataupun kontruksi komposit. Program ETABS dapat melakukan permodelan desain, analisis desain dan pemeriksaan desain secara langsung (*real time*) sesuai dengan peraturan atau standar desain struktur yang berlaku.

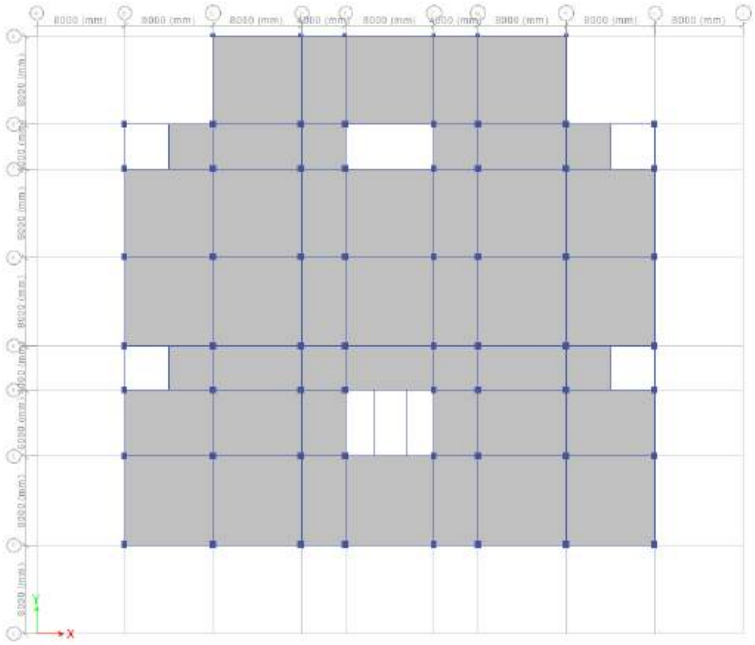
Permodelan struktur dan analisis struktur menggunakan program ETABS v.19 - v.25, visualisasi *underformed shape* pada bentuk struktur bangunan dapat dilihat pada gambar di bawah :



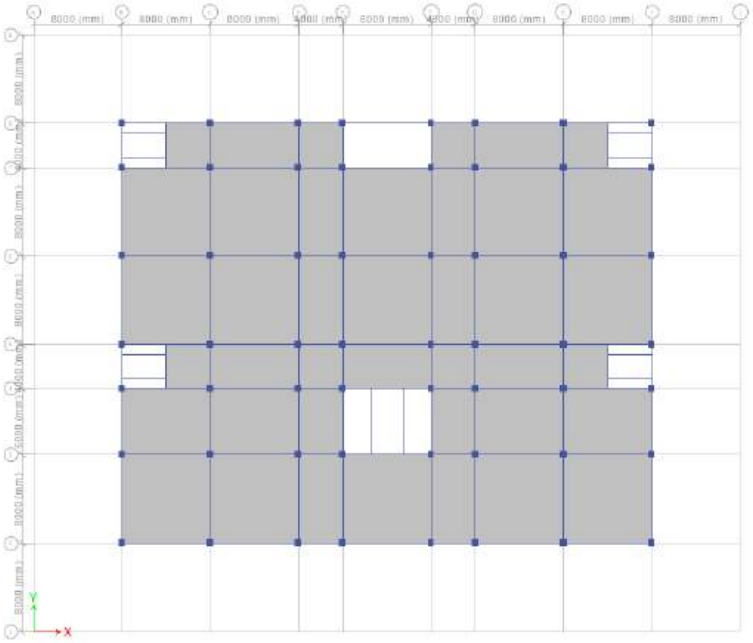
Gambar 4.2. Gambar Denah Lantai 1-3 (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023)



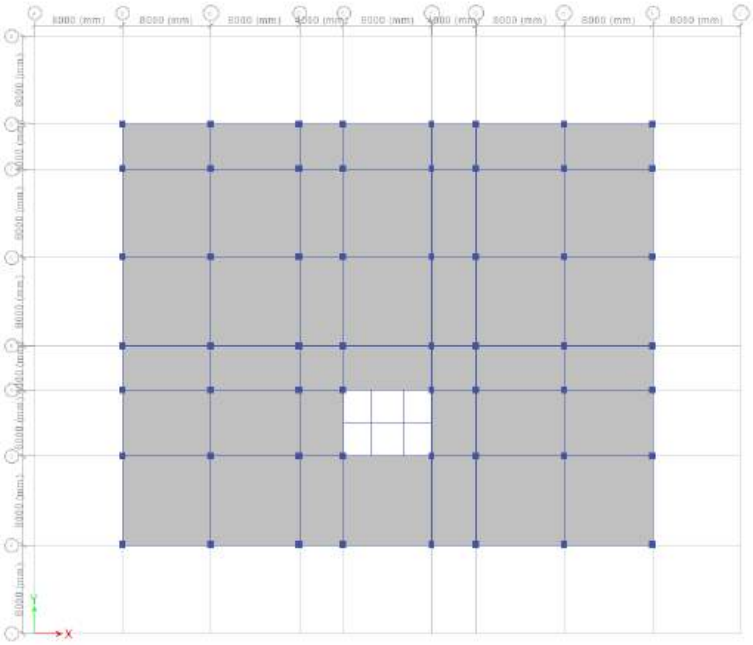
Gambar 4.3. Gambar Denah Lantai 4 (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023)



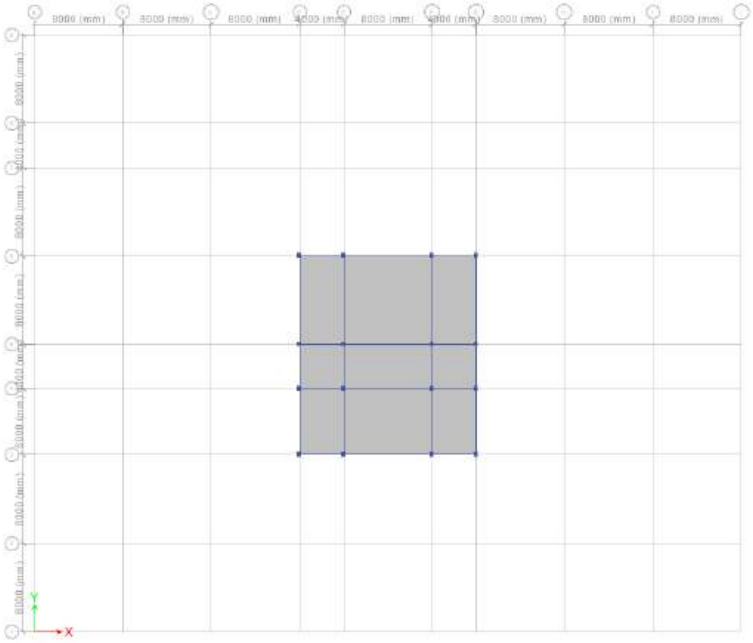
Gambar 4.4. Gambar Denah Lantai 5 (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023)



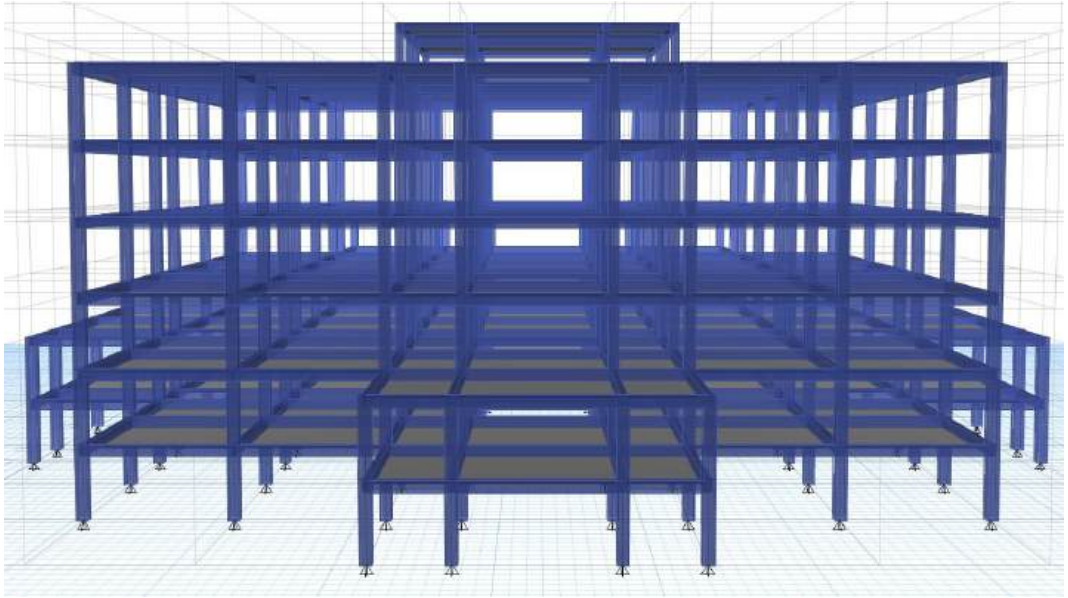
Gambar 4.5. Gambar Denah Lantai 6 (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023)



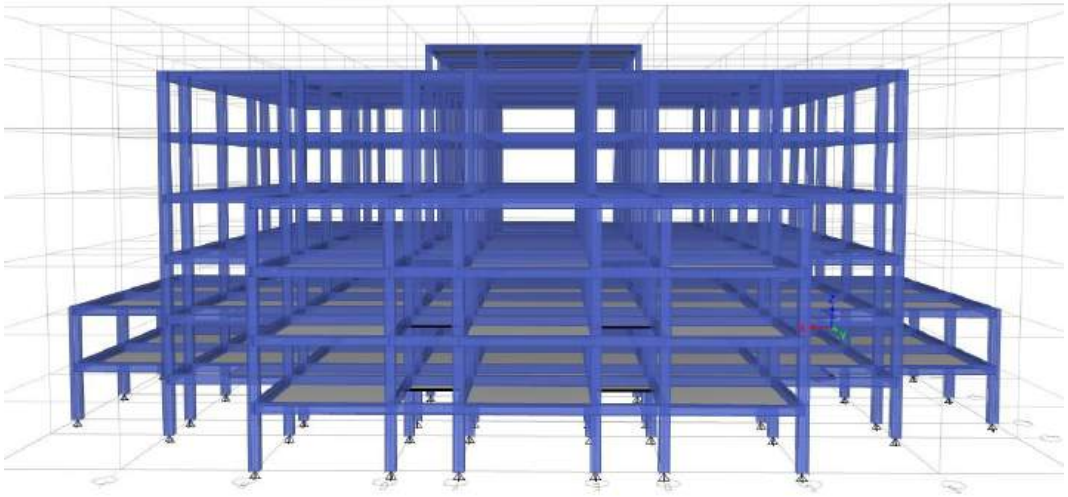
Gambar 4.6. Gambar Denah Lantai 7-Atap 1 (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023)



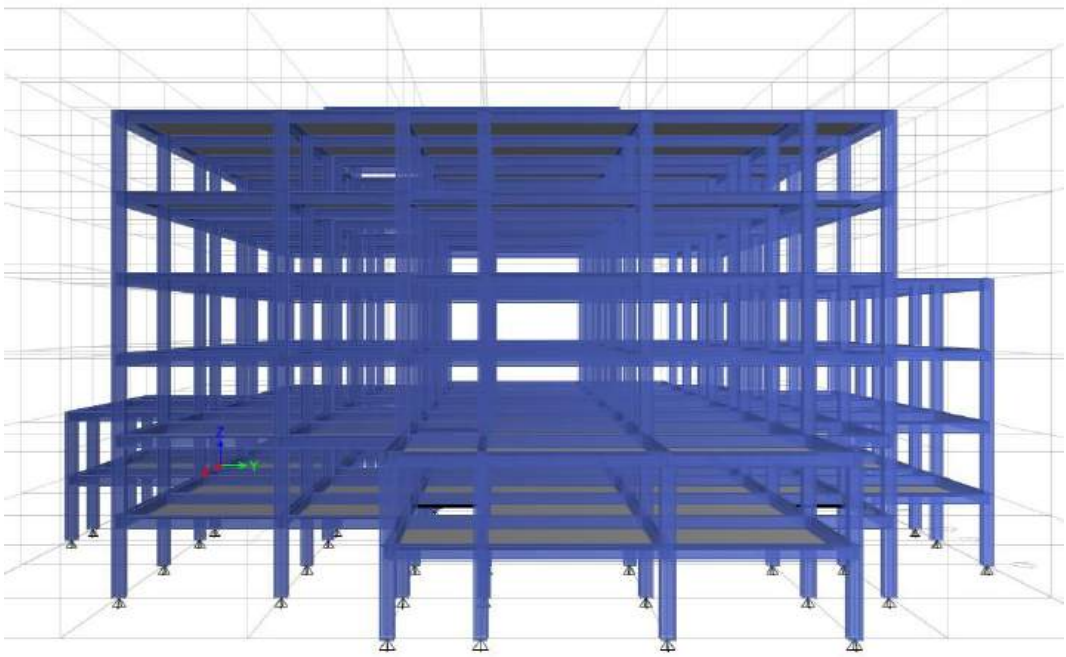
Gambar 4.7. Gambar Denah Atap 2 (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023)



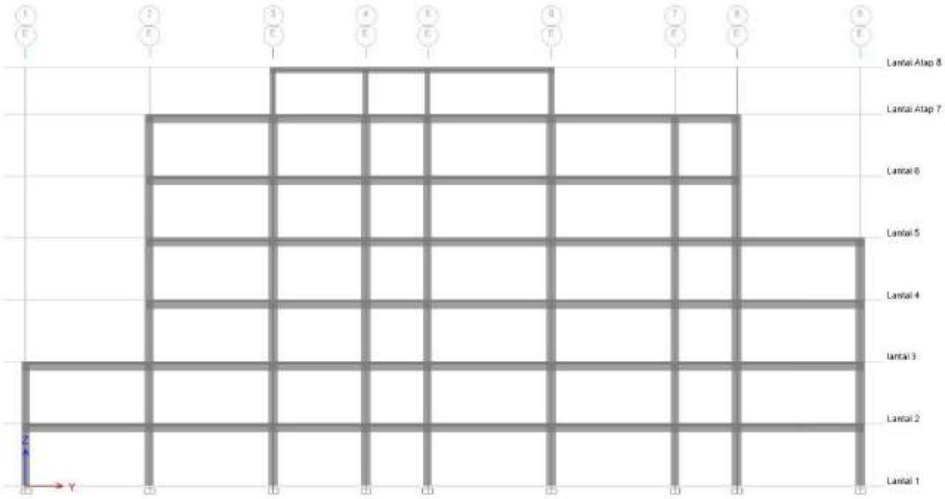
Gambar 4.8. Gambar Tampak Depan (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023)



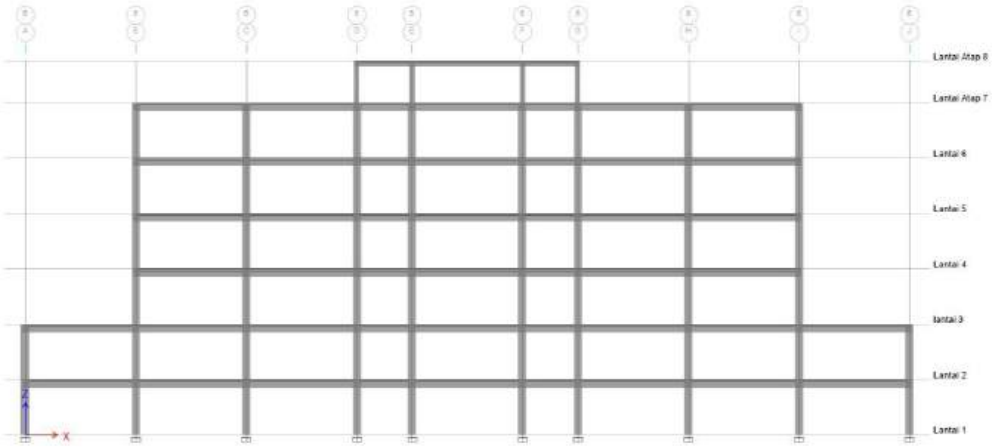
Gambar 4.9. Gambar Tampak Belakang (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023)



Gambar 4.10. Gambar Tampak Belakang (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023)



Gambar 4.11. Gambar Potongan Melintang (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023)



Gambar 4.12. Gambar Potongan Melintang (Sumber : Data Analisa Pribadi, 2023)

4.4. Pembebanan Struktur

Pada perencanaan struktur gedung Fakultas Teknik menggunakan beban mati (dead load), beban hidup (live load), beban tambahan air hujan (rain load), beban gempa (seismic load) dan membuat kombinasi pembebanan (load combination) sesuai SNI 1727:2020 dan referensi terkait.

4.4.1. Beban Mati (DL)

1. Beban sendiri elemen struktur (*dead load, DL*)

   Berat beton bertulang : 23,6 kN/m2 = 2360 kg/m2

2. Beban tambahan (superimposed dead load, SIDL)

   Berat partisi dinding bata : 1.87 kN/m2

   Berat plester 0.24 kN/m2 x 2 sisi : 0.48 kN/m2

   Berat partisi exterior kaca : 0.38 kN/m2

   Berat rangka stud eksterior : 0.53 kN/m2

Berat penutup lantai : 0.11 kN/m2

Berat elektrikal : 0.19 kN/m2

Berat penutup plafond : 0,18 kN/m2

Berat Plumbing : 0.25 kN/m2

Berat waterproofing : 0.05 kN/m2

3. Beban mati *(Distributed)* pada plat lantai (SIDL)

Berat penutup lantai : 110 kg/m2

Berat elektrikal :19 kg/m2

Berat Plumbing : 25 kg/m2

Berat penutup plafond : 18 kg/m2

Total berat : 172 kg/m2

Total berat : 0.172 kN/m2

4. Beban mati *(Distributed)* pada plat lantai atap pakai (SIDL)

Berat penutup lantai : 55 kg/m2

Berat elektrikal : 19 kg/m2

Berat Plumbing : 25 kg/m2

Berat penutup plafond : 18 kg/m2

Total berat : 117 kg/m2

Total berat : 0.117 kN/m2

5. Beban mati *(Distributed)* pada plat lantai atap (SIDL)

Berat waterproofing : 5 kg/m2

Berat elektrikal : 19 kg/m2

Berat Plumbing : 25 kg/m2

Berat penutup plafond : 18 kg/m2

Total berat : 67 kg/m2

Total berat : 0.067 kN/m2

6. Beban mati *(Distributed)* pada balok Primer Interior (SIDL)

Berat dinding = 1.87 kN/m2

Berat plester 0.24 kN/m2 x 2 sisi = 0.48 kN/m2

Total berat 1.87 + 0.48 = 2.35 kN/m2

Input Etabs 2.35 x 3 m1 (tinggi) = 7.05 kN/m2

7. Beban mati *(Distributed)* pada balok Primer Exterior (SIDL)

Berat Partisi kaca = 0.38 kN/m2

Berat rangka stud = 0.53 kN/m2

Total berat 0.38 + 0.53 = 0.91 kN/m2

Input Etabs 0.91 x 4 m1 (tinggi) = 3.64 kN/m2

4.4.2. Beban Hidup (LL)

Beban hidup ruang kuliah : 4.79 kN/m2

Beban hidup lobby : 4.79 kN/m2

Beban hidup ruang kantor : 2.4 kN/m2

Beban hidup Laboratorium : 4.79 kN/m2

Beban hidup aula/pertemuan : 4.79 kN/m2

Beban hidup perpustakaan/simpan : 4.79 kN/m2 – 7.18 kN/m2

Beban ruang publik : 4.79 kN/m2

Beban hidup atap digunakan : 4.79 kN/m2

Beban hidup atap bukan hunian : 0.96 kN/m2

a. Beban hidup *(Distributed)* pada plat lantai atap bukan hunian (LIVE)

Beban hidup atap bukan hunian, lantai 6-7: 0.96 kN/m2

b. Beban hidup *(Distributed)* pada plat lantai atap hunian (LIVE)

Beban hidup atap hunian, lantai 3 dan 5 : 4.79 kN/m2

c. Beban hidup *(Distributed)* pada plat lantai ruang (LIVE)

Beban hidup ruang kuliah, lobby, kantor : 4.79 kN/m2

4.4.3. Beban Air Hujan

Beban air hujan direncanakan R = 0.0098 x (ds + dh)

ds : tinggi air statis

dh : tinggi air dinamis

R : 0.0098 x (5 + 10) : 0.147 kN/m2

4.5. Kombinasi Beban

Sesuai pasal 4.2.2.1 kombinasi beban metode ultimate dasar dan pasal 4.2.2.3 kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik :

Kombinasi Beban Dasar

1. 1.4 D + 1.4 SIDL
2. 1.2 D + 1.2 SIDL + 1.6 L + 0.5 (Lr atau R)
3. 1.2 D + 1.2 SIDL + 1.6 (Lr atau R) + (1.0 L atau 0.5 W)
4. 1.2 D + 1.2 SIDL + 1.0 L + 0.5 (Lr atau R)
5. 0.9 D + 0.9 SIDL + 1.0 W

Kombinasi Beban Seismik

6. (1.2 + 0.2 SDS) D + (1.2 + 0.2 SDS) SIDL + 1.0 L ± (0.3 ρ) Ex ± (1.0 ρ) Ey

7. (1.2 + 0.2 SDS) D + (1.2 + 0.2 SDS) SIDL + 1.0 L ± (1.0 ρ) Ex ± (0.3 ρ) Ey
8. (0,9 – 0,2 Sds) D + (0,9 – 0,2 Sds) SIDL ± (0.3 ρ) Ex ± (1.0 ρ) Ey
9. (0,9 – 0,2 Sds) D + (0,9 – 0,2 Sds) SIDL ± (1.0 ρ) Ex ± (0.3 ρ) Ey

Kombinasi Beban

1. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1.6 Live + 0.5 R
2. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1 Live + 1.6 Lr
3. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1.6 Lr + 0.5 Wx
4. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1.6 Lr + 0.5 Wy
5. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1.6 Lr + 0.375 Wx + 0.375 Wy
6. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1 Live + 1.6 R
7. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1.6 R + 0.5 Wx
8. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1.6 R + 0.5 Wy
9. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1.6 R + 0.375 Wx + 0.375 Wy
10. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1 Live + 0.5 Lr + 1 Wx
11. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1 Live + 0.5 Lr + 1 Wy
12. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1 Live + 0.5 Lr + 0.75 Wx + 0.75 Wy
13. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1 Live + 0.5 R + 1 Wx
14. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1 Live + 0.5 R + 1 Wy
15. 1.2 Dead + 1.2 SIDL + 1 Live + 0.5 R + 0.75 Wx + 0.75 Wy
16. 0.9 Dead + 0.9 SIDL + 1 Wx
17. 0.9 Dead + 0.9 SIDL + 1 Wy
18. 0.9 Dead + 0.9 SIDL + 0.75 Wx + 0.75 Wy
19. 1.35 Dead + 1.35 SIDL + 1 Live + 1.3 Spec X + 0.39 Spec Y

20. 1.35 Dead + 1.35 SIDL + 1 Live + 1.3 Spec X -0.39 Spec Y
21. 1.35 Dead + 1.35 SIDL + 1 Live -1.3 Spec X + 0.39 Spec Y
22. 1.35 Dead + 1.35 SIDL + 1 Live -1.3 Spec X -0.39 Spec Y
23. 1.35 Dead + 1.35 SIDL + 1 Live + 0.39 Spec X + 1.3 Spec Y
24. 1.35 Dead + 1.35 SIDL + 1 Live -0.39 Spec X + 1.3 Spec Y
25. 1.35 Dead + 1.35 SIDL + 1 Live + 0.39 Spec X -1.3 Spec Y
26. 1.35 Dead + 1.35 SIDL + 1 Live -0.39 Spec X -1.3 Spec Y
27. 0.75 Dead + 0.75 SIDL + 1.3 Spec X + 0.39 Spec Y
28. 0.75 Dead + 0.75 SIDL + 1.3 Spec X -0.39 Spec Y
29. 0.75 Dead + 0.75 SIDL -1.3 Spec X + 0.39 Spec Y
30. 0.75 Dead + 0.75 SIDL -1.3 Spec X -0.39 Spec Y
31. 0.75 Dead + 0.75 SIDL + 0.39 Spec X + 1.3 Spec Y
32. 0.75 Dead + 0.75 SIDL -0.39 Spec X + 1.3 Spec Y
33. 0.75 Dead + 0.75 SIDL + 0.39 Spec X -1.3 Spec Y
34. 0.75 Dead + 0.75 SIDL -0.39 Spec X -1.3 Spec Y

4.6. Analisis Beban Seismik

Pada perencanaan struktur gedung Fakultas Teknik menggunakan analisa beban gempa respon spektrum sesuai SNI 1726:2019, analisa gempa pada struktur bangunan dapat memperhitungkan keamanan dari bangunan berdasaran target gempa yang mampu dilalui.

4.6.1.1. Kategori Resiko Gempa

Tabel 4. 1. Tabel Kategori Resiko Gempa

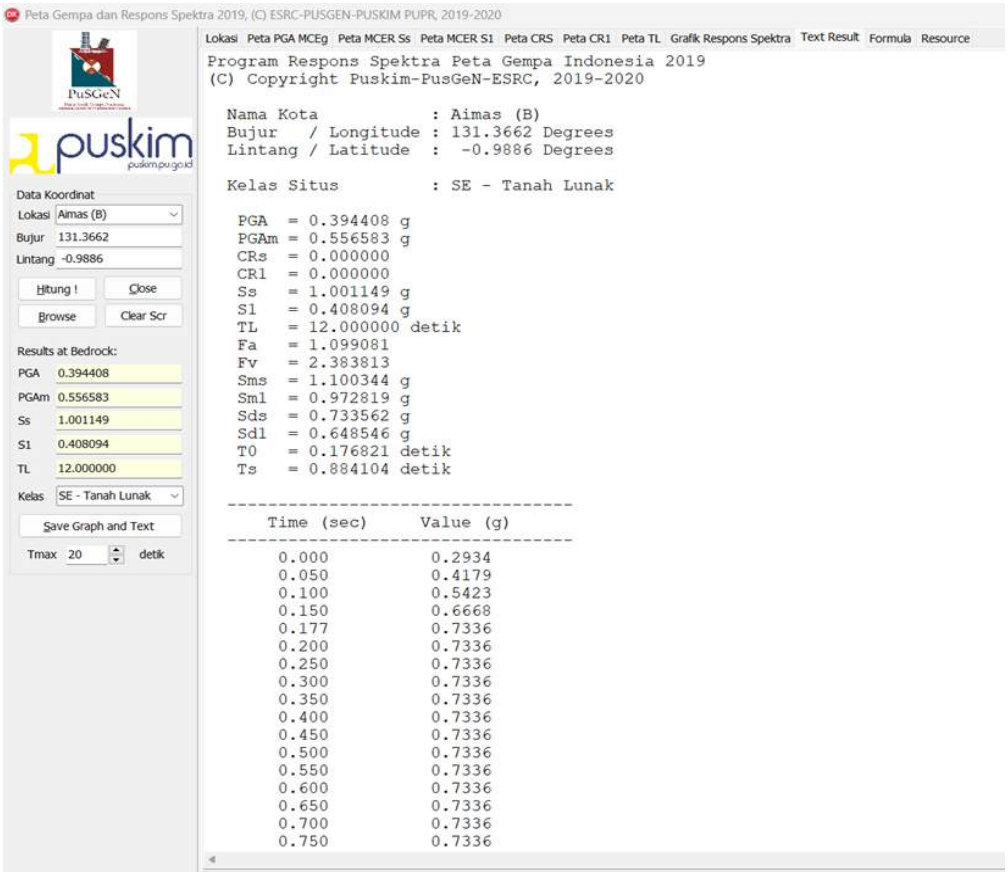
Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan - bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

4.6.1.2. Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 4. 2. Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

4.6.1.3. Parameter Respon Spektral Desain



Gambar 4. 13. Parameter Respon Spektral Desain (Sumber : Program Respons Spektra Peta Gempa Indonesia 2019)

Dari lokasi perencanaan yang berada di Aimas-Unimuda Sorong dengan kelas situs tanah lunak didapat nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek 0.2 detik Ss = **1.00115** g dan Nilai percepatan batuan dasar pada periode 1 detik S_1 = **0.40809** g.

4.6.1.4. Faktor Amplifikasi

Untuk menentukan parameter respon spektrum percepatan dipermukaan tanah diperlukan nilai koefisien situs sebagai berikut :

Tabel 4. 3. Koefisien situs Fa

Kelas	Parameter respon spektral percepatan gempa mamsimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan

Situs	pada priode pendek, T = 0,2 detik, S_S					
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S = 1,25$	$S_S = 1,5$
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)]					

Tabel 4. 4. Koefisien situs Fv

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa mamsimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada priode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,6$
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)]					

Dilakukan interpolansi nilai dari 2 koefisien paling mendekati dan didapat nilai Koefisien Situs terpetakan pada priode pendek Fa = 1.099 dan nilai Koefisien Situs terpetakan pada priode 1 detik Fv = 2.384.

4.6.1.5. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa (MCE_R)

Kategori Resiko IV (Berdasarkan Peruntukan)

Faktor Keutamaan Gempa

$I_e = 1{,}50$

Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek

$S_s = 1{,}001\ g$

Percepatan Batuan Dasar pada periode 1 sec

$S_1 = 0{,}408\ g$

Faktor Amplifikasi terkait Percepatan pada Periode Pendek

$F_a = 1{,}099$

Faktor Amplifikasi terkait Percepatan Periode 1 sec

$F_v = 2{,}384$

Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek.

$S_{MS} = F_a \times S_s = 1{,}099 \times 1{,}001 = 1{,}1\ g$

Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 sec.

$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2{,}384 \times 0{,}408 = 0{,}973\ g$

4.6.1.6. Parameter Percepatan Spektral Desain

Nilai parameter yang digunakan sebagai acuan penentuan kategori desain seismik (KDS).

Parameter Percepatan Spektral Desain untuk Periode Pendek.

$$S_{ds} = \left(\frac{2}{3}\right) \times S_{MS} = \left(\frac{2}{3}\right) \times 1{,}100 = 0{,}734\ g$$

Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 sec.

$$S_{d1} = \left(\frac{2}{3}\right) \times S_{M1} = \left(\frac{2}{3}\right) \times 0{,}9728 = 0{,}649\ g$$

4.6.1.7. Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Tabel 4. 5. Faktor Koefisien Modifikasi Respons, Kuat Lebih Sistem, Pembesaran Defleksi

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R[a]	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0[b]	Faktor pembesaran defleksi, C_d[c]	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D[e]	E[e]	F[f]
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5^{1/2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5^{1/2}$	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menegah	4½	3	4	TB	TB	10[K]	TI[K]	TI[K]
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI[J]	TI[J]	TI[J]
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus[m]	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI

Nilai koefisien modifikasi respon (R), kuat lebih sistem (Ω0), pembesaran defleksi (Cd) ditentukan berdasarkan kategori desain seismik yaitu KDS D sesuai table diatas, maka diijinkan menggunakan sistem pemikul gaya seimik struktur beton bertulang dan sistem gaya seismik yang diijinkan adalah ***Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus*** *(SRPMK)*.

4.7. Prosedur Gaya Lateral Ekivalen

4.7.1.1. Periode Fundamental Struktur

Tabel 4.6. Tabel Parameter Periode Pendekatan

Tipe struktur	C_t	x
- Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
- Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9

Tabel 4.7. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

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

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut, $T_a = C\,t \times hn\ \ x$ = 0.0466 x 28 $^{0.9}$

T_a = **0.935** detik

Batas Atas Periode Fundamental, Tmax = Cu x Ta = 1.4 x 0.935

Tmax = **1.309** detik

Tabel 4. 8 Priode Getar Struktur

Priode	Sb-X	Sb-Y
Pendekatan Ta	0.935	0.935
Pendekatan Tmax Cu xTa	1.3009	1.3009
Analisa Etabs	0.6322	0.6733
Digunankan	0.935	0.935

Sumber : Data Analisis.

4.7.1.2. Koefisien Respon Seismik (C_s)

Periode fundamental terhitung :

Sds = $S\,d$ s × $I\,e$ / R = 0,734 × 1,5 / 8 = **0,1375**

Nilai Maksimum Cs $m\,a\,x$ = (0,649 × 1,5) / (0,649 × 8) = **0.1874**

Nilai Minimum Cs (kondisi 1) C$s\,m\,i\,n$ 1 = 0,004 × 0,734 × 1,5 = **0,0484**

Minimum Nilai Cs (kondisi 2 : S1 ≥0,6 g),

C$s\,m\,i\,n$ 2 = (0,5× 0,408× 1,5) / 8 = **0,1375**

4.7.1.3. Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik (V)

V = Cs x W dan Cs = 0.1375

W = 0.1375 x 167653.828 = 23059.603 kN

Tabel 4. 9 Beban Struktur

Lantai		Tinggi (m)	Berat Total (Kg)
Lantai Atap 8	8	28	2752.687
Lantai Atap 7	7	24	18421.795
Lantai 6	6	20	22966.967
Lantai 5	5	16	25710.293
Lantai 4	4	12	26308.440
lantai 3	3	8	34701.069
Lantai 2	2	4	36792.578
Total (kN)			167653.828

Sumber : Data Analisis.

4.7.1.4. Distribusi Beban

Dalam pasal 7.8.3 SNI 1726:2019, Gaya seismik lateral, *Fx*, (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

F_x = C_{vx} V Dimana : $C_s = \frac{W_x \, x \, H_x^k}{\sum_{i=1}^{n} W_i \, h_i^k}$

T= 0.935, maka nilai K (interpolasi) = 1.218

Tabel 4. 10 Distribusi Vertikal Gaya Gempa Dan Distribusi Gaya Gempa Horizontal (Arah X)

Lantai	Tinggi (m)	Berat (kN)	Wh^k	$Wh^k/\Sigma Wh^k = (C_{vx})$	Force Fi (kN)	Story Shear Vx (kN)
8	28	2752.69	2752.69	0.016	378.613	378.613
7	24	18421.79	18421.79	0.110	2533.788	2912.401
6	20	22966.97	22966.97	0.137	3158.945	6071.345
5	16	25710.29	25710.29	0.153	3536.270	9607.615
4	12	26308.44	26308.44	0.157	3618.541	13226.156
3	8	34701.07	34701.07	0.207	4772.888	17999.043
2	4	36792.58	36792.58	0.219	5060.560	23059.603
Total		167653.83	167653.83	1.000	23059.603	

Tabel 4. 11 Distribusi Vertikal Gaya Gempa Dan Distribusi Gaya Gempa Horizontal (Arah y)

Lantai	Tinggi (m)	Berat (kN)	Wh^k	$Wh^k/\Sigma Wh^k = (C_{vx})$	Force Fi (kN)	Story Shear Vx (kN)
8	28	2752.69	2752.69	0.016	378.613	378.613
7	24	18421.79	18421.79	0.110	2533.788	2912.401
6	20	22966.97	22966.97	0.137	3158.945	6071.345
5	16	25710.29	25710.29	0.153	3536.270	9607.615
4	12	26308.44	26308.44	0.157	3618.541	13226.156
3	8	34701.07	34701.07	0.207	4772.888	17999.043
2	4	36792.58	36792.58	0.219	5060.560	23059.603
Total		167653.83	167653.83	1.000	23059.603	

Sumber : Data Analisis.

Dalam SNI 1726:2019 pasal 7.5.3, menyebutkan bahwa Pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya seismik pada struktur dianggap terpenuhi jika elemen struktur dan fondasinya didesain untuk memikul

kombinasi beban beban yang ditetapkan berikut: 100 % gaya untuk satu arah ditambah 30 % gaya untuk arah tegak lurus.

Tabel 4. 12 Perhitungan Arah Gempa Statik Ekuivalen (Fi) untuk arah-X dan arah-Y

Lantai	Arah-Y		Arah-X	
	Fy (kN)	30 % Fx (kN)	Fx (kN)	30 % Fy (kN)
8	378.613	113.584	378.613	113.584
7	2533.788	760.136	2533.788	760.136
6	3158.945	947.683	3158.945	947.683
5	3536.270	1060.881	3536.270	1060.881
4	3618.541	1085.562	3618.541	1085.562
3	4772.888	1431.866	4772.888	1431.866
2	5060.560	1518.168	5060.560	1518.168

Sumber : Data Analisis.

4.8. Prosedur Gaya Lateral Dinamik

Menurut SNI 2847:2019 (BSN, 2019), dalam menentukan kurva spektrum respons harus mengikuti ketentuan sebagai berikut:

Periode Fundamental Terhitung

$T = 0{,}814\ sec$

$$T_0 = \frac{0{,}2 \times S_{D1}}{S_{Ds}} = \frac{0{,}2 \times 0{,}649}{0{,}734} = 0{,}177$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} = \frac{0{,}649}{0{,}734} = 0{,}884$$

Spektrum Respon Percepatan Desain

$-Jika, T < T_0 : S_a = S_{Ds} \times \left(0{,}4 + 6\,{}^{T}/_{T_0}\right)$

$-Jika, T_0 \leq T \leq T_s : S_a = S_{Ds}$

$-Jika, T > T_s : S_a = {}^{TS_{D1}}/_{T}$

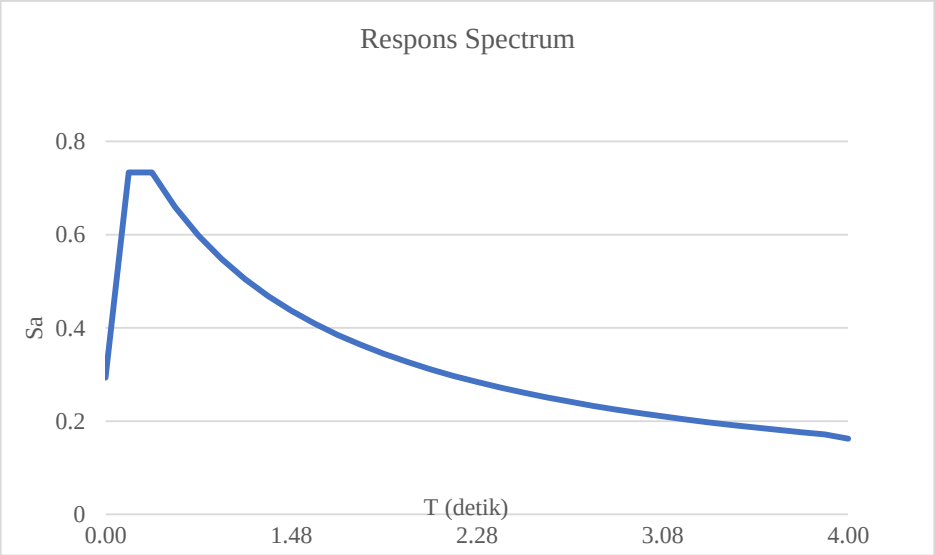
Tabel 4.13. Tabel Parameter Periode Pendekatan

T	T	Sa	T	T	Sa
Detik	detik	(g)	detik	detik	(g)
0	0	0.293	Ts+1.5	2.384	0.272
T_0	0.177	0.734	Ts+1.6	2.484	0.261
T_S	0.884	0.734	Ts+1.7	2.584	0.251
Ts+0.1	0.984	0.659	Ts+1.8	2.684	0.242
Ts+0.2	1.084	0.598	Ts+1.9	2.784	0.233
Ts+0.3	1.184	0.548	Ts+2.0	2.884	0.225
Ts+0.4	1.284	0.505	Ts+2.1	2.984	0.217
Ts+0.5	1.384	0.469	Ts+2.2	3.084	0.210
Ts+0.6	1.484	0.437	Ts+2.3	3.184	0.204
Ts+0.7	1.584	0.409	Ts+2.4	3.284	0.197
Ts+0.8	1.684	0.385	Ts+2.5	3.384	0.192
Ts+0.9	1.784	0.364	Ts+2.6	3.484	0.186
Ts+1.0	1.884	0.344	Ts+2.7	3.584	0.181
Ts+1.1	1.984	0.327	Ts+2.8	3.684	0.176
Ts+1.2	2.084	0.311	Ts+2.9	3.784	0.171
Ts+1.3	2.184	0.297	Ts+4.0	4	0.162
Ts+1.4	2.284	0.284			

Sumber : Data Pribadi

Pada table diatas, dapat dilihat bahwa Setiap pertambahan priode getar dalam waktu akan menghasilkan respon percepatan tertentu dalam satuan grafitasi. Bertambahnya waktu priode getar akan membuat respon percepatan juga menurun.

Dari data pada table diatas akan di akumulasikan ke dalam grafik garis respon spectrum percepanan sampai dengan priode 4 detaik. Pada gambar 4.14.



Gambar 4. 14. Grafik *Respon Spektrum* Desain
Sumber : Data Pribadi

4.8.1.1. Skala Gaya Desain

Tabel 4.14 Base Reaction Output Etabs

Base Reactions

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Base Reactions
Filter: None

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
Static Ex	LinStatic	Step By Step	1	-21804.3978	0	0	0	-374048.941	617942.8815
Static Ex	LinStatic	Step By Step	2	-21804.3978	0	0	0	-374048.941	664277.1108
Static Ex	LinStatic	Step By Step	3	-21804.3978	0	0	0	-374048.941	571608.6521
Static Ey	LinStatic	Step By Step	1	0	-21804.3978	0	374048.941	0	-697772.126
Static Ey	LinStatic	Step By Step	2	0	-21804.3978	0	374048.941	0	-751538.7514
Static Ey	LinStatic	Step By Step	3	0	-21804.3978	0	374048.941	0	-644005.5005
Spec X	LinRespSpec	Max		23081.0745	3.9411	0	66.8037	385743.6825	613587.2515
Spec Y	LinRespSpec	Max		3.7911	23078.26	0	384973.7804	63.9108	738657.2084
Unscale-X	LinRespSpec	Max		15937.9612	2.7214	0	46.1294	266364.0221	423694.7373
Unscale-Y	LinRespSpec	Max		2.7214	16566.7555	0	276353.87	45.8784	530245.9246
Vg	Combination			0	0	241029.8646	6935879.048	-7713095	0
LRFD 1-1	Combination			0	0	221759.3754	6395735.7427	-7096462	0
LRFD 2-1	Combination			0	0	271600.1046	7808170.952	-8691342	0

Record: << < 10 > >> of 65 Add Tables... Done

Sumber : Data Analisis.

Dapat dilihat pada gambar diatas, pada bagian kolom berwarna biru adalah nilai gaya geser yang dihasilkan dari analisis yang belum terskalakan, dilakukan perhitungan untuk kontrol skala desain awal antara gaya geser statik dan dinamik hasil perhitungan output Etabs.

V gempa statik (manual) = 23059.603 kN

V gempa statik (Etabs) = 21804.398kN

Maka digunakan V statik (manual) = 23059.603 kN

Faktor Skala Awal

$$SF = \frac{g}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{9{,}8}{\left(\frac{8}{1{,}5}\right)} = 1{,}839\ {}^{m}/_{s^2} = 1838.747\ mm/s^2$$

Penskalaan Gaya Gempa

$$f_x = \frac{V}{V_{i,x}} = \frac{23059.603}{16059.49} = 1.436$$

$$f_y = \frac{V}{V_{i,y}} = \frac{23059.603}{16695.1143} = 1.381$$

Faktor Skala Baru

$$SF_x = SF \times f_x = 1838.747 \times 1.436 = 2640.232\ mm/s^2$$

$$SF_y = SF \times f_y = 1838.747 \times 1.381 = 2539.711\ mm/s^2$$

Pada gambar 4.15, dalam kolom berwarna biru terdapat nilai gaya geser yang telah dilakukan penskalaan gaya, terlihat bahwa terdapat perubahan nilai yang semakin meningkat pada gaya gempa respon spektrum arah x dan arah y.

Tabel 4.15 Base Reaction Output Etabs Setelah diskalakan

Base Reactions

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Base Reactions

Filter: None

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
Static Ex	LinStatic	Step By Step	1	-21804.3978	0	0	0	-374048.941	617942.8815
Static Ex	LinStatic	Step By Step	2	-21804.3978	0	0	0	-374048.941	664277.1108
Static Ex	LinStatic	Step By Step	3	-21804.3978	0	0	0	-374048.941	571608.6521
Static Ey	LinStatic	Step By Step	1	0	-21804.3978	0	374048.941	0	-697772.126
Static Ey	LinStatic	Step By Step	2	0	-21804.3978	0	374048.941	0	-751538.7514
Static Ey	LinStatic	Step By Step	3	0	-21804.3978	0	374048.941	0	-644005.5005
Spec X	LinRespSpec	Max		22885.1033	3.9076	0	66.2365	382468.5043	608377.5547
Spec Y	LinRespSpec	Max		3.7589	22882.3058	0	381705.0217	63.3681	732385.373
Unscale-X	LinRespSpec	Max		15937.9612	2.7214	0	46.1294	266364.0221	423694.7373
Unscale-Y	LinRespSpec	Max		2.7214	16566.7555	0	276353.87	45.8784	530245.9246
Vg	Combination			0	0	241029.8646	6935879.048	-7713095	0
LRFD 1-1	Combination			0	0	221759.3754	6395735.7427	-7096462	0
LRFD 2-1	Combination			0	0	271600.1046	7808170.952	-8691342	0

Record: << < 4 > >> of 65 Add Tables... Done

4.8.1.2. Simpangan Antar Lantai

Tabel 4. 16. Tabel 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[d]	$0{,}010h_{sx}$	$0{,}010h_{sx}$	$0{,}010h_{sx}$
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:1726-2019

Defleksi izin harus merupakan simpangan yang akan mengizinkan elemen yang terhubung untuk mempertahankan integritas strukturnya akibat pembebanan individu dan terus mendukung beban yang ditetapkan.

Simpangan Antar Tingkat Izin (Tabel)

$\Delta_a = 0{,}01\ h$

Faktor Redundansi

$\rho = 1{,}3$

Story Drift Inelastik Izin

$$\Delta_{max} = \frac{\Delta}{\rho} = \frac{0{,}01}{1{,}3} = 0{,}0077\ h$$

Faktor Pembesaran Defleksi

$C_d = 5{,}5$

$I_e = 1{,}5$

$$\Delta = \delta \times \frac{C_d}{I_e}$$

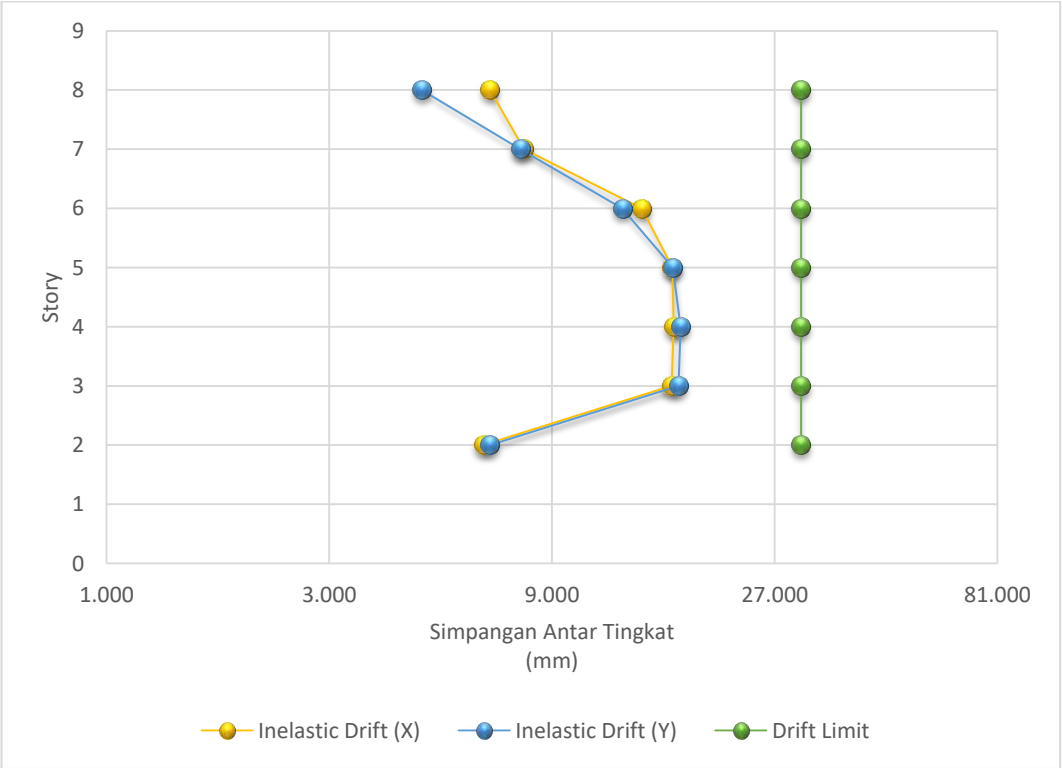
Tabel 4. 17. Simpangan Antar Lantai

Story	*Displacement*		*Elastic Drift*		*h*	*Inelastic Drift*		*Drift Limit*	*Cek*
	δe_X	δe_Y	δe_X	δe_Y		Δ_X	Δ_Y		

	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
8	21.115	20.533	1.807	1.291	4000	6.626	4.734	30.769	OK
7	19.308	19.242	2.138	2.100	4000	7.839	7.700	30.769	OK
6	17.170	17.142	3.823	3.474	4000	14.018	12.738	30.769	OK
5	13.347	13.668	4.444	4.455	4000	16.295	16.335	30.769	OK
4	8.903	9.213	4.475	4.631	4000	16.408	16.980	30.769	OK
3	4.428	4.582	4.428	4.582	4000	16.236	16.801	30.769	OK
2	1.749	1.809	1.749	1.809	4000	6.413	6.633	30.769	OK

Sumber : Data Analisis Pribadi

Pada table diatas adalah nilai dari jarak pergeseran elemen struktur perlantai dengan nilai terbesar berada pada level lantai 8 (atap) dan nilai terkecil padal level lantai 2 dan tidak melewati jarak maksimum dibatasi sebesar 30.7 mm. lalu data diatas dibuat dalam table diagram grafis seperti dalam gambar 4.15.



Gambar 4. 15. Simpangan Antar Lantai

Sumber : Data Analisis Pribadi

4.8.1.3. Pengaruh P-delta

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{BC_d} \leq 0,25$$

dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat dan x – 1. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{max}, faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan 1,0/(1 – θ).Jika θ lebih besar dari θ_{max}, struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

$$Rasio\ kebutuhan\ geser\ \beta = 1$$

$$Batas\ koefisien\ stabilitas\ \theta_{max} = \frac{0,5}{(\beta \times C_d)} \leq 0,25$$

$$= 0,091$$

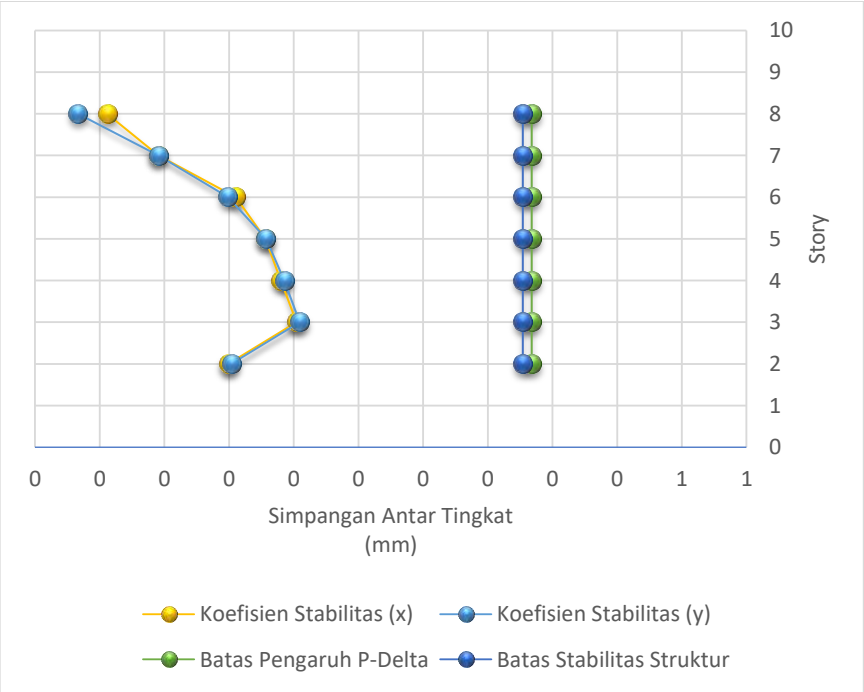
Tabel 4. 18. *Pengaruh P-delta*

Story	*Displacement*		*Story Forces*			*h*	*Koefisien Stabilitas*		*Batas Pengaruh P-Delta*	*Batas Stabiltas Struktur, θmax*	*Cek*
	δe_X	δe_Y	*P*	V_x	V_y						
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	(mm)	*θX*	*θY*			
8	6.63	4.73	2478.0	1058.1	1033.6	4000	0.0011	0.0008	0.1	0.09	OK

7	7.84	7.70	21662.9	6331.4	6215.4	4000	0.0018	0.0018	0.1	0.09	OK
6	14.02	12.74	50809.3	11591.4	11433.8	4000	0.0042	0.0039	0.1	0.09	OK
5	16.29	16.34	82751.5	15957.1	15879.1	4000	0.0058	0.0058	0.1	0.09	OK
4	16.41	16.98	116231.0	19103.7	19098.1	4000	0.0068	0.0070	0.1	0.09	OK
3	16.24	16.80	156810.2	21584.3	21595.0	4000	0.0080	0.0083	0.1	0.09	OK
2	6.41	6.63	202383.3	22885.1	22882.3	4000	0.0039	0.0040	0.1	0.09	OK

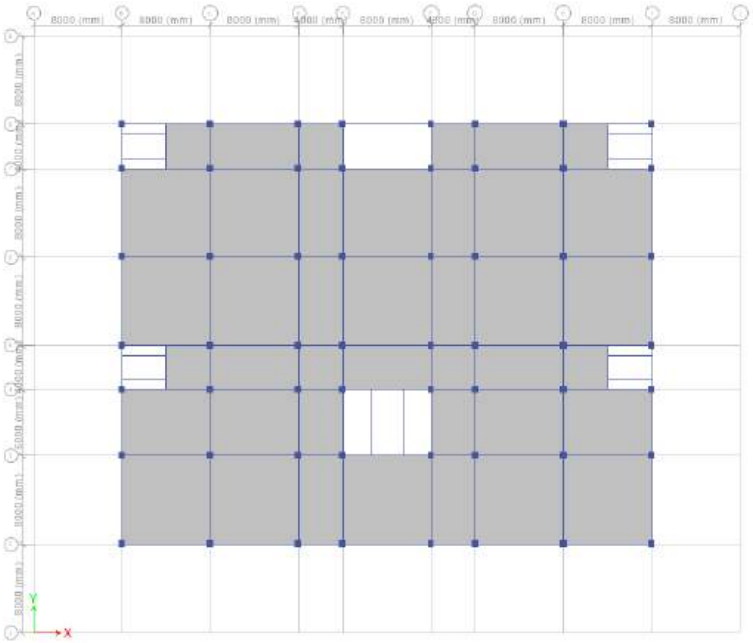
Sumber : Data Analisis Pribadi

Pada tabel diatas adalah nilai dari jarak pergeseran elemen struktur perlantai akibat momen lentur tambahan dengan nilai yang berbeda-beda dan tidak berurut, nilai terbesar berada pada level lantai 4 dan nilai terkecil padal level lantai 2 dan tidak melewati batas rasio maksimum sebesar 0.09 mm. Lalu data diatas dibuat dalam table diagram grafis seperti dalam gambar 4.16.



Gambar 4. 16. Pengaruh P-delta
Sumber : Data Analisis Pribadi

4.9. Perencanaan Balok



Gambar 4. 17. Rencana Balok yang Ditinjau
Sumber : Data Analisis Pribadi

4.9.1.1. Pedoman Perhitungan Balok

Dalam merencanakan plat lantai, pedoman yang dipakai adalah sebagai berikut

1. SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung
2. SNI 03-2847-2019 tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung.

4.9.1.2. Data Perencanaan Balok

1. Geometri Balok

Lebar Balok b = 700 mm

Tinggi Balok	h	=	1000	mm
Panjang Balok	L	=	8000	mm
Selimut Bersih	c_c	=	40	mm
Panjang Kolom	c_1	=	1000	mm
Lebar Kolom	c_2	=	1000	mm

2. Material

Kuat Tekan Beton	f_c'	=	30	MPa
Kuat Leleh Baja Tulangan Longitudinal	f_y	=	420	MPa
Kuat Leleh Baja Tulangan Transversal	f_{yv}	=	420	MPa
Diameter Agregat		=	10	mm

3. Diameter Tulangan

Diameter Tulangan Longitudinal	d_b	=	16	mm
Diameter Tulangan Pinggang	d_{bt}	=	16	mm
Diameter Tulangan Sengkang	d_s	=	12	mm

4. Gaya Dalam

Momen Negatif Tumpuan	$M_{u,tum\ (-)}$	=	-1132.8485	kNm
Momen Positif Tumpuan	$M_{u,tum\ (+)}$	=	1002.9519	kNm
Momen Negatif Lapangan	$M_{u,lap\ (-)}$	=	-412.1205	kNm
Momen Positif Lapangan	$M_{u,lap\ (+)}$	=	552.282	kNm
Gaya Geser Tumpuan	$V_{u,tumpuan}$	=	950.92	kN
Gaya Geser Lapangan	$V_{u,lapamgan}$	=	926.7656	kN
Gaya Geser Gravitasi Tumpuan	$V_{g,tumpuan}$	=	-313.8398	kN

Torsi	T_u	=	16.9458	kNm
Gaya Aksial	P_u	=	0	kN

4.9.1.3. Parameter Material dan Geometri

Faktor Material Beton

$$\beta_1 = 0{,}65 \leq 0{,}85 - 0{,}05\frac{f_c' - 28}{7} \leq 0{,}85$$

$$= 0{,}65 \leq 0{,}85 - 0{,}05\frac{30-28}{7} \leq 0{,}85$$

$$= 0{,}836$$

Regangan Leleh Baja Tulangan

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_y}{E_s} = \frac{420}{200000} = 0{,}0021$$

Tinggi Efektif Balok

$$d = h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2}$$

$$= 1000 - 40 - 12 - \frac{16}{2} = 940\ mm$$

Lokasi Tulangan Lapis 2

$$d_2 = d - s_{12} = 940 - 50 = 890\ mm$$

Panjang Bersih Balok

$$L_n = L - c_1 = 8000 - 1000 = 7000\ mm$$

4.9.1.4. Pengecekan Syarat Geometri

Bentang Bersih Minimum

$$L_{n,min} = 4 \times d$$

$$= 4 \times 940$$

$$= 3760 < 1000mm$$

Syarat Lebar Minimum

$b_{,min1} = 0{,}3 \times h$

$= 0{,}3 \times 1000$

$= 300\ mm$

$b_{,min2} = 250\ mm$

$b_{,min2} = min(b_{,min1}\ ;\ b_{,min2})$

$= min(300\ ;\ 250)$

$= min(250\ mm < 700\ mm)$

Syarat Lebar Maksimum

$b_{,max1} = c_2 + 2 \times c_1$

$= 1000 + 2 \times 1000$

$= 3000\ mm$

$b_{,max2} = c_2 + 2 \times 0{,}75 \times c_1$

$= 1000 + 2 \times 0{,}75 \times 800$

$= 2500\ mm$

$b_{,max} = min(b_{,max1}\ ;\ b_{,max2})$

$= min(3000\ ;\ 2500)$

$= min(2500\ mm > 700\ mm)$

4.9.1.5. Desain Lentur

4.9.1.6. Momen Negatif Tumpuan (Tulangan Tumpuan Atas)

Jumlah Tulangan Lapis 1

$n_{ts1} = 11 \rightarrow A_{s,1} = 2211{,}68\ mm^2$

Jumlah Tulangan Lapis 2

$n_{ts2} = 7 \rightarrow A_{s,2} = 1407{,}43 mm^2$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 1

$s_{l,1} = 42\ mm > 25\ mm$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 2

$s_{l,2} = 80{,}70\ mm > 25\ mm$

Luas Tulangan Total

$A_s = A_{s,1} + A_{s,2}$

$= 2211{,}68 + 1407{,}43$

$= 3619{,}11\ mm^2$

Rasio Luas Tulangan

$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{3619{,}11}{700 \times 940} = 0{,}55\%$

Luas Tulangan Minimum

$$A_{s,min} = max\begin{pmatrix} \frac{\sqrt{f_c{}'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ \frac{1{,}4}{f_y} \times b \times d \end{pmatrix}$$

$$= max\begin{pmatrix} \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 700 \times 940 \\ \frac{1{,}4}{420} \times 700 \times 940 \end{pmatrix}$$

$$= max\begin{pmatrix} 2145.25\ mm^2 \\ 2193{,}33\ mm^2 \end{pmatrix}$$

$$= 2193{,}33\ \ mm^2 < 3619{,}11\ mm^2$$

Rasio Luas Tulangan Maksimum

$\rho_{max} = 2{,}50\% > 0{,}55\%$

Tinggi Blok Beton

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0{,}85 \times f_c' \times b} = \frac{3619{,}11 \ \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 700}$$

$$= 85.16\ mm$$

Tinggi Daerah Tekan Beton

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{85.16}{0{,}84} = 101{,}90\ mm$$

Regangan Tulangan Terluar

$$\varepsilon_{st} = \frac{d - c}{c} \times 0{,}003$$

$$= \frac{940 - 101{,}90}{101{,}90} \times 0{,}003 = 0{,}025$$

Faktor Reduksi

$$\Phi = 0{,}65 \leq 0{,}65 + 0{,}65 \frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{sy}}{0{,}003} \times 0{,}003 \times 0{,}25 \leq 0{,}9$$

$$= 0{,}65 \leq 0{,}65 + 0{,}65 \frac{0{,}020 - 0{,}0021}{0{,}003} \times 0{,}003 \times 0{,}25$$

$$= 0{,}9$$

Kapasitas Lentur Terfaktor

$$\Phi M_n = \Phi \times \begin{pmatrix} A_{s,1} \times f_y \times (d - a/2) \\ +A_{s,2} \times f_y \times (d_2 - a/2) \end{pmatrix}$$

$$= 0{,}9 \times \begin{pmatrix} 2211{,}7 \times 420 \times \left(940 - \frac{85.16}{2}\right) + \\ +1407{,}4 \times 420 \times \left(699 - \frac{85.16}{2}\right) \end{pmatrix}$$

$$= 0{,}9 \times (833{,}62 + 500{,}93)$$

$$= 1201{,}09\ kNm > 1132{,}85\ kNm$$

Momen Nominal Tumpuan Negatif

$M_n = 1334{,}55\ kNm$

4.9.1.7. Momen Negatif Tumpuan (Tulangan Tumpuan Bawah)

Jumlah Tulangan Lapis 1

$n_{ts1} = 10 \rightarrow A_{s,1} = 2010{,}62\ mm^2$

Jumlah Tulangan Lapis 2

$n_{ts2} = 6 \rightarrow A_{s,2} = 1206{,}37\ mm^2$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 1

$s_{l,1} = 48{,}44\ mm > 25\ mm$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 2

$s_{l,2} = 100\ mm > 25\ mm$

Luas Tulangan Total

$A_s = A_{s,1} + A_{s,2}$

$= 2010{,}62 + 1206{,}37$

$= 3217{,}00\ mm^2$

Rasio Luas Tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{3217{,}00}{700 \times 940} = 0{,}49\%$$

Luas Tulangan Minimum

$$A_{s,min} = max \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{f_c{}'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ \frac{1{,}4}{f_y} \times b \times d \end{pmatrix}$$

$$= max \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 700 \times 940 \\ \frac{1{,}4}{420} \times 700 \times 940 \end{pmatrix}$$

$$= max \begin{pmatrix} 2145{,}25\ mm^2 \\ 2193{,}33\ mm^2 \end{pmatrix}$$

$$= 2193{,}33\ mm^2 < 3217{,}00\ mm^2$$

Rasio Luas Tulangan Maksimum

$$\rho_{max} = 2{,}50\% > 0{,}49\%$$

Tinggi Blok Beton

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0{,}85 \times f_c{}' \times b} = \frac{3217{,}00 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 700}$$

$$= 76{,}69\ mm$$

Tinggi Daerah Tekan Beton

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{76{,}69}{0{,}84} = 90{,}57\ mm$$

Regangan Tulangan Terluar

$$\varepsilon_{st} = \frac{d - c}{c} \times 0{,}003$$

$$= \frac{940 - 90{,}57}{90{,}57} \times 0{,}003 = 0{,}028$$

Faktor Reduksi

$$\Phi = 0{,}65 \leq 0{,}65 + 0{,}65 \frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{sy}}{0{,}003} \times 0{,}003 \times 0{,}25 \leq 0{,}9$$

$$= 0{,}65 \leq 0{,}65 + 0{,}65 \frac{0{,}023 - 0{,}0021}{0{,}003} \times 0{,}003 \times 0{,}25$$

$$= 0{,}9$$

Kapasitas Lentur Terfakor

$$\Phi M_n = \Phi \times \begin{pmatrix} A_{s,1} \times f_y \times (d - a/2) \\ +A_{s,2} \times f_y \times (d_2 - a/2) \end{pmatrix}$$

$$= 0{,}9 \times \begin{pmatrix} 2010{,}6 \times 420 \times \left(940 - \frac{75{,}69}{2}\right) \\ +1407{,}4 \times 420 \times \left(890 - \frac{75{,}69}{2}\right) \end{pmatrix}$$

$$= 0{,}9 \times (761{,}83 + 431{,}77)$$

$$= 1074{,}24\ kNm > 1002{,}95\ kNm$$

Momen Nominal Tumpuan Positif Minimum

$$M_n = 50\% \times M_{n,tum}(-)$$

$$= 50\% \times 1334{,}55$$

$$= 667{,}275\ kNm < 1193{,}60\ kNm$$

4.9.1.8. Momen Negatif Lapangan (Tulangan Lapangan Atas)

Jumlah Tulangan Lapis 1

$n_{ts1} = 8 \rightarrow A_{s,1} = 1608{,}50\ mm^2$

Jumlah Tulangan Lapis 2

$n_{ts2} = 3 \rightarrow A_{s,2} = 603{,}19\ mm^2$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 1

$s_{l,1} = 66{,}86\ mm > 25\ mm$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 2

$s_{l,2} = 274\ mm > 25\ mm$

Luas Tulangan Total

$A_s = A_{s,1} + A_{s,2}$

$= 1608{,}50 + 603{,}19$

$= 2211{,}68\ mm^2$

Rasio Luas Tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{2211{,}68}{700 \times 940} = 0{,}34\%$$

Luas Tulangan Minimum

$$A_{s,min} = max \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{f_c{}'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ \frac{1{,}4}{f_y} \times b \times d \end{pmatrix}$$

$$= max\begin{pmatrix} \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 700 \times 940 \\ \frac{1,4}{420} \times 700 \times 940 \end{pmatrix}$$

$$= max\begin{pmatrix} 2145,25\ mm^2 \\ 2193,33\ mm^2 \end{pmatrix}$$

$$= 2193,33\ mm^2 < 2211,68\ mm^2$$

Rasio Luas Tulangan Maksimum

$\rho_{max} = 2,50\% > 0,34\%$

Tinggi Blok Beton

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{2211,68 \times 420}{0,85 \times 30 \times 700}$$

$$= 52,04\ mm$$

Tinggi Daerah Tekan Beton

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{52,04}{0,835} = 62,27\ mm$$

Regangan Tulangan Terluar

$$\varepsilon_{st} = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{940 - 62,27}{62,27} \times 0,003 = 0,042$$

Faktor Reduksi

$$\Phi = 0,65 \leq 0,65 + 0,65\frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{sy}}{0,003} \times 0,003 \times 0,25 \leq 0,9$$

$$= 0{,}65 \leq 0{,}65 + 0{,}65\,\frac{0{,}035 - 0{,}0021}{0{,}003} \times 0{,}003 \times 0{,}25$$

$$= 0{,}9$$

Kapasitas Lentur Terfaktor

$$\Phi M_n = \Phi \times \begin{pmatrix} A_{s,1} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ +A_{s,2} \times f_y \times \left(d_2 - \frac{a}{2}\right) \end{pmatrix}$$

$$= 0{,}9 \times \begin{pmatrix} 1608{,}50 \ \times 420 \times \left(940 - \frac{52{,}04}{2}\right) \\ +603{,}19 \times 420 \times \left(890 - \frac{52{,}04}{2}\right) \end{pmatrix}$$

$$= 0{,}9 \times (617{,}46 + 218{,}88)$$

$$= 752{,}70\ kNm > 412{,}12\ kNm$$

Momen Nominal Tumpuan Negatif

$$M_n = 25\% \times M_{n,tum}(-)$$

$$= 25\% \times 1334{,}55$$

$$= 333{,}64\ kNm < 836{,}34 kNm$$

4.9.1.9. Momen Negatif Lapangan (Tulangan Lapangan Bawah)

Jumlah Tulangan Lapis 1

$$n_{ts1} = 8 \rightarrow A_{s,1} = 1608{,}50\ mm^2$$

Jumlah Tulangan Lapis 2

$$n_{ts2} = 3 \rightarrow A_{s,2} = 603{,}19\ mm^2$$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 1

$s_{l,1} = 66{,}86\ mm > 25\ mm$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 2

$s_{l,2} = 274\ mm > 25\ mm$

Luas Tulangan Total

$A_s = A_{s,1} + A_{s,2}$

$= 1608{,}50 + 603{,}19$

$= 2211{,}68\ mm^2$

Rasio Luas Tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{2211{,}68}{700 \times 940} = 0{,}34\%$$

Luas Tulangan Minimum

$$A_{s,min} = max\begin{pmatrix} \frac{\sqrt{f_c{}'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ \frac{1{,}4}{f_y} \times b \times d \end{pmatrix}$$

$$= max\begin{pmatrix} \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 700 \times 940 \\ \frac{1{,}4}{420} \times 700 \times 940 \end{pmatrix}$$

$$= max\begin{pmatrix} 2145{,}25\ mm^2 \\ 2193{,}33\ mm^2 \end{pmatrix}$$

$$= 2193{,}33\ mm^2 < 2211{,}68\ mm^2$$

Rasio Luas Tulangan Maksimum

$\rho_{max} = 2{,}50\% > 0{,}34\%$

Tinggi Blok Beton

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0{,}85 \times f_c' \times b} = \frac{2211{,}68 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 700}$$

$$= 52{,}04\ mm$$

Tinggi Daerah Tekan Beton

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{52{,}04}{0{,}85} = 62{,}27\ mm$$

Regangan Tulangan Terluar

$$\varepsilon_{st} = \frac{d - c}{c} \times 0{,}003$$

$$= \frac{940 - 62{,}27}{62{,}27} \times 0{,}003 = 0{,}042$$

Faktor Reduksi

$$\Phi = 0{,}65 \leq 0{,}65 + 0{,}65 \frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{sy}}{0{,}003} \times 0{,}003 \times 0{,}25 \leq 0{,}9$$

$$= 0{,}65 \leq 0{,}65 + 0{,}65 \frac{0{,}035 - 0{,}0021}{0{,}003} \times 0{,}003 \times 0{,}25$$

$$= 0{,}9$$

Kapasitas Lentur Terfaktor

$$\Phi M_n = \Phi \times \begin{pmatrix} A_{s,1} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ +A_{s,2} \times f_y \times \left(d_2 - \frac{a}{2}\right) \end{pmatrix}$$

$$= 0{,}9 \times \begin{pmatrix} 1608{,}50\ \times 420 \times \left(940 - \frac{52{,}04}{2}\right) \\ +603{,}19 \times 420 \times \left(890 - \frac{52{,}04}{2}\right) \end{pmatrix}$$

$= 0{,}9 \times (617{,}46 + 218{,}88)$

$= 752{,}70\ kNm > 552{,}28\ kNm$

Momen Nominal Tumpuan Negatif

$M_n = 25\% \times M_{n,tum}(-)$

$= 25\% \times 1334{,}55$

$= 333{,}638\ kNm < 836{,}335\ kNm$

4.9.1.10. Desain Geser

1. Geser Tumpuan

Tinggi Blok Beton Probable Negatif

$a_{pr-} = 1{,}25 \times a_{tumpuan\ negatif}$

$= 1{,}25 \times 85{,}16 = 106{,}44\ mm$

Tinggi Blok Beton Probable Positif

$a_{pr+} = 1{,}25 \times a_{tumpuan\ positif}$

$= 1{,}25 \times 75{,}69 = 94{,}62\ mm$

Tegangan Baja Probable

$f_{pr} = 1{,}25 \times f_y$

$= 1{,}25 \times 420 = 525\ MPa$

Momen Negatif Tumpuan Probable

$M_{pr-} = A_{s,1} \times f_{pr} \times \left(d - a_{pr}/2\right) + A_{s,2} \times f_{pr} \times \left(d_2 - a_{pr}/2\right)$

$$= \left(2211{,}7 \times 525 \times \left(940 - \frac{106{,}44}{2}\right) + 1407{,}43 \times 525 \times \left(890 - \frac{106{,}44}{2}\right)\right)$$

$$= 1029{,}67 + 618{,}30 = 1647{,}96\ kNm$$

Momen Positif Tumpuan Probable

$$M_{pr+} = A_{s,1} \times f_{pr} \times \left(d - a_{pr}/2\right) + A_{s,2} \times f_{pr} \times \left(d_2 - a_{pr}/2\right)$$

$$= \left(2010{,}6 \times 525 \times \left(940 - \frac{94}{2}\right) + 1206{,}4 \times 525 \times \left(890 - \frac{94}{2}\right)\right)$$

$$= 942{,}30 + 533{,}71 = 1476{,}02\ kNm$$

Gaya Geser Probable

$$V_{pr} = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{L_n}$$

$$= \frac{1476{,}02 + 1647{,}96}{7{,}00} = 446{,}28\ kN$$

Gaya Geser Desain

$$V_e = V_g + V_{pr} = -313{,}84 + 446{,}28 = 132{,}44\ kN$$

Gaya Geser Pakai

$$V_u = max\left(V_{u,tumpuan}\ ; V_e\right)$$

$$= max(950{,}92\ ; 132{,}44)$$

$$= 950{,}92$$

Vc = 0 jika...

$\rightarrow V_{pr} \geq \frac{V_e}{2} dan\ P_u < \frac{A_g \times f_c'}{20}$

$1 \rightarrow 446{,}28 > 66{,}22$

$2 \rightarrow -0 < 1050 = 0$

Jumlah Kaki

$n_{vs} = 3$

Luas Tulangan Sengkang

$$A_v = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 12^2$$

$$= 339{,}292\ mm^2$$

Spasi Sengkang

$s_s = 90$ mm

Spasi Maksimum

$$s_{max} = \min \begin{pmatrix} d/4 \\ 6 \times d_b \\ 150 \end{pmatrix}$$

$$= \min \begin{pmatrix} \frac{940}{4} \\ 6 \times 16 \\ 150 \end{pmatrix}$$

$$= \min \begin{pmatrix} 235 \\ 96 \\ 150 \end{pmatrix}$$

$$= 96\ mm > 90\ mm$$

Jarak Antar Kaki Sengkang

$h_x = 304\ mm < 350\ mm$

Tahanan Geser Beton

$V_c = 0{,}17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \; atau \; 0$

$= 0{,}17 \times \sqrt{30} \times 700 \times 940 \; atau \; 0$

$= 0 \; N$

Tahanan Geser Baja

$$V_s = \min\begin{pmatrix} \dfrac{A_v \times f_{yv} \times d}{s} \\ 0{,}66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \end{pmatrix}$$

$$= \min\begin{pmatrix} \dfrac{339 \times 420 \times 940}{90} \\ 0{,}66 \times \sqrt{30} \times 700 \times 940 \end{pmatrix}$$

$$= \min\begin{pmatrix} 1488361 \\ 2378650 \end{pmatrix}$$

$= 1488361 \;\; N$

Faktor Reduksi

$\Phi = 0{,}75$

Kapasitas Geser

$\Phi V_n = \Phi \times (V_c + V_s)$

$= 0{,}75 \times (0 + 11488{,}36)$

$= 1116{,}27 \; kN > 950{,}92 \; kN$

2. Geser Lapangan

Jumlah Kaki

$n_{vs} = 3$

Luas Tulangan Sengkang

$$A_v = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 12^2$$

$$= 339{,}29\ mm^2$$

Spasi Sengkang

$s_s = 150$ mm

Spasi Maksimum

$$s_{max} = \frac{d}{2}$$

$$= \frac{940}{2}$$

$$= 470\ mm > 150\ mm$$

Tahanan Geser Beton

$$V_c = 0{,}17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0{,}17 \times \sqrt{30} \times 700 \times 940$$

$$= 612682\ N$$

Tahanan Geser Baja

$$V_s = \min\begin{pmatrix} \dfrac{A_v \times f_{yv} \times d}{s} \\ 0{,}66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \end{pmatrix}$$

$$= \min\begin{pmatrix} \dfrac{339 \times 420 \times 940}{90} \\ 0{,}66 \times \sqrt{30} \times 700 \times 940 \end{pmatrix}$$

$$= \min\begin{pmatrix} 893017 \\ 2378650 \end{pmatrix}$$

$$= 893017\ N$$

Faktor Reduksi

$\Phi = 0{,}75$

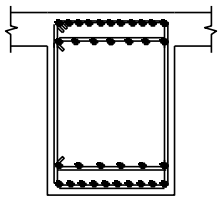
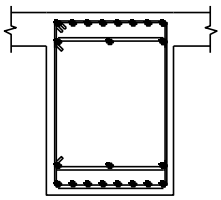
Kapasitas Geser

$\Phi V_n = \Phi \times (V_c + V_s)$

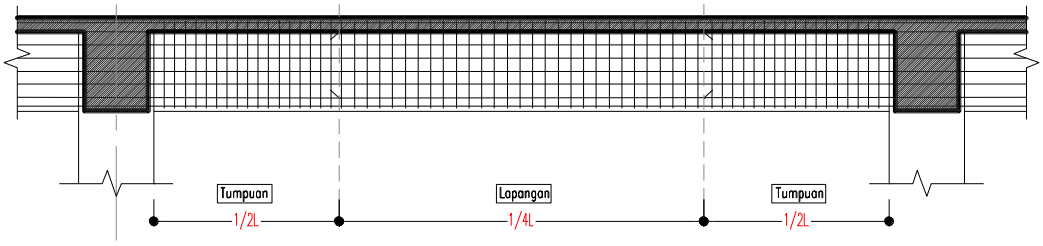
$= 0{,}75 \times (612{,}68 + 893{,}017)$

$= 1129{,}27\ kN > 926{,}766\ kN$

4.9.1.11. Gambar Detail Tulangan Balok

JENIS		KODE PENULANGAN	
		B1 (700x1000)	
		Tumpuan (1/4 - L)	Lapangan (1/2 - L)
B1 (700x1000)			
UKURAN		700x1000	700x1000
TULANGAN POKOK	ATAS	18-D16 mm	11-D16 mm
	BAWAH	16-D16 mm	11-D16 mm
TULANGAN EKTRA		-	-
JARAK SENGKANG		3Ø12-90 mm	3Ø12-150 mm

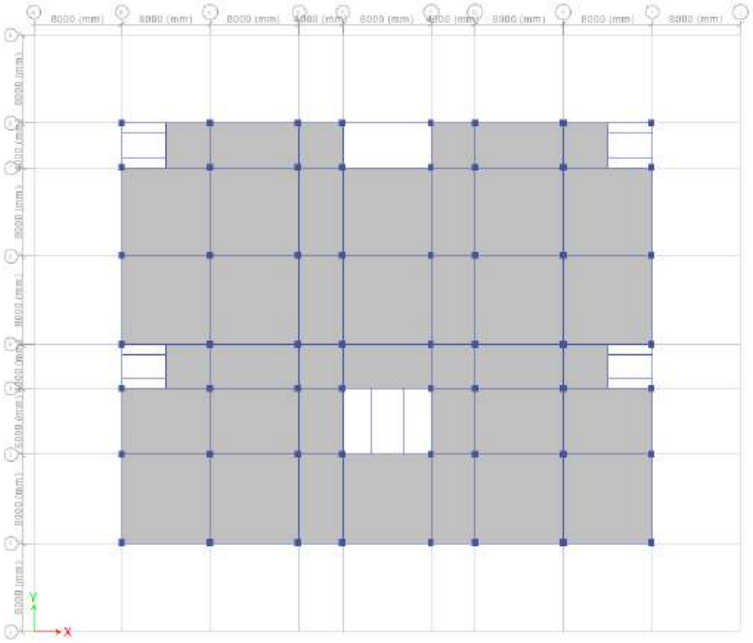
(a)



(b)

Gambar 4. 18. *(a), (b)* Gambar Detail Tulangan Balok
Sumber : Data Analisis Pribadi

4.10. Perencanaan Kolom



Gambar 4. 19. Rencana Kolom yang Ditinjau
Sumber : Data Analisis Pribadi

4.10.1.1. Pedoman Perhitungan Kolom

Dalam merencanakan plat lantai, pedoman yang dipakai adalah sebagai berikut

1. SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung
2. SNI 03-2847-2019 tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung.

4.10.1.2. Data Perencanaan Kolom

1. Geometri Kolom

Sisi Pendek kolom b = 1000 mm

Sisi Panjang Kolom	h	=	1000	mm
Tinggi Kolom	L	=	4000	mm
Selimut Bersih	c_c	=	40	mm
Tinggi Balok	h_b	=	1000	mm
Tinggi Bersih Kolom	L_n	=	3000	mm

2. Material

Kuat Tekan Beton	f_c'	=	30	MPa
Kuat Leleh Baja Tulangan Longitudinal	f_y	=	420	MPa
Kuat Leleh Baja Tulangan Transversal	f_{yv}	=	420	MPa

3. Diameter Tulangan

Diameter Tulangan Longitudinal	d_b	=	19	mm
Diameter Tulangan Sengkang	d_s	=	13	mm

4. Gaya Dalam

Tabel 4. 19. Aksial Lentur

Kondisi	**P**	**MX**	**MY**	**Mu**
	(kN)	**(kNm)**	**(kNm)**	**(kNm)**
P Max	7119.4878	-1115.5998	-1186.84	1628.850
P Min	-1594.7101	12.2012	-518.2015	518.345
MX Max	-163.6669	1792.4716	577.4976	1883.204
MX Min	-163.3035	-1792.4716	577.3229	1883.151
MY Max	124.5064	-589.0527	1792.4716	1886.780
MY Min	-123.8769	-581.4696	-1792.4716	1884.426

Geser

Gaya Geser Sumbu X	V_{ux}	=	1030,1	kN
Gaya Geser Sumbu Y	V_{uy}	=	1030,1	kN

4.10.1.3. Pengecekan Syarat Geometri

Syarat Rasio sisi Pendek per Panjang

$\rightarrow \frac{b}{h} \geq 0{,}4$

$\rightarrow \frac{1000}{1000} \geq 0{,}4$

$\rightarrow 1 > 0{,}4$

4.10.1.4. Pengecekan Syarat Rasio Tulangan

Luas Tulangan Longitudinal

$A_s = n \times A_b$

$= 56 \times 285{,}53$

$= 15878\ mm^2$

Luas Penampang

$A_g = b \times h$

$= 1000 \times 1000$

$= 1000000\ mm^2$

Rasio Tulangan

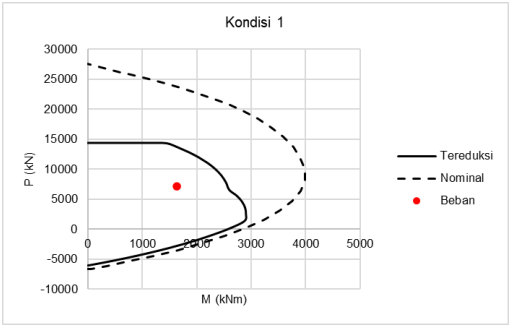
$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{15878}{1000000} = 1{,}59\%$

$1\% < 1{,}59\% < 6\%$

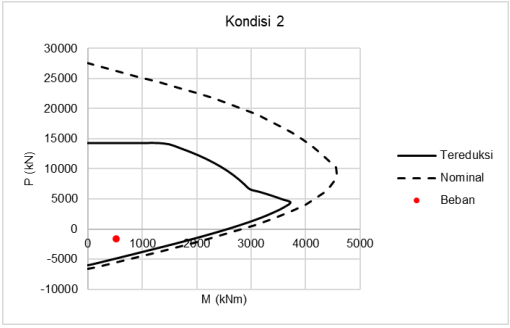
4.10.1.5. Pengecekan Kapasitas Aksial-Lentur

Tabel 4. 20. Rekapitulasi

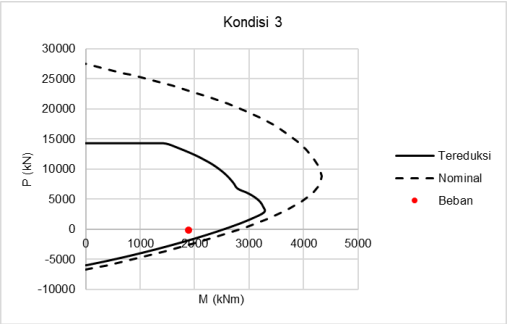
Kondisi	P (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	$\varphi M_n / M_u$	c (mm)	d_t (mm)	ε_{st}	φ	Cek
P Max	7119.4878	-1115.5998	-1186.84	1.574	803.0	1325.2	0.0020	0.650	OK
P Min	-1594.7101	12.2012	-518.2015	3.735	123.5	959.3	0.0204	0.900	OK
MX Max	-163.6669	1792.4716	577.4976	1.316	326.5	1179.8	0.0079	0.900	OK
MX Min	-163.3035	-1792.4716	577.3229	1.316	326.5	1179.8	0.0079	0.900	OK
MY Max	124.5064	-589.0527	1792.4716	1.364	340.6	1183.3	0.0074	0.900	OK
MY Min	-123.8769	-581.4696	-1792.4716	1.322	329.0	1181.0	0.0078	0.900	OK



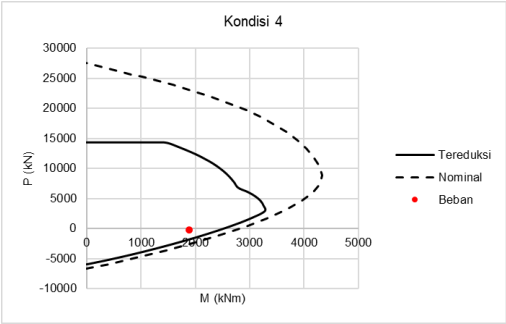
(a)



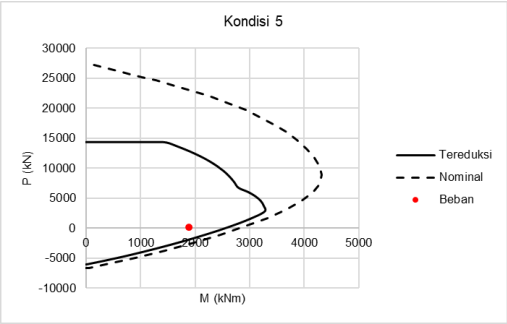
(b)



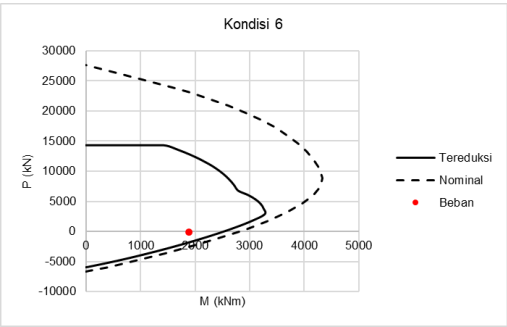
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 4. 20. *(a), (b), (c), (d), (e), (f)* Diagram Interaksi Kolom

Sumber : Data Analisis Pribadi

4.10.1.6. Pengecekan Syarat Kuat-Balok Lemah/*Strong Column Weak Beam* (SCWB)

Momen Nominal Kolom Sumbu X

$M_{nk}X = 2047{,}50\ \ kNm$

Momen Nominal Kolom Sumbu Y

$M_{nk}Y = 3242{,}11\ \ kNm$

Momen Nominal Tumpuan (-) Balok Arah Y

$M_{nb}Y^{-} = 1334{,}55\ kNm$

Momen Nominal Tumpuan (+) Balok Arah Y

$M_{nb}Y^{+} = 1193{,}60\ kNm$

Momen Nominal Tumpuan (-) Balok Arah X

$M_{nb}X^{-} = 1334{,}55\ kNm$

Momen Nominal Tumpuan (+) Balok Arah X

$M_{nb}X^{+} = 1193{,}60\ kNm$

Pengecekan SCWB Momen X Kolom

$\rightarrow 2M_{nk}X > 1{,}2 \times M_{nb}Y^{-} + M_{nb}Y^{+}$

$6095 > 1{,}2 \times 1334{,}6 + 1193{,}6$

$6095 > 3033{,}78$

Pengecekan SCWB Momen Y Kolom

$\rightarrow 2M_{nk}y > 1{,}2 \times M_{nb}X^{-} + M_{nb}X^{+}$

$6484{,}2 > 1{,}2 \times 1334{,}6 + 1193{,}6$

$6484{,}2 > 3033{,}78$

4.10.1.7. Desain Geser

1. Desain Geser Tumpuan

Momen Probable Kolom Sumbu X

$M_{pr}X = 5327{,}2\ kNm$

Momen Probable Kolom Sumbu Y

$M_{pr}Y = 5327{,}2\ kNm$

Gaya Geser Probable Sumbu X

$$V_{pr}X = \frac{2 \times M_{pr}Y}{L_n}$$

$$= \frac{2 \times 5327{,}2}{3000}$$

$$= 3551480\ N$$

Gaya Geser Probable Sumbu Y

$$V_{pr}X = \frac{2 \times M_{pr}Y}{L_n}$$

$$= \frac{2 \times 5327{,}2}{3000}$$

$$= 3551480\ N$$

Gaya Geser Pakai Sumbu X

$$V_uX = Max\left(V_{ux}\ ;\ V_{pr}X\right)$$

$$= Max(\ 1030103{,}3\ ; 3551480)$$

$$= 3551480\ N$$

Gaya Geser Pakai Sumbu Y

$$V_uX = Max(V_{ux}\,;\, V_{pr}X)$$

$$= Max(\,1030103{,}3\,;3551480)$$

$$= 3551480\ N$$

Kapasitas Geser Beton Sumbu X

$$V_cX = 0{,}17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \times \sqrt{f_c{}'} \times h \times d_2$$

$$= 0{,}17 \times \left(1 + \frac{0}{14 \times 1000000}\right) \times \sqrt{30} \times 1000 \times 937{,}5$$

$$= 872933\ N$$

Kapasitas Geser Beton Sumbu Y

$$V_cX = 0{,}17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \times \sqrt{f_c{}'} \times h \times d_2$$

$$= 0{,}17 \times \left(1 + \frac{0}{14 \times 1000000}\right) \times \sqrt{30} \times 1000 \times 937{,}5$$

$$= 872933\ N$$

Kapasitas Geser Baja Tulangan Sumbu X

$$V_sX = \frac{A_{vs} \times f_{yv} \times d_2}{S_s}$$

$$= \frac{1061{,}86 \times 420 \times 937{,}5}{100}$$

$$= 4181067\ N$$

Kapasitas Geser Baja Tulangan Sumbu Y

$$V_sX = \frac{A_{vs} \times f_{yv} \times d_2}{S_s}$$

$$= \frac{1061{,}86 \times 420 \times 937{,}5}{100}$$

$$= 4181067\ N$$

Faktor Reduksi

$\phi = 0{,}75$

Kapasitas Nominal Kolom Sumbu X

$V_nX = \phi \times (V_cX + V_sX)$

$$= 0{,}75 \times (872933 + 4181067)$$

$$= 3790500\ N > 3551480\ N$$

Kapasitas Nominal Kolom Sumbu Y

$V_nX = \phi \times (V_cX + V_sX)$

$$= 0{,}75 \times (872933 + 4181067)$$

$$= 3790500\ N > 3551480\ N$$

Desain Geser Lapangan

Kapasitas Geser Beton Sumbu X

$V_cX = 872933\ N$

Kapasitas Geser Beton Sumbu Y

$V_cX = 872933\ N$

Kapasitas Geser Baja Tulangan Sumbu X

$$V_sX = \frac{A_{vs} \times f_{yv} \times d_2}{S_s}$$

$$= \frac{398{,}187 \times 420 \times 937{,}5}{110}$$

$= 1425363{,}79\ N$

Kapasitas Geser Baja Tulangan Sumbu Y

$$V_sY = \frac{A_{vs} \times f_{yv} \times d_2}{S_s}$$

$$= \frac{398{,}187 \times 420 \times 937{,}5}{110}$$

$$= 1425363{,}79\ N$$

Faktor Reduksi

$\phi = 0{,}75$

Kapasitas Nominal Kolom Sumbu X

$$V_nX = \phi \times (V_cX + V_sX)$$

$$= 0{,}75 \times (872933\ + 1425364)$$

$$= 1723722\ N > 1030103N$$

Kapasitas Nominal Kolom Sumbu Y

$$V_nX = \phi \times (V_cX + V_sX)$$

$$= 0{,}75 \times (872933\ + 1425364)$$

$$= 1723722\ N > 1030103N$$

Pengecekan Confinement, Jarak Antar Kaki Sengkang, dan Spasi

1. Tulangan Sengkang Tumpuan Minimum

Luas per Spasi Sengkang X Terpasang

$$\frac{A_{sh,x}}{S} = \frac{A_{vs,x}}{S_s} = \frac{1061{,}86}{100} = 10{,}62\ mm^2/mm$$

Luas per Spasi Sengkang Y Terpasang

$$\frac{A_{sh,x}}{S} = \frac{A_{vs,x}}{S_s} = \frac{1061{,}86}{100} = 10{,}62\ mm^2/mm$$

Lebar Inti Beton

$$b_c = b - 2c_c - d_s = 907\ mm$$

Panjang Inti Beton

$$h_c = h - 2c_c - d_s = 907\ mm$$

Luas Inti Beton

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 822649\ mm^2$$

Luas per Spasi Sengkang X Perlu

$$\frac{A_{sh,x}}{S} > \begin{pmatrix} 0{,}09 \times h_c \times \frac{f_c{}'}{f_{yv}} \\ 0{,}3 \times h_c \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \times \frac{f_c{}'}{f_{yv}} \end{pmatrix}$$

$$10{,}62 > \begin{pmatrix} 0{,}09 \times 907 \times \frac{30}{420} \\ 0{,}3 \times 907 \times \left(\frac{1000000}{822649} - 1\right) \times \frac{30}{420} \end{pmatrix}$$

$$10{,}62 > \begin{pmatrix} 5{,}83 \\ 4{,}19 \end{pmatrix}$$

$$10{,}62 > 5{,}83\ mm^2/mm$$

Luas per Spasi Sengkang Y Perlu

$$\frac{A_{sh,x}}{S} > \begin{pmatrix} 0{,}09 \times h_c \times \frac{f_c{}'}{f_{yv}} \\ 0{,}3 \times h_c \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \times \frac{f_c{}'}{f_{yv}} \end{pmatrix}$$

$$10{,}62 > \begin{pmatrix} 0{,}09 \times 907 \times \frac{30}{420} \\ 0{,}3 \times 907 \times \left(\frac{1000000}{822649} - 1\right) \times \frac{30}{420} \end{pmatrix}$$

$$10{,}62 > \begin{pmatrix} 5{,}83 \\ 4{,}19 \end{pmatrix}$$

$$10{,}62 > 5{,}83\ mm^2/mm$$

2. Tulangan Sengkang Lapangan Minimum

Luas per Spasi Sengkang X Terpasang

$$\frac{A_{v,x}}{S} = \frac{A_{vm,x}}{S_s} = \frac{398{,}197}{110} = 3{,}620\ mm^2/mm$$

Luas per Spasi Sengkang Y Terpasang

$$\frac{A_{v,y}}{S} = \frac{A_{vm,y}}{S_s} = \frac{398{,}197}{110} = 3{,}620\ mm^2/mm$$

Luas per Spasi Sengkang X Perlu

$$\frac{A_{v,x}}{S} > \begin{pmatrix} 0{,}062 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{h}{f_{yv}} \\ 0{,}35 \times \frac{h}{f_{yv}} \end{pmatrix}$$

$$3{,}620 > \begin{pmatrix} 0{,}062 \times \sqrt{30} \times \frac{1000}{420} \\ 0{,}3 \times \frac{1000}{420} \end{pmatrix}$$

$$3{,}620 > \begin{pmatrix} 0{,}81 \\ 0{,}71 \end{pmatrix}$$

$$3{,}620 > 0{,}81\ mm^2/mm$$

Luas per Spasi Sengkang Y Perlu

$$\frac{A_{v,x}}{S} > \begin{pmatrix} 0{,}062 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{h}{f_{yv}} \\ 0{,}35 \times \frac{h}{f_{yv}} \end{pmatrix}$$

$$3{,}620 > \begin{pmatrix} 0{,}062 \times \sqrt{30} \times \frac{1000}{420} \\ 0{,}3 \times \frac{1000}{420} \end{pmatrix}$$

$$3{,}620 > \begin{pmatrix} 0{,}81 \\ 0{,}71 \end{pmatrix}$$

$$3{,}620 > 0{,}81\ mm^2/mm$$

4.10.1.8. Spasi dan Jarak Antar Kaki Sengkang Maksimum

Spasi Sengkang Tumpuan Maximum

$$S_{smax} = \begin{pmatrix} \frac{b}{4} \\ 6d_b \\ 100 \leq 100 + \frac{350 - x_{i,max}}{3} \leq 150 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \frac{1000}{4} \\ 6 \times 19 \\ 100 \leq 100 + \frac{350 - 187{,}5}{3} \leq 150 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 250 \\ 114 \\ 150 \end{pmatrix}$$

$$= 132 > 50\ mm$$

Spasi Sengkang Lapangan Maximum

$$S_{smax} = \begin{pmatrix} 6d_b \\ 150 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 6 \times 19 \\ 150 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 114 \\ 114 \end{pmatrix}$$

$$= 114 > 100\ mm$$

Jarak Antar Kaki Sengkang Max

$$x_{i,max} \leq 350\ mm$$

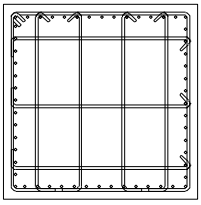
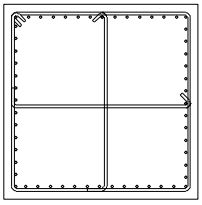
Jarak Antar Kaki Tumpuan X Max

$$x_{sx} = 187{,}5\ mm \leq 350\ mm$$

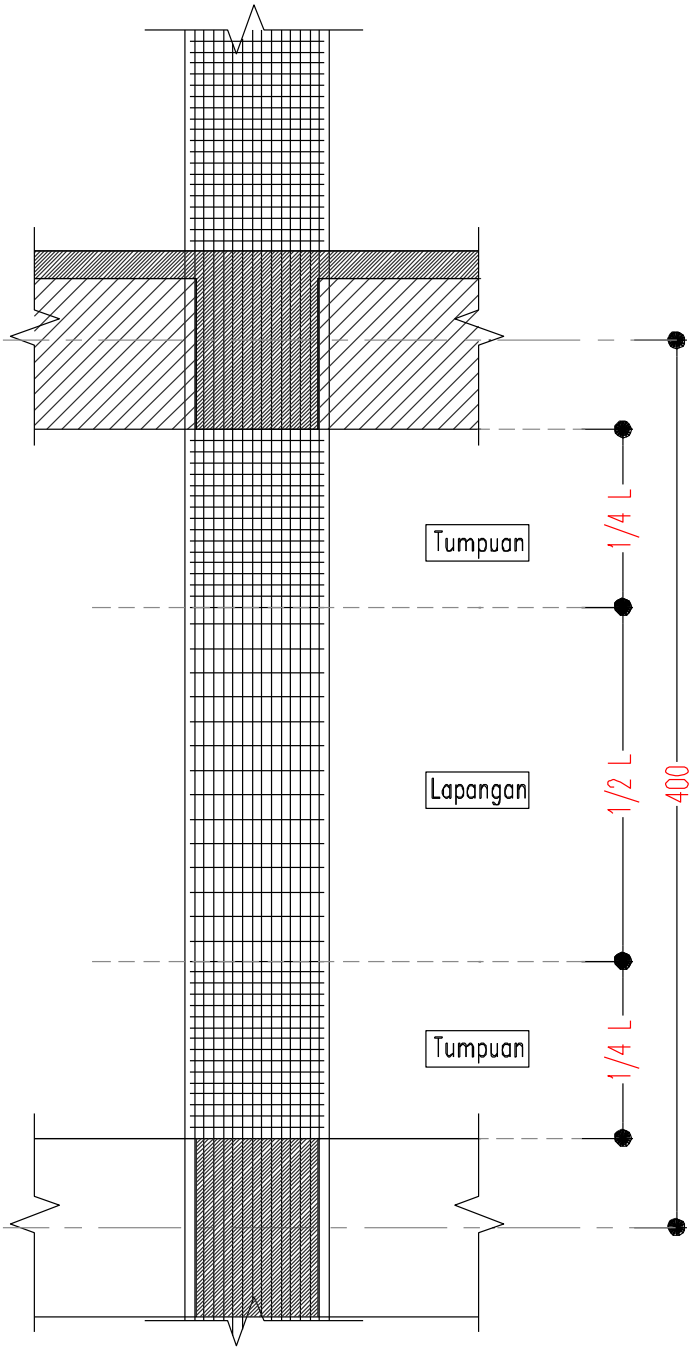
Jarak Antar Kaki Tumpuan Y Max

$x_{sy} = 187{,}5\ mm \leq 350\ mm$

4.10.1.9. Gambar Detail Tulangan Kolom

JENIS		KODE PENULANGAN	
		K1 (1000x1000)	
		Tumpuan (1/4 - L)	Lapangan (1/2 - L)
K1 (1000x1000)			
UKURAN		1000x1000	1000x1000
TULANGAN POKOK	ATAS	15-D19 mm	15-D19 mm
	BAWAH	15-D19 mm	15-D19 mm
TULANGAN EKTRA		26-D19 mm	26-D19 mm
JARAK SENGKANG		8D13-90 mm	3D12-150 mm

(a)



(b)

Gambar 4. 21. *(a), (b)* Gambar Detail Tulangan Kolom
Sumber : Data Analisis Pribadi

4.11. Hubungan Balok Kolom

4.11.1.1. Data Perencanaan

1. Kolom

Lebar Sisi 1	C_1	=	1000	mm
Lebar Sisi 2	C_2	=	1000	mm
Panjang Kolom	L_k	=	4000	mm
Selimut Bersih	$C_{c,k}$	=	40	mm
Tinggi Balok Terbesar	h_b	=	1000	mm
Panjang Bersih Kolom	$L_{n,k}$	=	3000	mm
Kuat Tekan Beton	$f_c{}'_{,k}$	=	30	MPa
Kuat Leleh Tulangan Longitudinal	$f_{y.k}$	=	420	MPa
Diameter Tulangan Longitudinal	$d_{b,k}$	=	19	mm
Diameter Tulangan Sengkang	$d_{s,k}$	=	13	mm
Jumlah Tulangan Longitudinal X	n_x	=	15	
Jumlah Tulangan Longitudinal Y	n_y	=	15	
Jumlah Total Tulangan Longitudinal	n_k	=	56	

2. Tulangan Transversal Joint

Jumlah Kaki Sengkang Arah X	$n_{v,x}$	=	7	
Jumlah Kaki Sengkang Arah Y	$n_{v,y}$	=	7	
Spasi Sengkang	s	=	100	mm
Kuat Leleh Tulangan Tansversal	f_{yv}	=	420	MPa

3. Balok 1

Lebar Balok	b_{b1}	=	700	mm

Tinggi Balok	h_{b1}	=	1000	mm
Panjang Balok	L_{b1}	=	8000	mm
Selimut Bersih Balok	$C_{c,b1}$	=	40	mm
Eksentrisitas Balok Terhadap Kolom	x_{1a}	=	150	mm
	x_{1b}	=	150	mm
Kuat Tekan Beton	$f_c{}'_{,b1}$	=	30	MPa
Kuat Leleh Tulangan Longitudinal	$f_{y,b1}$	=	420	MPa
Diameter Tulangan Longitudinal	$d_{b,b1}$	=	16	mm
Diameter Tulangan Sengkang	$d_{s,b1}$	=	12	mm
Jumlah Tulangan Atas Tumpuan Baris 1	$n_{t1,b1}$	=	11	
Jumlah Tulangan Atas Tumpuan Baris 2	$n_{t2,b1}$	=	7	
Jumlah Tulangan Bawah Tumpuan Baris 1	$n_{b1,b1}$	=	10	
Jumlah Tulangan Bawah Tumpuan Baris 2	$n_{b2,b1}$	=	6	
Spasi Tulangan Lapis 1 ke Lapis 2	$s_{12,b1}$	=	50	mm
Gaya Geser Gravitasi Tumpuan	$V_{g'tum,b1}$	=	-313,84	kN

4. Balok 2

Lebar Balok	b_{b1}	=	700	mm
Tinggi Balok	h_{b1}	=	1000	mm
Panjang Balok	L_{b1}	=	8000	mm
Selimut Bersih Balok	$C_{c,b1}$	=	40	mm
Eksentrisitas Balok Terhadap Kolom	x_{1a}	=	150	mm
	x_{1b}	=	150	mm
Kuat Tekan Beton	$f_c{}'_{,b1}$	=	30	MPa

Kuat Leleh Tulangan Longitudinal	$f_{y,b1}$	=	420	MPa
Diameter Tulangan Longitudinal	$d_{b,b1}$	=	16	mm
Diameter Tulangan Sengkang	$d_{s,b1}$	=	12	mm
Jumlah Tulangan Atas Tumpuan Baris 1	$n_{t1,b1}$	=	11	
Jumlah Tulangan Atas Tumpuan Baris 2	$n_{t2,b1}$	=	7	
Jumlah Tulangan Bawah Tumpuan Baris 1	$n_{b1,b1}$	=	10	
Jumlah Tulangan Bawah Tumpuan Baris 2	$n_{b2,b1}$	=	6	
Spasi Tulangan Lapis 1 ke Lapis 2	$s_{12,b1}$	=	50	mm
Gaya Geser Gravitasi Tumpuan	$V_{g'tum,b1}$	=	-313,84	kN

5. Balok 3

Lebar Balok	b_{b1}	=	70	mm
Tinggi Balok	h_{b1}	=	1000	mm
Panjang Balok	L_{b1}	=	8000	mm
Selimut Bersih Balok	$C_{c,b1}$	=	40	mm
Eksentrisitas Balok Terhadap Kolom	x_{1a}	=	150	mm
	x_{1b}	=	150	mm
Kuat Tekan Beton	$f_c{}'_{,b1}$	=	30	MPa
Kuat Leleh Tulangan Longitudinal	$f_{y,b1}$	=	420	MPa
Diameter Tulangan Longitudinal	$d_{b,b1}$	=	16	mm
Diameter Tulangan Sengkang	$d_{s,b1}$	=	12	mm
Jumlah Tulangan Atas Tumpuan Baris 1	$n_{t1,b1}$	=	11	
Jumlah Tulangan Atas Tumpuan Baris 2	$n_{t2,b1}$	=	7	
Jumlah Tulangan Bawah Tumpuan Baris 1	$n_{b1,b1}$	=	10	

Jumlah Tulangan Bawah Tumpuan Baris 2	$n_{b2,b1}$	=	6	
Spasi Tulangan Lapis 1 ke Lapis 2	$s_{12,b1}$	=	50	mm
Gaya Geser Gravitasi Tumpuan	$V_{g'tum,b1}$	=	-313,84	kN

6. Balok 4

Lebar Balok	b_{b1}	=	70	mm
Tinggi Balok	h_{b1}	=	1000	mm
Panjang Balok	L_{b1}	=	8000	mm
Selimut Bersih Balok	$C_{c,b1}$	=	40	mm
Eksentrisitas Balok Terhadap Kolom	x_{1a}	=	150	mm
	x_{1b}	=	150	mm
Kuat Tekan Beton	$f_c{}'_{,b1}$	=	30	MPa
Kuat Leleh Tulangan Longitudinal	$f_{y,b1}$	=	420	MPa
Diameter Tulangan Longitudinal	$d_{b,b1}$	=	16	mm
Diameter Tulangan Sengkang	$d_{s,b1}$	=	12	mm
Jumlah Tulangan Atas Tumpuan Baris 1	$n_{t1,b1}$	=	11	
Jumlah Tulangan Atas Tumpuan Baris 2	$n_{t2,b1}$	=	7	
Jumlah Tulangan Bawah Tumpuan Baris 1	$n_{b1,b1}$	=	10	
Jumlah Tulangan Bawah Tumpuan Baris 2	$n_{b2,b1}$	=	6	
Spasi Tulangan Lapis 1 ke Lapis 2	$s_{12,b1}$	=	50	mm
Gaya Geser Gravitasi Tumpuan	$V_{g'tum,b1}$	=	-313,84	kN

4.11.1.2. Dimensi Joint

Lebar Joint Sisi 1 (SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.3)

$$b_{j1} = min \begin{Bmatrix} b_{b1} + c_2 \\ b_{b2} + c_2 \\ b_{b1} + 2 \times X_{1,min} \\ b_{b2} + 2 \times X_{2,min} \end{Bmatrix}$$

$$= min \begin{Bmatrix} 700 + 1000 \\ 700 + 1000 \\ 700 + 2 \times 150 \\ 700 + 2 \times 150 \end{Bmatrix}$$

$$= min \begin{Bmatrix} 1700 \\ 1700 \\ 1000 \\ 1000 \end{Bmatrix}$$

$$= 1000\ mm$$

Lebar Joint Sisi 2 (SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.3)

$$b_{j1} = min \begin{Bmatrix} b_{b3} + c_1 \\ b_{b4} + c_1 \\ b_{b3} + 2 \times X_{3,min} \\ b_{b4} + 2 \times X_{4,min} \end{Bmatrix}$$

$$= min \begin{Bmatrix} 700 + 1000 \\ 700 + 1000 \\ 700 + 2 \times 150 \\ 700 + 2 \times 150 \end{Bmatrix}$$

$$= min \begin{Bmatrix} 1700 \\ 1700 \\ 1000 \\ 1000 \end{Bmatrix}$$

$$= 1000\ mm$$

Luas Joint (Arah Gempa 1)

$$A_{j1} = b_{j1} \times c_2$$

$$= 1000\ x\ 1000$$

$$= 1000000\ mm^2$$

Luas Joint (Arah Gempa 2)

$$A_{j2} = b_{j2} \times c_1$$

$= 1000\ x\ 1000$

$= 1000000\ mm^2$

Tinggi Joint Minimum

$h_{j,min} = \frac{h_b}{2} = \frac{1000}{2} = 500\ < 1000$

4.11.1.3. Kuat Geser Joint

Jumlah Balok Merangka	=	4
Jumlah Balok Mengekang	=	0
Ada Balok Berlawanan Sisi yang Mengekang?	=	Tidak
Konfigurasi Joint	=	3
Faktor Pengali Kekuatan Geser Joint	=	1

Kuat Geser Nominal Joint Gempa Arah 1 (SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1)

$V_{n,1} = c\ \times \sqrt{f_c'} \times A_{j,1}$

$= 1 \times \sqrt{25} \times 1000000$

$= 5000000\ N$

Kuat Geser Nominal Joint Gempa Arah 2 (SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1)

$V_{n,2} = c\ \times \sqrt{f_c'} \times A_{j,2}$

$= 1 \times \sqrt{25} \times 1000000$

$= 5000000\ N$

Faktor Reduksi Geser Joint

(SNI 2847:2019 Pasal 21.2.4.3) Ø = 0,85

Kuat Geser Tereduksi Joint Gempa Arah 1	$\emptyset V_{n,1}$	=	4250000 N
Kuat Geser Tereduksi Joint Gempa Arah 2	$\emptyset V_{n,2}$	=	4250000 N

4.11.1.4. Gaya Geser Joint

4.11.1.5. Gaya Geser Kontribusi Balok

Gaya Akibat Tulangan Atas Balok 1 (SNI2847:2019 Pasal 18.8.2.1)

$$F_{st,b1} = \left(A_{st1,b1} + A_{st2,b1}\right) \times 1{,}25\ f_{y,b1}$$

$$= (2211{,}68 + 1407{,}43) \times 1{,}25 \times 420$$

$$= 1900035{,}24\ N$$

Gaya Akibat Tulangan Bawah Balok 1

$$F_{sb,b1} = \left(A_{sb1,b1} + A_{sb2,b1}\right) \times 1{,}25\ f_{y,b1}$$

$$= (2010{,}62 + 1206{,}37) \times 1{,}25 \times 420$$

$$= 1688920{,}21\ N$$

Gaya Akibat Tulangan Atas Balok 2

$$F_{st,b2} = \left(A_{st1,b2} + A_{st2,b2}\right) \times 1{,}25\ f_{y,b2}$$

$$= (2211{,}68 + 1407{,}43) \times 1{,}25 \times 420$$

$$= 1900035{,}24\ N$$

Gaya Akibat Tulangan Bawah Balok 2

$$F_{sb,b2} = \left(A_{sb1,b2} + A_{sb2,b2}\right) \times 1{,}25\ f_{y,b2}$$

$$= (2010{,}62 + 1206{,}37) \times 1{,}25 \times 420$$

$$= 1688920{,}21\ N$$

Gaya Akibat Tulangan Atas Balok 3

$$F_{st,b3} = \left(A_{st1,b3} + A_{st2,b3}\right) \times 1{,}25\ f_{y,b3}$$

$$= (2211{,}68 + 1407{,}43) \times 1{,}25 \times 420$$

$= 1900035{,}24\ N$

Gaya Akibat Tulangan Bawah Balok 3

$F_{sb,b3} = \left(A_{sb1,b3} + A_{sb2,b3}\right) \times 1{,}25\ f_{y,b3}$

$= (2010{,}62 + 1206{,}37) \times 1{,}25 \times 420$

$= 1688920{,}21\ N$

Gaya Akibat Tulangan Atas Balok 4

$F_{st,b4} = \left(A_{st1,b4} + A_{st2,b4}\right) \times 1{,}25\ f_{y,b4}$

$= (2211{,}68 + 1407{,}43) \times 1{,}25 \times 420$

$= 1900035{,}24\ N$

Gaya Akibat Tulangan Bawah Balok 4

$F_{sb,b4} = \left(A_{sb1,b4} + A_{sb2,b4}\right) \times 1{,}25\ f_{y,b4}$

$= (2010{,}62 + 1206{,}37) \times 1{,}25 \times 420$

$= 1688920{,}21\ N$

4.11.1.6. Gaya Geser Kolom – Metode Column Hinging

1. Momen Probable Balok

Tinggi Blok Beton Probabel Negatif Balok 1

$a_{pr}^{-}{}_{b1} = \frac{\left(A_{st1,b1} + A_{st2,b1}\right) \times 1{,}25\ f_{y,b1}}{0{,}85 \times f_c{}'_{b1} \times b_1}$

$= \frac{1900035{,}24}{0{,}85 \times 25 \times 700}$

$= 127{,}73\ mm$

Momen Probable Negatif Balok 1

$$M_{pr}^{-}{}_{b1} = A_{st1,b1} \times 1{,}25\, f_{y,b1} \times \left(d_{1,b1} - \frac{a_{pr}^{-}{}_{b1}}{2}\right) + A_{st2,b1} \times 1{,}25\, f_{y,b1} \times \left(d_{2,b1} - \frac{a_{pr}^{-}{}_{b1}}{2}\right)$$

$$= 2211{,}68 \times 1{,}25 \times 420 \times \left(940 - \frac{127{,}73}{2}\right) + 1407{,}43 \times 1{,}25 \times 420 \times \left(890 \times \frac{127{,}73}{2}\right)$$

$$= 1627738954\ Nmm$$

Tinggi Blok Beton Probable Positif Balok 1

$$a_{pr}^{+}{}_{b1} = \frac{(A_{sb1,b1} + A_{sb2,b1}) \times 1{,}25\, f_{y,b1}}{0{,}85 \times f_{c'b1} \times b_1}$$

$$= \frac{1688920{,}21}{0{,}85 \times 25 \times 700}$$

$$= 113{,}54\ mm$$

Momen Probable Positif Balok 1

$$M_{pr}^{+}{}_{b1} = A_{sb1,b1} \times 1{,}25\, f_{y,b1} \times \left(d_{1,b1} - \frac{a_{pr}^{+}{}_{b1}}{2}\right) + A_{sb2,b1} \times 1{,}25\, f_{y,b1} \times \left(d_{2,b1} - \frac{a_{pr}^{+}{}_{b1}}{2}\right)$$

$$= 2010{,}62 \times 1{,}25 \times 420 \times \left(940 - \frac{113{,}54}{2}\right) + 1206{,}37 \times 1{,}25 \times 420 \times \left(890 \times \frac{113{,}54}{2}\right)$$

$$= 1460037022\ Nmm$$

Tinggi Blok Beton Probable Negatif Balok 2

$$a_{pr}^{-}{}_{b2} = \frac{(A_{st1,b2} + A_{st2,b2}) \times 1{,}25\, f_{y,b2}}{0{,}85 \times f_{c'b2} \times b_2}$$

$$= \frac{1900035{,}24}{0{,}85 \times 25 \times 700}$$

$$= 127{,}73\ mm$$

Momen Probable Negatif Balok 2

$$M_{pr}^{-}{}_{b2} = A_{st1,b2} \times 1{,}25\ f_{y,b2} \times \left(d_{1,b2} - \frac{a_{pr}^{-}{}_{b2}}{2}\right) + A_{st2,b2} \times 1{,}25\ f_{y,b2} \times \left(d_{2,b2} - \frac{a_{pr}^{-}{}_{b2}}{2}\right)$$

$$= 2211{,}68 \times 1{,}25 \times 420 \times \left(940 - \frac{127{,}73}{2}\right) + 1407{,}43 \times 1{,}25 \times 420 \times \left(890 \times \frac{127{,}73}{2}\right)$$

$$= 1627738954\ Nmm$$

Tinggi Blok Beton Probable Positif Balok 2

$$a_{pr}^{+}{}_{b2} = \frac{(A_{sb1,b2} + A_{sb2,b2}) \times 1{,}25\ f_{y,b2}}{0{,}85 \times f_{c'b2} \times b_2}$$

$$= \frac{1688920{,}21}{0{,}85 \times 25 \times 700}$$

$$= 113{,}54\ mm$$

Momen Probable Positif Balok 2

$$M_{pr}^{+}{}_{b2} = A_{sb1,b2} \times 1{,}25\ f_{y,b2} \times \left(d_{1,b2} - \frac{a_{pr}^{+}{}_{b2}}{2}\right) + A_{sb2,b2} \times 1{,}25\ f_{y,b2} \times \left(d_{2,b2} - \frac{a_{pr}^{+}{}_{b2}}{2}\right)$$

$$= 2010{,}62 \times 1{,}25 \times 420 \times \left(940 - \frac{113{,}54}{2}\right) + 1206{,}37 \times 1{,}25 \times 420 \times \left(890 \times \frac{113{,}54}{2}\right)$$

$$= 1460037022\ Nmm$$

Tinggi Blok Beton Probable Negatif Balok 3

$$a_{pr}^{-}{}_{b3} = \frac{(A_{st1,b3} + A_{st2,b3}) \times 1{,}25\ f_{y,b3}}{0{,}85 \times f_{c'b3} \times b_3}$$

$$= \frac{1900035,24}{0,85 \times 25 \times 700}$$

$$= 127,73\ mm$$

Momen Probable Negatif Balok 3

$$M_{pr}^{-}{}_{b3} = A_{st1,b3} \times 1,25\ f_{y,b3} \times \left(d_{1,b3} - \frac{a_{pr}^{-}{}_{b3}}{2}\right) + A_{st2,b3} \times 1,25\ f_{y,b3} \times \left(d_{2,b3} - \frac{a_{pr}^{-}{}_{b3}}{2}\right)$$

$$= 2211,68 \times 1,25 \times 420 \times \left(940 - \frac{127,73}{2}\right) + 1407,43 \times 1,25 \times 420 \times \left(890 \times \frac{127,73}{2}\right)$$

$$= 1627738954\ Nmm$$

Tinggi Blok Beton Probable Positif Balok 3

$$a_{pr}^{+}{}_{b3} = \frac{(A_{sb1,b3} + A_{sb2,b3}) \times 1,25\ f_{y,b3}}{0,85 \times f_{c'b3} \times b_3}$$

$$= \frac{1688920,21}{0,85 \times 25 \times 700}$$

$$= 113,54\ mm$$

Momen Probable Positif Balok 3

$$M_{pr}^{+}{}_{b3} = A_{sb1,b3} \times 1,25\ f_{y,b3} \times \left(d_{1,b3} - \frac{a_{pr}^{+}{}_{b3}}{2}\right) + A_{sb2,b3} \times 1,25\ f_{y,b3} \times \left(d_{2,b3} - \frac{a_{pr}^{+}{}_{b3}}{2}\right)$$

$$= 2010,62 \times 1,25 \times 420 \times \left(940 - \frac{113,54}{2}\right) + 1206,37 \times 1,25 \times 420 \times \left(890 \times \frac{113,54}{2}\right)$$

$$= 1460037022\ Nmm$$

Tinggi Blok Beton probable Negatif Balok 4

$$a_{pr}^{-}{}_{b4} = \frac{(A_{st1,b4} + A_{st2,b4}) \times 1,25\ f_{y,b4}}{0,85 \times f_{c'b4} \times b_4}$$

$$= \frac{1900035,24}{0,85 \times 25 \times 700}$$

$$= 127,73\ mm$$

Momen Probable Negatif Balok 4

$$M_{pr}^{-}{}_{b4} = A_{st1,b4} \times 1,25\ f_{y,b4} \times \left(d_{1,b4} - \frac{a_{pr}^{-}{}_{b4}}{2}\right) + A_{st2,b4} \times 1,25\ f_{y,b4} \times \left(d_{2,b4} - \frac{a_{pr}^{-}{}_{b4}}{2}\right)$$

$$= 2211,68 \times 1,25 \times 420 \times \left(940 - \frac{127,73}{2}\right) + 1407,43 \times 1,25 \times 420 \times \left(890 \times \frac{127,73}{2}\right)$$

$$= 1627738954\ Nmm$$

Tinggi Blok Beton Probable Positif Balok 4

$$a_{pr}^{+}{}_{b4} = \frac{(A_{sb1,b4} + A_{sb2,b4}) \times 1,25\ f_{y,b4}}{0,85 \times f_{c'b4} \times b_4}$$

$$= \frac{1688920,21}{0,85 \times 25 \times 700}$$

$$= 113,54\ mm$$

Momen Probable Positif Balok 4

$$M_{pr}^{+}{}_{b4} = A_{sb1,b4} \times 1,25\ f_{y,b4} \times \left(d_{1,b4} - \frac{a_{pr}^{+}{}_{b4}}{2}\right) + A_{sb2,b4} \times 1,25\ f_{y,b4} \times \left(d_{2,b4} - \frac{a_{pr}^{+}{}_{b4}}{2}\right)$$

$$= 2010,62 \times 1,25 \times 420 \times \left(940 - \frac{113,54}{2}\right) + 1206,37 \times 1,25 \times 420 \times \left(890 \times \frac{113,54}{2}\right)$$

$$= 1460037022\ Nmm$$

2. Gaya Geser Balok

Gaya Geser Probable Balok 1

$$V_{pr,b1} = \frac{M_{pr}^{-}{}_{b1} + M_{pr}^{+}{}_{b1}}{L_{n,b1}} = \frac{1627738954 + 1460037022}{7000}$$

$$= 441110{,}85\ Nmm$$

Gaya Geser Desain Balok 1

$$V_{e,b1} = V_{g,tum,b1} + V_{pr,b1} = -313839{,}8 + 441110{,}85$$

$$= 127271{,}05\ N$$

Gaya Geser Probable Balok 2

$$V_{pr,b2} = \frac{M_{pr}^{-}{}_{b2} + M_{pr}^{+}{}_{b2}}{L_{n,b2}} = \frac{1627738954 + 1460037022}{7000}$$

$$= 441110{,}85\ Nmm$$

Gaya Geser Desain Balok 2

$$V_{e,b2} = V_{g,tum,b2} + V_{pr,b2} = -313839{,}8 + 441110{,}85$$

$$= 127271{,}05\ N$$

Gaya Geser Probable Balok 3

$$V_{pr,b3} = \frac{M_{pr}^{-}{}_{b3} + M_{pr}^{+}{}_{b3}}{L_{n,b3}} = \frac{1627738954 + 1460037022}{7000}$$

$$= 441110{,}85\ Nmm$$

Gaya Geser Desain Balok 3

$$V_{e,b3} = V_{g,tum,b3} + V_{pr,b3} = -313839{,}8 + 441110{,}85$$

$$= 127271{,}05\ N$$

Gaya Geser Probable Balok 4

$$V_{pr,b4} = \frac{M_{pr}^{-}{}_{b4} + M_{pr}^{+}{}_{b4}}{L_{n,b4}} = \frac{1627738954 + 1460037022}{7000}$$

$$= 441110{,}85\ Nmm$$

Gaya Geser Desain Balok 4

$$V_{e,b4} = V_{g,tum,b4} + V_{pr,b4} = -313839{,}8 + 441110{,}85$$

$= 127271{,}05\ N$

3. Gaya Geser Kolom

Gaya Geser Kolom Gempa Arah 1+

$$V_{col,1+} = \frac{\left(\mathrm{M}_{pr}{}^{-}{}_{b1} + \mathrm{M}_{pr}{}^{+}{}_{b2}\right) + \left(V_{e,b1} + V_{e,b2}\right) \times c_2/2}{L_{n,k}}$$

$= 1071682{,}34\ N$

Gaya Geser Kolom Gempa Arah 1-

$$V_{col,1-} = \frac{\left(\mathrm{M}_{pr}{}^{+}{}_{b1} + \mathrm{M}_{pr}{}^{-}{}_{b2}\right) + \left(V_{e,b1} + V_{e,b2}\right) \times c_2/2}{L_{n,k}}$$

$= 1071682{,}34\ N$

Gaya Geser Kolom Gempa Arah 2+

$$V_{col,2+} = \frac{\left(\mathrm{M}_{pr}{}^{-}{}_{b3} + \mathrm{M}_{pr}{}^{+}{}_{b4}\right) + \left(V_{e,b3} + V_{e,b4}\right) \times c_1/2}{L_{n,k}}$$

$= 1071682{,}34\ N$

Gaya Geser Kolom Gempa Arah 2-

$$V_{col,2-} = \frac{\left(\mathrm{M}_{pr}{}^{+}{}_{b3} + \mathrm{M}_{pr}{}^{-}{}_{b4}\right) + \left(V_{e,b3} + V_{e,b4}\right) \times c_1/2}{L_{n,k}}$$

$= 1071682{,}34\ N$

4.11.1.7. Tulangan Transversal Joint

Luas per Spasi Sengkang X Terpasang

$$\frac{A_{sh,x}}{s} = \frac{A_{v,x}}{s} = \frac{929{,}13}{100} = 9{,}291\ {mm^2}/{mm}$$

Luas per Spasi Sengkang Y Terpasang

$$\frac{A_{sh,y}}{s} = \frac{A_{v,y}}{s} = \frac{929{,}13}{100} = 9{,}291\ {mm^2}/{mm}$$

Lebar Inti Beton

$b_c = c_1 + 2\ c_c + d_s = 907\ mm$

Panjang Inti Beton

$h_c = c_2 + 2\ c_c + d_s = 907\ mm$

Luas Inti Beton

$A_{ch} = b_c \times h_c = 822649\ mm$

Tulangan Transversal Pengekang Perlu

(SNI 2847:2019 tabel 18.8.3.2)

(SNI 2847:2019 tabel 18.7.5.4)

$$= \begin{Bmatrix} 0{,}09 \times \dfrac{f_c{}'}{f_{yv}} \\ 0{,}3 \times \left(\dfrac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \times \dfrac{f_c{}'}{f_{yv}} \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{Bmatrix} 0{,}09 \times \dfrac{25}{420} \\ 0{,}3 \times \left(\dfrac{1000000}{822649} - 1\right) \times \dfrac{25}{420} \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{Bmatrix} 0{,}00536 \\ 0{,}00385 \end{Bmatrix}$$

$$= 0{,}0536$$

Faktor Pengali Kebutuhan Tulangan Transversal = 1

(SNI 2847:2019 pasal 18.8.3.2)

Tulangan Transversal Pengekang X = $\dfrac{A_{sh,x}}{s\ h_c}$

(SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4)

= 0,01024 > 0,00536 OK

Jarak Antar Kaki Terbesar = $188\ mm < 350\ mm$ OK

(SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2) = $188\ mm < 350\ mm$ OK

Spasi Sengkang Maksimum

(SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3)

$$= \begin{Bmatrix} \frac{b}{4} \\ 6\,d_b \\ 100 \leq 100 + \frac{350 - X_{i,max}}{3} \leq 150 \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{Bmatrix} \frac{1000}{4} \\ 6\ \times 19 \\ 100 \leq 100 + \frac{350 - 188}{3} \leq 150 \end{Bmatrix}$$

Jika Joint Terkekang 4 Balok,

$s_{max}\ = 150\ mm$

$$= \begin{Bmatrix} 250 \\ 114 \\ 150 \end{Bmatrix}$$

(SNI 2847:2019 pasal 18.8.3.2)

$= 114\ mm > 100\ mm$ OK

BAB V

PENUTUP

5.1.Kesimpulan

1. Sistem struktur yang digunakan pada perencanaan Gedung Fakultas Teknik sesuai nilai parameter Sds 0,734 g dan nilai parameter kategori resiko gedung IV maka Sistem Struktur yang dipakai adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sistem ini dipilih karena mampu memberikan daktilitas tinggi dan ketahanan terhadap beban gempa, mengingat lokasi pembangunan berada pada wilayah Sesar Sorong yang memiliki aktivitas seismik tinggi.
2. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur mampu memenuhi persyaratan kinerja gedung terhadap beban gempa, struktur gedung mampu memenuhi persyaratan Story Drift tampa melewati nilai batas maksimum (Drift Limit) sebesar 30.769 mm dengan nilai Story Drift lantai 2 sebesar 1.749 mm, lantai 3 sebesar 4.428 mm, lantai 4 sebesar 8.903, lantai 5 sebesar 13.347 mm, lantai 6 sebesar 17.170 mm, lantai 7 sebesar 19.308 mm, lantai 8 sebesar 21.115 mm. Serta tidak melewati nilai batas maksimal P-Delta Effect sebesar 0.09 dengan nilai koefisien stabilitas lantai 2 sebesar 0.004, lantai 3 sebesar 0.008, lantai 4 sebesar 0.007, lantai 5 sebesar 0.005, lantai 6 sebesar 0.003, lantai 7 sebesar 0.001 dan lantai 8 sebesar 0.0008.
3. Berdasarkan analisis pembebanan dan desain tulangan pada SNI 2847:2019, diperoleh dimensi elemen struktur yang memenuhi syarat kekuatan dan keamanan, yaitu Kolom utama (K1): 1000 mm

× 1000 mm dengan tulangan pokok 15D19 dan sengkang 7D13–90 mm (tumpuan) serta 3D12–150 mm (lapangan). Balok utama (B1): 700 mm × 1000 mm dengan tulangan pokok bervariasi sesuai kebutuhan momen di tumpuan dan lapangan, serta sengkang 3Ø12–90 mm (tumpuan) dan 3Ø12–150 mm (lapangan). Dimensi dan penulangan tersebut dinyatakan aman secara analisis terhadap kombinasi pembebanan gempa dan beban gravitasi.

Gambar detail penulangan kolom dan balok dibuat berdasarkan hasil desain. Detail struktur mengikuti ketentuan detailing daktilitas tinggi pada persyaratan sistem struktur SRPMK meliputi tulangan pokok (longitudinal), tulangan ekstra, tipe sengkang dan jarak sengkang, dan konfigurasi penulangan pada daerah tumpuan dan lapangan.

5.2.Saran

1. Perhitungan analisis struktur pada penelitian ini menggunakan beberapa asumsi pembebanan. Oleh karena itu, disarankan dilakukan input beban yang lebih spesifik lagi pada penelitian sejenis kedepannya dan melakukan analisis struktur lanjutan seperti *pushover analysis* atau *time-history analysis* untuk mendapatkan gambaran kinerja struktur secara lebih detail terhadap gempa besar.
2. Perencanaan ini hanya mencakup elemen utama berupa balok dan kolom. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan studi ini dengan menambahkan analisis elemen struktur lainnya, seperti pelat, tangga, pondasi, dan dinding geser, agar desain menjadi lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

Antonius. (2021). PERILAKU DASAR DAN DESAIN BETON BERTULANG BERDASARKAN SNI-2847-2019. Semarang: UNISSULA PRESS.

BSN. (2019). SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung. Jakarta: Badan Strandarisasi Nasional.

BSN. (2019). SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

BSN. (2020). SNI-1727 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait. Jakarta: Badan Strandarisasi Nasional.

Damanik, A. O., Wibowo, A. A., Wibowo, H., & Arni, Y. (2018). Perencanaan Gedung Rumah Sakit Siloam Semarang. Jurnal Karya Teknik Sipil, 7(1), 32.

Dunn, W. N. (1981). Public Policy Analysis AndIntroduction. USA: Prentice .

El-Reedy, M. A., John, W., & Sons. (1993). Advanced Materials and Techniques for Reinforced Concrete Structure. New York.

Hoedajanto, D., & Imran, I. (2002). The Practice of Concrete Engineerung in Indonesia. Proceedings of Asian Concrete Forum Symposium, (pp. pp.107-113). Seoul,Korea.

Ian, A. M. (1990). Analytical Modelling of Structural Systems: an entirely New Approach Emphasis on The Behaviour of Building Structires,Ellis Horwood. England.

Imran, I., & Hendrik, F. (2019). Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB Press.

Indonesia. (n.d.). Undang-Undang Nomor 44 Tahun 2009 Tentang Rumah Sakit.

Karisoh, P. H., Dapas, S. O., & Pandeleke, R. (2018). Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Jurnal Sipil Statik, 6(6), 362.

Kurniati, D. (2020). Desain dan Perencanaan Plat dan Balok (1 ed.). (A. H. Pamungkas, & P. Ramadani, Eds.) padang: PACE.

KURNIAWAN, E., A, N. M., A, W. D., S, A. B., & A, A. G. (2024). MODUL KONSEP DAN CONTOH PERHITUNGAN PENULANGAN SRPMK UNTUK ELEMEN KOLOM. SURABAYA: DEPARTEMEN TEKNIK SOPIL FAKULTAS VOKASI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER.

Lesmana, Y. (2020). Handbook Desain Struktur Beton Bertulang Bedasarkan SNI 2847-2019. Makassar: Nas media.

Lesmana, Yudha. (2020). Handbook Prosedur Beban Gempa Struktur Bangunan Gedung Bedasarkan SNI 1726-2019. Makassar: Nas Media Perkasa.

Mulyono, T. (2004). Teknologi Beton. Yogyakarta: Andi.

NASIONAL, T. P. (2021). PETA SUMBER DAN BAHAYA GEMPA INDONESIA TAHUN 2017. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman.

Nawy. (1990). Beton Bertulang-Suatu Pendekatan Dasar. Jakarta: Elangga.

Nugroho, G., & Yusuf, E. (2022). MODUL PRAKTIKUM PERANCANGAN STRUKTUR. YOGYAKARTA: PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYA KARTA.

Pandaleke, S., Handono, B. D., & Dapas, S. O. (2019). Perencanaan Ulang Bangunan Struktur Baja Rumah Sakit Umum Ratumbuysang di Kota Manado. Jurnal Sipil Statik, 7(6), 723.

Pawirodikromo, W. (2012). Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan. Yogyakarta: Pustaka Belajar.

Prasetyo, D., Pujaningtyas, N. S., Kristiawan, A., & Suwandi, P. A. (2019). Analisis Perencanaan Struktur Gedung Lab School SMA Pgri Semarang. Jurnal Ilmiah Teknosains, 5(1), 57.

Pratama, A., Amandani, J. O., wibowo, H., & Sabdono, P. (2018). Perencanaan Struktur Gedung Kuliah Fakultas Ekonomi UNNES Semarang. Jurnal Karya Teknik Sipil, 7(1), 178.

Saputra, A., & Firmanto, A. (2016). Analisis Struktur Rumah sakit Permata Cirebon. Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur, 6(6), 566.

Saputra, A., & Firmanto, A. (2017). Analisis Struktur Rumah Sakit Permata Cirebon. Jurnal Konstruksi, 6(6), 567.

Schodek, L. D. (1998). Struktur. Bandung: Refika Aditama.

Setioadi, K., Prawoto, D. A., Partono, W., & Wibowo, H. (2016). Perencanaan Struktur Semarang Medical Center Hospital Jalan KH. Ahmad Dahlan Semarang. Jurmal Karya Teknik Sipil, 5(2), 57.

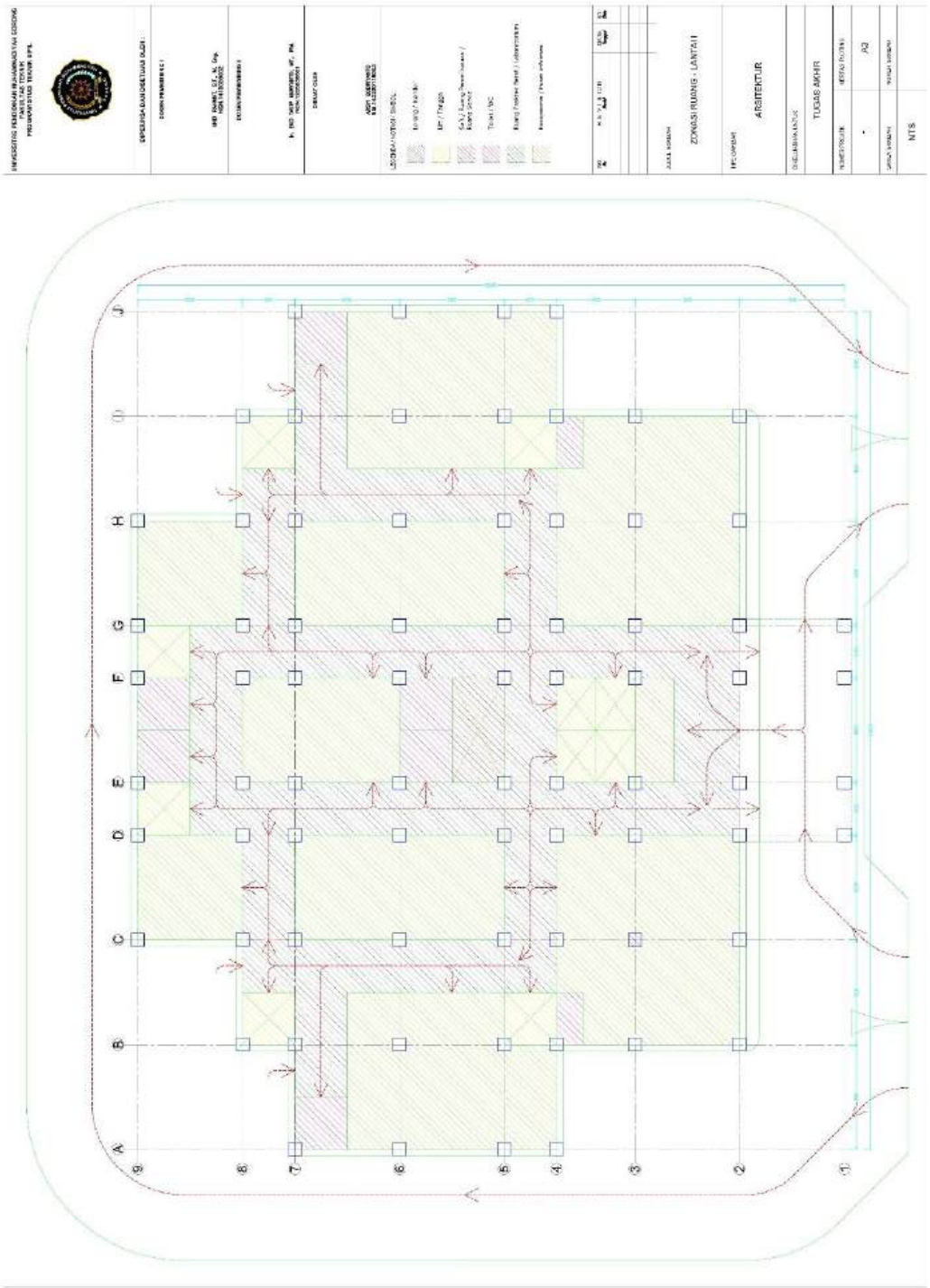
Suparto, Surono, & Putranto, E. T. (2014). KATALOG GEMPA BUMI MERUSAK DI INDONESIA TAHUN 1612-2014. BANDUNG, INDONESIA: PUSAT VULKANOLOGI DAN MITIGASI BENCANA GEOLOGI- KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL.

Tampubolon, S. P. (2022). Struktur Beton I. Jakarta: UKI Press.

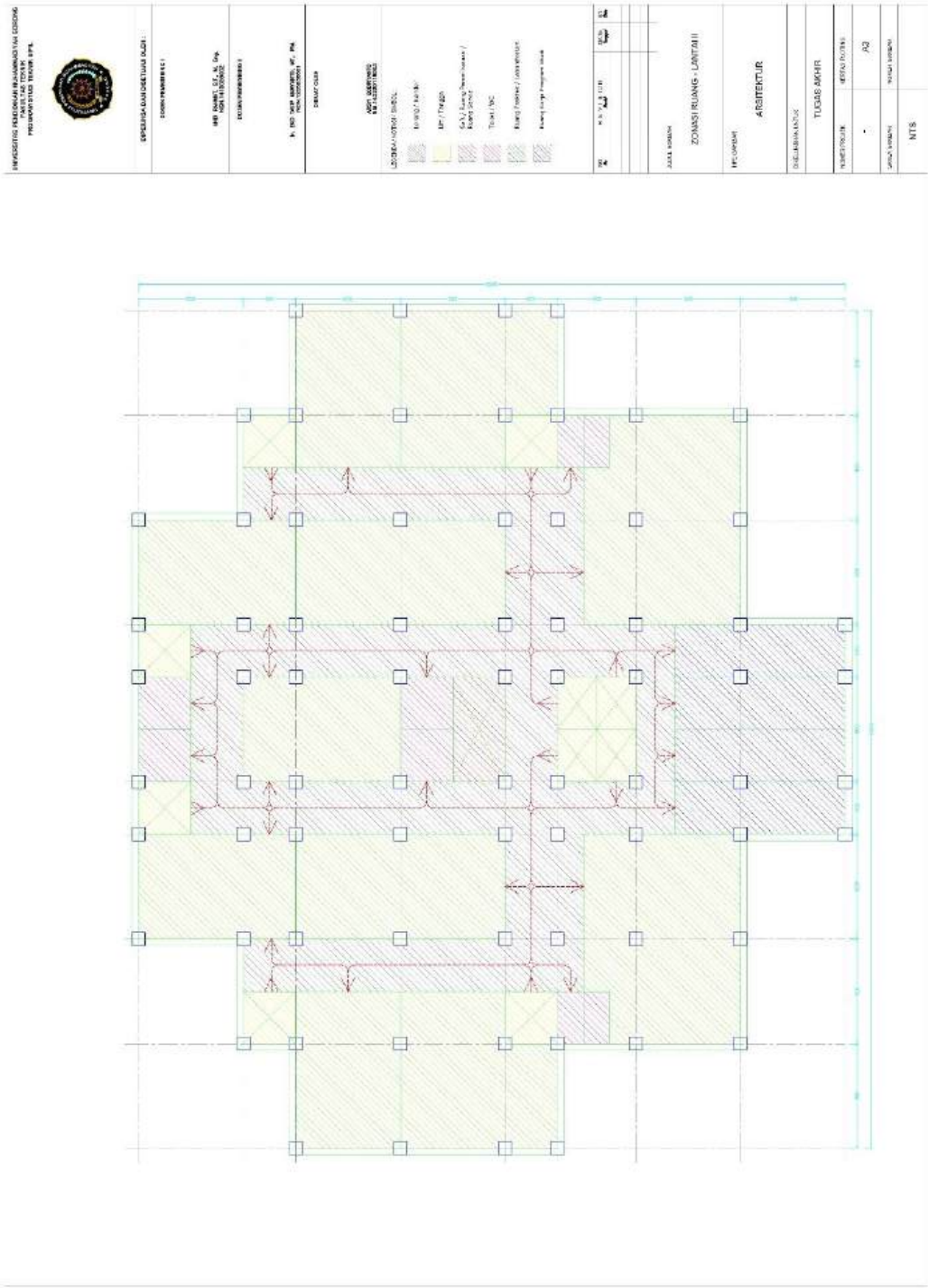
Tavio, & Wijaya, U. (2018). Desain Rekayasa Gempa Berbasih Kinerja (Performance Based Design). Yogyakarta: Andi.

LAMPIRAN

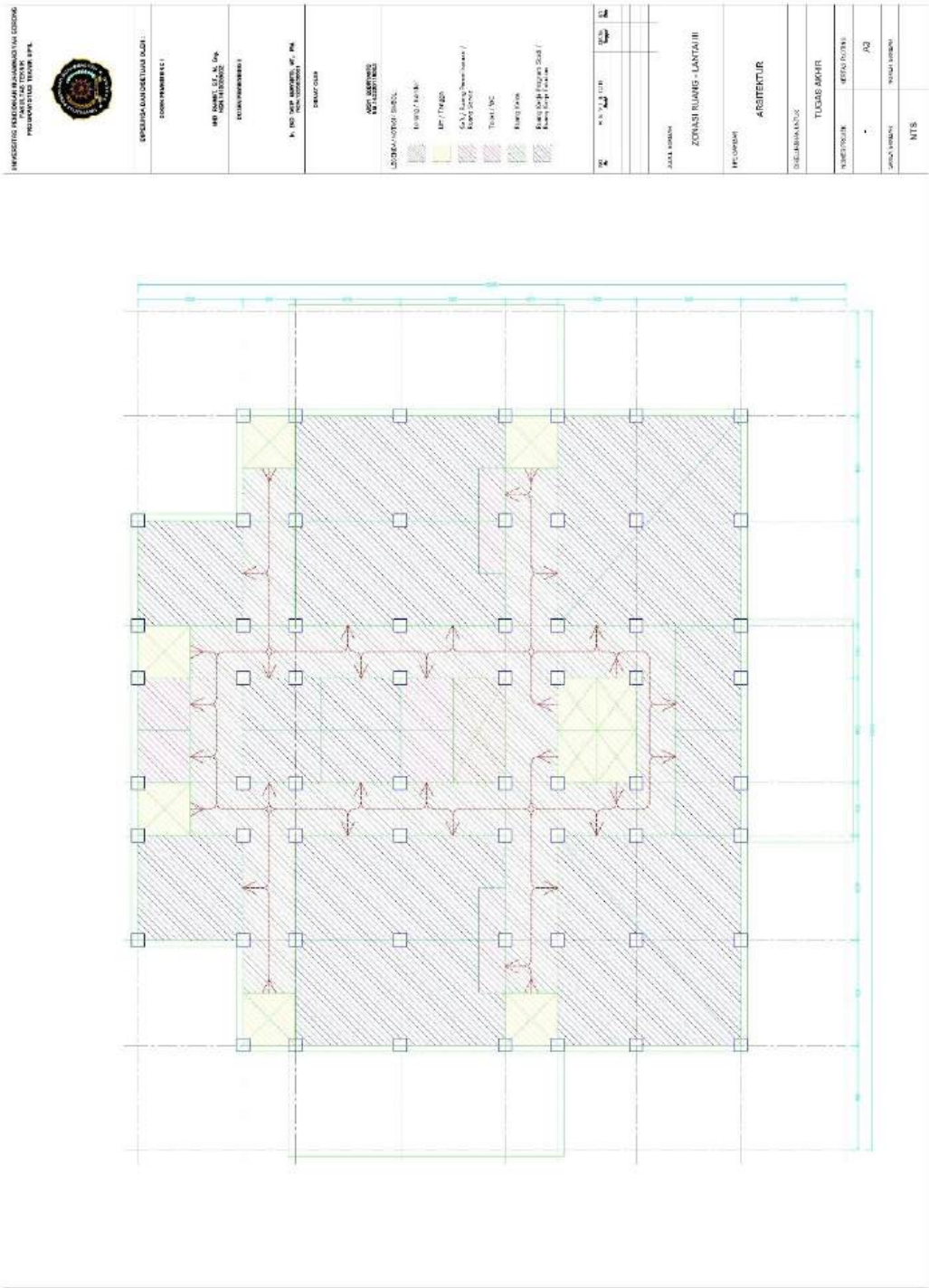
Lampiran 1 Zonasi Ruang Lantai 1



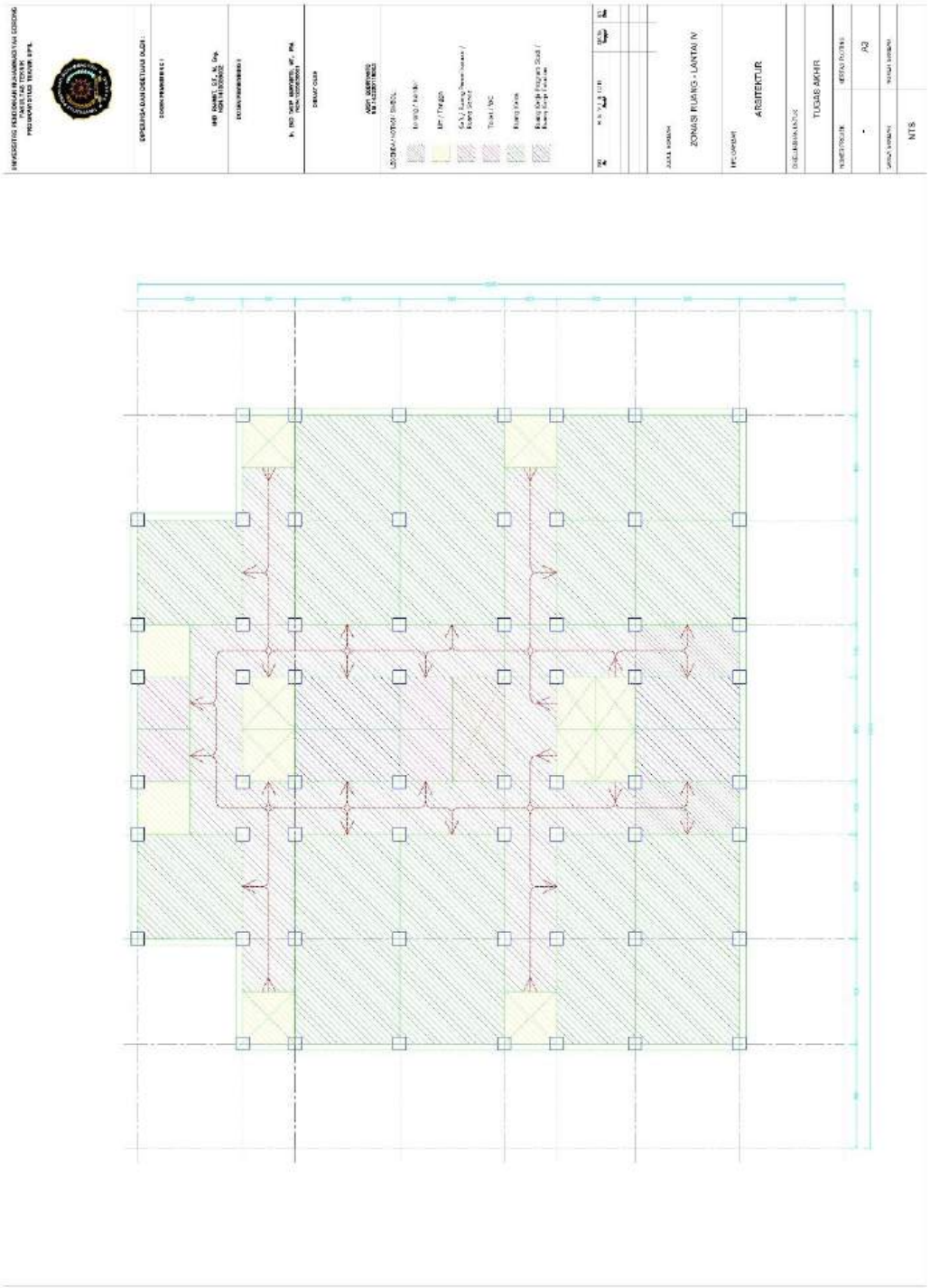
Lampiran 2 Zonasi Ruang Lantai 2



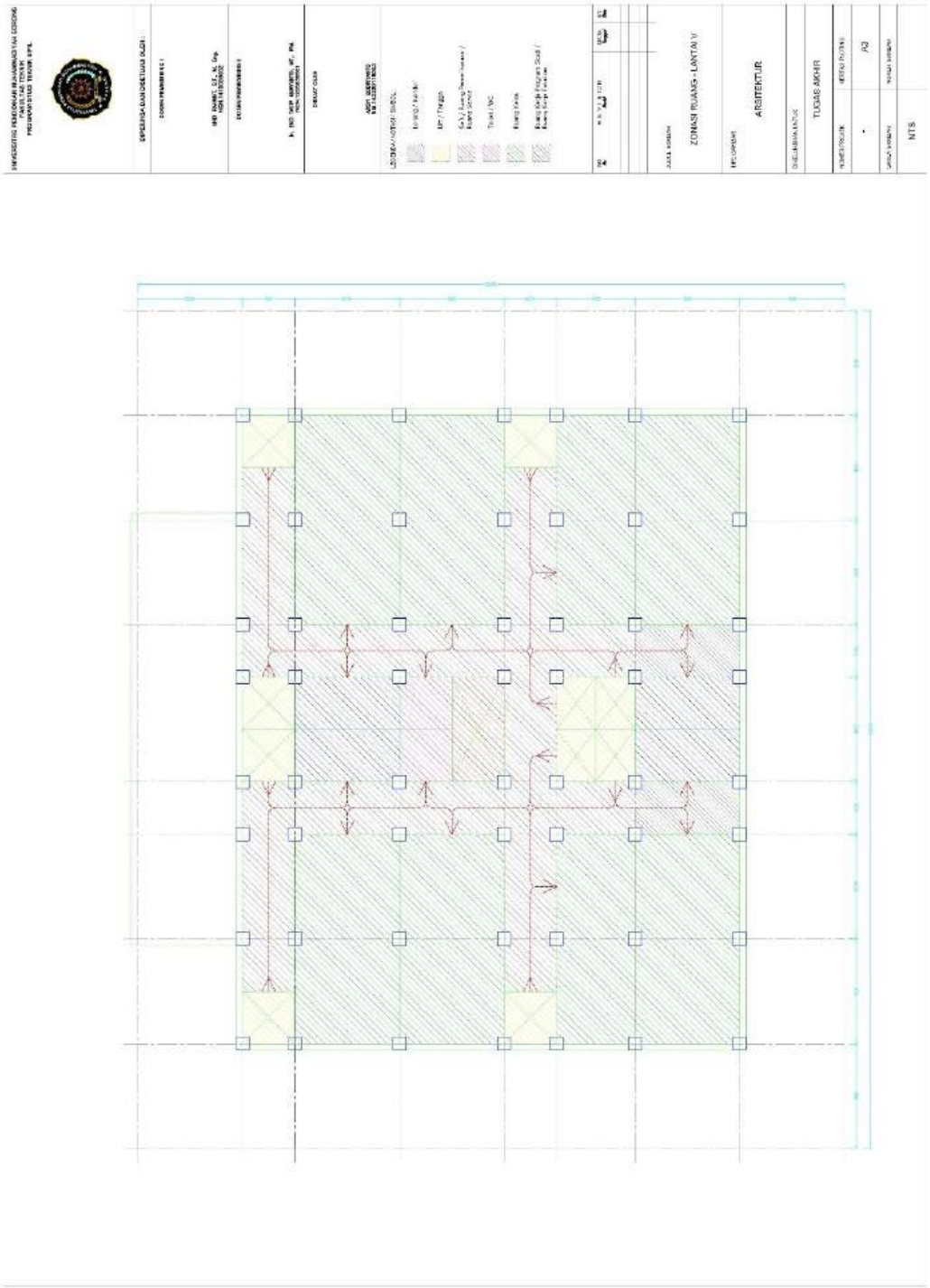
Lampiran 3 Zonasi Ruang Lantai 3



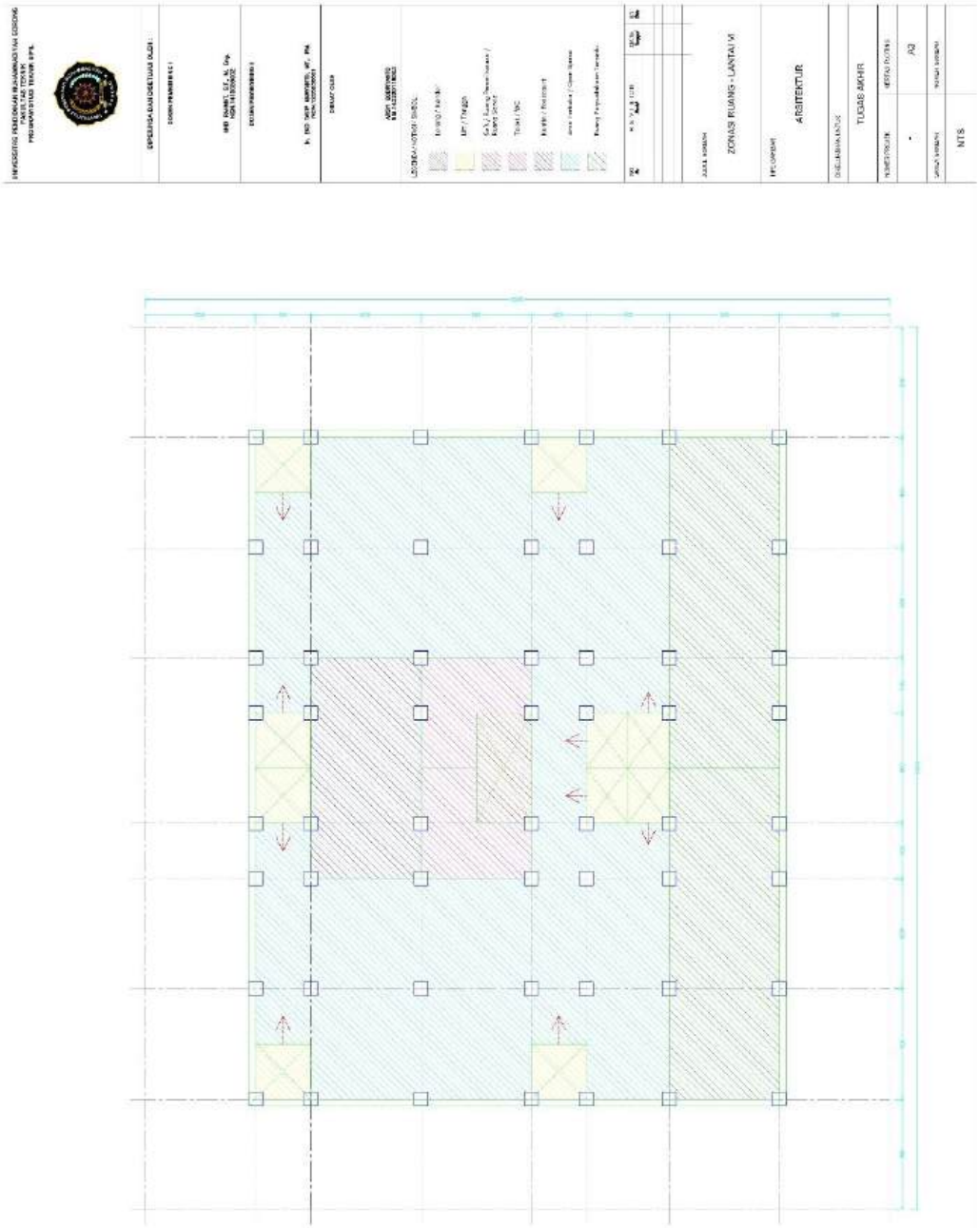
Lampiran 4 Zonasi Ruang Lantai 4



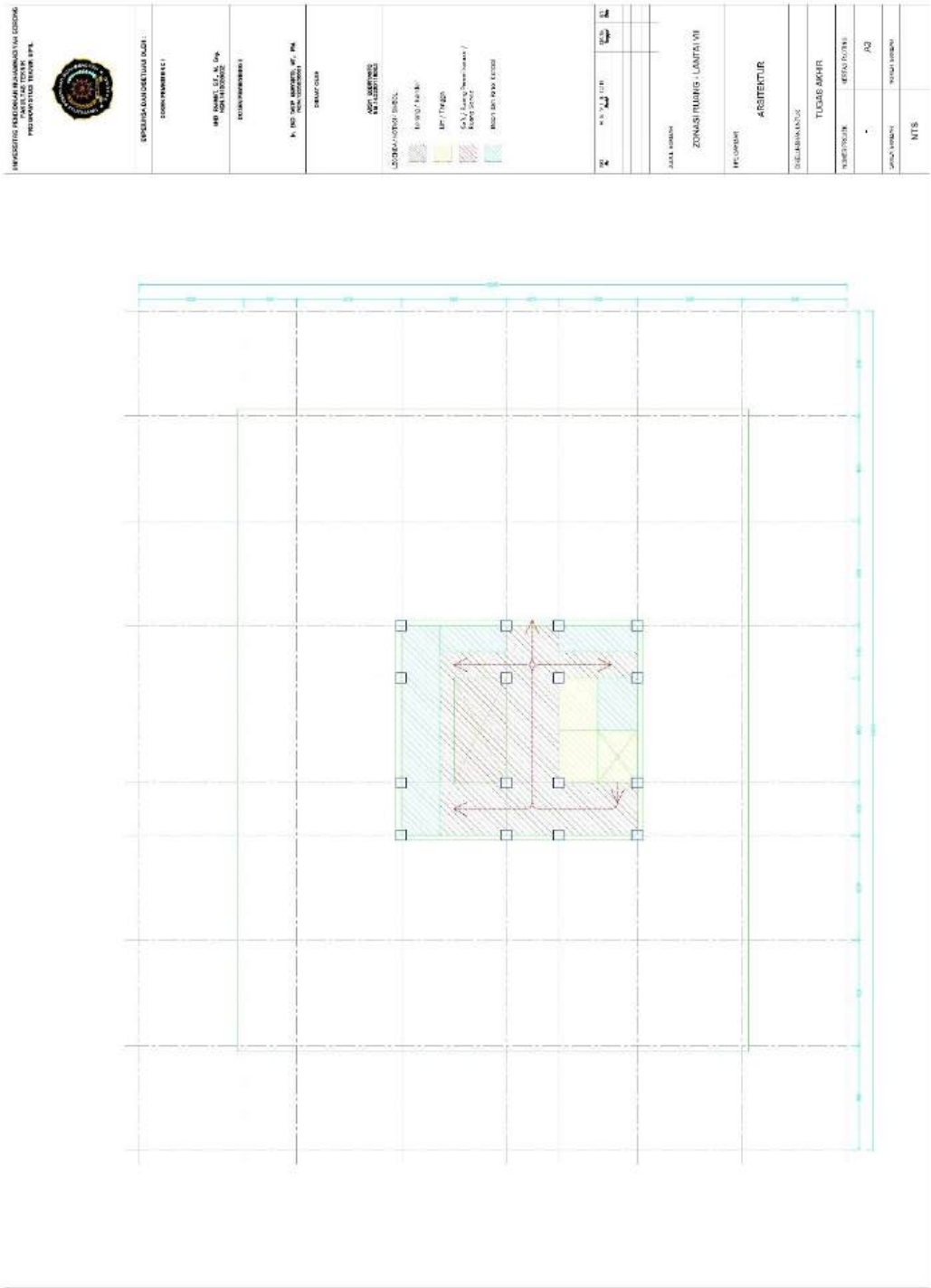
Lampiran 5 Zonasi Ruang Lantai 5



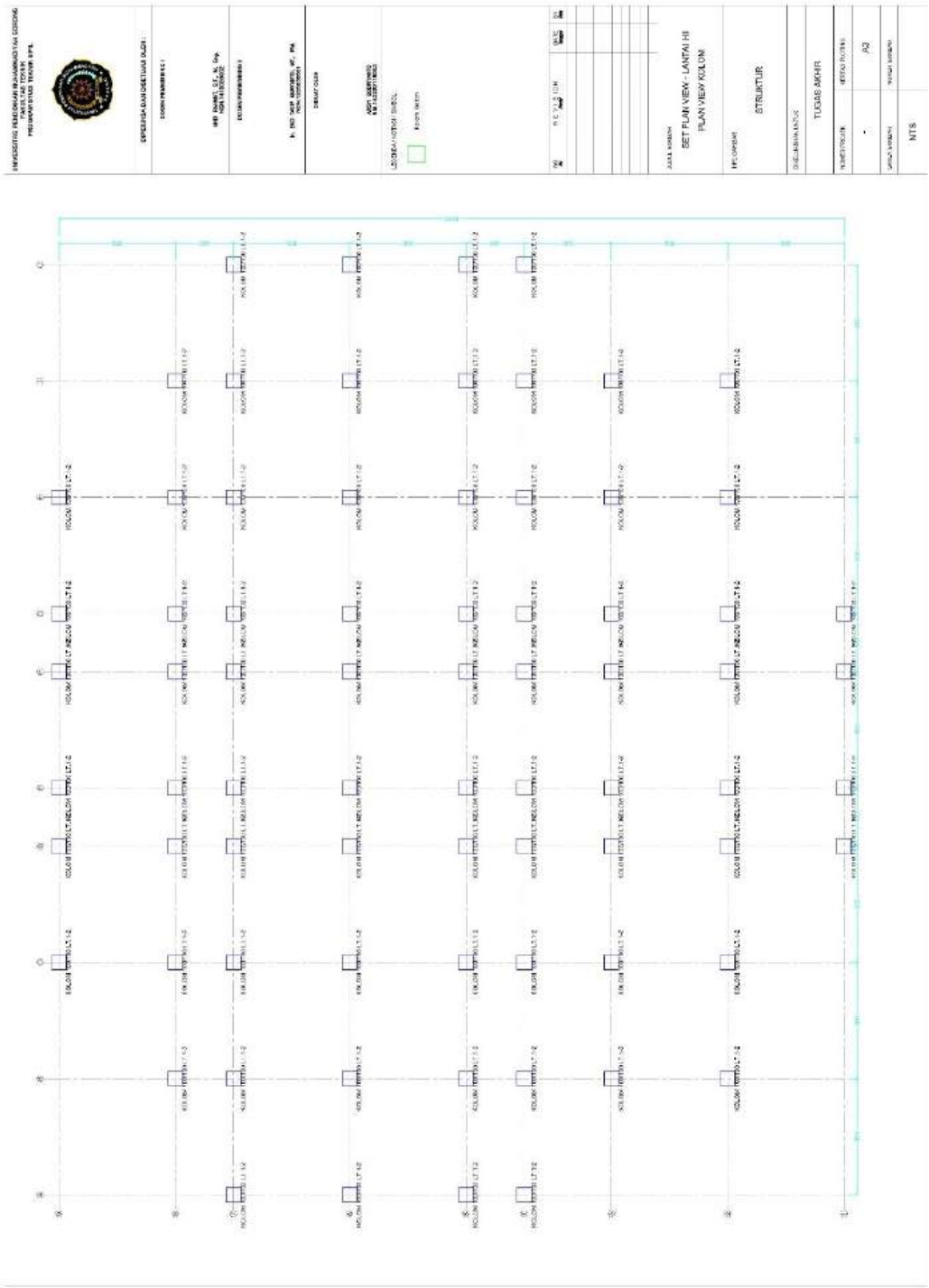
Lampiran 6 Zonasi Ruang Lantai 6



Lampiran 7 Zonasi Ruang Lantai 7

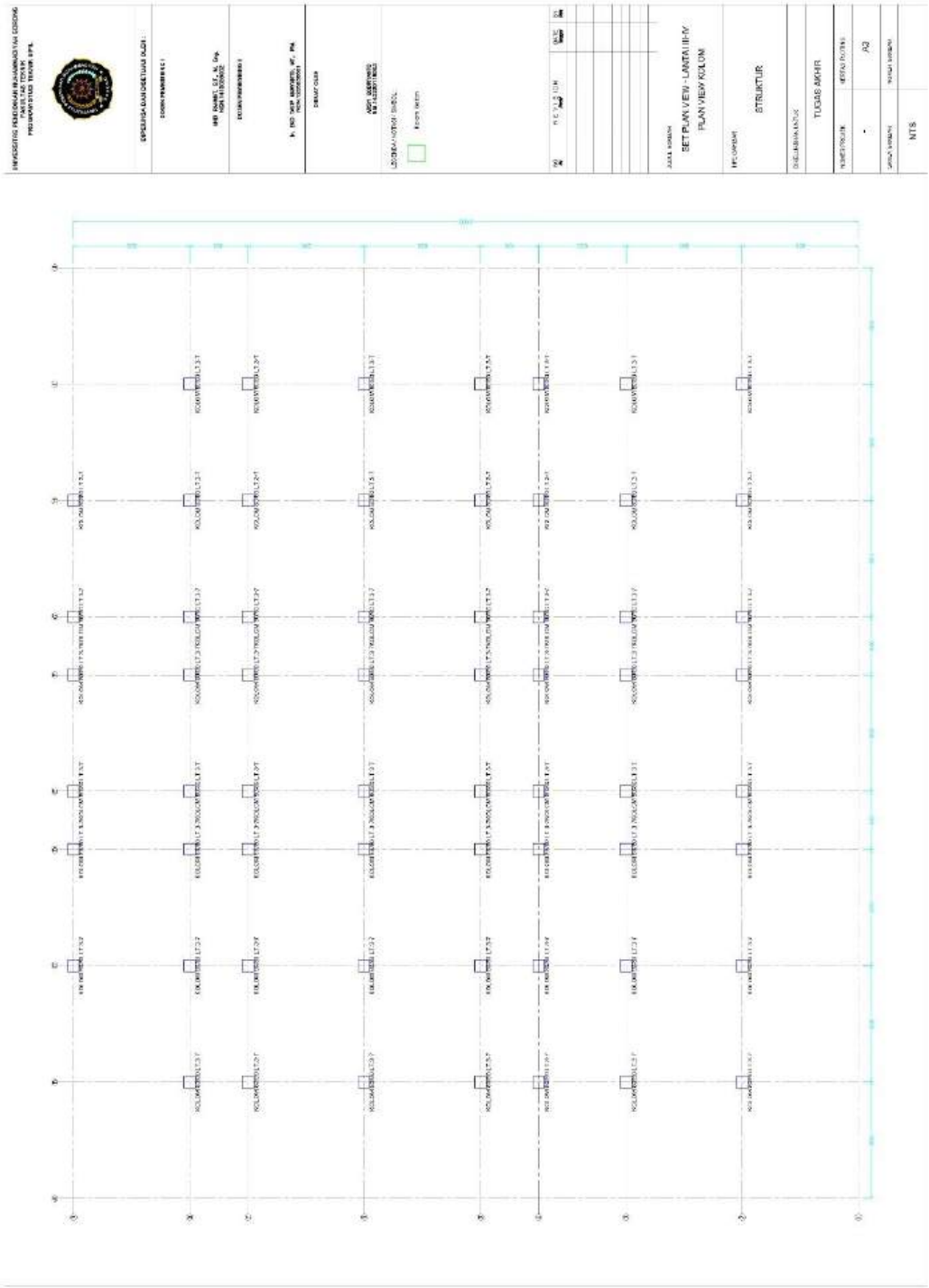


Lampiran 8 Rencana Kolom Lantai 1-2



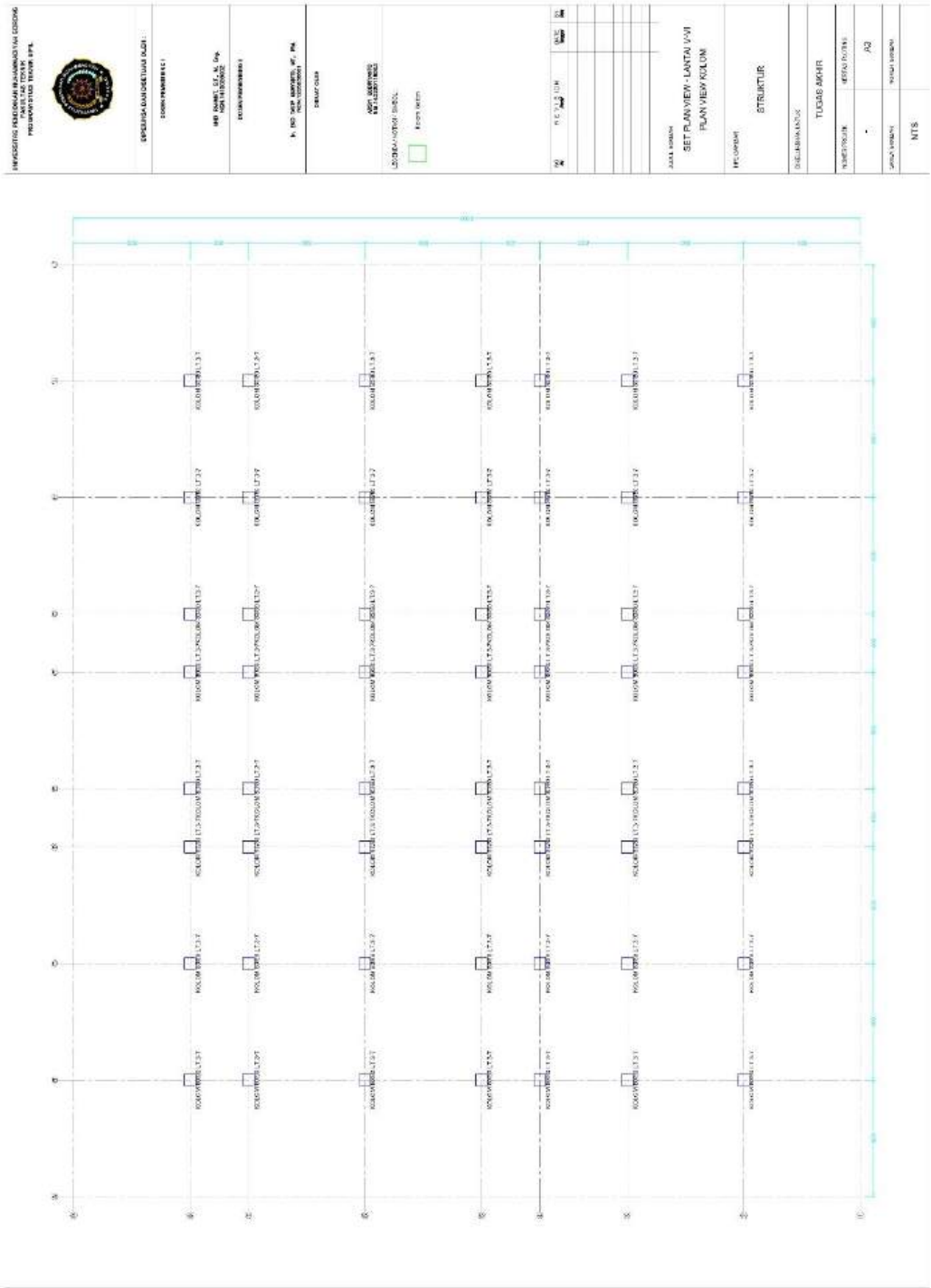
Lampiran 9

Lampiran 9 Rencana Kolom Lantai 3-4



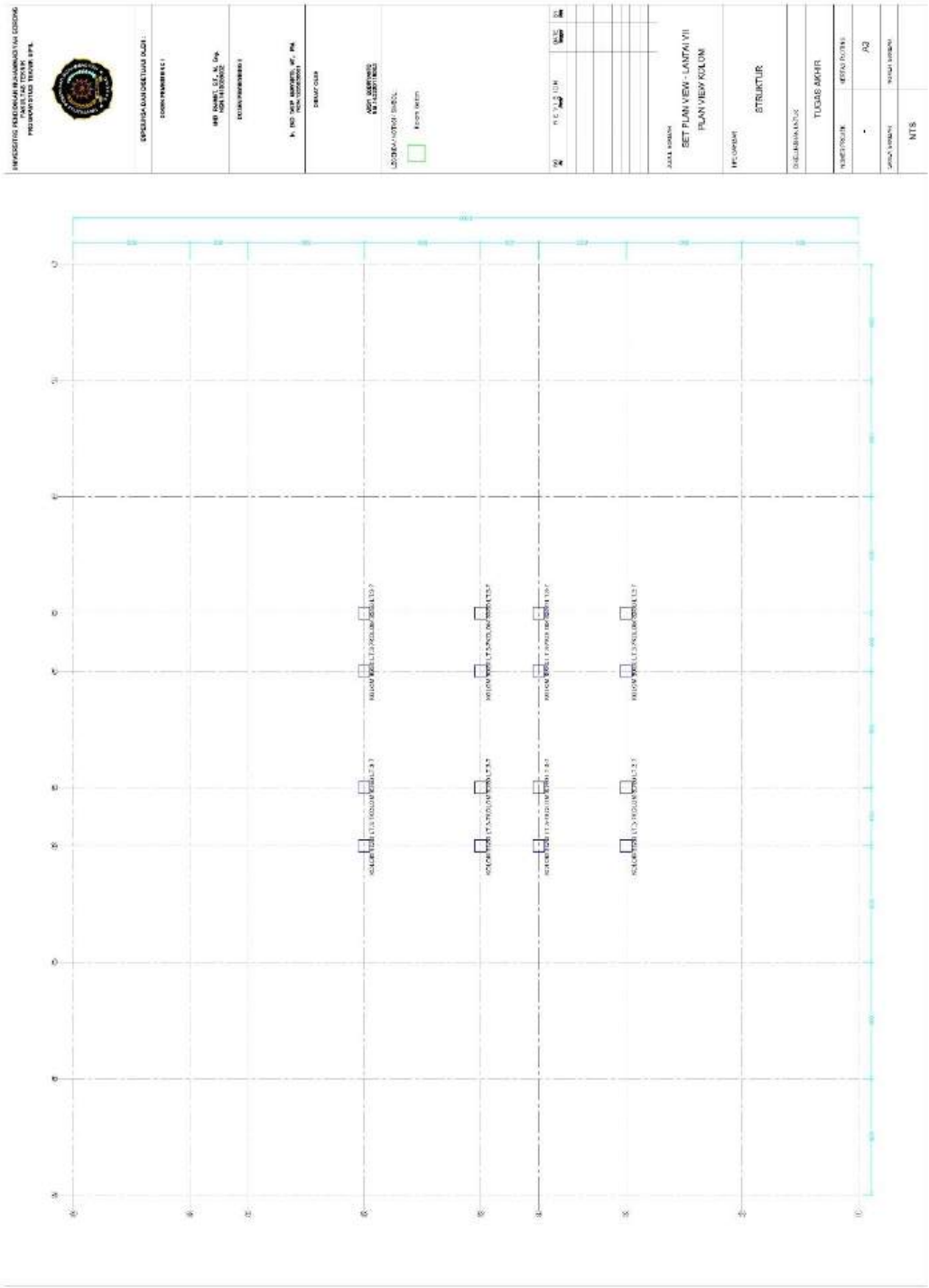
Lampiran 10

Lampiran 10 Rencana Kolom Lantai 5-6



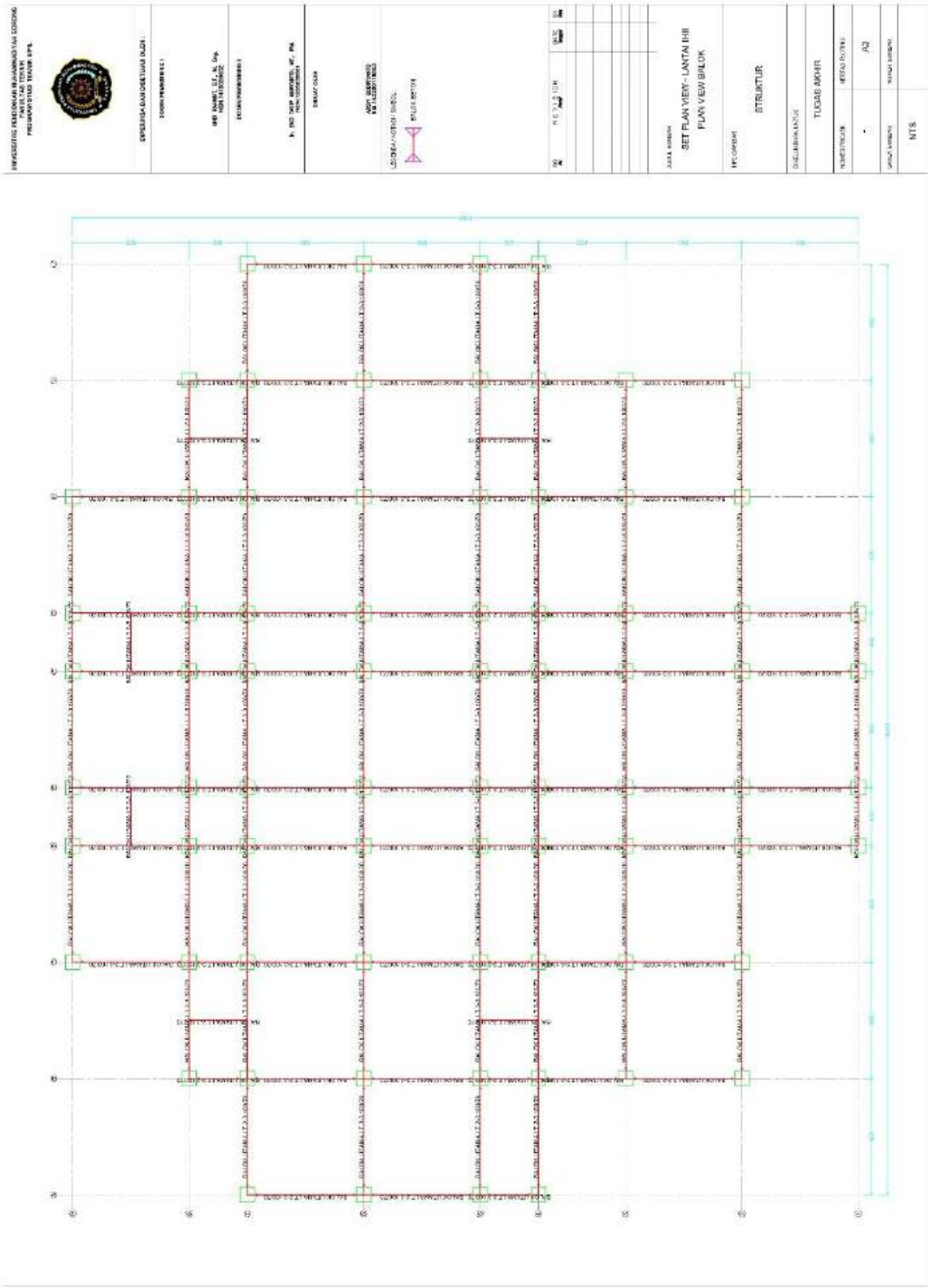
Lampiran 11

Lampiran 11 Rencana Kolom Lantai 7



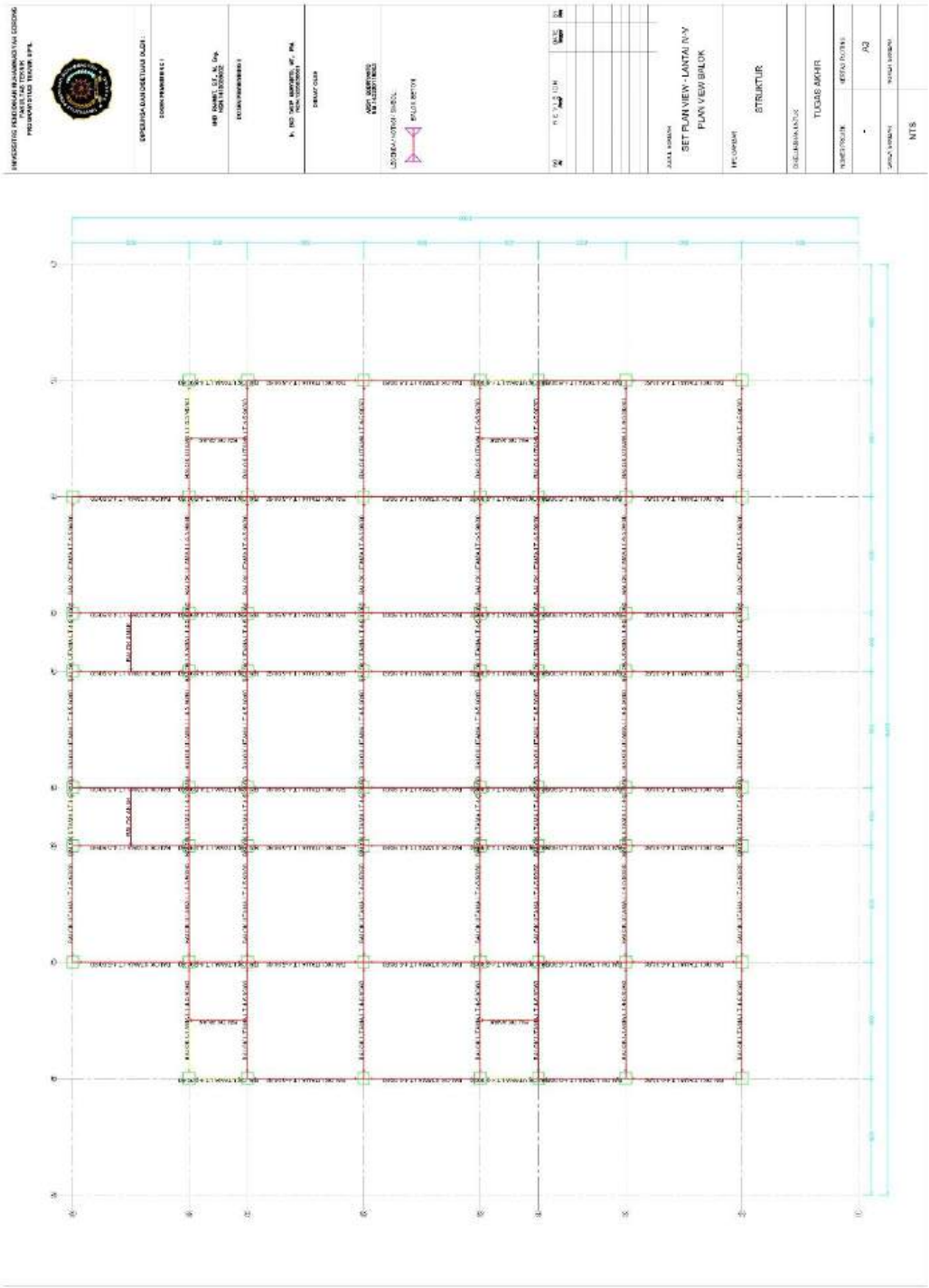
Lampiran 12

Lampiran 12 Rencana Balok Lantai 2-3



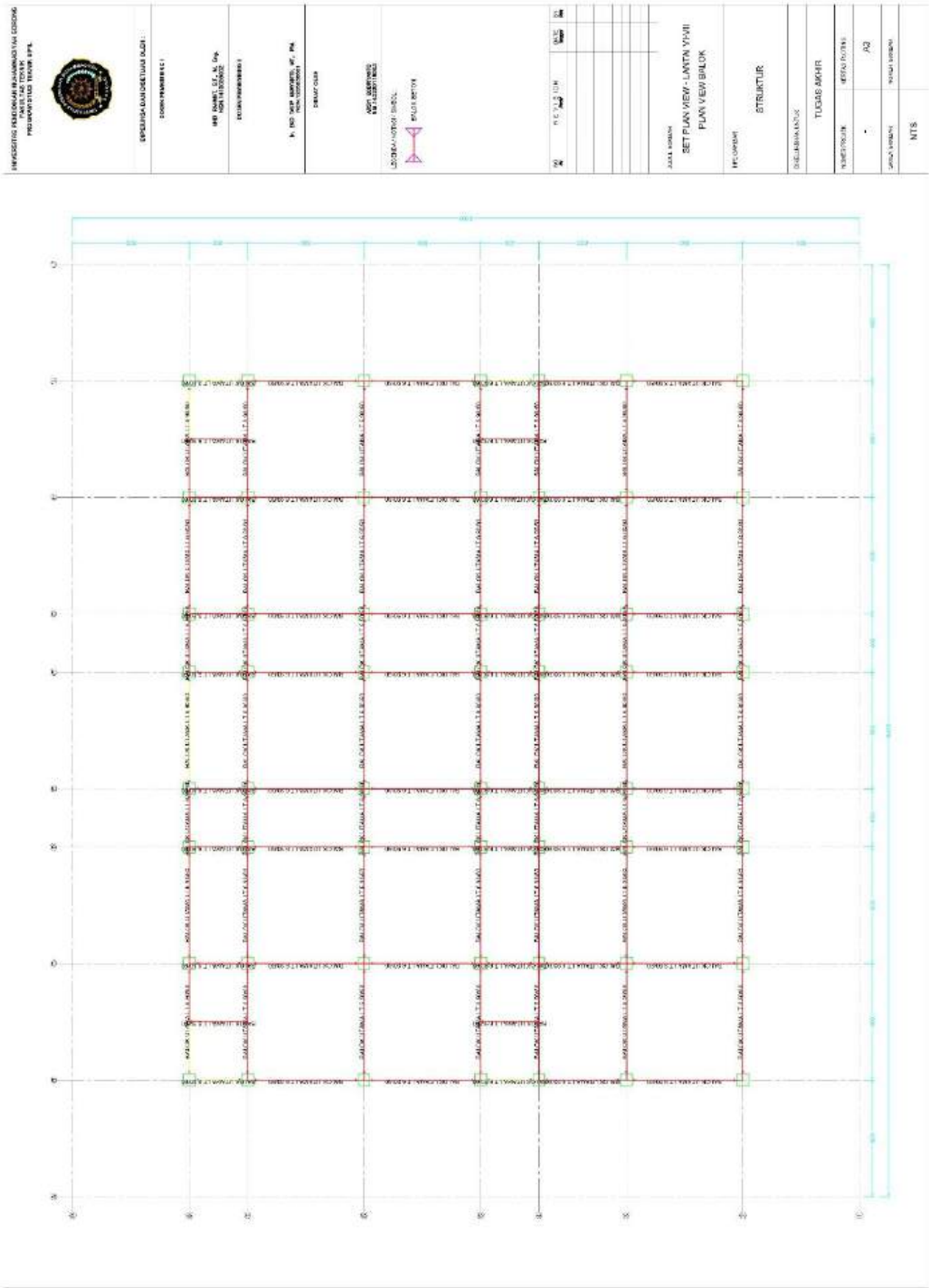
Lampiran 13

Lampiran 13 Rencana Balok Lantai 4-5



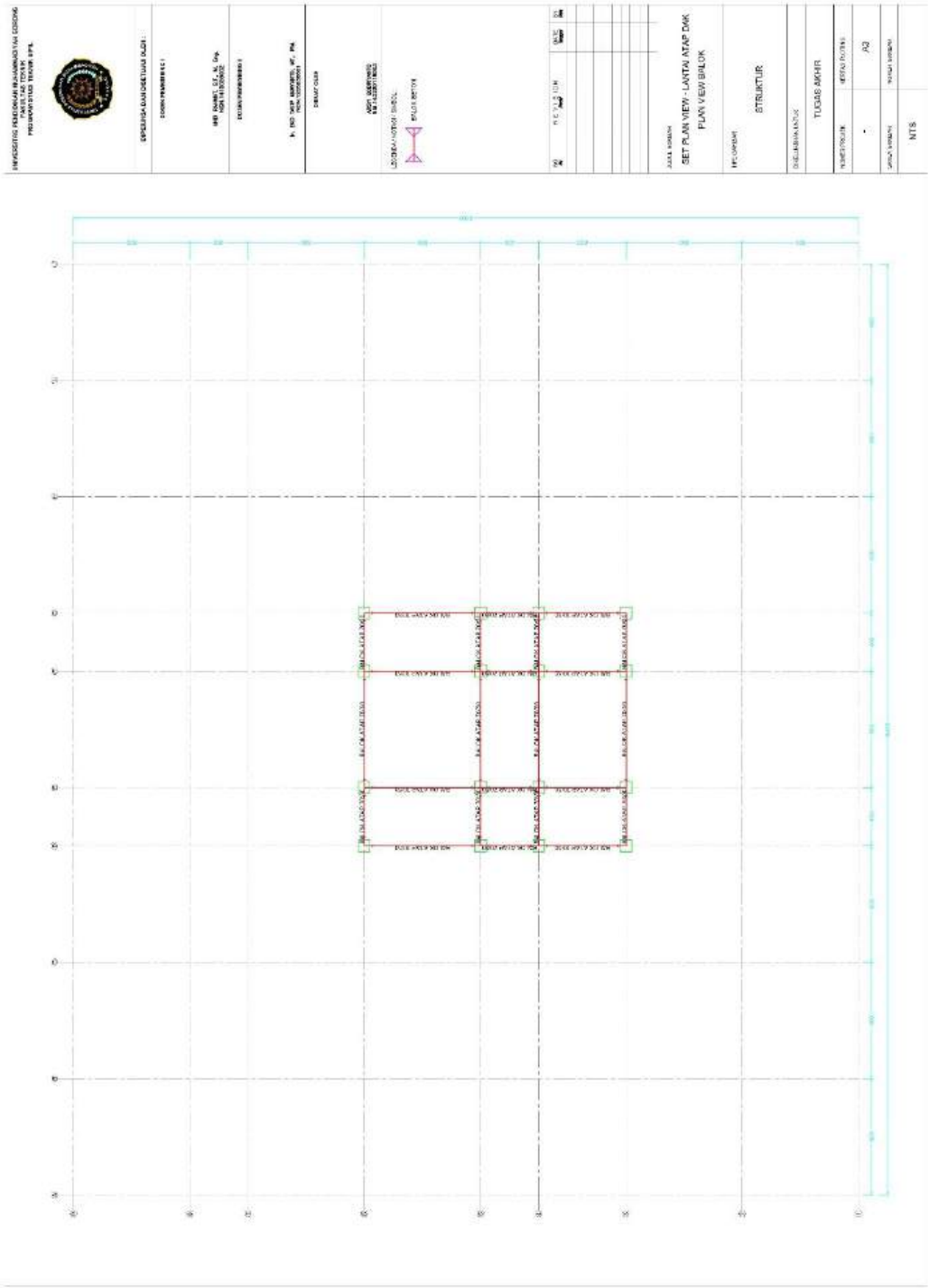
Lampiran 14

Lampiran 14 Rencana Balok Lantai 6-7



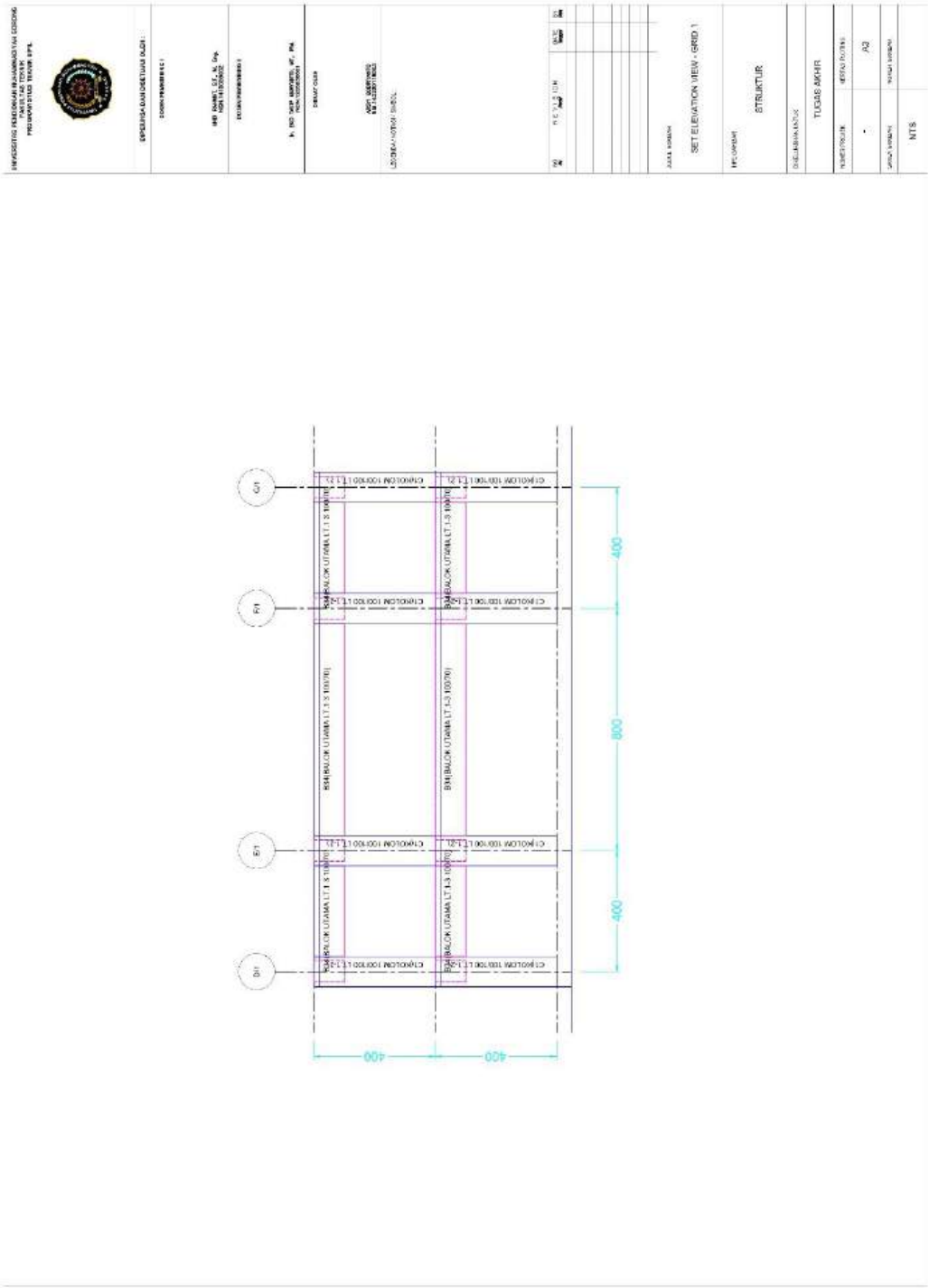
Lampiran 15

Lampiran 15 Rencana Balok Atap Dak



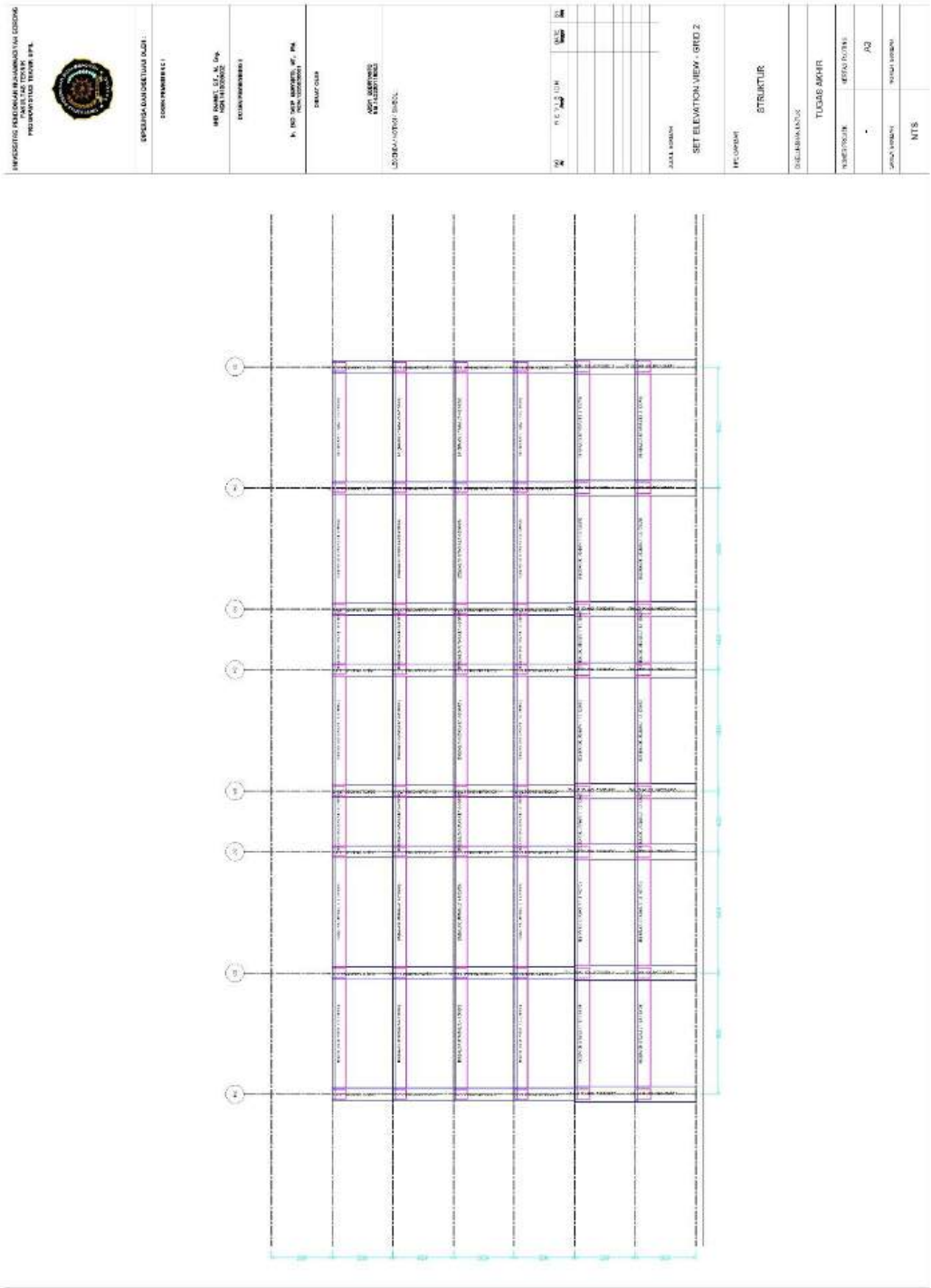
Lampiran 16

Lampiran 16 Potongan Melintang Struktur Grid 1



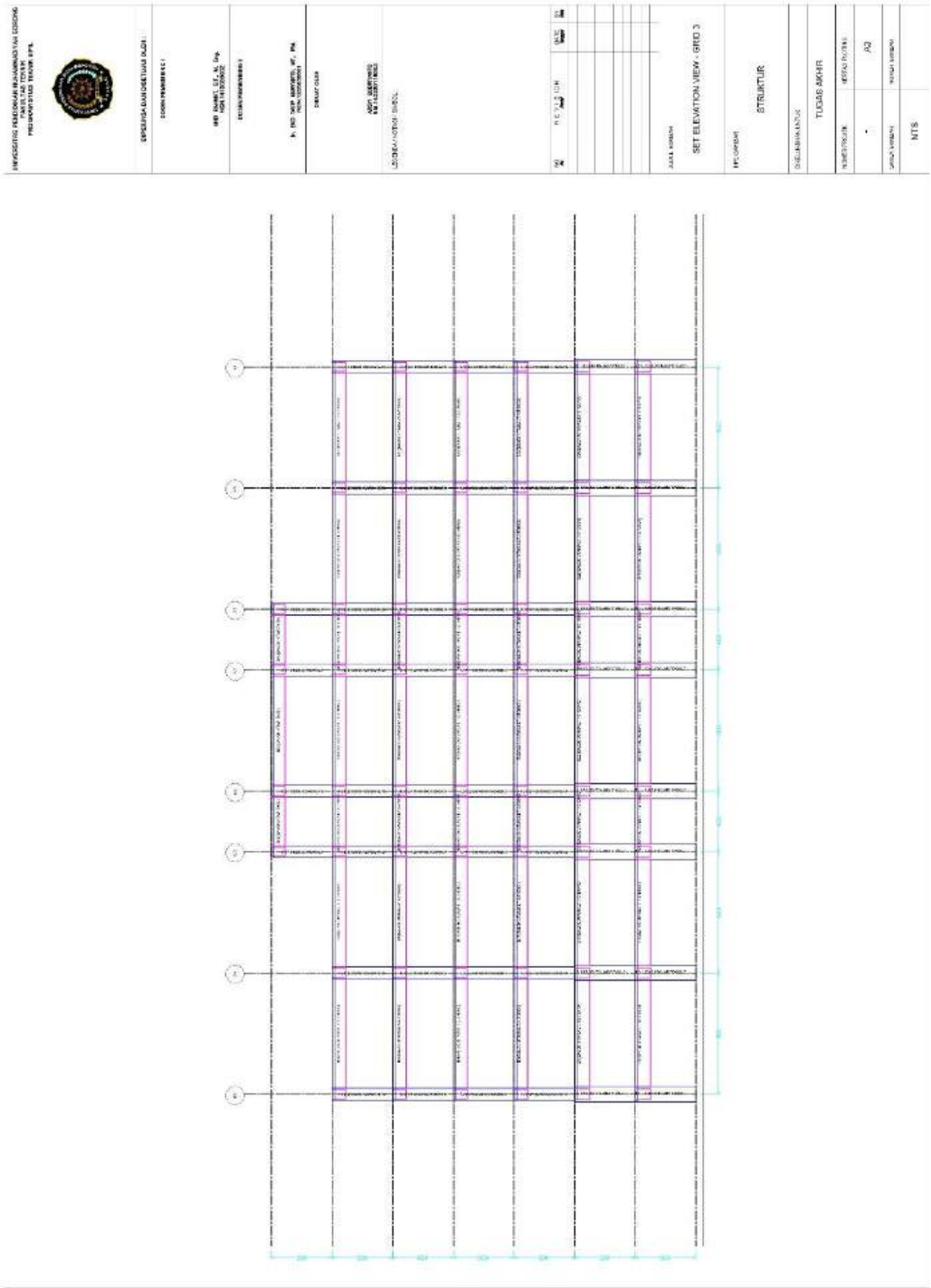
Lampiran 17

Lampiran 17 Potongan Melintang Struktur Grid 2



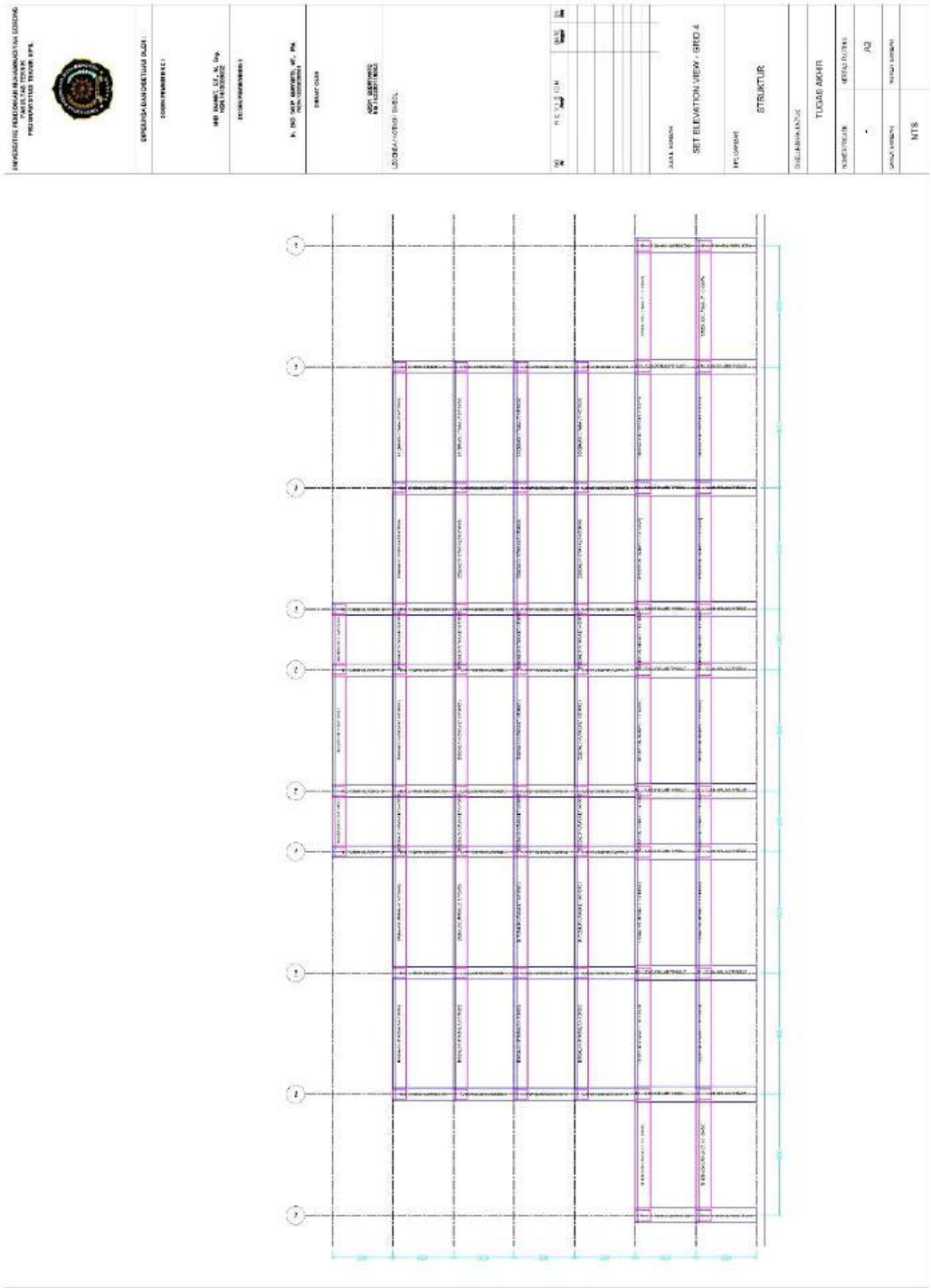
Lampiran 18

Lampiran 18 Potongan Melintang Struktur Grid 3



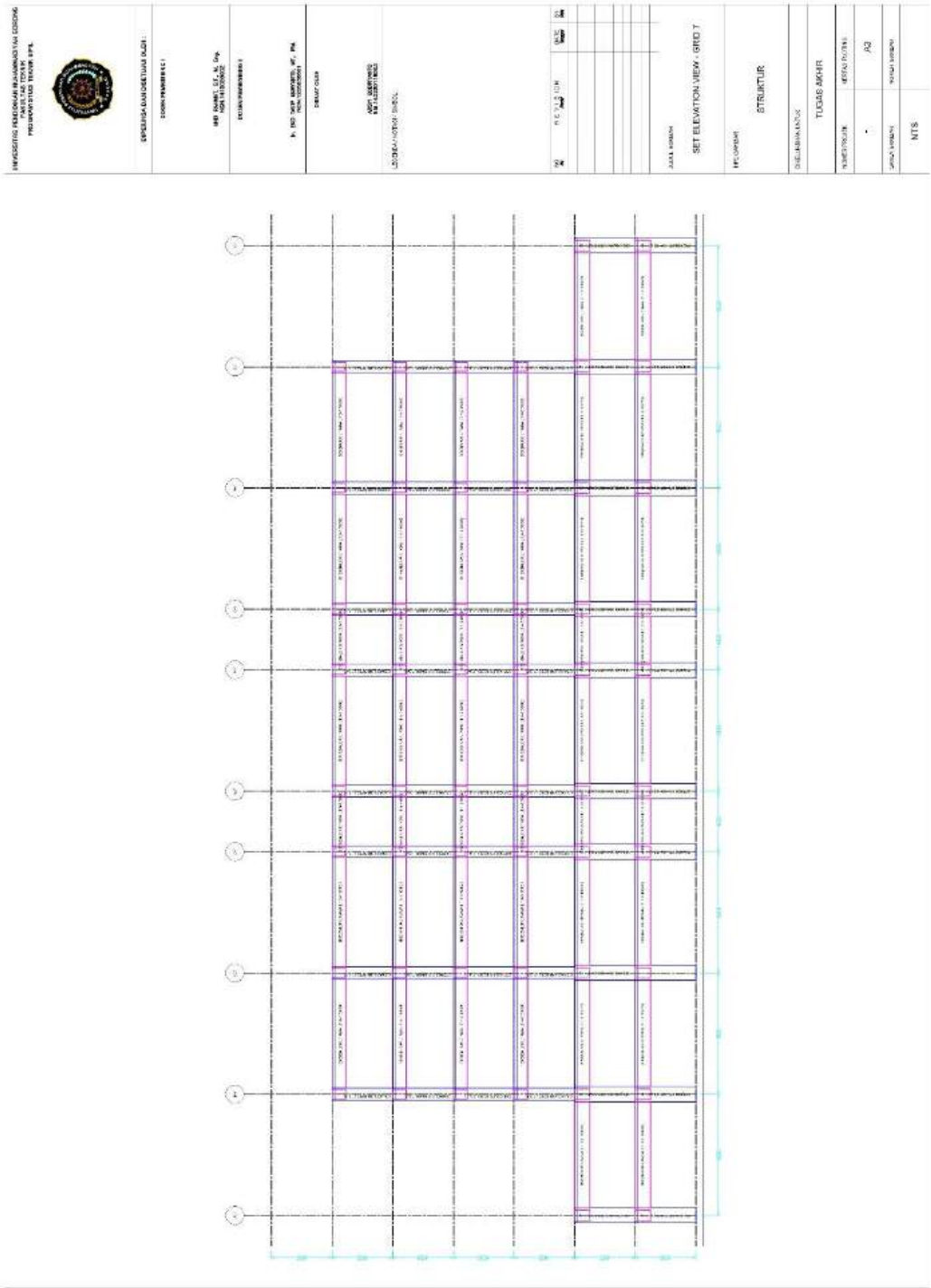
Lampiran 19

Lampiran 19 Potongan Melintang Struktur Grid 4-6



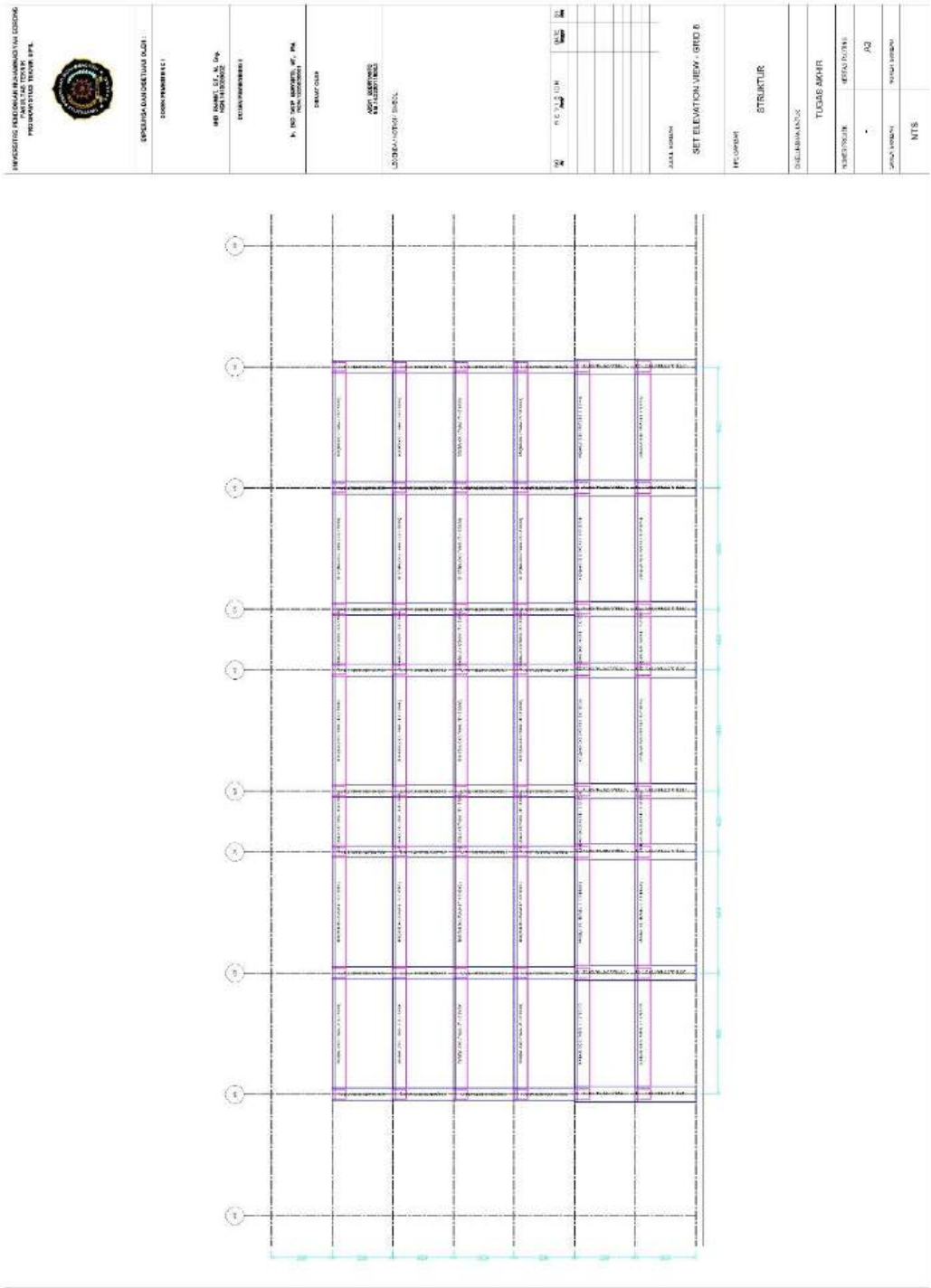
Lampiran 20

Lampiran 20 Potongan Melintang Struktur Grid 7



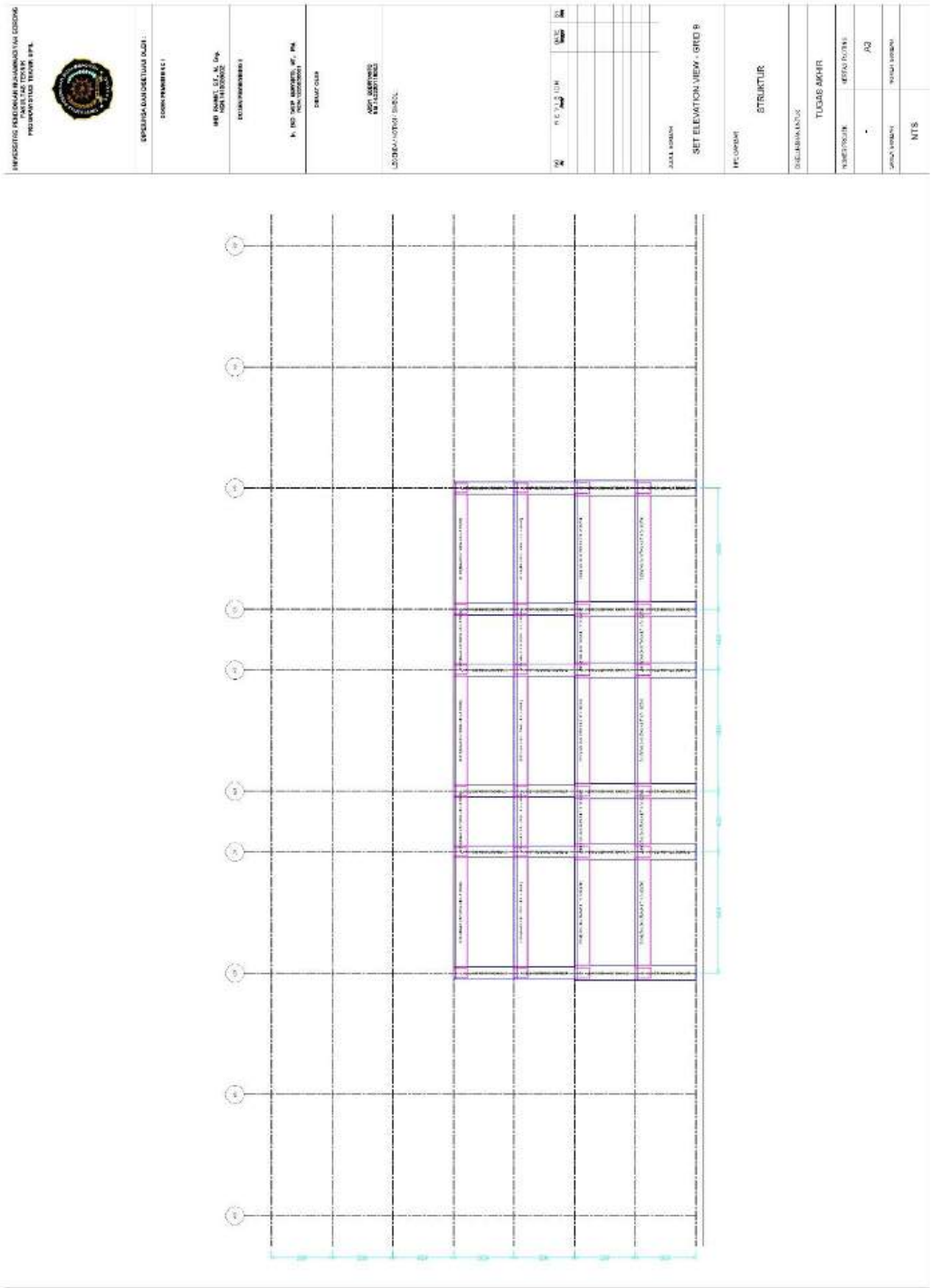
Lampiran 21

Lampiran 21 Potongan Melintang Struktur Grid 8



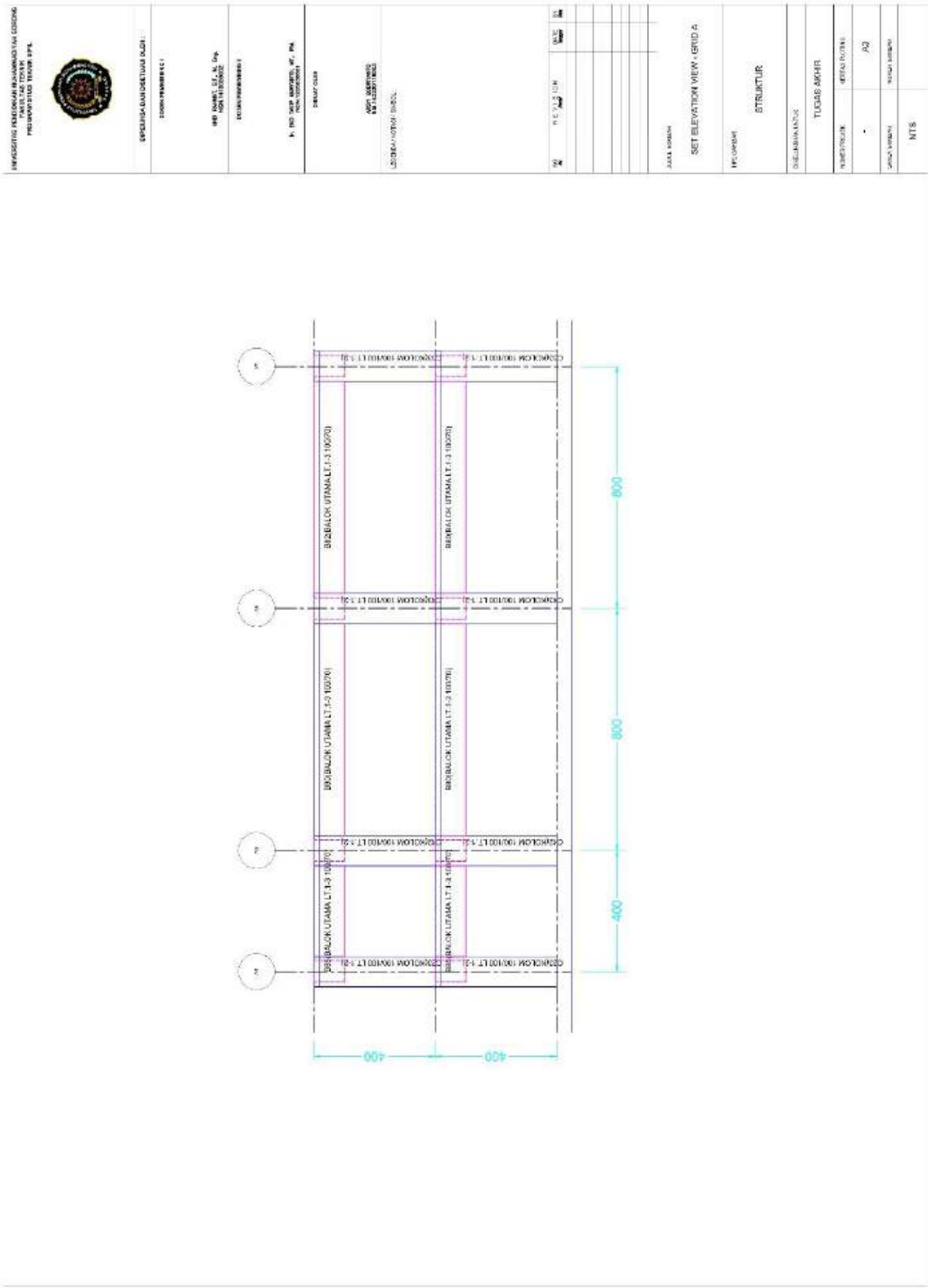
Lampiran 22

Lampiran 22 Potongan Melintang Struktur Grid 9



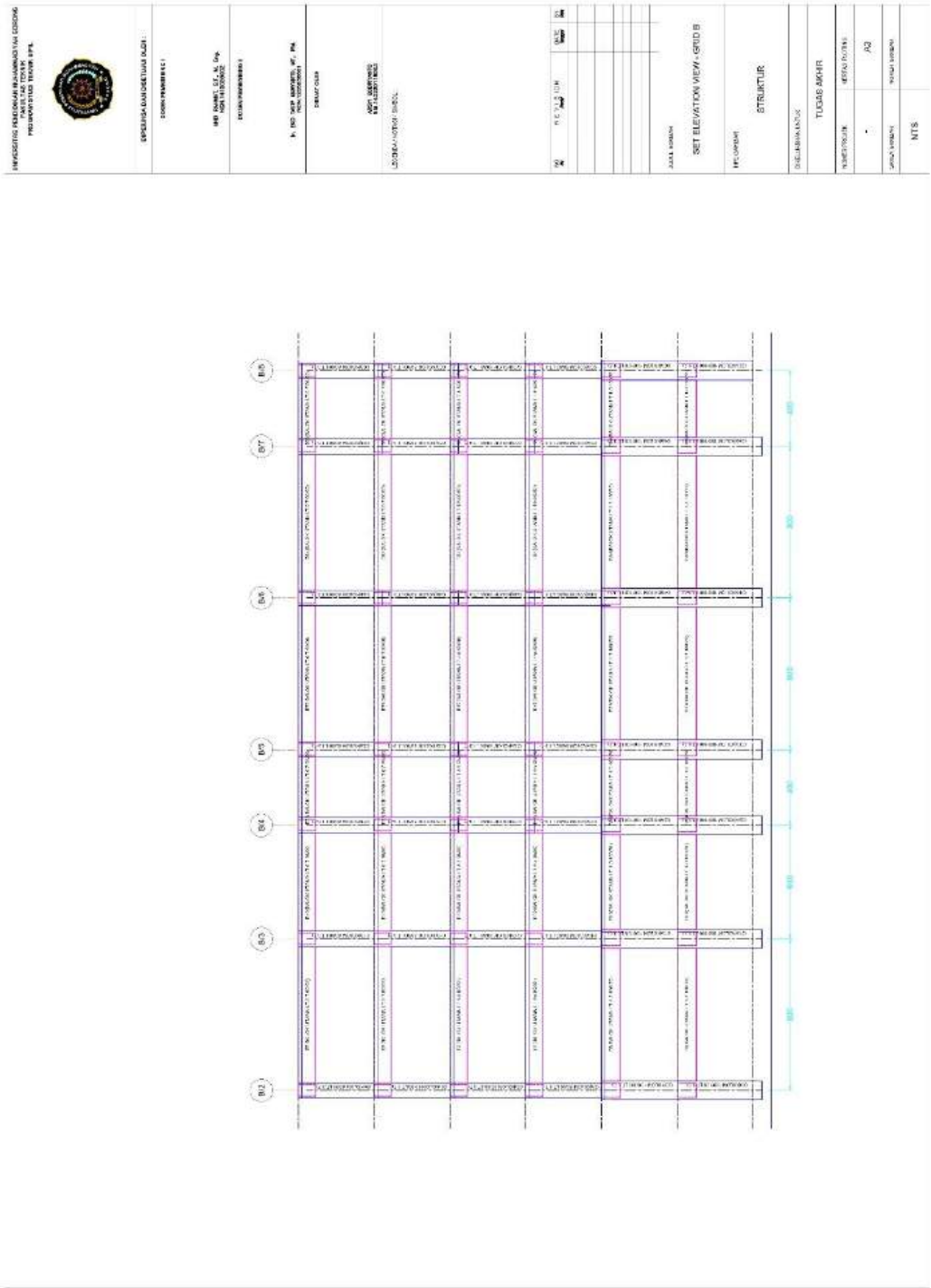
Lampiran 23

Lampiran 23 Potongan Melintang Struktur Grid A



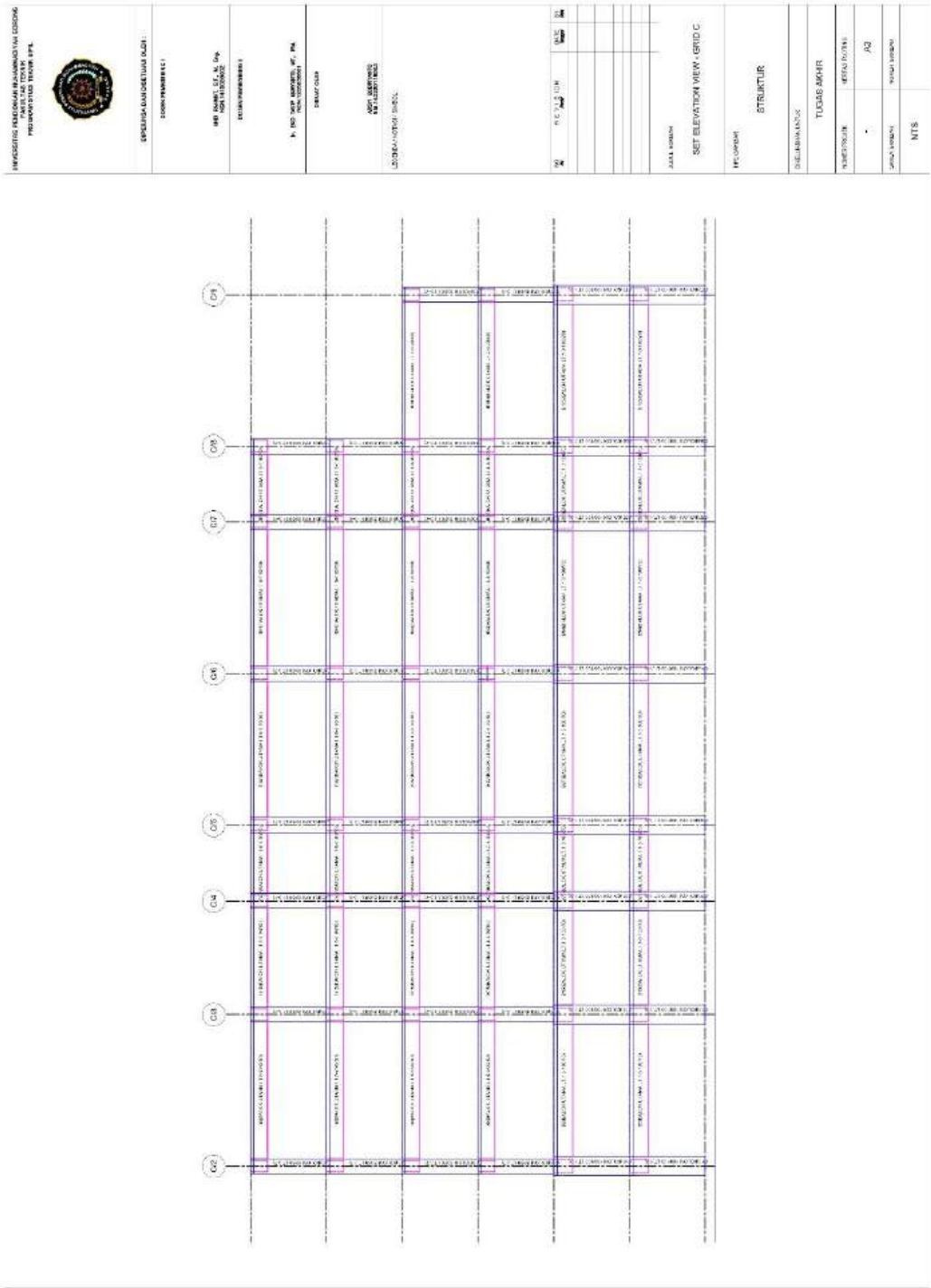
Lampiran 24

Lampiran 24 Potongan Melintang Struktur Grid B



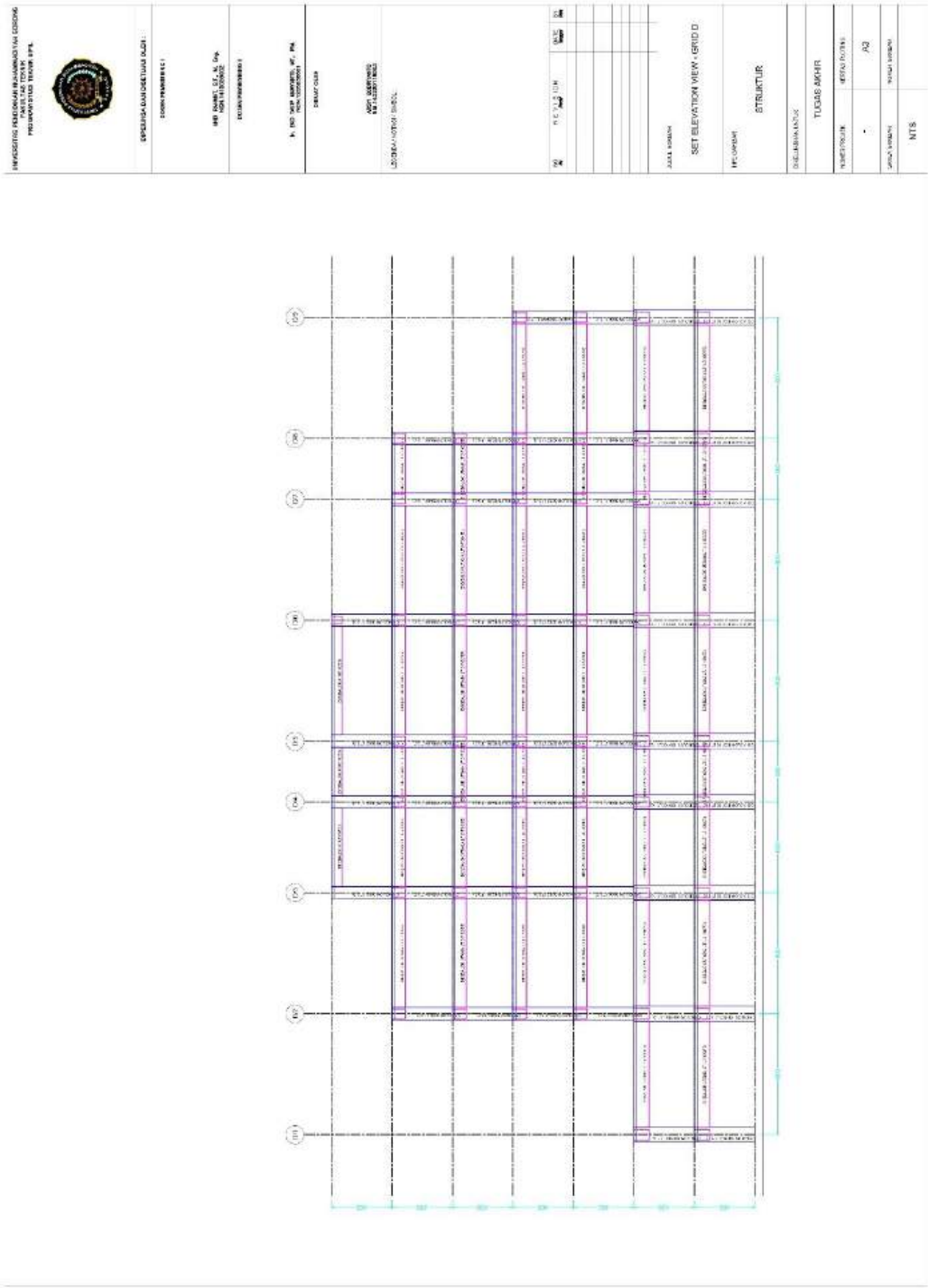
Lampiran 25

Lampiran 25 Potongan Melintang Struktur Grid C



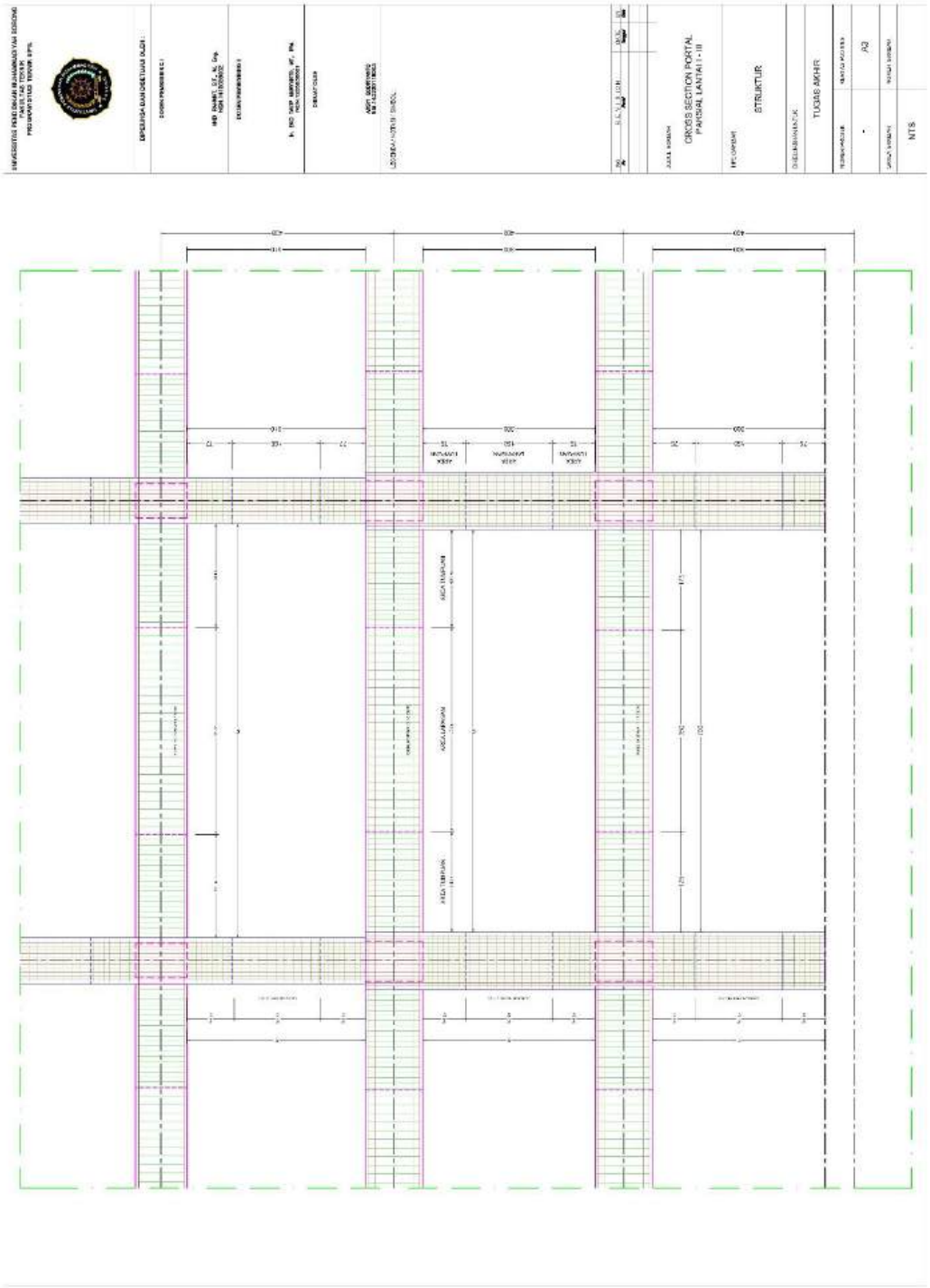
Lampiran 26

Lampiran 26 Potongan Melintang Struktur Grid D



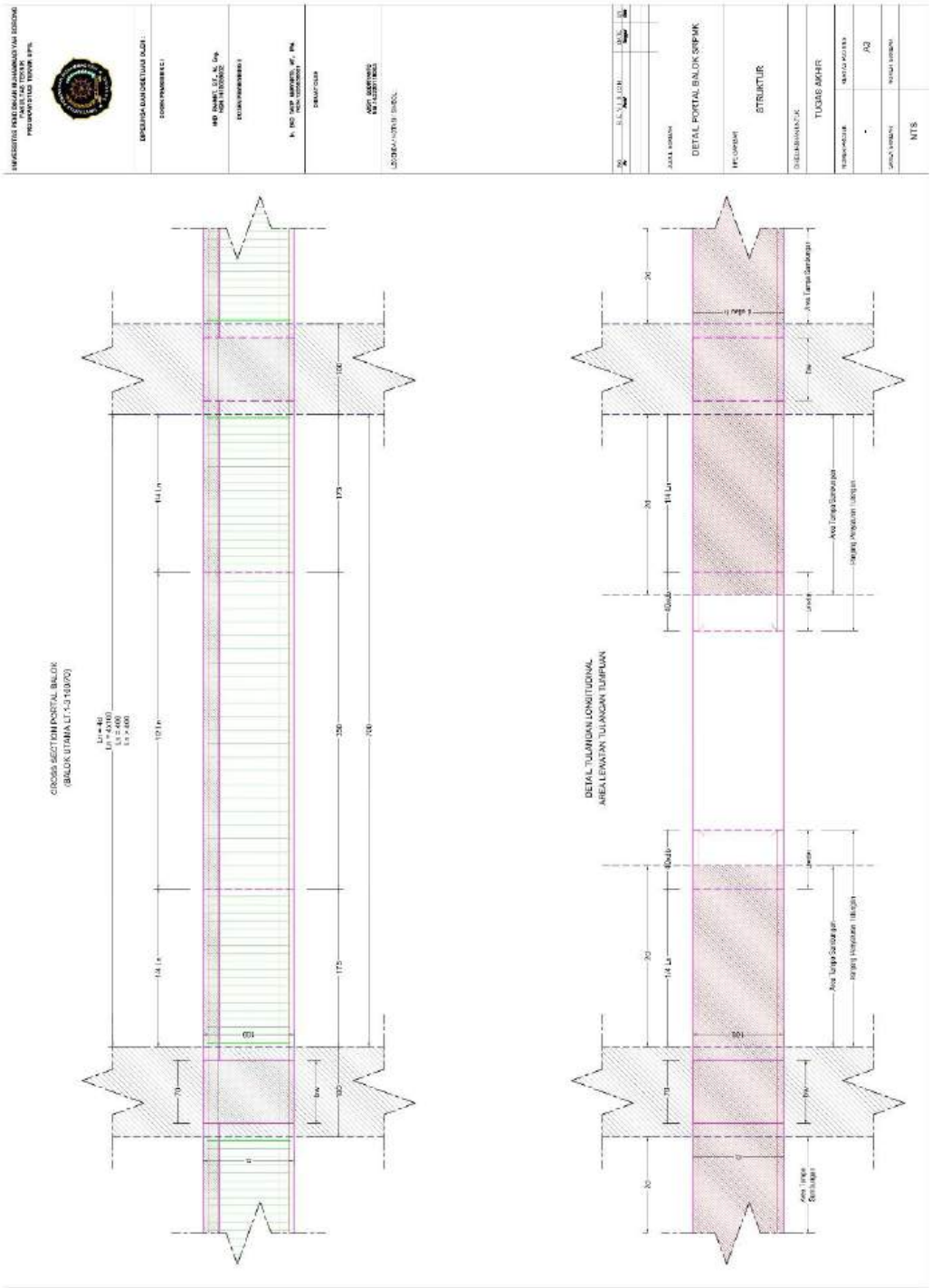
Lampiran 27

Lampiran 27 Portal Struktur Parsial



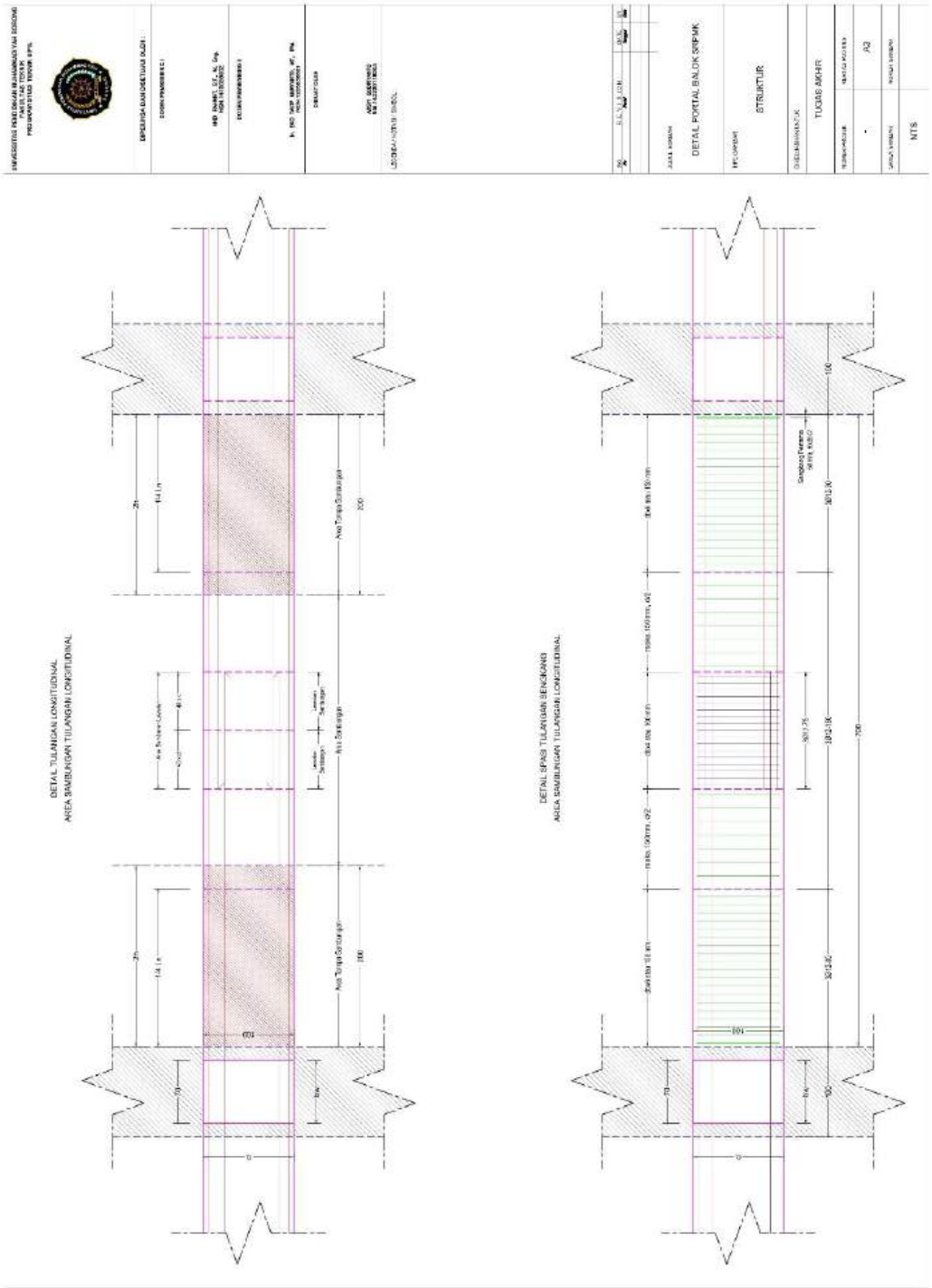
Lampiran 28

Lampiran 28 Detail Penampang Memanjang Balok SRPMK



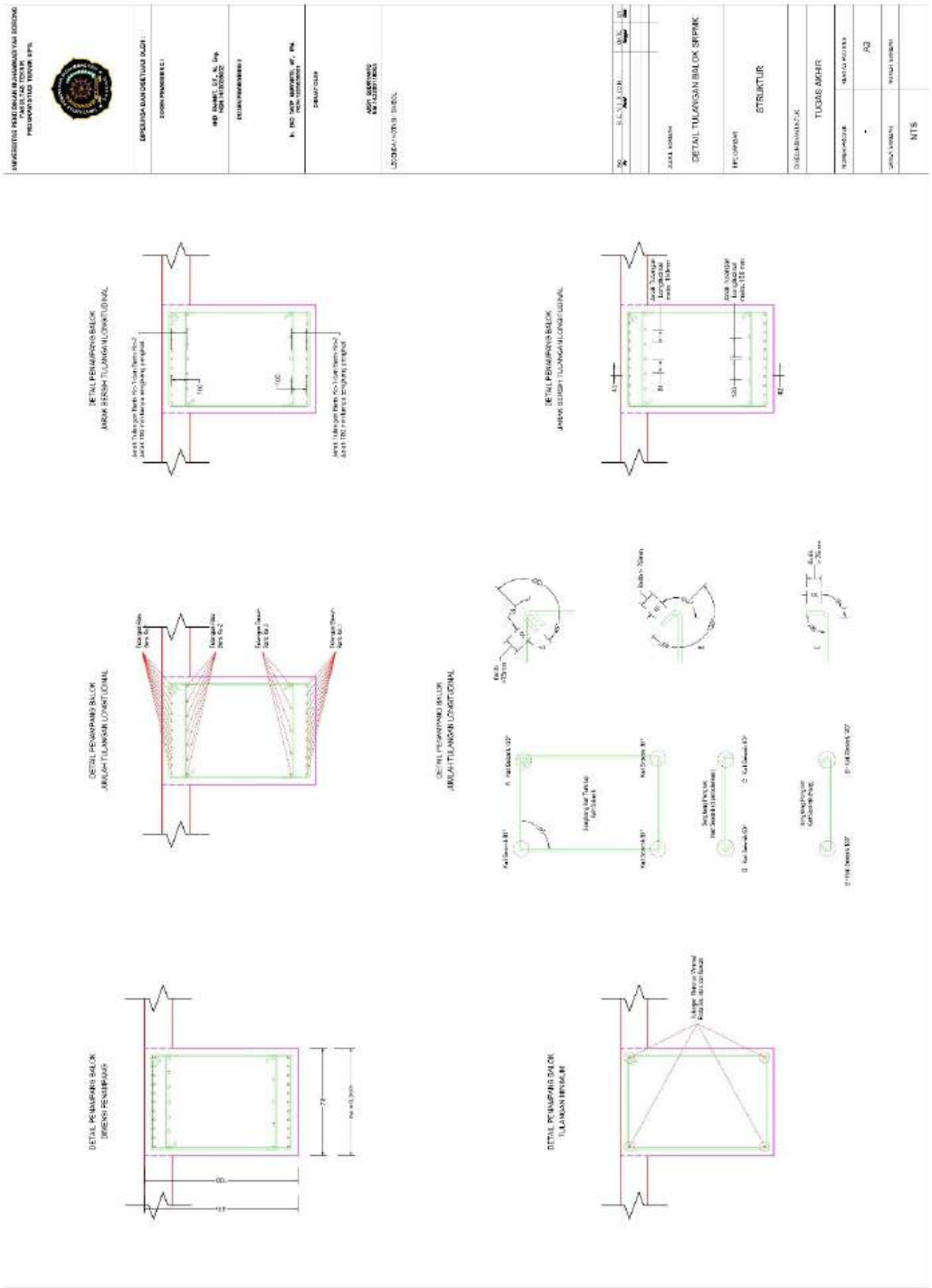
Lampiran 29

Lampiran 29 Detail Penampang Memanjang Balok SRPMK



Lampiran 30

Lampiran 30 Detail Pembesian Balok SRPMK



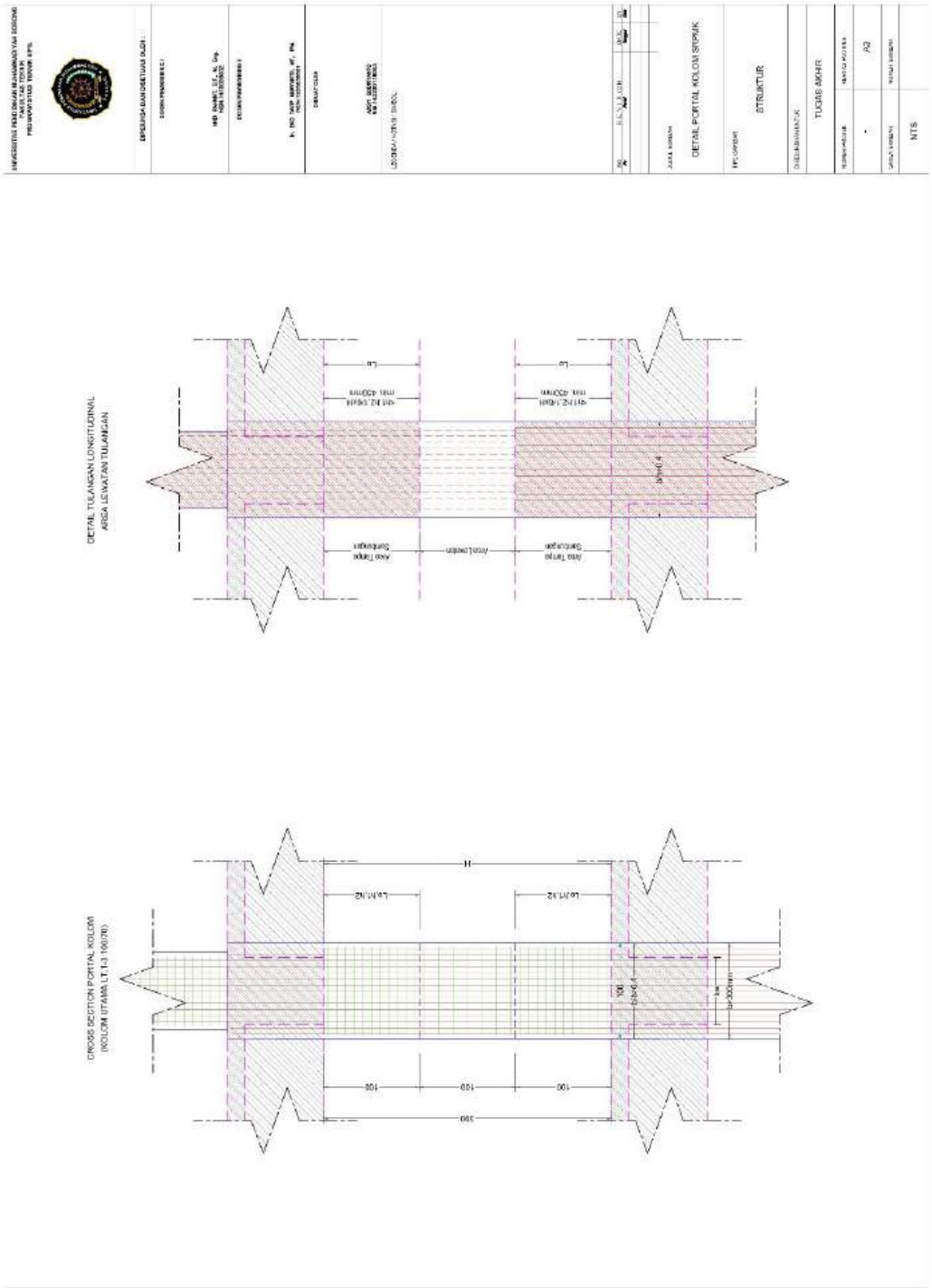
Lampiran 31

Lampiran 31 Detail Pembesian Balok SRPMK

JENIS		Penampang	
		Tumpuan (1/4-Ln)	Lapangan (1/2-Ln)
BALOK UTAMA B1 700 X 1000			
TULANGAN	ATAS	11-D16 mm	8-D16 mm
POKOK ATAS	BAWAH	7-D16 mm	3-D16 mm
TULANGAN	ATAS	11-D16 mm	8-D16 mm
POKOK BAWAH	BAWAH	5-D16 mm	3-D16 mm
TULANGAN	KANAN	-	-
EXTRA	KIRI	-	-
TULANGAN	TERTUTUP	1-Ø12-90 mm	1-Ø12-150 mm
SENGKANG	IKAT	2-Ø12-90 mm	2-Ø12-150 mm

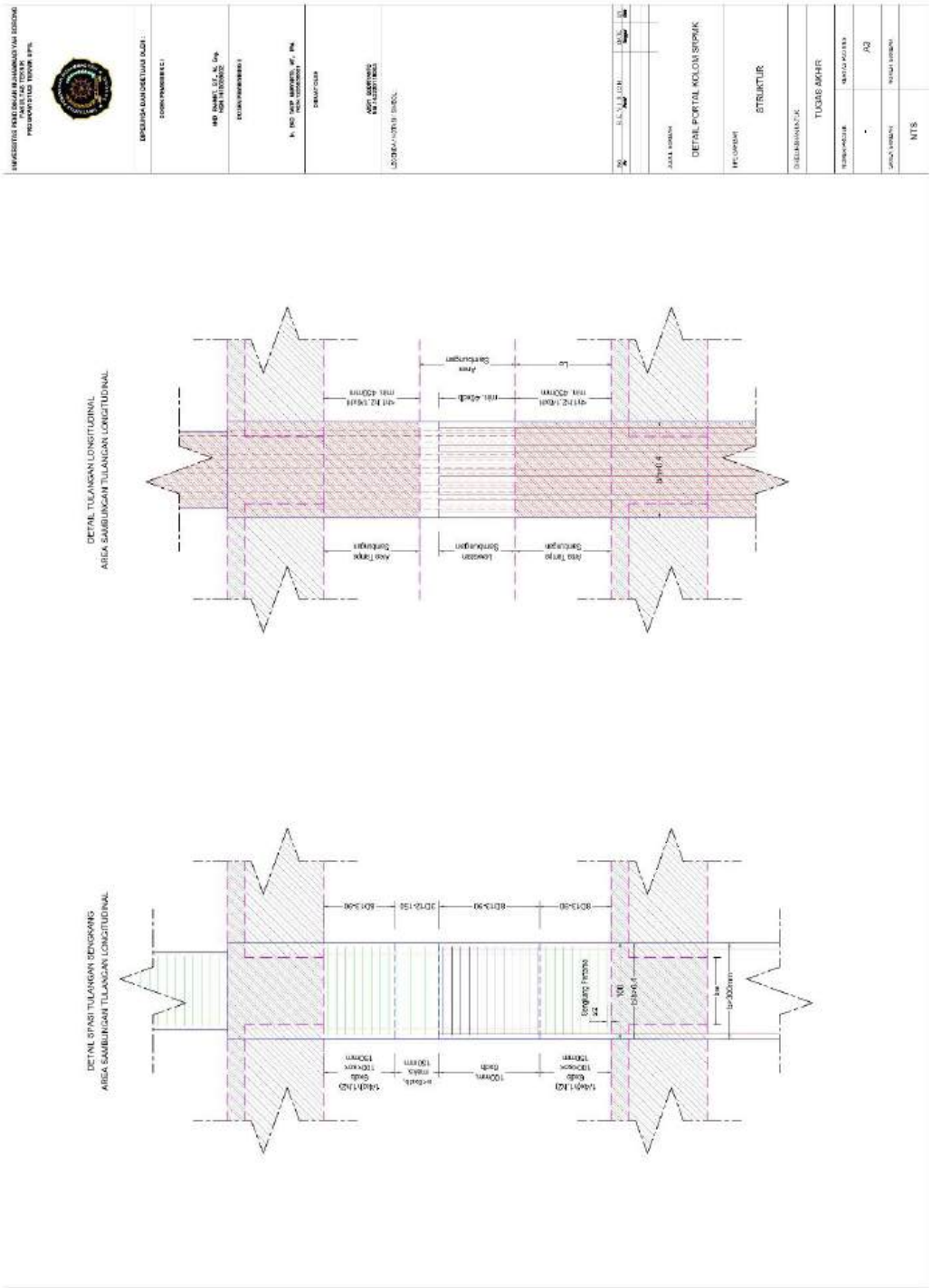
Lampiran 32

Lampiran 32 Detail Penampang Memanjang Kolom SRPMK



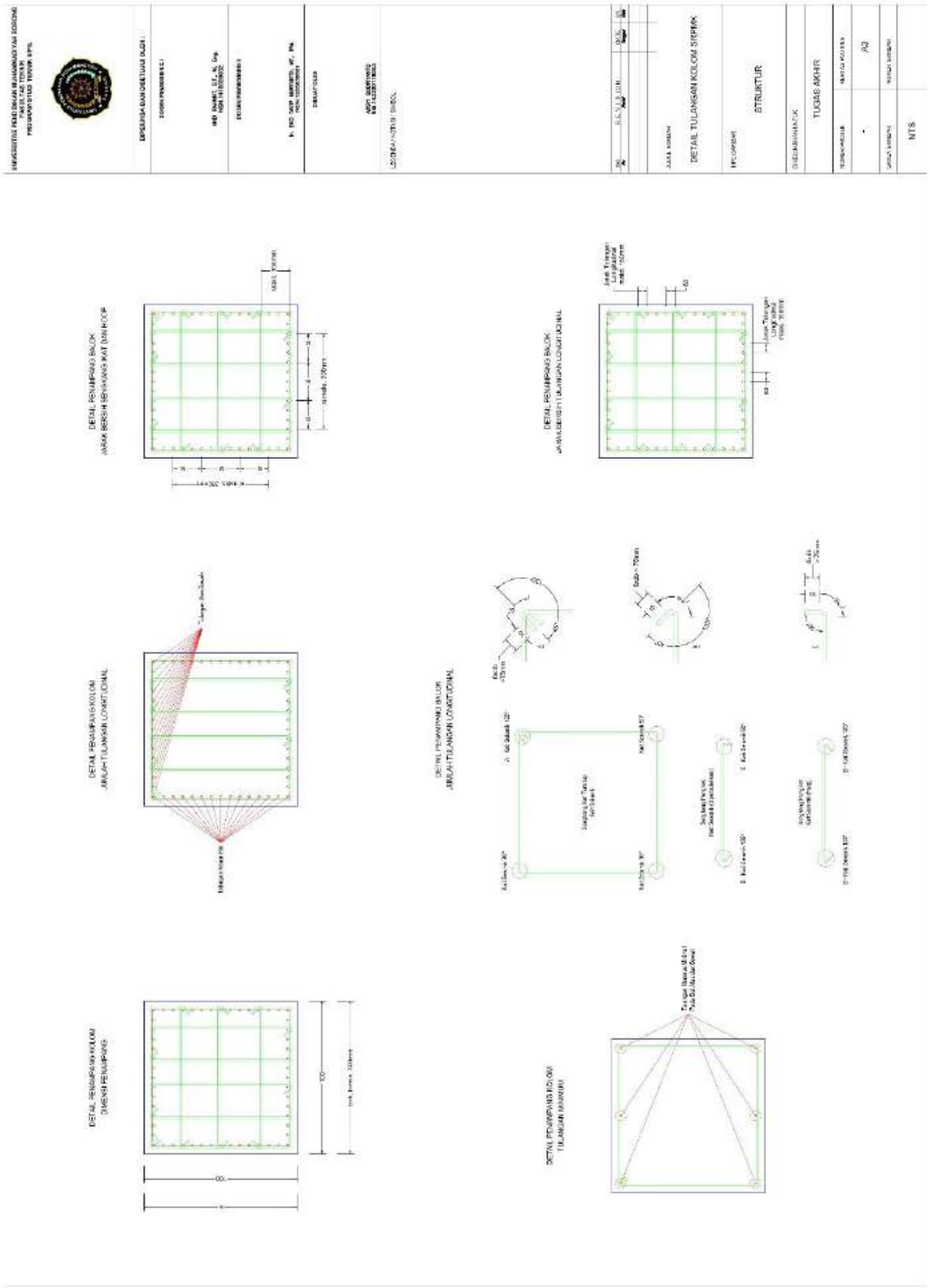
Lampiran 33

Lampiran 33 Detail Penampang Memanjang Kolom SRPMK



Lampiran 34

Lampiran 34 Detail Pembesian Kolom SRPMK



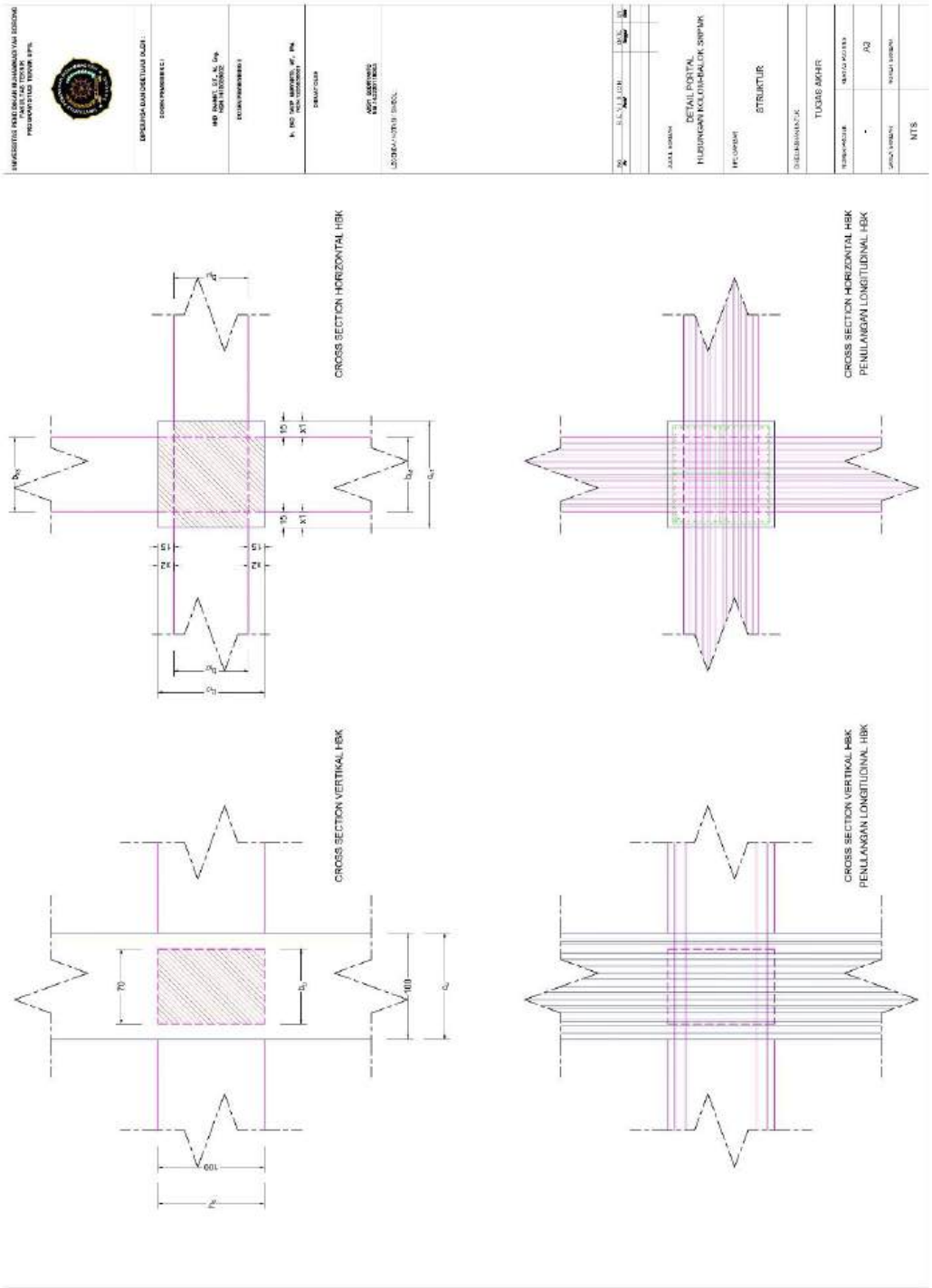
Lampiran 35

Lampiran 35 Detail Pembesian Kolom SRPMK

JENIS		Penampang	
		Tumpuan (1/3-Ln)	Lapangan (1/3-Ln)
KOLOM UTAMA K1 1000 X 1000			
TULANGAN	ATAS	17-D19 mm	17-D19 mm
POKOK	BAWAH	17-D19 mm	17-D19 mm
TULANGAN	KANAN	13-D19 mm	13-D19 mm
EXTRA	KIRI	13-D19 mm	13-D19 mm
TULANGAN	TERTUTUP	1-D13-90 mm	1-D12-150 mm
SENGKANG	IKAT	7-D13-90 mm	2-D12-150 mm

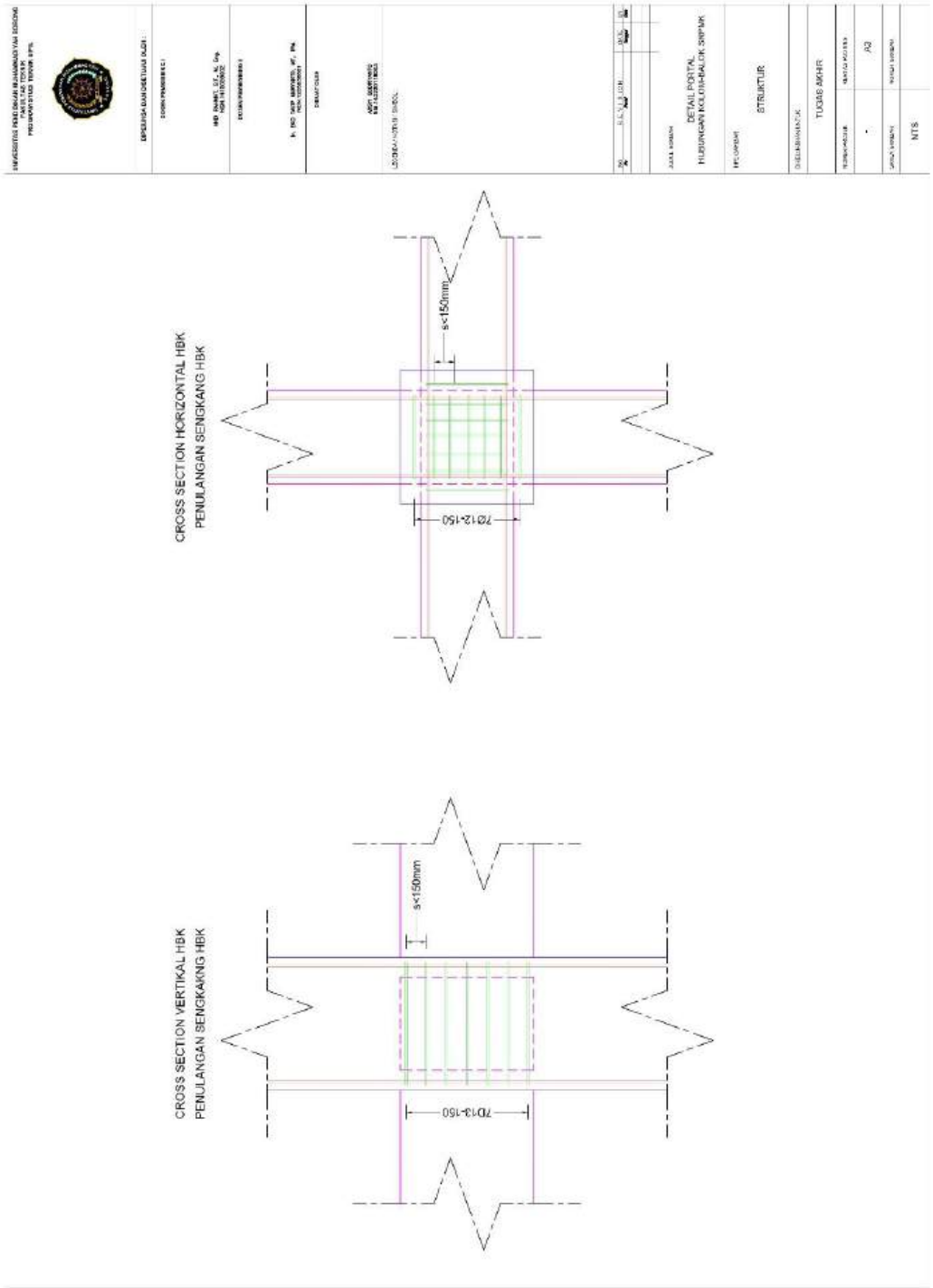
Lampiran 36

Lampiran 36 Detail Penampang Hubungan Kolom-Balok (HBK) SRPMK



Lampiran 37

Lampiran 37 Detail Penampang Hubungan Kolom-Balok (HBK) SRPMK



Lampiran 38

Lampiran 38 Perhitungan Beban Gempa

SEISMIC LOAD CALCULATION

PERHITUNGAN BEBAN GEMPA

A. Data Umum

Kota	=	Aimas
Latitude / Lintang	=	-0.9886
Longitude / Bujur	=	131.3662
Tinggi Bangunan Dari muka t	=	28 m

B. Peruntukan Bangunan

Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan

C. Parameter Beban Gempa

Kategori Risiko	:	Berdasarkan peruntukan	=	IV
Faktor Keutamaan Gempa	:	I_e	=	1.50
Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek	:	S_s	=	1.001 g
Percepatan Batuan Dasar pada Periode 1 sec	:	S_1	=	0.408 g
Klasifikasi Situs Tanah	:	[Soft Soil] 5	=	SE (Tanah Lunak)
Faktor Amplifikasi terkait Percepatan pada Periode Pendek	:	F_a	=	1.099
Faktor Amplifikasi terkait Percepatan pada Periode 1 sec	:	F_v	=	2.384

Parameter Respon Spektral Percepatan Periode Pendek

$S_{MS} = F_a \times S_s$ = 1.099 × 1.001 = 1.100 g

Parameter Respon Spektral Percepatan Periode 1 sec

$S_{M1} = F_v \times S_1$ = 2.384 × 0.408 = 0.9728 g

Parameter Respon Spektral Percepatan Desain Periode Pendek

$S_{dS} = \left(\frac{2}{3}\right) \times S_{MS}$ = $\frac{2}{3}$ × 1.1003 = 0.734 g

Parameter Respon Spektral Percepatan Desain Periode 1 sec

$S_{d1} = \left(\frac{2}{3}\right) \times S_{M1}$ = $\frac{2}{3}$ × 0.9728 = 0.649 g

D. Penentuan Sistem Struktur

Pemilihan Sistem Struktur	:	*Rangka beton bertulang pemikul momen khusus*		
Koefisien Modifikasi Respon	:	R	=	8
Faktor Kuat Lebih Sistem	:	Ω_0	=	3.00
Koefisien Amplifikasi Defleksi	:	C_d	=	5.50

E. Periode Fundamental Struktur

Periode Fundamental Struktur	:	T	=	0.935 sec
- Periode Fundamental Terhitung (Perhitungan Software)	:	T_{cx}	=	0.649 sec
		T_{cy}	=	0.638 sec

- Periode Fundamental Pendekatan

$T_a = C_t \times h_n^x$ = 0.047 × 28.000 $^{0.9}$ = 0.935 sec

- Batas Atas Periode Fundamental

$T_{max} = C_u \times T_a$ = 1.400 × 0.935 = 1.309 sec

Tipe Struktur	:	*Rangka beton pemikul momen*		
Koefisien C_t	:	C_t	=	0.0466
Tinggi Bangunan dari Muka Tanah	:	h_n	=	28.00 m
Koefisien x	:	x	=	0.9
Koefisien Batas Atas untuk Periode Terhitung	:	Cu	=	1.4

Lampiran 39 Perhitungan Beban Gempa

F. Parameter Perhitungan Beban Gempa Prosedur "Gaya Lateral Ekivalen"

Koefisien Respon Seismic :

$$C_S = S_{dS} \times \frac{I_e}{R} = 0.734 \times \frac{1.5}{8} = 0.138$$

- Maximum Nilai Cs

$$Cs_{max} = \frac{(S_{d1} \times I_e)}{(T \times R)} = \frac{\left[0.649 \times 1.5\right]}{\left[0.649 \times 8\right]} = 0.1874$$

- Minimum Nilai Cs (kondisi 1)

$$Cs_{min1} = 0{,}004 \times S_{dS} \times I_e = 0.004 \times 0.734 \times 1.5 = 0.04842$$

- Minimum Nilai Cs (kondisi 2: $S_1 \geq 0{,}6$ g)

$$Cs_{min2} = \frac{0{,}5 \times S_1 \times I_e}{R} = \frac{0.50 \times 0.408 \times 1.5}{8.00} = 0.038$$

Koefisien Respon Seismic Terpakai : Cs = 0.138

Eksponen yang terkait periode struktur : k = 1.218

- Jika $T \leq 0.5$, k = 1
- Jika $0.5 < T < 2.5$, k = interpolasi antara 1 – 2
- Jika $T \geq 2.5$, k = 2

Hasil output ETABS

Lantai	Tinggi (m)	Beban Tiap Tingkat (*Tambahan*)	Berat Total (Kn)
Lantai Atap 8	28	280695.92	2752.687
Lantai Atap 7	24	1878500.27	18421.795
Lantai 6	20	2341978.91	22966.967
Lantai 5	16	2621720.22	25710.293
Lantai 4	12	2682714.27	26308.440
lantai 3	8	3538524.3	34701.069
Lantai 2	4	3751798.79	36792.578
Berat Keseluruhan			**167653.828**

G. Perhitungan Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik, V, dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai persamaan berikut,

$$V = C_s W_t$$

dengan,

- C_s = koefisien respon seismik
- W_t = berat seismik efektif

Nilai koefisien respon seismik terpakai: Cs = 0.138

Sehingga,

$$V = C_s W_t$$

V = 0.138 x 167653.828 = 23059.603

Output Etabs = -21804.398

Lampiran 40 Perhitungan Beban Gempa

H. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Distribusi gaya lateral (Fx) yang timbul di semua tingkat ditentukan berdasar persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} V \quad \text{dan} \quad C_{vx} = \frac{w_x (h_x)^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i (h_i)^k}$$

dengan,

- F_x = Gaya gempa lateral
- C_{vx} = Faktor distribusi vertikal
- V = Gaya geser dasar seismik
- w_x dan w_i = Berat seismik (ton) efektif pada tingkat-x atau tingkat-i
- h_x dan h_i = Tinggi struktur (m) dari muka tanah/taraf penjepitan lateral hingga tingkat-x atau tingkat-i
- k = Eksponen yang terkait periode struktur, ketentuannya sebagai berikut:
  - a. Jika T ≤ 0.5, k = 1
  - b. Jika 0.5 < T < 2.5, k = interpolasi antara 1 ~ 2
  - c. Jika T ≥ 2.5, k = 2

dengan nilai T = 0.935 sec

Catatan:

k = eksponen yang terkait dengan priode struktur dengan nilai sebagai berikut :

Untuk struktur dengan T ≤ 0.5 detik k = 1

Untuk struktur dengan T ≥ 0.5 Detik k = 2

Untuk struktur dengan 0.5 < T < 2.5 detik, k = 2

atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

maka, nilai k = 1.218

Distribusi vertikal gaya gempa dan distribusi gaya gempa horizontal (gaya gempa arah U-S atau Y)

Lantai	Tinggi (m)	Berat (kN)	Wh^k	$Wh^k/\Sigma Wh^k=(C_{vx})$	Force Fi (kN)	Story Shear Vx (kN)
Lantai Atap 8	28	2752.69	2752.69	0.016	378.613	378.613
Lantai Atap 7	24	18421.79	18421.79	0.110	2533.788	2912.401
Lantai 6	20	22966.97	22966.97	0.137	3158.945	6071.345
Lantai 5	16	25710.29	25710.29	0.153	3536.270	9607.615
Lantai 4	12	26308.44	26308.44	0.157	3618.541	13226.156
lantai 3	8	34701.07	34701.07	0.207	4772.888	17999.043
Lantai 2	4	36792.58	36792.58	0.219	5060.560	23059.603
Total		167653.83	167653.83	1.000	23059.603	

Distribusi vertikal gaya gempa dan distribusi gaya gempa horizontal (gaya gempa arah U-S atau Y)

Lantai	Tinggi (m)	Berat (kN)	Wh^k	$Wh^k/\Sigma Wh^k=(C_{vx})$	Force Fi (kN)	Story Shear Vx (kN)
Lantai Atap 8	28	2752.69	2752.69	0.016	378.613	378.613
Lantai Atap 7	24	18421.79	18421.79	0.110	2533.788	2912.401
Lantai 6	20	22966.97	22966.97	0.137	3158.945	6071.345
Lantai 5	16	25710.29	25710.29	0.153	3536.270	9607.615
Lantai 4	12	26308.44	26308.44	0.157	3618.541	13226.156
lantai 3	8	34701.07	34701.07	0.207	4772.888	17999.043
Lantai 2	4	36792.58	36792.58	0.219	5060.560	23059.603
Total		167653.83	167653.83	1.000	23059.603	

Lampiran 41 Perhitungan Beban Gempa

Perhitungan arah gempa statik ekuivalen (Fi) untuk arah U-S dan B-T

Lantai	(U-S)-Y		(B-T)-X	
	Fy (kN)	30 % Fx (kN)	Fx (kN)	30 % Fy (kN)
Lantai Atap 8	378.613	113.584	378.613	113.584
Lantai Atap 7	2533.788	760.136	2533.788	760.136
Lantai 6	3158.945	947.683	3158.945	947.683
Lantai 5	3536.270	1060.881	3536.270	1060.881
Lantai 4	3618.541	1085.562	3618.541	1085.562
lantai 3	4772.888	1431.866	4772.888	1431.866
Lantai 2	5060.560	1518.168	5060.560	1518.168

Lampiran 42 Perhitungan Beban Gempa Prosedur Diagram Respon Spektrum

I. Parameter Perhitungan Beban Gempa Prosedur "Spektrum Respon Ragam"

Periode Fundamental Struktur : T = 0.935 sec

$$T_0 = \frac{0{,}2 \times S_{D1}}{S_{Ds}} = \frac{0.2 \times 0.649}{0.734} = 0.177$$

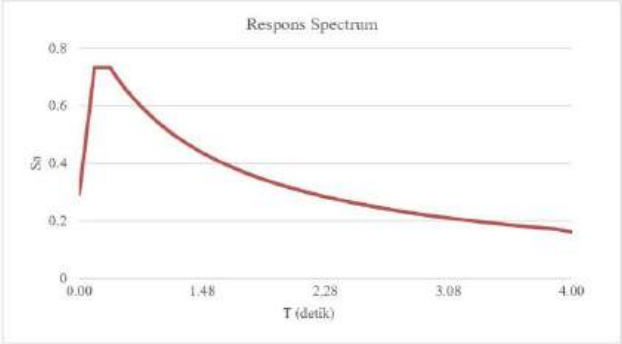
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} = \frac{0.649}{0.734} = 0.884 \text{ sec}$$

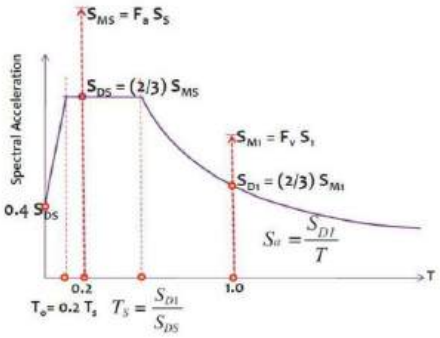
Spektrum Respon Percepatan Desain

- jika, $T < T_0$: $Sa = S_{DS} * (0.4 + 0.6\ T/To)$
- jika, $T_0 \leq T \leq T_s$: $Sa = S_{Ds}$
- jika, $T > T_s$: $Sa = S_{D1} / T$

Tabel Spektrum Respon Percepatan Desain (Sa) terhadap Periode (T)

T detik	T detik	Sa (g)
0	0	0.293
T_0	0.177	0.734
T_s	0.884	0.734
Ts+0.1	0.984	0.659
Ts+0.2	1.084	0.598
Ts+0.3	1.184	0.548
Ts+0.4	1.284	0.505
Ts+0.5	1.384	0.469
Ts+0.6	1.484	0.437
Ts+0.7	1.584	0.409
Ts+0.8	1.684	0.385
Ts+0.9	1.784	0.364
Ts+1.0	1.884	0.344
Ts+1.1	1.984	0.327
Ts+1.2	2.084	0.311
Ts+1.3	2.184	0.297
Ts+1.4	2.284	0.284
Ts+1.5	2.384	0.272
Ts+1.6	2.484	0.261
Ts+1.7	2.584	0.251
Ts+1.8	2.684	0.242
Ts+1.9	2.784	0.233
Ts+2.0	2.884	0.225
Ts+2.1	2.984	0.217
Ts+2.2	3.084	0.210
Ts+2.3	3.184	0.204
Ts+2.4	3.284	0.197
Ts+2.5	3.384	0.192
Ts+2.6	3.484	0.186
Ts+2.7	3.584	0.181
Ts+2.8	3.684	0.176
Ts+2.9	3.784	0.171
Ts+4.0	4	0.162





Lampiran 43 Perhitungan Simpangan Antar Tingkat

J. Simpangan Antar Tingkat

7.9.1.4 Skala nilai desain untuk respons terkombinasi

Geser dasar (V) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horizontal ortogonal menggunakan periode fundamental struktur yang dihitung T dalam masing-masing arah dan prosedur 0.

7.9.1.4.1 Penskalaan gaya

Apabila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari C_uT_a pada suatu arah tertentu, maka periode struktur T harus diambil sebesar C_uT_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 ekivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t, dimana. V adalah gaya geser dasar statik ekivalen yang dihitung sesuai pasal ini dan 0, dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam.

7.9.1.4.1 Penskalaan simpangan

Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari C_sW, dan dimana C_s ditentukan berdasarkan persamaan (35), maka simpangan harus dikalikan dengan C_sW/V_t.

Faktor Skala gempa Dinamik Respon Spektrum :

	V	=	23059.603	kN	Manual
	V	=	-21804.398	kN	Output Etabs
Faktor Skala Awal	SF	=	$SF = \frac{g}{\left(\frac{R}{T}\right)}$		
		=	1.839	m/s^2	
		=	1838.747	mm/s^2	
Gaya Geser Dasar Analisis Struktur	V_{AX}	=	16059.490	kN	Output Etabs
	V_{AY}	=	16695.114	kN	Output Etabs
Penskalaan Gaya Gempa	f_X	=	1.436		
	f_Y	=	1.381		
Faktor Skala Baru	SF_X	=	2640.232	mm/s^2	
	SF_Y	=	2539.711	mm/s^2	

K. Simpangan Antar Tingkat

Tabel 20 – Simpangan antar tingkat izin, Δ_a[a,b]

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[d]	$0{,}010h_{sx}$	$0{,}010h_{sx}$	$0{,}010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0{,}007h_{sx}$	$0{,}007h_{sx}$	$0{,}007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0{,}020h_{sx}$	$0{,}015h_{sx}$	$0{,}010h_{sx}$

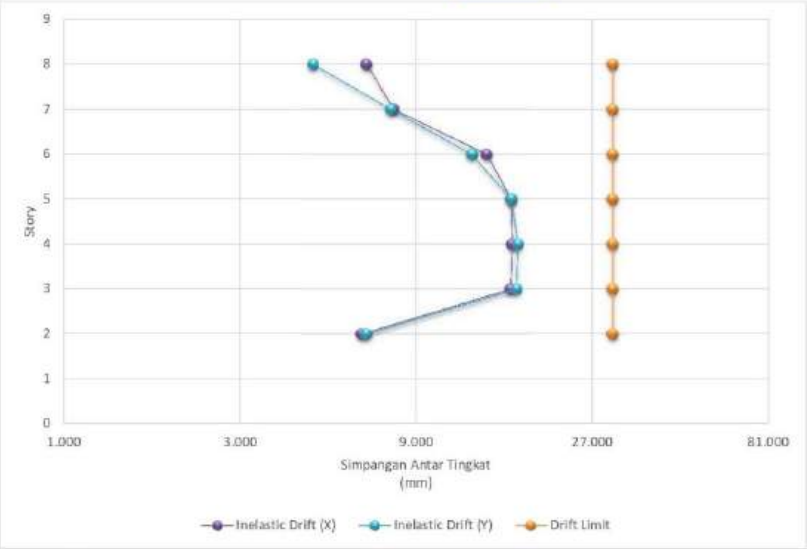
7.12.1.1 Rangka pemikul momen pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D sampai F

Untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D, E, atau F, simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi Δ_a/ρ untuk semua tingkat. ρ harus ditentukan sesuai dengan 0.

Simpangan Antar Tingkat Izin (Tabel)	Δ_a	=	0.01	h
Faktor Redundansi	ρ	=	1.3	
Story Drift Inelastik Izin	Δ_{izin}	=	Δ/ρ	*untuk KDS D
		=	0.0077	h
Faktor Pembesaran Defleksi	C_d	=	5.50	
Faktor Keutamaan Gempa	I_e	=	1.50	
Story Drift Inelastik	Δ	=	$\delta * C_d / I_e$	

Lampiran 44 Diagram Simpangan Antar Tingkat

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_X (mm)	δe_Y (mm)	δe_X (mm)	δe_Y (mm)	(mm)	Δ_X (mm)	Δ_Y (mm)	(mm)	
8	21.115	20.533	1.807	1.291	4000	6.626	4.734	30.769	OK
7	19.308	19.242	2.138	2.100	4000	7.839	7.700	30.769	OK
6	17.170	17.142	3.823	3.474	4000	14.018	12.738	30.769	OK
5	13.347	13.668	4.444	4.455	4000	16.295	16.335	30.769	OK
4	8.903	9.213	4.475	4.631	4000	16.408	16.980	30.769	OK
3	4.428	4.582	4.428	4.582	4000	16.236	16.801	30.769	OK
2	1.749	1.809	1.749	1.809	4000	6.413	6.633	30.769	OK



L. Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \qquad (45)$$

Keterangan:

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN); bila menghitung P_x, faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0;

Δ = simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam 0, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan $x-1$ (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x, (mm);

C_d = faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 12.

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \qquad (46)$$

dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan $x-1$. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{max}, faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0/(1-\theta)$.

Jika θ lebih besar dari θ_{max}, struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

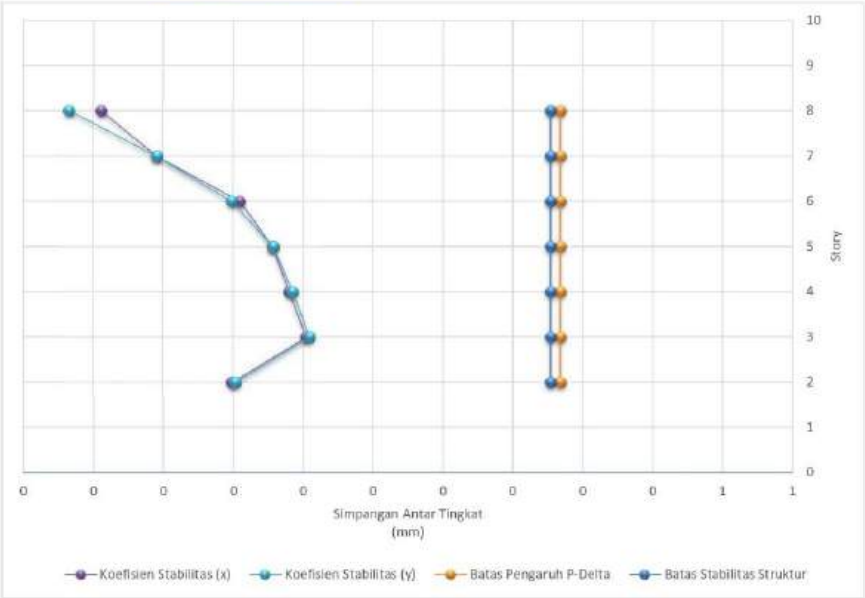
Rasio kebutuhan geser β = 1

Batas koefisien stabilitas θ_{max} = $0.5 / (\beta * C_d) <= 0.25$

= 0.0909

Lampiran 45 Perhitungan dan Diagram P-Delta

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabiltas Struktur, θmax	Cek
	δ_{eX} (mm)	δ_{eY} (mm)	P (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)	(mm)	θX	θY			
8	6.63	4.73	2478.0	1058.1	1033.6	4000	0.0011	0.0008	0.1	0.09	OK
7	7.84	7.70	21662.9	6331.4	6210.4	4000	0.0018	0.0018	0.1	0.09	OK
6	14.02	12.74	50809.3	11591.4	11433.8	4000	0.0042	0.0039	0.1	0.09	OK
5	16.29	16.34	82751.5	15957.1	15879.1	4000	0.0058	0.0058	0.1	0.09	OK
4	16.41	16.98	116231.0	19103.7	19098.1	4000	0.0068	0.0070	0.1	0.09	OK
3	16.24	16.80	156810.2	21584.3	21595.0	4000	0.0080	0.0083	0.1	0.09	OK
2	6.41	6.63	202383.3	22885.1	22882.3	4000	0.0039	0.0040	0.1	0.09	OK



Lampiran 46 Output Gaya Dalam Momen Balok (Beam Flexure)

TABLE: Concrete Beam Flexure Envelope - ACI 318-19						
Story	Label	Section	Location	-ve Moment Combo	-ve Moment	+ve Moment
Lantai 2	B34	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	End-I	ENV LRFD	-1030.0794	1002.8913
lantai 3	B34	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	End-I	ENV LRFD	-803.3766	783.4229
lantai 3	B41	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	End-I	ENV LRFD	-956.8747	731.7839
lantai 3	B9	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	End-I	ENV LRFD	-1132.8485	719.0906
lantai 3	B30	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	End-I	ENV LRFD	-1033.828	647.6903
Lantai 2	B41	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	End-I	ENV LRFD	-806.3773	565.881
lantai 3	B30	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	Middle	ENV LRFD	-356.2802	552.282
lantai 3	B9	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	Middle	ENV LRFD	-356.672	551.7463
Lantai 2	B9	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	End-I	ENV LRFD	-951.3533	551.0622
lantai 3	B41	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	Middle	ENV LRFD	-412.1205	524.2856
Lantai 2	B30	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	End-I	ENV LRFD	-909.4477	499.7228
Lantai 2	B30	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	Middle	ENV LRFD	-267.5185	467.6359
Lantai 2	B9	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	Middle	ENV LRFD	-267.8409	467.0941
Lantai 2	B41	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	Middle	ENV LRFD	-310.0544	424.9224
Lantai 2	B34	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	Middle	ENV LRFD	-359.2842	380.5151
lantai 3	B34	BALOK UTAMA LT.1-3 100/70	Middle	ENV LRFD	-297.4521	314.5686

Lampiran 47 Output Gaya Dalam Geser Balok (Beam Shear)

TABLE: Concrete Beam Shear Envelope - ACI 318-19						
Story	Label	UniqueName	Section	Location	Shear Design Combo	Shear Force
Lantai 2	B38	615	BALOK UTAMA LT.1-3 1(	End-I	LRFD 6-8	950.92
Lantai 2	B38	615	BALOK UTAMA LT.1-3 1(	End-J	LRFD 6-8	948.8884
Lantai 2	B38	615	BALOK UTAMA LT.1-3 1(	Middle	ENV LRFD	926.7656
lantai 3	B38	836	BALOK UTAMA LT.1-3 1(	End-I	ENV LRFD	770.8636
lantai 3	B38	836	BALOK UTAMA LT.1-3 1(	End-J	LRFD 6-8	754.4092
lantai 3	B38	836	BALOK UTAMA LT.1-3 1(	Middle	ENV LRFD	743.9028

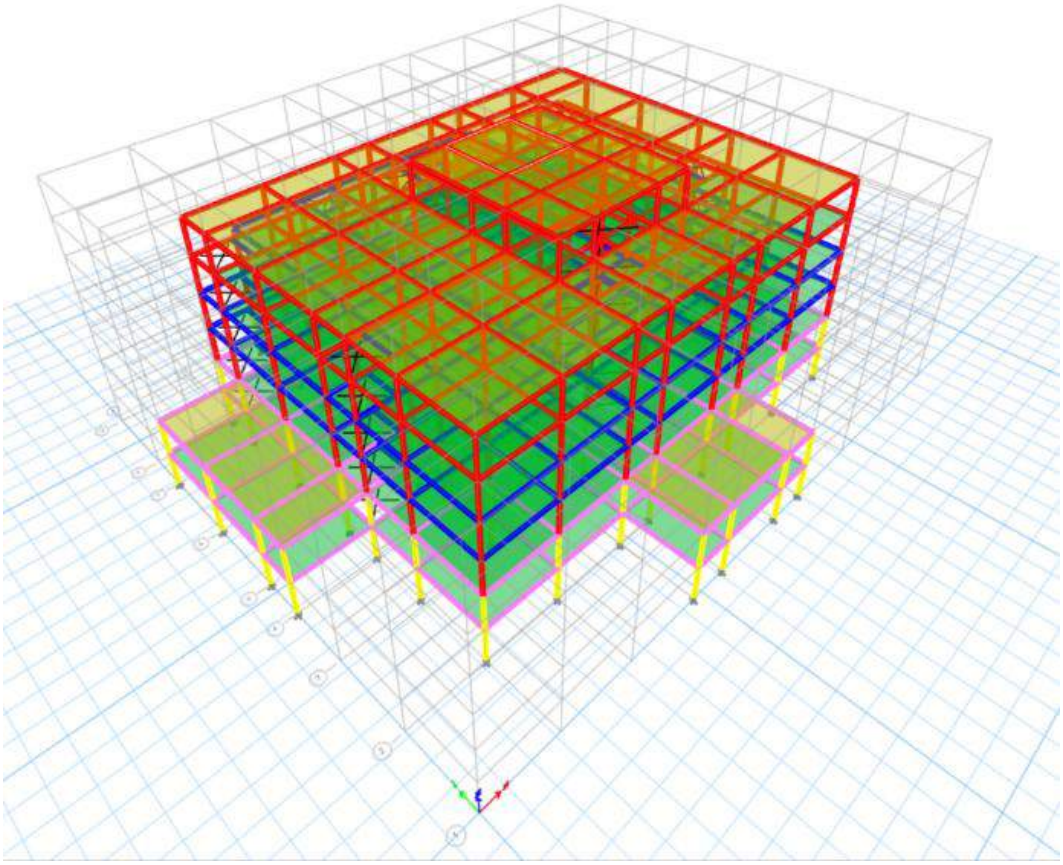
Lampiran 48 Output Gaya Dalam Momen Kolom (Column PMM)

TABLE: Concrete Column PMM Envelope - ACI 318-19							
Story	Label	UniqueName	Section	Location	P	M Major	M Minor
Lantai 2	C45	288	KOLOM 100/100 LT.1-2	Bottom	7119.4878	-1115.5998	-1186.84
lantai 3	C52	331	KOLOM 100/100 LT.1-2	Top	124.5064	-589.0527	1792.4716
lantai 3	C41	277	KOLOM 100/100 LT.1-2	Top	-123.8769	-581.4696	-1792.4716
lantai 3	C3	11	KOLOM 100/100 LT.1-2	Top	-163.3035	-1792.4716	577.3229
lantai 3	C2	10	KOLOM 100/100 LT.1-2	Top	-163.6669	1792.4716	577.4976
Lantai 2	C70	426	KOLOM 100/100 LT.1-2	Top	-1594.7101	12.2012	-518.2015

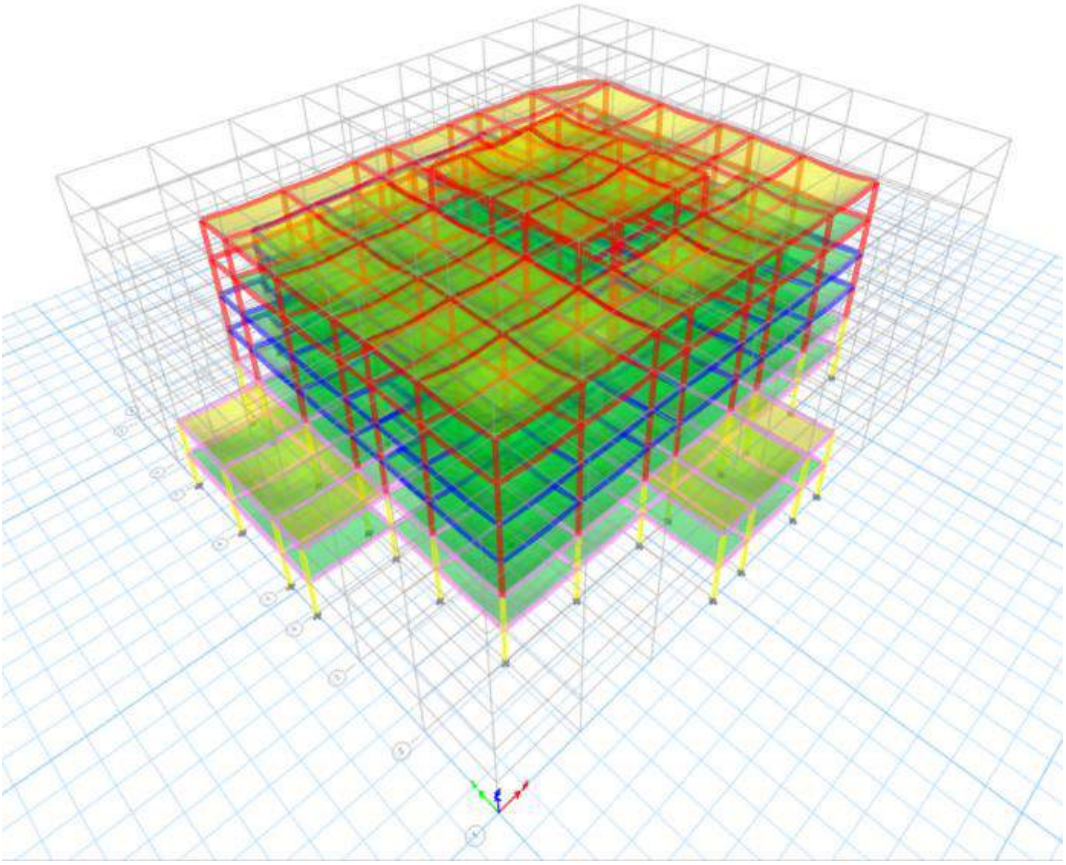
Lampiran 49 Output Gaya Dalam Geser Kolom (Column Shear)

TABLE: Concrete Column Shear Envelope - ACI 318-19						
Story	Label	UniqueName	Section	Location	V Major	V Minor
lantai 3	C43	281	KOLOM 100/100 LT.1-2	Top	568.7033	1030.1033
lantai 3	C2	10	KOLOM 100/100 LT.1-2	Top	1030.1033	563.1066

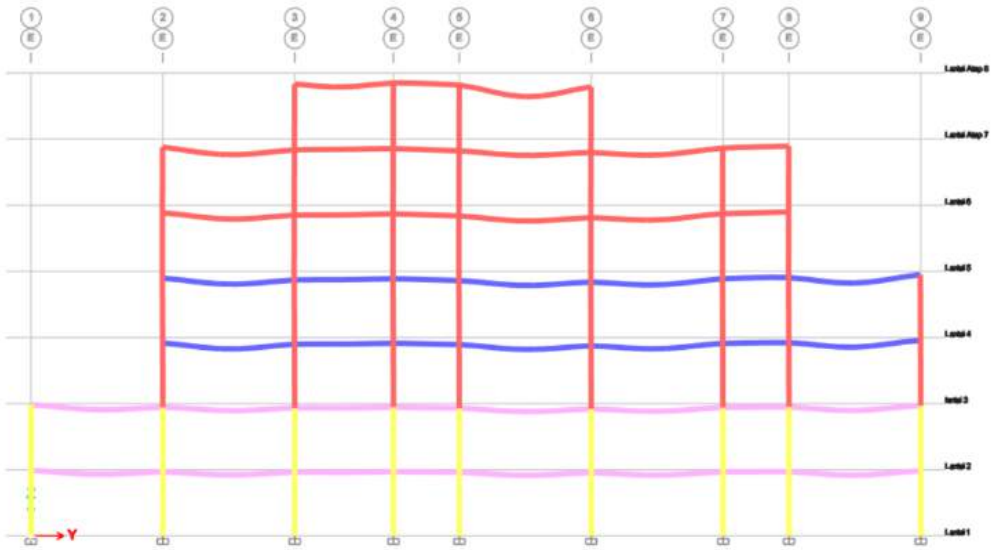
Lampiran 50 3D Model Non-Deformasi



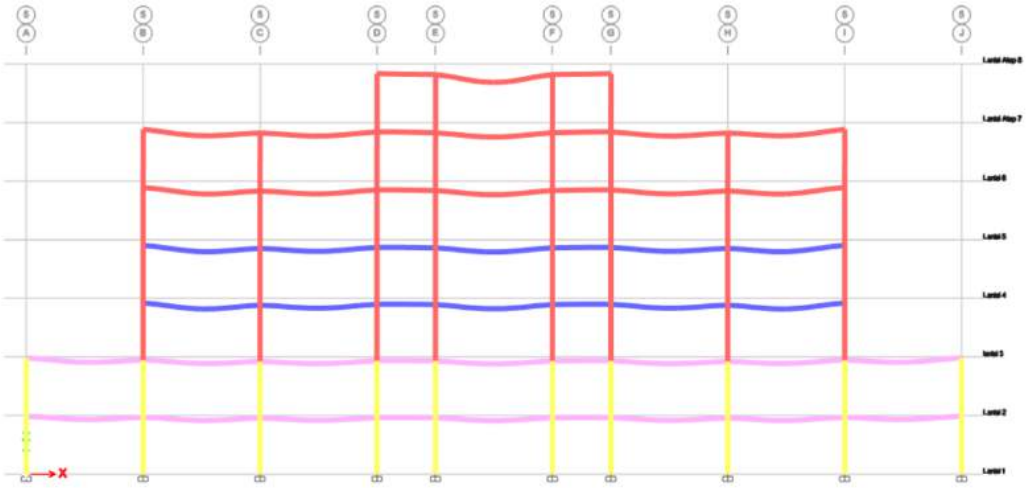
Lampiran 51 3D Model Deformasi



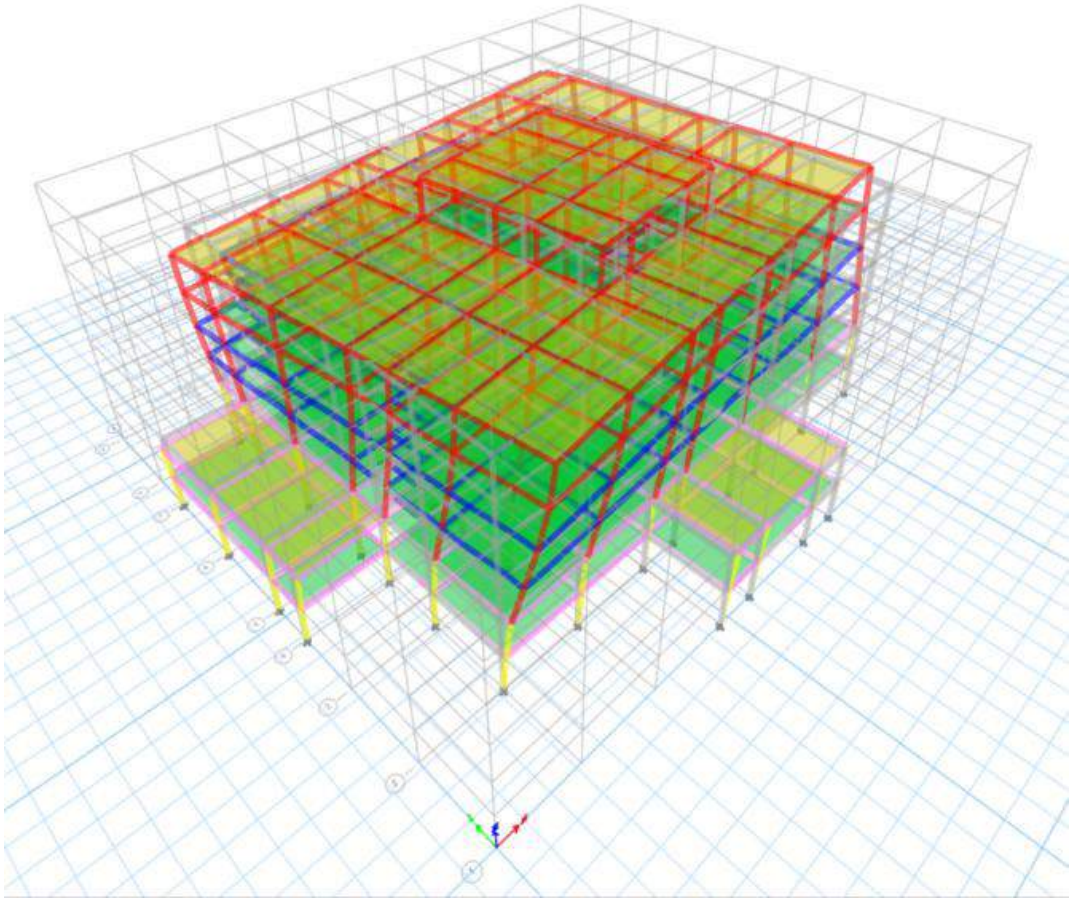
Lampiran 52 2D Melintang Model Deformasi



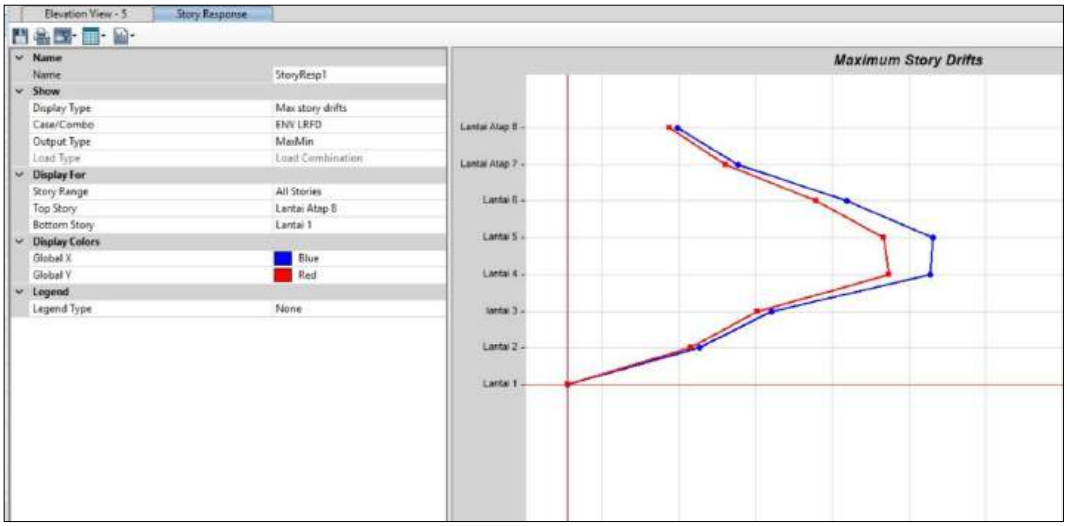
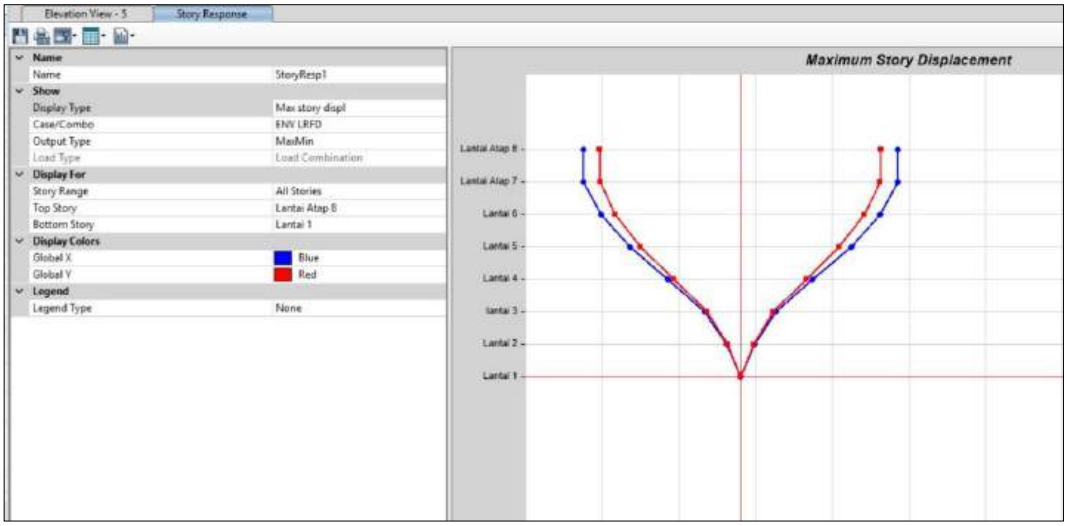
Lampiran 53 2D Memanjang Model Deformasi



Lampiran 54 3D Model Deformasi Periode 0.55 detik Mode #3



Lampiran 55 Diagram Max Strory Drift



Lampiran 56 Diagram Max Strory Displacment