

TUGAS AKHIR

**STUDI RESPON STRUKTUR ATAS GEDUNG
BERTINGKAT DENGAN SISTEM DINDING GESER
BETON BERTULANG KHUSUS**

*(COMPARISON OF STRUCTURAL RESPONSE OF
MULTI-STOREY BUILDINGS WITH SPECIAL
REINFORCED CONCRETE SHEAR WALL SYSTEM)*

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



**Muhammad Aqil Almajid
19511213**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

TUGAS AKHIR

STUDI RESPON STRUKTUR ATAS GEDUNG BERTINGKAT DENGAN SISTEM DINDING GESER BETON BERTULANG KHUSUS

*(COMPARISON OF STRUCTURAL RESPONSE OF
MULTI-STOREY BUILDINGS WITH SPECIAL
REINFORCED CONCRETE SHEAR WALL SYSTEM)*



Disusun oleh

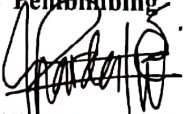
Muhammad Aqil Almajid
19511213

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

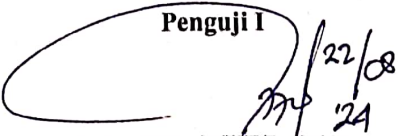
Diuji pada tanggal: 20 Agustus 2024

Oleh Dewan Penguji

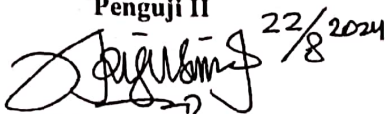
Berbimbing


22.08.24.
triana Hardawati S.T., M.Eng.
NIP: 1651111301

Penguji I

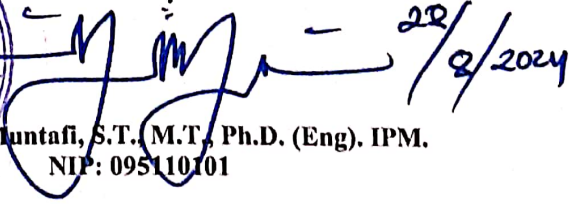

22/08/24
Jafar S.T., MURP., M.T.
NIP: 185111305

Penguji II


22/8/2024
Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.
NIP: 185111304



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


22/8/2024
If. Yunnafia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng). IPM.
NIP: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 23 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Aqil Almajid

(19511213)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur selalu tercurahkan kehadiran Allah SWT atas karunia rahmat dan hidayahnya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Studi Respon Struktur Atas Gedung bertingkat dengan Sistem Dinding Geser Beton Bertulang Khusus*” Tugas Akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu (S1) dalam memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Selama proses menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir ini saya banyak mendapat bantuan dari pihak lain bagi dari segi bimbingan, arahan, serta saran dan kritik hingga terselesainya Tugas Akhir ini dengan hasil yang baik dan maksimal. Untuk itu dalam penulisan Tugas Akhir ini saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

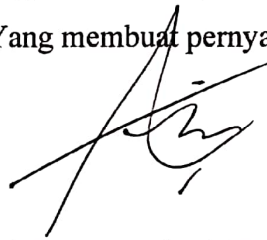
1. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng., selaku Ketua Program Studi sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak bimbingan nasehat, saran dan motivasi yang membangun selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak/Ibu dosen penguji I dan dosen penguji II Tugas Akhir yang turut memberikan bimbingan dan arahan untuk Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Majid M.Pd dan Ibu Replin S. Bialangi, S.Pd, selaku orang tua saya tercinta yang selalu menjadi sosok luar biasa dalam memberikan semangat dukungan, doa dan kasih sayang untuk keberhasilan anak-anaknya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
5. Kakak saya Andry dan Kiky yang terus memberikan semangat hubungan, doa dan nasihat sehingga saya dapat lebih semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Sahabat-sahabat seperjuangan Burlin yang selalu membantu dan saling menyemangati selama penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Teknik Sipil angkatan 2019 Universitas Islam Indonesia yang turut memberikan saran dan dukungan sehingga memudahkan saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Saya menyadari sepenuhnya bahwa Tugas akhir ini masih jauh dari sempurna dan tidak luput dari kesalahan. Untuk itu saya mohon maaf serta mengharapakan kritik dan saran yang membangun agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi saya dan berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 23 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Aqil Almajid

(19511213)

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
ABSTRAK	xxi
ABSTRACT	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.1.1 Komparasi Respon Dinamik Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Variasi Bentuk dan Penempatan Dinding Geser Mengacu SNI 1726: 2019 (2020)	6
2.1.2 Studi Komparasi Respon Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Sistem Dinding Geser dan Pertambatan (2021)	8
2.1.3 Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Tinggi terhadap Gempa dengan Variasi Penempatan Dinding Geser	9
2.1.4 Perbandingan Respons Struktur Pada Portal Bertingkat Berdasarkan SNI 1726-2012 Dengan Variasi Penempatan Dinding Geser	11

2.1.5 Perencanaan Dinding Geser Gedung Keuangan Negara Banda Aceh Menggunakan SNI Gempa 1726:2019	12
2.2 Perbandingan Penelitian	14
BAB III LANDASAN TEORI	19
3.1 Bangunan Tahan Gempa	19
3.2 Pembebanan	19
3.2.1 Beban Mati	20
3.2.2 Beban Hidup	20
3.2.3 Beban Gempa	21
3.2.4 Kombinasi Pembebanan Dasar untuk Metode Ultimit	21
3.2.5 Kombinasi Pembebanan Dasar untuk Metode Tegangan Izin	22
3.2.6 Gempa Horizontal dan Vertikal	23
3.3 Ketidakberaturan Struktur	23
3.4 Respon Dinamik Struktur	31
3.4.1 Klasifikasi Situs	31
3.4.2 Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum	31
3.4.3 Parameter Percepatan Spektral Desain	34
3.4.4 Geser Dasar Seismik	35
3.4.5 Periode Fundamental Pendekatan	36
3.4.6 Distribusi Vertikal Gaya Seismik	37
3.4.7 Distribusi Horizontal Gaya Seismik	38
3.5 Simpangan Antar Lantai	38
3.5.1 Penentuan Simpangan Antar Lantai	38
3.5.2 Batasan Simpangan Antar Lantai	39
3.6 Sistem Ganda	40
3.6.1 Dinding Geser	40
BAB IV METODE PENELITIAN	42
4.1 Umum	42
4.2 Model Struktur	42
4.2.1 Model 1 (Gedung Eksisting)	45
4.2.2 Model 2 (Gedung Eksisting dengan Menambah Dinding Geser)	51

4.2.3 Model 3 (Gedung Redesain dengan Menambah Dinding Geser)	58
4.3 Data Penelitian	65
4.5 Tahapan Penelitian	66
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	70
5.1 Konfigurasi Bangunan	70
5.1.1 Konfigurasi Bagunan	70
5.1.2 Data Mutu Bahan	71
5.1.3 Dimensi Elemen Struktur	72
5.1.4 Penentuan Jenis Tanah	73
5.2 Perhitungan Pembebanan Struktur	74
5.2.1 Beban Mati	75
5.2.2 Beban Hidup	75
5.3 Model 1 (Gedung Eksisting)	76
5.3.1 Preliminary Design	76
5.3.2 Beban Gempa	83
5.3.3 Ketidakberatiran Vertikal	87
5.3.4 Ketidakberaturan Horizontal	90
5.3.5 Rekapitulasi Ketidakberaturan	94
5.3.6 Pengecekan Hasil Analisis	95
5.4 Model 2 (Gedung Eksisting Dengan Menambah Dinding Geser)	102
5.4.1 Preliminary Design	102
5.4.2 Beban Gempa	113
5.4.3 Ketidakberatiran Vertikal	116
5.4.4 Ketidakberaturan Horizontal	120
5.4.5 Rekapitulasi Ketidakberaturan	124
5.4.6 Pengecekan Hasil Analisis	125
5.5 Model 3 (Gedung Redesain dengan Menambah Dinding Geser)	133
5.5.1 Preliminary Design	133
5.5.2 Beban Gempa	147
5.5.3 Ketidakberatiran Vertikal	150
5.5.4 Ketidakberaturan Horizontal	154

5.5.5 Rekapitulasi Ketidakberaturan	158
5.5.6 Pengecekan Hasil Analisis	159
5.5.7 Redesain Struktur Eksisting	167
5.6 Perbandingan Hasil Desain	259
5.6.1 Gaya Geser Dasar (Base Shear)	259
5.6.2 Displacement	260
5.6.3 Drift Ratio	262
5.6.4 Simpangan Antar Lantai	265
5.6.5 P-Delta	267
5.6.6 Total Volume Gedung	269
5.6.7 Hasil Respons Bangunan Keseluruhan	269
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	271
6.1 Kesimpulan	271
6.2 Saran	272
DAFTAR PUSTAKA	273
LAMPIRAN	276

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3. 1 Faktor Keutamaan Gempa	21
Tabel 3. 2 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur	24
Tabel 3. 3 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur	27
Tabel 3. 4 Prosedur Analisis yang Diizinkan	30
Tabel 3. 5 Klasifikasi Situs	31
Tabel 3. 6 Koefisien Situs Fa	32
Tabel 3. 7 Koefisien Situs Fv	33
Tabel 3. 8 Nilai Parameter Periode Pendekatan Ct dan x	37
Tabel 3. 9 Simpangan Antar a Tingkat Izin ($\Delta_a^{a,b}$)	39
Tabel 4. 1 Pemodelan Struktur	42
Tabel 4. 2 Dimensi Balok Model 1	45
Tabel 4. 3 Dimensi Kolom Model 1	45
Tabel 4. 4 Dimensi Pelat Lantai Model 1	45
Tabel 4. 5 Dimensi Balok Model 2	51
Tabel 4. 6 Dimensi Kolom Model 2	51
Tabel 4. 7 Dimensi Pelat Lantai Model 2	52
Tabel 4. 8 Dimensi Dinding Geser Model 2	52
Tabel 4. 9 Dimensi Balok Model 3	58
Tabel 4. 10 Dimensi Kolom Model 3	59
Tabel 4. 11 Dimensi Pelat Lantai Model 3	59
Tabel 4. 12 Dimensi Dinding Geser Model 3	59
Tabel 4. 13 Data Penelitian	66
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Dimensi Balok	72
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Dimensi Kolom	73
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Dimensi Pelat	73
Tabel 5. 4 Kepadatan Relatif Berdasarkan Nilai Konus (CR)	74
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Sondir	74

Tabel 5. 6 Dimensi Balok (Sesuai Ukuran Gedung Eksisting)	76
Tabel 5. 7 Dimensi Pelat (Sesuai Ukuran Gedung Eksisting)	79
Tabel 5. 8 Dimensi Kolom (Sesuai Ukuran Gedung Eksisting)	81
Tabel 5. 9 Berat Total Bangunan Model 1	86
Tabel 5. 10 Kekakuan Tingkat Lunak Arah X Model 1	87
Tabel 5. 11 Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y Model 1	88
Tabel 5. 12 Perhitungan Ketidakberaturan Massa Model 1	88
Tabel 5. 13 Geometri Vertikal Portal Arah X Model 1	89
Tabel 5. 14 Geometri Vertikal Portal Arah Y Model 1	89
Tabel 5. 15 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Model 1	90
Tabel 5. 16 Hasil Perhitungan Torsi Arah X Model 1	91
Tabel 5. 17 Hasil Perhitungan Torsi Arah Y Model 1	91
Tabel 5. 18 Daerah Diafragm Bruto Tertutup Model 1	93
Tabel 5. 19 Daerah Diafragm Bruto Terbuka Model 1	93
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal dan Horizontal Model 1	95
Tabel 5. 21 Gaya Geser Dasar (Base Shear) Model 1	96
Tabel 5. 22 Simpangan Antar Lantai Arah X	98
Tabel 5. 23 Simpangan Antar Lantai Arah Y	98
Tabel 5. 24 P-Delta Arah X Model 1	101
Tabel 5. 25 P-Delta Arah Y Model 1	101
Tabel 5. 26 Dimensi Balok Model 2 (Sesuai Ukuran Gedung Eksisting)	103
Tabel 5. 27 Dimensi Pelat Model 2 (Sesuai Ukuran Gedung Eksisting)	105
Tabel 5. 28 Dimensi Kolom Model 2 (Sesuai Ukuran Gedung Eksisting)	108
Tabel 5. 29 Estimasi Dimensi Dinding Geser Model 2	111
Tabel 5. 30 Berat Total Bangunan Model 2	116
Tabel 5. 31 Kekakuan Tingkat Lunak Arah X Model 2	117
Tabel 5. 32 Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y Model 2	117
Tabel 5. 33 Perhitungan Ketidakberaturan Massa Model 2	118
Tabel 5. 34 Geometri Vertikal Portal Arah X Model 2	118
Tabel 5. 35 Geometri Vertikal Portal Arah Y Model 2	119

Tabel 5. 36 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Model 2	120
Tabel 5. 37 Hasil Perhitungan Torsi Arah X Model 2	121
Tabel 5. 38 Hasil Perhitungan Torsi Arah Y Model 2	121
Tabel 5. 39 Daerah Diafragm Bruto Tertutup Model 2	123
Tabel 5. 40 Daerah Diafragm Bruto Terbuka Model 2	123
Tabel 5. 41 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal dan Horizontal Model 2	124
Tabel 5. 42 Gaya Geser Dasar (Base Shear) Model 2	126
Tabel 5. 43 Simpangan Antar Lantai Arah X Model 2	128
Tabel 5. 44 Simpangan Antar Lantai Arah Y Model 2	128
Tabel 5. 45 P-Delta Arah X Model 2	131
Tabel 5. 46 P-Delta Arah Y Model 2	131
Tabel 5. 47 Cek Bangunan Memikul 25% Gaya Seismik pada Model 2	132
Tabel 5. 48 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok Model 3	134
Tabel 5. 49 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Pelat Model 3	138
Tabel 5. 50 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom Model 3	142
Tabel 5. 51 Estimasi Dimensi Dinding Geser Model 3	145
Tabel 5. 52 Berat Total Bangunan Model 3	150
Tabel 5. 53 Kekakuan Tingkat Lunak Arah X Model 3	151
Tabel 5. 54 Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y Model 3	151
Tabel 5. 55 Perhitungan Ketidakberaturan Massa Model 3	152
Tabel 5. 56 Geometri Vertikal Portal Arah X Model 3	152
Tabel 5. 57 Geometri Vertikal Portal Arah Y Model 3	153
Tabel 5. 58 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Model 3	154
Tabel 5. 59 Hasil Perhitungan Torsi Arah X Model 3	155
Tabel 5. 60 Hasil Perhitungan Torsi Arah Y Model 3	155
Tabel 5. 61 Daerah Diafragm Bruto Tertutup Model 3	157
Tabel 5. 62 Daerah Diafragm Bruto Terbuka Model 3	157
Tabel 5. 63 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal dan Horizontal Model 3	159
Tabel 5. 64 Gaya Geser Dasar (Base Shear) Model 3	161

Tabel 5. 65 Simpangan Antar Lantai Arah X Model 3	162
Tabel 5. 66 Simpangan Antar Lantai Arah Y Model 3	162
Tabel 5. 67 P-Delta Arah X Model 3	166
Tabel 5. 68 P-Delta Arah Y Model 3	166
Tabel 5. 69 Cek Bangunan Memikul 25% Gaya Seismik pada Model 3	167
Tabel 5. 70 Rekapitulasi Penulangan Pelat	180
Tabel 5. 71 Rekapitulasi Momen Balok	183
Tabel 5. 72 Rekapitulasi Momen Distribusi Balok	185
Tabel 5. 73 Rekapitulasi Perhitungan Desain Tulangan Balok	219
Tabel 5. 74 Rekapitulasi Momen Kolom	224
Tabel 5. 75 Rasio Tulangan Rencana Kolom K1	226
Tabel 5. 76 Rekapitulasi Perhitungan Mn-Pn Kolom K1	234
Tabel 5. 77 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi dan Tulangan Pakai Pada Kolom	237
Tabel 5. 78 Rekapitulasi Pengecekan SCWB Kolom Arah X	239
Tabel 5. 79 Rekapitulasi Pengecekan SCWB Kolom Arah Y	239
Tabel 5. 80 Rekapitulasi Tulangan Geser Kolom	253
Tabel 5. 81 Perbandingan Nilai Gaya Geser Dasar (Base Shear)	259
Tabel 5. 82 Perbandingan Displacement	261
Tabel 5. 83 Drift Ratio Model 1 (Gedung Eksisting)	262
Tabel 5. 84 Drift Ratio Model 2 (Gedung Eksisting dengan Menambah Dinding Geser)	263
Tabel 5. 85 Drift Ratio Model 3 (Gedung Redesain dengan Menambah Dinding Geser)	263
Tabel 5. 86 Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah X	265
Tabel 5. 87 Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah Y	265
Tabel 5. 88 Perbandingan P-Delta Arah X	267
Tabel 5. 89 Perbandingan P-Delta Arah Y	267
Tabel 5. 90 Perbandingan Volume Gedung Eksisting dan Gedung Redesain	269
Tabel 5. 91 Perbandingan Hasil Respons Bangunan Keseluruhan	270

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Model Denah Bangunan Dinding Geser	7
Gambar 2. 2 Denah Bangunan Menggunakan Shear Wall (Model 2)	8
Gambar 2. 3 Denah Bangunan Menggunakan Bracing (Model 3)	8
Gambar 2. 4 Denah Bangunan Model Eksisting dengan Dinding Geser	10
Gambar 2. 5 Pemodelan Struktur Tanpa Shear Wall (TS)	11
Gambar 2. 6 Pemodelan Struktur Area Penempatan Shear Wall Model 1 (SW1)	11
Gambar 2. 7 Denah Perletakan Dinding Geser Tipe 1	13
Gambar 2. 8 Denah Perletakan Dinding Geser Tipe II	13
Gambar 3. 1 Ketidakberaturan 1a dan 1b	25
Gambar 3. 2 Ketidakberaturan 2	26
Gambar 3. 3 Ketidakberaturan 3	26
Gambar 3. 4 Ketidakberaturan 4	26
Gambar 3. 5 Ketidakberaturan 5	27
Gambar 3. 6 Ketidakberaturan 1a dan 1b	29
Gambar 3. 7 Ketidakberaturan 2	29
Gambar 3. 8 Ketidakberaturan 3	29
Gambar 3. 9 Ketidakberaturan 4	29
Gambar 3. 10 Ketidakberaturan 5	29
Gambar 3. 11 Parameter Gerak Tanah Ss, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spectrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5%)	33
Gambar 3. 12 Parameter Gerak Tanah, S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5 %)	34
Gambar 3. 13 Spektrum Respons Desain	35
Gambar 3. 14 Penentuan Simpangan Antar Lantai	38

Gambar 4. 1 Kodefikasi Balok Model 1 Lantai 1 - 3	46
Gambar 4. 2 Kodefikasi Balok Model 1 Lantai 4	46
Gambar 4. 3 Kodefikasi Balok Model 1 Lantai 5	47
Gambar 4. 4 Kodefikasi Pelat A1 Model 1 Lantai 1 - 3	47
Gambar 4. 5 Kodefikasi Pelat A2 Model 1 Lantai 4	48
Gambar 4. 6 Kodefikasi Pelat A3 Model 1 Lantai 5	48
Gambar 4. 7 Kodefikasi Kolom Model 1 Lantai 1	49
Gambar 4. 8 Kodefikasi Kolom Model 1 Lantai 2-4	49
Gambar 4. 9 Kodefikasi Kolom Model 1 Lantai 5	50
Gambar 4. 10 Pemodelan SAP2000 Model 1	50
Gambar 4. 11 Kodefikasi Balok Model 2 Lantai 1 - 3	52
Gambar 4. 12 Kodefikasi Balok Model 2 Lantai 4	53
Gambar 4. 13 Kodefikasi Balok Model 2 Lantai 5	53
Gambar 4. 14 Kodefikasi Pelat A1 Model 2 Lantai 1 - 3	54
Gambar 4. 15 Kodefikasi Pelat A2 Model 2 Lantai 4	54
Gambar 4. 16 Kodefikasi Pelat A3 Model 2 Lantai 5	55
Gambar 4. 17 Kodefikasi Kolom Model 2 Lantai 1	55
Gambar 4. 18 Kodefikasi Kolom Model 2 Lantai 2 - 4	56
Gambar 4. 19 Kodefikasi Kolom Model 2 Lantai 5	56
Gambar 4. 20 Kodefikasi Dinding Geser Model 2 Lantai 1 – 3	57
Gambar 4. 21 Kodefikasi Dinding Geser Model 2 Lantai 4	57
Gambar 4. 22 Pemodelan SAP2000 Model 2	58
Gambar 4. 23 Kodefikasi Balok Model 3 Lantai 1 – 3	59
Gambar 4. 24 Kodefikasi Balok Model 3 Lantai 4	60
Gambar 4. 25 Kodefikasi Balok Model 3 Lantai 5	60
Gambar 4. 26 Kodefikasi Pelat A1 Model 3 Lantai 1 – 3	61
Gambar 4. 27 Kodefikasi Pelat A2 Model 3 Lantai 4	61
Gambar 4. 28 Kodefikasi Pelat A3 Model 3 Lantai 5	62
Gambar 4. 29 Kodefikasi Kolom Model 3 Lantai 1	62
Gambar 4. 30 Kodefikasi Kolom Model 3 Lantai 2 - 4	63
Gambar 4. 31 Kodefikasi Kolom Model 3 Lantai 5	63

Gambar 4. 32 Kodefikasi Dinding Geser Model 3 Lantai 1 - 3	64
Gambar 4. 33 Kodefikasi Dinding Geser Model 3 Lantai 4	64
Gambar 4. 34 Pemodelan SAP2000 Model 3	65
Gambar 4. 35 Bagan Alir Penelitian	68
Gambar 5. 1 Denah Lokasi Gedung Laboratorium Riset	71
Gambar 5. 2 Denah Bangunan Model 1	76
Gambar 5. 3 Kodefikasi Balok Model 1 Lantai 1 - 3	77
Gambar 5. 4 Kodefikasi Balok Model 1 Lantai 4	77
Gambar 5. 5 Kodefikasi Balok Model 1 Lantai 5	78
Gambar 5. 6 Denah Bangunan Model 1	78
Gambar 5. 7 Kodefikasi Pelat A1 Model 1 Lantai 1 - 3	79
Gambar 5. 8 Kodefikasi Pelat A2 Model 1 Lantai 4	80
Gambar 5. 9 Kodefikasi Pelat A3 Model 1 Lantai 5	80
Gambar 5. 10 Denah Bangunan Model 1	81
Gambar 5. 11 Kodefikasi Kolom Model 1 Lantai 1	82
Gambar 5. 12 Kodefikasi Kolom Model 1 Lantai 2 – 4	82
Gambar 5. 13 Kodefikasi Kolom Model 1 Lantai 5	83
Gambar 5. 14 Nilai Tc Model 1	85
Gambar 5. 15 Denah Model 1	92
Gambar 5. 16 Pemodelan Gedung Eksisting (Model 1)	94
Gambar 5. 17 Gedung Eksisting (Model 1)	95
Gambar 5. 18 Grafik Simpangan Antar Lantai Model 1	99
Gambar 5. 19 Nilai Vx Model 1	99
Gambar 5. 20 Nilai Vy Model 1	100
Gambar 5. 21 Nilai Px Model 1	100
Gambar 5. 22 Grafik Kontrol P-Delta Model 1	102
Gambar 5. 23 Denah Bangunan Model 2	102
Gambar 5. 24 Kodefikasi Balok Model 2 Lantai 1 - 3	103
Gambar 5. 25 Kodefikasi Balok Model 2 Lantai 4	104
Gambar 5. 26 Kodefikasi Balok Model 2 Lantai 5	104
Gambar 5. 27 Denah Bangunan Model 2	105

Gambar 5. 28 Kodefikasi Pelat A1 Model 2 Lantai 1 - 3	106
Gambar 5. 29 Kodefikasi Pelat A2 Model 2 Lantai 4	106
Gambar 5. 30 Kodefikasi Pelat A3 Model 2 Lantai 5	107
Gambar 5. 31 Denah Bangunan Model 2	107
Gambar 5. 32 Kodefikasi Kolom Model 2 Lantai 1	108
Gambar 5. 33 Kodefikasi Kolom Model 2 Lantai 2 – 4	109
Gambar 5. 34 Kodefikasi Kolom Model 2 Lantai 5	109
Gambar 5. 35 Denah Bangunan Model 2	110
Gambar 5. 36 Denah Dinding Geser Model 2 Lantai 1 – 3	112
Gambar 5. 37 Denah Dinding Geser Model 2 Lantai 4	112
Gambar 5. 38 Nilai Tc Bangunan Model 2	114
Gambar 5. 39 Denah Model 2	122
Gambar 5. 40 Pemodelan Gedung Eksisting dengan Menambah Dinding Geser (Model 2)	124
Gambar 5. 41 Model 2 (Gedung Eksisting dengan Menambah Dinding Geser)	125
Gambar 5. 42 Grafik Simpangan Antar Lantai Model 2	129
Gambar 5. 43 Nilai Vx Model 2	129
Gambar 5. 44 Nilai Vy Model 2	130
Gambar 5. 45 Nilai Px Model 2	130
Gambar 5. 46 Grafik Kontrol P-Delta Model 2	132
Gambar 5. 47 Denah Bangunan Model 3	133
Gambar 5. 48 Kodefikasi Balok Model 3 Lantai 1 – 3	135
Gambar 5. 49 Kodefikasi Balok Model 3 Lantai 4	135
Gambar 5. 50 Kodefikasi Balok Model 3 Lantai 5	136
Gambar 5. 51 Denah Bangunan Model 3	136
Gambar 5. 52 Denah Pelat A1 Model 3 Lantai 1 – 3	139
Gambar 5. 53 Denah Pelat A2 Model 3 Lantai 4	139
Gambar 5. 54 Denah Pelat A3 Model 3 Lantai 5	140
Gambar 5. 55 Denah Bangunan Model 3	140
Gambar 5. 56 Kodefikasi Kolom Model 3 Lantai 1	142

Gambar 5. 57 Kodefikasi Kolom Model 3 Lantai 2 - 4	143
Gambar 5. 58 Kodefikasi Kolom Model 3 Lantai 5	143
Gambar 5. 59 Denah Bangunan Model 3	144
Gambar 5. 60 Denah Perletakan Dinding Geser Model 3 Lantai 1 – 3	146
Gambar 5. 61 Denah Perletakan Dinding Geser Model 3 Lantai 4	146
Gambar 5. 62 Nilai T_c Model 3	148
Gambar 5. 63 Denah Model 3	156
Gambar 5. 64 Pemodelan Gedung Redesain dengan Menambah Dinding Geser (Model 3)	158
Gambar 5. 65 Model 3 (Gedung Redesain dengan Menambah Dinding Geser)	159
Gambar 5. 66 Grafik Simpangan Antar Lantai Model 3	163
Gambar 5. 67 Nilai V_x Model 3	164
Gambar 5. 68 Nilai V_y Model 3	164
Gambar 5. 69 Nilai P_x Model 3	165
Gambar 5. 70 Grafik Kontrol P-Delta Model 3	166
Gambar 5. 71 Distribusi Regangan dan Tegangan	169
Gambar 5. 72 Penulangan Pelat Lantai Tipe A1	181
Gambar 5. 73 Penulangan Pelat Lantai Tipe A2	181
Gambar 5. 74 Penulangan Pelat Lantai Tipe A3	182
Gambar 5. 75 Diagram Gaya Geser V_g	214
Gambar 5. 76 Diagram Gaya Geser V_e	215
Gambar 5. 77 Diagram Gaya Geser V_u	216
Gambar 5. 78 Detail Balok B1	220
Gambar 5. 79 Detail Balok B2	220
Gambar 5. 80 Detail Balok B3	221
Gambar 5. 81 Detail Balok B4	221
Gambar 5. 82 Detail Balok B5	222
Gambar 5. 83 Detail Balok B6	222
Gambar 5. 84 Detail Balok B7	223
Gambar 5. 85 Diagram Mn-Pn Kolom K1 Arah X Rasio 1,0%	235

Gambar 5. 86 Diagram Mn-Pn Kolom K1' Arah Y Rasio 0,7%	235
Gambar 5. 87 Persyaratan Nilai Ash/s	243
Gambar 5. 88 Persyaratan Nilai Ash/s	246
Gambar 5. 89 Detail Kolom K1 Arah X	269
Gambar 5. 90 Detail Kolom K1 Arah Y	269
Gambar 5. 91 Detail Kolom K1' Arah X	252
Gambar 5. 92 Detail Kolom K1' Arah Y	255
Gambar 5. 93 Detail Kolom K2 Arah X	253
Gambar 5. 94 Detail Kolom K2 Arah Y	256
Gambar 5. 95 Detail Kolom K2' Arah X	254
Gambar 5. 96 Detail Kolom K2' Arah Y	257
Gambar 5. 97 Detail Kolom K3 Arah X	255
Gambar 5. 98 Detail Kolom K3 Arah Y	258
Gambar 5. 99 Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar (Base Shear)	260
Gambar 5. 100 Grafik Perbandingan Nilai Displacement Arah X	261
Gambar 5. 101 Grafik Perbandingan Nilai Displacement Arah Y	261
Gambar 5. 102 Grafik Perbandingan Drift Ratio Arah X	264
Gambar 5. 103 Grafik Perbandingan Drift Ratio Arah Y	264
Gambar 5. 104 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah X	266
Gambar 5. 105 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah Y	266
Gambar 5. 106 Grafik Perbandingan P-Delta Arah X	268
Gambar 5. 107 Grafik Perbandingan P-Delta Arah Y	268

ABSTRAK

Indonesia, terletak di Cincin Api Pasifik, memiliki tingkat aktivitas vulkanik dan seismik yang tinggi karena pertemuan empat lempeng tektonik utama. Kondisi ini menjadikannya rentan terhadap gempa bumi, baik vulkanik maupun tektonik, yang dapat berdampak signifikan pada struktur dan lingkungan sekitar. Bangunan bertingkat, sebagai salah satu tipe konstruksi sipil, perlu dirancang dengan mempertimbangkan dampak gempa untuk memastikan kekuatan struktur dan keselamatan penghuni. Salah satu solusi untuk meningkatkan kekuatan struktur dalam menahan gaya gempa adalah dengan menambahkan dinding geser, yang dirancang khusus untuk menahan gaya lateral akibat gempa. Penelitian ini mengkaji dampak penambahan dinding geser pada desain gedung bertingkat dengan membandingkan tiga model: gedung eksisting tanpa dinding geser, gedung eksisting dengan dinding geser, dan gedung yang telah diredesain dengan dinding geser. Gedung Laboratorium Riset di Universitas Islam Indonesia, yang terletak di daerah rawan gempa, dijadikan studi kasus. Ketiga model dianalisis menggunakan software SAP2000 dan mengikuti peraturan SNI 1726:2019 serta SNI 2847:2019. Hasil analisis struktur ketiga model tersebut menunjukkan nilai *base shear* meningkat karena adanya dinding geser. *Displacement* terkecil terjadi pada model 2 yaitu 0,0045 mm untuk arah x dan 0,0023 mm untuk arah y. Simpangan antar lantai terkecil terjadi pada model 2 yaitu 0,0151 mm untuk arah x dan 0,0027 mm untuk arah y. P-Delta terkecil terjadi pada model 2 yaitu 0,0094 mm untuk arah x dan 0,0227 mm untuk arah y. Dari hasil penelitian, disimpulkan bahwa penambahan dinding geser berpengaruh signifikan terhadap respons struktur, dengan model 2 sebagai yang paling efektif dalam meningkatkan kinerja struktural.

Kata kunci: gempa bumi, gedung bertingkat, dinding geser, simpangan antar lantai, P-Delta

ABSTRACT

Multistory buildings must be designed to withstand lateral forces from earthquakes, particularly in earthquake-prone areas such as Indonesia. One effective method for strengthening multistory buildings is to incorporate a dual system with shear walls. Shear walls are structural components specifically engineered to resist lateral forces caused by earthquakes. This study compares the structural response of three five-story building models: the first model is an existing building without shear walls, the second model is an existing building with added shear walls, and the third model is a redesigned building featuring shear walls and adjustments to the dimensions of columns and beams. All three models were analyzed using SAP2000 software, adhering to the regulations set forth in SNI 1726:2019 and SNI 2847:2019. The analysis results reveal that the base shear value increases with the presence of shear walls. Model 2 exhibits the smallest displacement, with 0.0045 mm in the x direction and 0.0023 mm in the y direction. The smallest inter-story drift is also observed in model 2, with 0.0151 mm in the x direction and 0.0027 mm in the y direction. Additionally, model 2 shows the smallest P-Delta effect, with 0.0094 mm in the x direction and 0.0227 mm in the y direction. The study concludes that the inclusion of shear walls significantly improves structural response, with model 2 proving to be the most effective in enhancing structural performance.

Keywords: *multistory buildings, shear walls, inter-story drift, P-Delta*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia, sebagai bagian dari Cincin Api Pasifik, dikenal dengan tingkat aktivitas vulkanik dan seismik yang sangat tinggi. Aktivitas gunung berapi di Indonesia memungkinkan terjadinya gempa bumi vulkanik. Secara geografis, Indonesia juga merupakan pertemuan empat lempeng Eurasia: Lempeng Filipina, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Indo-Australia. Secara geografis dan geologis, keadaan ini membuat Indonesia potensial mengalami gempa tektonik. Gempa baik dari aktivitas vulkanik maupun akibat gempa tektonik ini dapat menimbulkan dampak signifikan pada struktur dan lingkungan sekitarnya.

Salah satu bangunan sipil yang terkena dampak gempa adalah bangunan bertingkat. Dampak gempa terhadap gedung bertingkat berdampak pada desain struktur gedung. Perancangan struktur gedung bertingkat yang memperhitungkan beban gempa pada saat proses perancangan akan memberikan anggota struktur yang lebih kuat dalam menahan beban sementara tersebut dan memberikan rasa aman kepada penghuni.

Terdapat beberapa solusi bangunan untuk memberikan kekuatan tambahan dalam menahan gaya gempa, antara lain dengan menambahkan struktur dinding geser pada struktur utama dan memperkuat sistem strukturnya. Dinding geser bukanlah dinding biasa melainkan merupakan elemen struktur yang dirancang untuk menahan gaya lateral akibat gempa. Menurut Hutahaean dan Aswandy (2016) dinding geser berperan sangat membantu pada gedung bertingkat selain mencegah kegagalan dinding eksterior, dinding geser juga dapat membantu agar struktur tidak runtuh. Pemilihan bentuk dan penempatan dinding geser ditentukan oleh perancang. Sebelum memasang dinding geser, perencana melakukan simulasi dalam analisis strukturnya hingga menemukan konfigurasi dinding geser yang tepat untuk bangunan yang dirancang. Penelitian mengenai dinding geser pernah dilakukan oleh Prathama (2020), Rahman (2021), dan lainnya.

Sistem struktur rangka adalah sistem struktur yang elemen-elemen struktur dan sambungannya menahan beban-beban lateral melalui mekanisme lentur. Sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) (SNI 1726: 2019 Pasal 3.50.4). Gedung Laboratorium Riset merupakan salah satu sarana yang dibangun di kampus Universitas Islam Indonesia. Gedung Laboratorium Riset terdiri dari 5 lantai dengan tinggi bangunan 19,85 m dan berlokasi di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia, Candirejo, Sardonoharjo, Kec. Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Gedung laboratorium riset terletak pada daerah resiko gempa kuat sehingga sistem yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Dinding geser digunakan sebagai pengaku pada objek penelitian ini. Gedung laboratorium yang sebelumnya merupakan sistem SRPMK, akan dibandingkan dengan gedung laboratorium jika menggunakan sistem ganda (akibat penambahan dinding geser). Rudiansyah, dkk. (2018) menyebutkan bahwa penambahan dinding geser (shear wall) tersebut menyebabkan gaya – gaya dalam yang terjadi pada struktur semula menjadi berubah nilai sehingga mengakibatkan kebutuhan dimensi struktur juga berubah. Oleh karena itu, laboratorium dengan menggunakan sistem ganda juga akan diredesain karena dimungkinkan perubahan dimensi akibat penambahan dinding geser. Perubahan dimensi ini memungkinkan adanya dampak positif dari segi volume bangunan dan ekonomis.

Secara garis besar, penelitian ini memodelkan bangunan eksisting dan bangunan eksisting dengan penambahan dinding geser. Model didetailkan menjadi tiga model gedung bertingkat. Model pertama bangunan gedung eksisting tidak menggunakan dinding geser, model kedua merupakan gedung eksisting dengan penambahan dinding geser, dan model ketiga merupakan redesain gedung eksisting dengan penambahan dinding geser. Untuk model dua dan tiga akan menggunakan sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan yaitu dinding geser beton bertulang khusus sesuai dengan SNI 1726:2019. Terkhusus model tiga, dimensi balok dan

kolom yang digunakan adalah hasil redesain, tidak lagi menggunakan ukuran eksisting dengan mempertimbangkan adanya dinding geser memungkinkan adanya perubahan ukuran dimensi kolom dan balok. Hal ini sesuai dengan penelitian

Berdasarkan paparan di atas, penelitian ini akan menghasilkan respon struktur yang akan dibandingkan diantaranya simpangan antar lantai/*drift ratio*, *displacement*, dan *base shear* dari ketiga model gedung bertingkat tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang perancangan, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut ini.

1. Bagaimana perbandingan nilai *base shear* antara gedung eksisting dan gedung setelah ditambahkan dinding geser?
2. Bagaimana perbandingan nilai simpangan antar lantai antara gedung eksisting dan gedung setelah ditambahkan dinding geser?
3. Bagaimana perbandingan nilai *displacement* antara gedung eksisting dan gedung setelah ditambahkan dinding geser?
4. Bagaimana perbandingan nilai p-delta antara gedung eksisting dan gedung setelah ditambahkan dinding geser?
5. Bagaimana hasil perbandingan ukuran balok dan kolom antara gedung eksisting dan gedung setelah ditambahkan dinding geser?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan perbandingan nilai *base shear* antara gedung eksisting dan gedung setelah ditambahkan dinding geser.
2. Menghasilkan perbandingan nilai simpangan antar lantai antara gedung eksisting dan gedung setelah ditambahkan dinding geser.
3. Menghasilkan perbandingan nilai *displacement* antara gedung eksisting dan gedung setelah ditambahkan dinding geser.

4. Menghasilkan perbandingan nilai p-delta antara gedung eksisting dan gedung setelah ditambahkan dinding geser.
5. Mengetahui nilai hasil perbandingan ukuran balok dan kolom antara gedung eksisting dan gedung setelah ditambahkan dinding geser.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perkembangan konstruksi pada pembangunan gedung. Diantara beberapa manfaat adalah sebagai berikut ini.

1. Menghitung nilai simpangan antar lantai pada gedung eksisting setelah ditambahkan dinding geser.
2. Mengetahui keefektifitasan pada gedung eksisting setelah ditambahkan dinding geser dalam menahan gempa.
3. Memberikan alternatif dalam penggunaan dinding geser
4. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Penelitian

Supaya perencanaan struktur ini lebih mengarah pada rumusan masalah dan latar belakang, maka diperlukan batasan-batasan masalah. Beberapa batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Model struktur gedung beton bertulang 5 lantai dengan ketinggian 19,85 m.
2. Bangunan merupakan gedung Laboratorium Riset Jurusan Kimia Fakultas MIPA, Universitas Islam Indonesia.
3. Struktur gedung berfungsi sebagai Laboratorium.
4. Gedung berada di wilayah Yogyakarta dengan asumsi kondisi tanah keras (SC).
5. Analisis struktur dilakukan menggunakan program SAP2000.
6. Struktur gedung dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi (3D).
7. Struktur pada gedung beton merupakan *open frame* dan sistem ganda untuk model yang menggunakan dinding geser.
8. Tumpuan yang digunakan adalah tumpuan jepit.
9. Beban angin tidak diperhitungkan

10. Beban yang diperhitungkan dalam analisis adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa.
11. Peraturan yang digunakan, meliputi:
 - a. Perencanaan beban hidup dan beban mati menggunakan peraturan SNI 1727:2020 mengenai beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
 - b. Perencanaan beban gempa menggunakan peraturan SNI 1726:2019 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung.
 - c. Perencanaan beton bertulang menggunakan peraturan SNI 2847:2019 mengenai Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan.
12. Struktur bawah, tangga dan lift tidak dianalisis.
13. Dinding geser hanya dianalisis kebutuhan tebal dan tidak menganalisis detail penulangan.
14. Tidak menganalisis biaya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

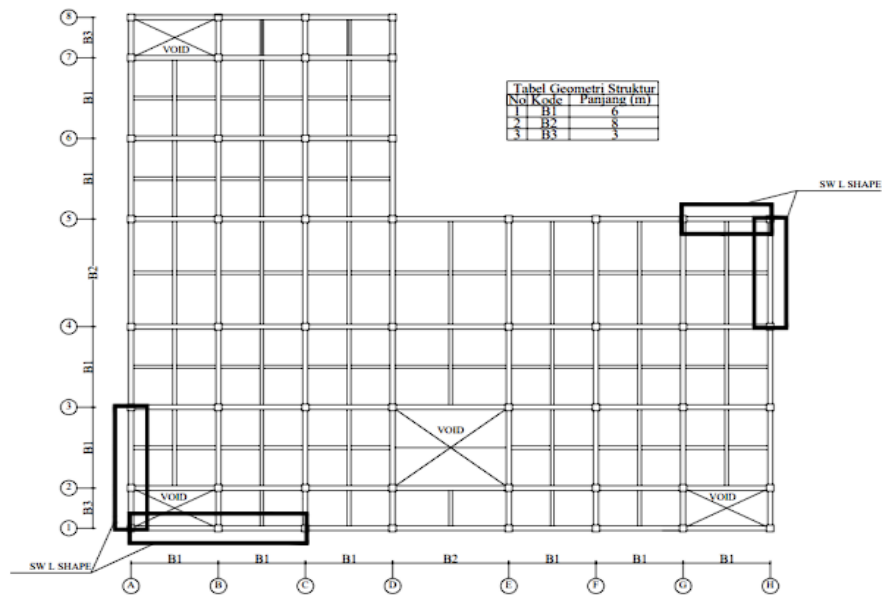
2.1 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan referensi yang dapat menjadi acuan terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi yang dapat dijadikan acuan antara lain adalah jurnal ilmiah ataupun tugas akhir. Penelitian-penelitian mengenai pengaruh adanya dinding geser terhadap respon struktur pada gedung bertingkat sudah banyak dilakukan. Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai tinjauan pustaka pada penelitian ini.

2.1.1 Komparasi Respon Dinamik Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Variasi Bentuk dan Penempatan Dinding Geser Mengacu SNI 1726: 2019 (2020)

Penelitian yang dilakukan oleh Prathama (2020) bertujuan untuk menentukan beberapa pengaruh dari penempatan dan bentuk dinding geser terhadap nilai gaya *base shear*, nilai *displacement*, *drift ratio*, dan simpangan bangunan gedung. Pemodelan analisis struktur menggunakan program aplikasi SAP2000.

Model struktur atas gedung yang dianalisis berupa gedung simulasi 15 lantai dengan tinggi total 45 m dengan bentuk bangunan ketidakberaturan secara horizontal dengan denah berbentuk L. model denah yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2. 1 Model Denah Bangunan Dinding Geser

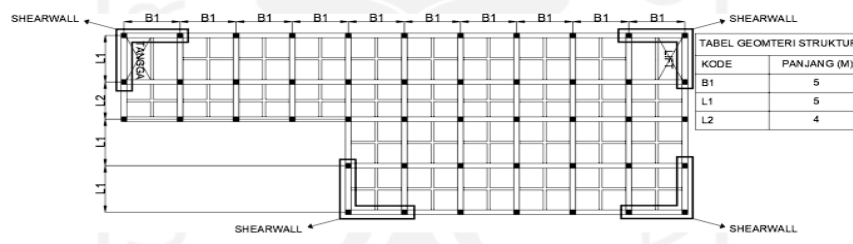
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hasil analisis data dan pembahasan mengenai pengaruh dari penempatan dan bentuk dinding geser dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Nilai geser yang dihasilkan dari model struktur bangunan yang menggunakan dinding geser memiliki nilai geser dasar yang lebih besar dibandingkan dengan struktur tanpa dinding geser.
2. *Displacement* yang dihasilkan dari struktur dinding geser arah x yaitu model 4 dan model 5 mendapatkan nilai yang terefektif, sedangkan untuk arah y model 5 yang mendapatkan nilai yang terefektif.
3. Nilai perbandingan drift ratio maksimum yang didapatkan pada nilai terefektif pada arah x adalah pada struktur dinding geser model 4 sebesar 20,67% dan nilai drift ratio terefektif didapatkan pada struktur dinding geser model 5 dengan nilai sebesar 22,67%.
4. Struktur dinding geser model 5 merupakan model terefektif dalam parameter simpangan antar lantai, dengan nilai simpangan yang relatif kecil dibandingkan model lainnya.

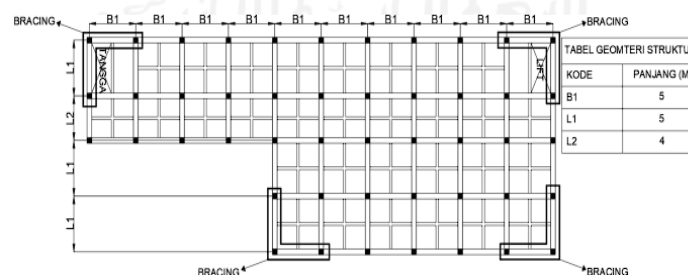
5. Pola goyangan pada masing-masing struktur memiliki translasi pada mode pertama, translasi pada mode ke-dua, dan rotasi pada mode ke-tiga. Translasi pada perencanaan bangunan yang dihasilkan dapat terjadi pada arah x maupun arah y tergantung kepada penempatan dinding geser pada bangunan.

2.1.2 Studi Komparasi Respon Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Sistem Dinding Geser dan Pertambatan (2021)

Penelitian yang dilakukan oleh Rahman (2021) bertujuan untuk membandingkan nilai *base shear*, nilai simpangan antar lantai, dan *displacement* antara pemakaian *shear wall* dan *bracing* pada bangunan gedung bertingkat tidak beraturan. Untuk analisisnya menggunakan *software* SAP2000. Penempatan dinding geser pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.2 sampai 2.3 dibawah ini.



Gambar 2. 2 Denah Bangunan Menggunakan Shear Wall (Model 2)



Gambar 2. 3 Denah Bangunan Menggunakan Bracing (Model 3)

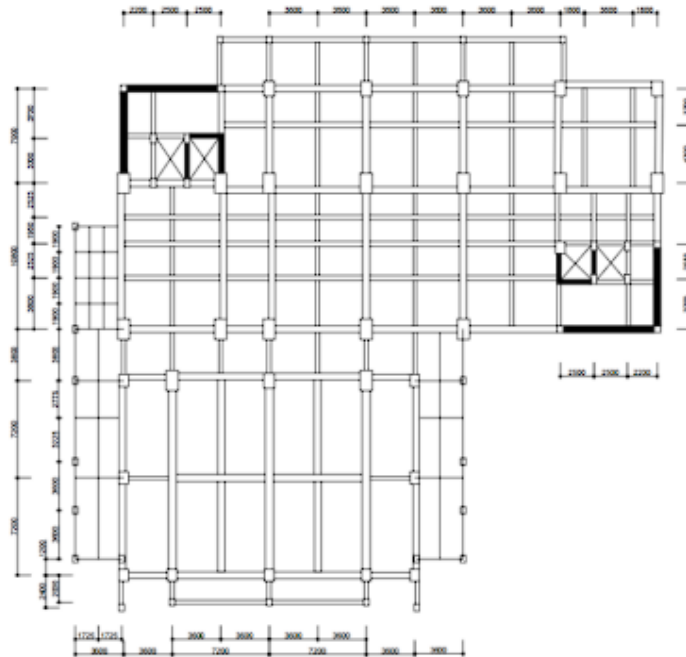
Penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan, antara lain sebagai berikut.

1. Adanya pengaku struktur tambahan seperti dinding geser dan sistem pertambahan nilai *base shear* akan lebih besar dibandingkan dengan tanpa pengaku struktur.
2. Perbandingan nilai simpangan antar lantai adalah sebagai berikut,
 - a. Nilai simpangan terkecil terdapat pada model 2 (menggunakan dinding geser) dibandingkan yang lainnya.
 - b. Model 2 (menggunakan dinding geser) merupakan model paling optimum dalam nilai simpangan antar lantai dibandingkan dengan kedua model lainnya.
 - c. Model 1 (tanpa dinding geser dan sistem pertambahan) tidak memenuhi batas izin simpangan antar lantai yang menunjukkan bahwa model ini struktur bangunan perlu diperkuat dengan penambahan dinding geser atau sistem pertambahan.
3. Displacement yang terjadi dengan nilai paling efektif adalah model 2 (menggunakan dinding geser).
4. Kelayakan pemodelan bangunan berdasarkan hasil analisis adalah sebagai berikut.
 - a. Model 1 (tanpa dinding geser dan sistem pertambahan) tidak layak
 - b. Model 2 (menggunakan dinding geser) dan model 3 (menggunakan sistem pertambahan) layak karena memenuhi syarat simpangan antar lantai, kontrol SRPMK 25%, dan mempunyai nilai *displacement* yang kecil.
 - c. Model 3 (menggunakan sistem pertambahan) layak

2.1.3 Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Tinggi terhadap Gempa dengan Variasi Penempatan Dinding Geser

Penelitian yang dilakukan oleh Halindra (2023) bertujuan untuk mengetahui pengaruh dinding geser terhadap *base shear*, nilai *displacement*, *drift ratio*, dan pengecekan nilai *p-delta*. Pemodelan struktur menggunakan *software* SAP2000.

Penempatan dinding geser pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2. 4 Denah Bangunan Model Eksisting dengan Dinding Geser

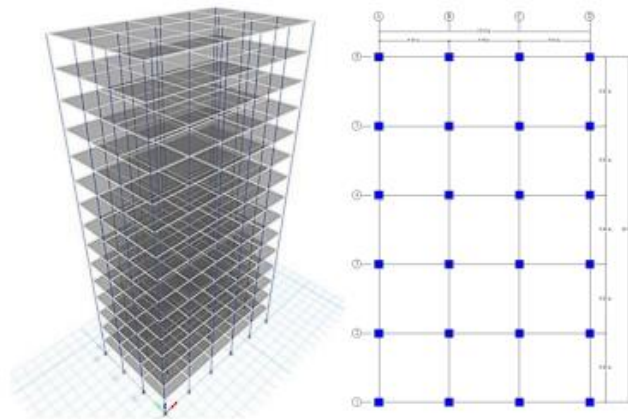
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hasil analisis data dan pembahasan mengenai beberapa variasi penempatan dinding geser dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Hasil yang didapat dari analisis struktur terhadap displacement adalah model terefektif didapat pada model 2 dikarenakan didapat nilai displacement terkecil dibandingkan dengan model lain.
2. Hasil drift story yang dihasilkan pada analisis setiap model adalah model memiliki nilai drift story terkecil pada arah X dan arah Y.
3. Semua model pada pengecekan efek P-Delta dipastikan aman dikarenakan nilai koefisien stabilitas tidak ada yang melebihi nilai koefisien maksimum.
4. Model 2 memiliki perletakan dinding geser paling efektif dibandingkan dengan model yang lain.

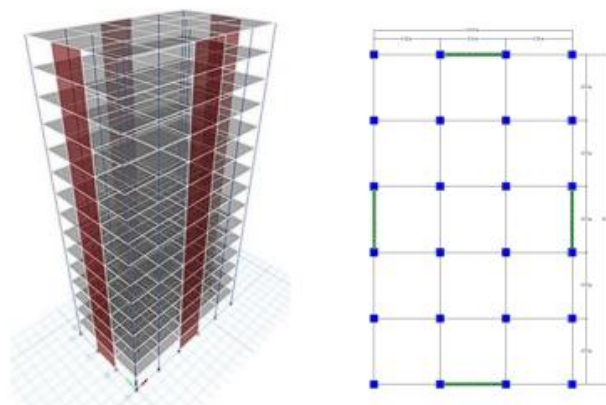
2.1.4 Perbandingan Respons Struktur Pada Portal Bertingkat Berdasarkan SNI 1726-2012 Dengan Variasi Penempatan Dinding Geser

Penelitian yang dilakukan oleh Prischila, dkk. (2021) bertujuan untuk untuk membandingkan *drift ratio* dan *displacement* sehingga diketahui model struktur *shear wall* yang paling kaku. Pemodelan struktur menggunakan *software* ETABS.

Penempatan dinding geser pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.5 dan gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2. 5 Pemodelan Struktur Tanpa Shear Wall (TS)



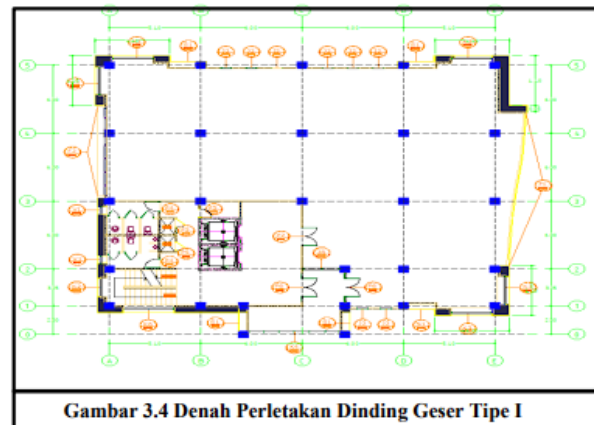
Gambar 2. 6 Pemodelan Struktur Area Penempatan *Shear Wall* Model 1 (SW1)

Kesimpulan dari penelitian diatas adalah berdasarkan hasil analisis terhadap variasi penempatan dinding geser dengan analisis respons spektrum adalah nilai drift ratio yang didapat pada masing-masing model struktur menunjukkan persentase yang paling kecil yaitu pada struktur dinding geser model 3 sebesar 1,296 %, yaitu model struktur dengan letak shear wall yang berada pada inti gedung. Nilai displacement yang didapat pada masing-masing model struktur menunjukkan persentase yang paling kecil yaitu pada struktur dinding geser model 3 sebesar 17,474%, yaitu model struktur dengan letak shear wall yang berada pada inti gedung. Berdasarkan dari nilai drift ratio dan nilai displacement, maka didapatkan model struktur shear wall yang paling kaku yaitu struktur shear wall model 3, yaitu model struktur dengan letak shear wall yang berada pada inti gedung.

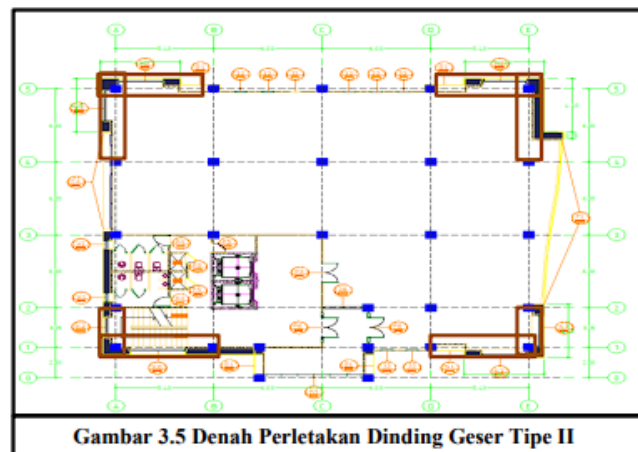
2.1.5 Perencanaan Dinding Geser Gedung Keuangan Negara Banda Aceh Menggunakan SNI Gempa 1726:2019

Penelitian ini dilakukan oleh Sihotang (2022) bertujuan untuk membandingkan gaya dalam pada struktur seperti momen, gaya lintang, gaya aksial dan torsi terhadap beban gempa yang dipikul antara menerapkan dinding geser dan tidak menerapkan dinding geser serta mengetahui perbandingan kondisi simpangan antar lantai yang terjadi akibat dari pembebanan struktur dengan menerapkan dinding geser dan tidak menerapkan dinding geser. Pemodelan struktur menggunakan *software* SAP2000.

Penempatan dinding geser pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2. 7 Denah Perletakan Dinding Geser Tipe 1



Gambar 2. 8 Denah Perletakan Dinding Geser Tipe II

Kesimpulan dari penelitian diatas adalah sebagai berikut:

1. Jumlah ragam yang mencapai 100% dari partisipasi massa hanya terjadi pada pada type I tanpa menggunakan dinding geser dengan jumlah ragam sebanyak 3798 dengan periode 0.005302 detik, sedangkan pada type II dan III hanya mencapai 99% dengan jumlah ragam yang sama sebesar 3798.
2. Gaya geser dasar statis dan dinamis memenuhi semua tipe yang dimodelkan berdasarkan SNI 1726 : 2019.
3. Semua tipe pemodelan simpangan antar lantai memenuhi syarat batas ijin SNI 1726: 2019 dan memiliki nilai antar simpangan yang hampir berdekatan, kecuali pada type I (tanpa menggunakan dinding geser).

4. Berdasarkan hasil analisis nilai momen maksimum semakin kecil dengan menggunakan dinding geser, penelitian ini menunjukkan sebagian besar gaya diserap oleh dinding geser dan momen sangat mempengaruhi desain dari penampang struktur juga mempengaruhi kebutuhan penulangan pada penampang.
5. Berdasarkan hasil analisis gaya dalam, dan simpangan antar lantai bahwa untuk pemodelan dinding geser yang paling efektif pada Gedung Keuangan Negara Banda Aceh ini yaitu pemodelan tipe "I".

2.2 Perbandingan Penelitian

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, perbandingan hasil penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti, Tahun	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
	Prathama (2020)	Prischila, dkk. (2021)	Rahman (2021)	Sihotang (2022)	Halindra (2023)	
Judul	Komparasi Respon Dinamik Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Variasi Bentuk Dan Penempatan Dinding Geser Mengacu SNI 1926-2019	Perbandingan Respons Struktur Pada Portal Bertingkat Berdasarkan SNI 1726-2012 Dengan Variasi Penempatan Dinding Geser	Studi Komparasi Respon Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Sistem Dinding Geser Dan Pertambahan	Perencanaan Dinding Geser Gedung Keuangan Negara Banda Aceh Menggunakan SNI Gempa 1726:2019	Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Tinggi terhadap Gempa dengan Variasi Penempatan Dinding Geser	Perbandingan Respon Struktur Atas Gedung Bertingkat Dengan Sistem Dinding Geser Beton bertulang Khusus
Model struktur	Model struktur atas bangunan merupakan bangunan gedung simulasi 15 lantai dengan tinggi total 45 m dengan bentuk bangunan tidakberaturan secara horizontal dengan denah berbentuk L	Pemodelan ini menggunakan 4 variasi yaitu pemodelan struktur tanpa dinding geser, dinding geser model 1, dinding geser model 2, dan dinding geser model 3 model	Model struktur gedung rangka beton bertulang tidak beraturan dengan ketinggian 10 lantai dengan total tinggi bangunan 31,5 m.	Perencanaan ini merupakan <i>redesign</i> dari Bangunan Gedung Arsip GKN Banda Aceh dengan menambahkan dinding geser.	Pemodelan ini menggunakan 3 variasi model struktur dengan 1 model eksisting dan 2 perletakan dinding geser tiap-tiap variasi yang berbeda	Terdapat 3 model dengan model 1 adalah model eksisting, model 2 adalah gedung eksisting dengan dinding geser, model 3 adalah gedung redesain dengan dinding geser
Metode	Metode Respon Spektrum	Metode Respon Spektrum	Metode Respon Spektrum	Metode Respon Spektrum	Metode Respon Spektrum	Metode Respon Spektrum
Peraturan yang digunakan	SNI 1726: 2019 SNI 2847-2019 SNI 1727-2020	SNI 1726:2019 SNI 2847:2019	SKBI 1.3.53.1987 SNI 1726: 2019 SNI 2847- 2019	SNI 1726:2019	SNI 1726: 2019 SNI 2847-2019 SNI 1727-2020	SNI 1726:2019 SNI 1727:2020 SNI 2847:2019

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Parameter yang diuji	<i>Base shear, displacement, drift story</i> , pola simpangan bangunan gedung	Deformasi struktur, <i>displacement</i> , dan <i>Drift Ratio</i>	<i>Base shear</i> , nilai simpangan antar lantai, <i>displacement</i>	Perbandingan momen, gaya lintang, gaya aksial, torsi dan simpangan antar lantai.	<i>Base shear, displacement, drift story, p-delta</i>	<i>Base shear</i> , nilai simpangan antar lantai, <i>displacement</i>
Hasil	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pada model struktur bangunan yang menggunakan dinding geser memiliki nilai geser dasar yang lebih besar dibandingkan dengan struktur tanpa dinding geser. 2. Displacement yang dihasilkan adalah Pemodelan dengan nilai terefektif pada arah x adalah pemodelan struktur dinding geser model 4 dan struktur dinding geser model 5, sedangkan pada arah y adalah pemodelan struktur dinding 	<p>Kesimpulan berdasarkan hasil analisis terhadap variasi penempatan dinding geser dengan analisis respons spektrum adalah nilai <i>drift ratio</i> yang didapat pada masing-masing model struktur menunjukkan persentase yang paling kecil yaitu pada struktur dinding geser model 3 sebesar 1,296%, yaitu model struktur dengan letak shear wall yang berada pada inti gedung. Nilai <i>displacement</i> yang didapat pada masing-masing model struktur menunjukkan persentase yang</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adanya pengaku struktur tambahan seperti dinding geser dan sistem pertambahan nilai base shear akan lebih besar dibandingkan dengan tanpa pengaku struktur. 2. Nilai simpangan terkecil terdapat pada model 2 (menggunakan dinding geser) dibandingkan yang lainnya. Penurunan nilai simpangan pada lantai terekstrim arah x antara model 2 (menggunakan dinding geser) dan model 1 (tanpa menggunakan dinding geser dan sistem 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jumlah ragam yang mencapai 100% dari partisipasi massa hanya terjadi pada pada type I tanpa menggunakan dinding geser dengan jumlah ragam sebanyak 3798 dengan periode 0.005302 detik, sedangkan pada type II dan III hanya mencapai 99% dengan jumlah ragam yang sama sebesar 3798. 2. Gaya geser dasar statis dan dinamis memenuhi semua tipe yang dimodelkan berdasarkan SNI 1726 : 2019. 3. Semua tipe pemodelan simpangan antar lantai memenuhi syarat batas ijin SNI 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hasil yang didapat dari analisis struktur terhadap base shear adalah model eksisting memiliki nilai base shear terbesar yaitu 12237,141 kN. 2. Hasil yang didapat dari analisis struktur terhadap displacement adalah model terefektif didapat pada model 2 dikarenakan didapat nilai displacement terkecil dibandingkan dengan model lain. 3. Hasil drift story yang dihasilkan pada analisis setiap model 	-

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

	<p>geser model 5. Hasil dikatakan efektif dikarenakan memiliki selisih nilai paling besar jika dibandingkan dengan struktur tanpa dinding geser.</p> <p>3. Nilai perbandingan drift ratio maksimum yang didapatkan pada nilai terefektif pada arah x adalah pada struktur dinding geser model 4 sebesar 20,67% dan nilai drift ratio terefektif didapatkan pada struktur dinding geser model 5 dengan nilai sebesar 22,67%.</p> <p>4. Nilai simpangan terkecil terdapat pada struktur dinding geser model 5 dengan</p>	<p>paling kecil yaitu pada struktur dinding geser model 3 sebesar 17, 474%, yaitu model struktur dengan letak <i>shear wall</i> yang berada pada inti gedung. Berdasarkan dari nilai <i>drift ratio</i> dan nilai <i>displacement</i>, maka didapatkan model struktur <i>shear wall</i> yang paling kaku yaitu struktur <i>shear wall</i> model 3, yaitu model struktur dengan letak <i>shear wall</i> yang berada pada inti gedung.</p>	<p>3. pertambahan) adalah sebesar 12,6 mm dengan persentase 34,35% lebih kecil.</p> <p>4. Nilai drift ratio yang paling ekstrim dari ketiga model tersebut adalah model 1 (tanpa dinding geser dan pertambahan) sebesar 83%. Pada lantai yang sama nilai drift ratio paling optimum terjadi pada model 2 (menggunakan dinding geser) yaitu sebesar 20%.</p> <p>5. Displacement yang terjadi dengan nilai paling efektif adalah model 2 (menggunakan dinding geser) dikarenakan hasil analisis memiliki selisih paling</p>	<p>4. 1726: 2019 dan memiliki nilai antar simpangan yang hampir berdekatan, kecuali pada type I (tanpa menggunakan dinding geser).</p> <p>5. Berdasarkan hasil analisis nilai momen maksimum semakin kecil dengan menggunakan dinding geser, penelitian ini menunjukkan sebagian besar gaya diserap oleh dinding geser dan momen sangat mempengaruhi desain dari penampang struktur juga mempengaruhi kebutuhan penulangan pada penampang. Berdasarkan hasil analisis gaya dalam, dan simpangan antar lantai bahwa untuk pemodelan dinding geser yang paling efektif pada Gedung Keuangan Negara</p>	<p>4. adalah model 2 memiliki nilai drift story terkecil pada arah X dan arah Y.</p> <p>5. Semua model pada pengecekan efek P-Delta dipastikan aman dikarenakan nilai koefisien stabilitas tidak ada yang melebihi nilai koefisien maksimum. Model 2 memiliki perletakan dinding geser paling efektif dibandingkan dengan model yang lain.</p>	
--	--	--	---	--	--	--

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

	<p>penurunan simpangan antar lantai arah x sebesar 126,5 mm dengan persentase penurunan sebesar 76,29%. Pada struktur dinding geser model 5 penurunan simpangan antar lantai arah y sebesar 227,15 mm dengan persentase penurunan 88,44%. Pola goyangan pada masing-masing struktur memiliki translasi pada mode pertama, translasi pada mode ke-dua, dan rotasi pada mode ke-tiga. Translasi pada perencanaan bangunan yang dihasilkan dapat terjadi pada arah x maupun arah y tergantung kepada penempatan dinding geser pada bangunan.</p>		<p>kecil dibandingkan dengan kedua model lainnya. Model 2 merupakan pemodelan struktur paling efektif dan efisien dibandingkan dengan kedua model lainnya berdasarkan hasil analisis respon struktur yang dilakukan.</p>	<p>Banda Aceh ini yaitu pemodelan tipe "I".</p>		
--	---	--	--	---	--	--

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Bangunan Tahan Gempa

Pada bangunan gedung di kawasan yang sering terjadi gempa seperti Indonesia, diharuskan perencanaan struktur yang dapat menahan gaya gempa dan beban gedung itu sendiri. Standar bangunan gedung bertingkat juga bermacam-macam tergantung fungsi gedung tersebut. Semakin krusial fungsi gedung maka semakin tinggi pula standar yang harus dicapai.

Dalam memperhitungkan faktor ekonomis suatu bangunan, Widodo (2012) mengatakan bahwa terdapat pengelompokan menurut kekuatan gempa dan performa bangunan dalam rangka melindungi manusia, tetapi tetap memperhitungkan tingkat ekonomis bangunan yang dituangkan dalam desain filosofi. Desain filosofi yang dimaksud adalah sebagai berikut ini.

1. Pada gempa dengan skala kecil yang sering terjadi, struktur utama pada bangunan tidak boleh rusak. Jika terdapat kerusakan kecil yang terjadi pada elemen non-struktur maka masih dapat ditolerir.
2. Pada gempa dengan skala menengah yang jarang terjadi, struktur bangunan diperbolehkan rusak akan tetapi masih dalam skala kerusakan ringan yang dapat diperbaiki. Kerusakan yang terjadi pada elemen non-struktur dapat diganti dengan yang baru.
3. Pada gempa dengan skala yang kuat yang jarang terjadi bangunan diperbolehkan untuk rusak akan tetapi tidak boleh mengalami keruntuhan total. Kondisi ini jika terjadi gempa kuat maka masih dapat melindungi penghuni bangunan secara optimal.

3.2 Pembebanan

Beban harus meliputi berat sendiri, beban kerja, dan pengaruh dari gaya prategang, gempa, kekangan terhadap perubahan volume dan perbedaan penurunan (SNI 2847:2019 pasal 5.2.1). Berdasarkan pasal tersebut penelitian ini memakai

beberapa standar pembebanan dalam menganalisis bangunan gedung yang akan diteliti. Beban yang digunakan adalah antara lain beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

3.2.1 Beban Mati

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. (SNI 1727:2020 pasal 3.1.1).

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (PPURG 1987).

Berdasarkan 2 pasal diatas beban mati rencana adalah berat peralatan layan yang sudah diperhitungkan dalam bangunan gedung seperti pengkondisian udara, plambing, system mekanikal, system elektrikal, alam pemanas dan lain-lain.

3.1.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang disebabkan beban yang bukan struktural seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727:2020 pasal 4.1).

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut (PPURG 1987).

Ketentuan nilai beban hidup sudah diatur dalam SNI 1727: 2020 Pasal 4.3.1 Tabel 4.3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_0 dan Beban Hidup Terpusat Minimum.

3.2.3 Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019, dalam menentukan pengaruh gempa rencana yang ditinjau pada evaluasi ataupun perencanaan struktur bangunan ditetapkan kemungkinan terlampaui selama umur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Beban gempa juga menyebabkan risiko yang besar. Ada berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non-gedung yang sudah ditentukan oleh SNI 1726: 2019 pada Tabel 3 Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa halaman 24. Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non-gedung sesuai Tabel 3 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e menurut Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber: SNI 1726:2019

Pada setiap sistem struktur memiliki masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 yang harus dikenakan pada setiap sistem strukturnya, batasan sistem struktur sudah diatur dalam SNI 1726:2019 pada Tabel 12 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik halaman 49.

3.2.4 Kombinasi Pembebanan Dasar untuk Metode Ultimit

Mengacu pada SNI 1726: 2019, terdapat kombinasi pembebanan dasar untuk metode ultimit yang akan dipakai. Kombinasi pembebanan yang akan dipakai adalah sebagai berikut.

1. $1,4 D$ (3.1)

2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$ (3.2)

$$3. \quad 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \quad (3.3)$$

$$4. \quad 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (3.4)$$

$$5. \quad 1,2 D + 1,0 E + L \quad (3.5)$$

$$6. \quad 0,9 D + 1,0 W \quad (3.6)$$

$$7. \quad 0,9 D + 1,0 E \quad (3.7)$$

dengan :

D = beban mati,

E = beban gempa,

L = beban hidup,

Lr = beban hidup atap,

R = beban hujan,

S = beban salju,

W = beban angin.

3.2.5 Kombinasi Pembebanan Dasar untuk Metode Tegangan Izin

Mengacu pada SNI 1726: 2019, terdapat kombinasi pembebanan dasar untuk metode tegangan izin yang akan dipakai. Kombinasi tersebut adalah sebagai berikut.

$$1. \quad D \quad (3.8)$$

$$2. \quad D + L \quad (3.9)$$

$$3. \quad D + (Lr \text{ atau } R) \quad (3.10)$$

$$4. \quad D + 0,75 L + 0,75 (Lr \text{ atau } R) \quad (3.11)$$

$$5. \quad D + 0,6 W \quad (3.12)$$

$$6. \quad D + 0,75 (0,6 W) + 0,75 L + 0,75 (Lr \text{ atau } R) \quad (3.13)$$

$$7. \quad 0,6 D + 0,6 W \quad (3.14)$$

$$8. \quad 0,6 D + 0,7 E \quad (3.15)$$

$$9. \quad 1 D + 0,7 E \quad (3.16)$$

$$10. \quad 1 D + 0,525 E + 0,75 L \quad (3.17)$$

dengan :

D = beban mati,

E = beban gempa,

- L = beban hidup,
 Lr = beban hidup atap,
 R = beban hujan,
 S = beban salju,
 W = beban angin.

3.2.6 Gempa Horizontal dan Vertikal

Pengaruh beban gempa pada bangunan terjadi secara horizontal dan vertikal. Pada SNI 1726: 2019 pasal 7.4.2 mengatur pengaruh beban gempa dengan persamaan. Pada kombinasi 5 dan 6 yang menggunakan persamaan berikut untuk menentukan nilai E yang menunjukkan adanya gaya gempa.

$$E = E_h + E_v \quad (3.18)$$

Pada kombinasi 7 menggunakan persamaan sebagai berikut dalam menentukan nilai E.

$$E = E_h - E_v \quad (3.19)$$

Pengaruh E_h atau beban gempa horizontal ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$E_h = \rho Q E \quad (3.20)$$

Pengaruh E_v atau beban gempa vertikal ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$E_v = 0,2 \text{ SDS } D \quad (3.21)$$

Keterangan :

- E = pengaruh beban seismik
 E_h = pengaruh beban seismik horizontal
 E_v = pengaruh beban seismik vertikal

3.3 Ketidakberaturan Struktur

Struktur diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan. Berdasarkan SNI 1726: 2019 klasifikasi tersebut didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur.

Ketidakberaturan horizontal mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat pada Tabel 3.2 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Tabel Ketidakberaturan horizontal ditunjukkan sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

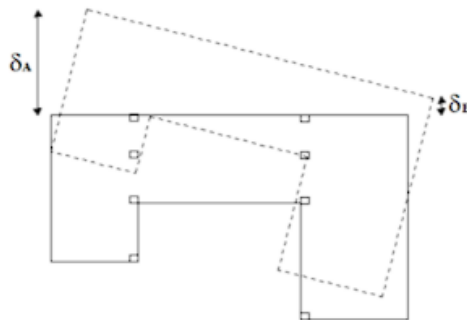
	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku	Tabel 3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E dan F
1b.	Ketidakberaturan Torsi Berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan Ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	Tabel 3.4	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan Sudut Dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	Tabel 3.4	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang	Tabel 3.4	D, E, dan F D, E,

Lanjutan Tabel 3. 2 Ketidakberaturan horizontal pada struktur

	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.		dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	Tabel 3.4	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan Sistem Nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	Tabel 3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

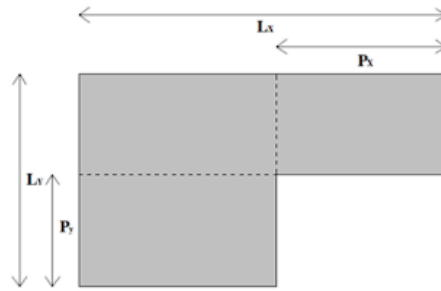
Sumber: SNI 1726: 2019

Penjelasan pada Tabel 3.2 dapat ditunjukkan pada Gambar 3.1 sampai Gambar 3.5 Tipe Ketidakberaturan horizontal.



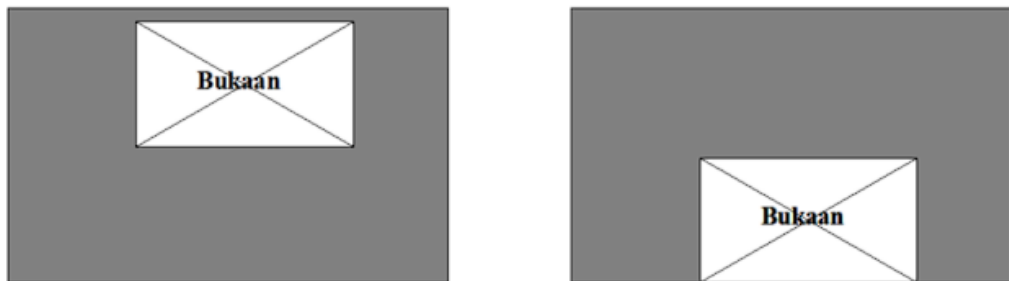
Gambar 3. 1 Ketidakberaturan 1a dan 1b

(Sumber: SNI 1726: 2019)



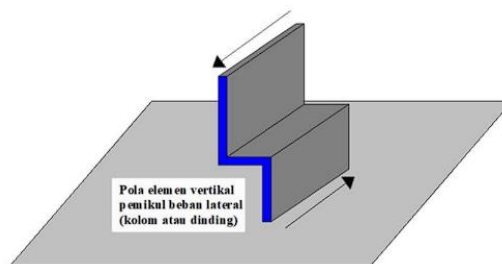
Gambar 3. 2 Ketidakberaturan 2

(Sumber: SNI 1726: 2019)



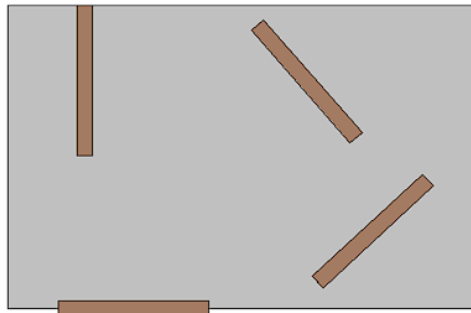
Gambar 3. 3 Ketidakberaturan 3

(Sumber: SNI 1726: 2019)



Gambar 3. 4 Ketidakberaturan 4

(Sumber: SNI 1726: 2019)



Gambar 3. 5 Ketidakberaturan 5

(Sumber: SNI 1726: 2019)

Ketidakberaturan vertikal mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 3.3 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan vertikal. Tabel Ketidakberaturan horizontal ditunjukkan sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

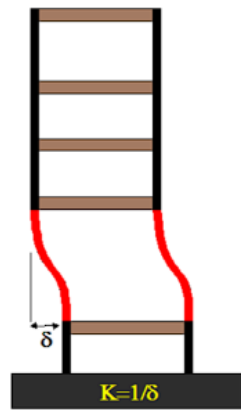
	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	^Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 3.4	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	Tabel 3.4	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (<i>Massa</i>) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih	Tabel 3.4	D, E, dan F

Lanjutan Tabel 3.3 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur

	ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.		
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 3.4	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.	Tabel 3.4	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	Tabel 3.4	E, dan F D, E, dan F
	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	Table 3.4	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

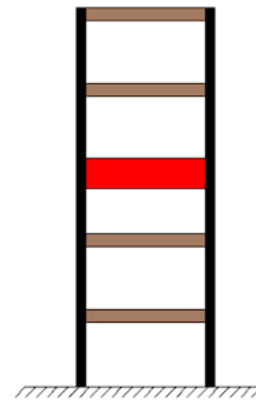
Sumber: SNI 1726: 2019

Penjelasan pada Tabel 3.3 dapat ditunjukkan pada Gambar 3.6 sampai Gambar 3.10 Tipe Ketidakberaturan vertikal.



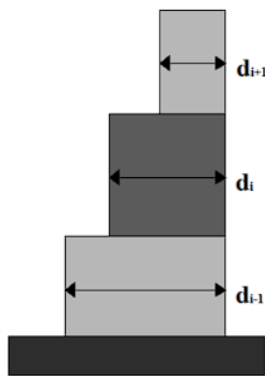
Gambar 3. 6 Ketidakberaturan 1a dan 1b

(Sumber: SNI 1726: 2019)



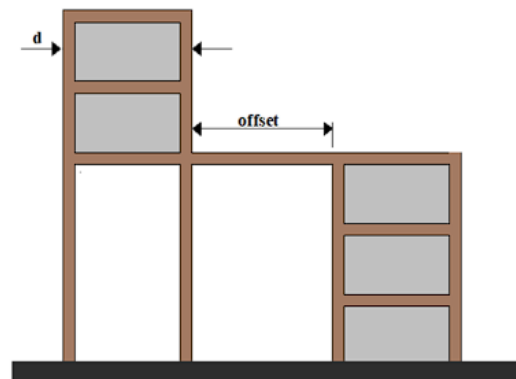
Gambar 3. 7 Ketidakberaturan 2

(Sumber: SNI 1726: 2019)



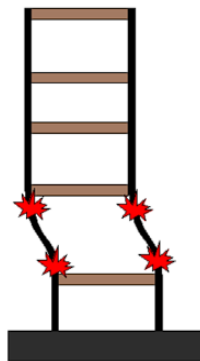
Gambar 3. 8 Ketidakberaturan 3

(Sumber: SNI 1726: 2019)



Gambar 3. 9 Ketidakberaturan 4

(Sumber: SNI 1726: 2019)



Gambar 3. 10 Ketidakberaturan 5

(Sumber: SNI 1726: 2019)

Prosedur analisis yang diizinkan dapat dilihat di Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3. 4 Prosedur Analisis yang Diizinkan

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen Pasal 0	Analisis Spectrum Renspons ragam Pasal 0	Prosedur Respons Riwayat Waktu Seismic Pasal 0
B, C	Semua Struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Sumber : SNI 1726: 2019

3.4 Respon Dinamik Struktur

3.4.1 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada suatu bangunan. Perumusan kriteria seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Klasifikasi situs dapat dilihat di tabel 3.5 dibawah ini.

Tabel 3. 5 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V (m/detik)	N atau Nch	s (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	15 sampai 50	50 sampai 100
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, PI 20 , 2. Kadar air, w 40% , 3. Kuat geser niralir su 25 kPa		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan H > 3 m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan H > 7,5 m dengan indeks plastisitas PI 75) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan H > 35 m dengan su 50 kPa 		

Sumber : SNI 1726: 2019

3.4.2 Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum

Berdasarkan SNI 1726: 2019, untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor

amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{ms}) dan periode 1 detik (S_{m1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan 3.18 dan 3.19 berikut ini:

$$S_{ms} = F_a S_s \quad (3.18)$$

$$S_{m1} = F_v S_1 \quad (3.19)$$

dengan:

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

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik,

F_a = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek,

F_v = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik,

S_{ms} = Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek,

S_{m1} = Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik.

Nilai koefisien F_a dan F_v mengikuti tabel 3.6 dan Tabel 3.7 dibawah ini.

Tabel 3. 6 Koefisien Situs F_a

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

Sumber : SNI 1726: 2019

CATATAN:

- a. SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 3. 7 Koefisien Situs Fv

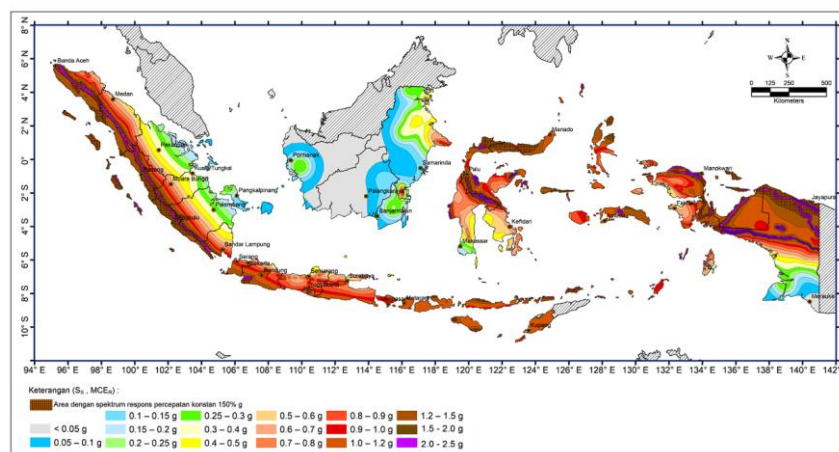
Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko -tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S1					
	$S1 \leq 0,1$	$S1 = 0,2$	$S1 = 0,3$	$S1 = 0,4$	$S1 = 0,5$	$S1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF			SS(a)			

Sumber : SNI 1726: 2019

CATATAN:

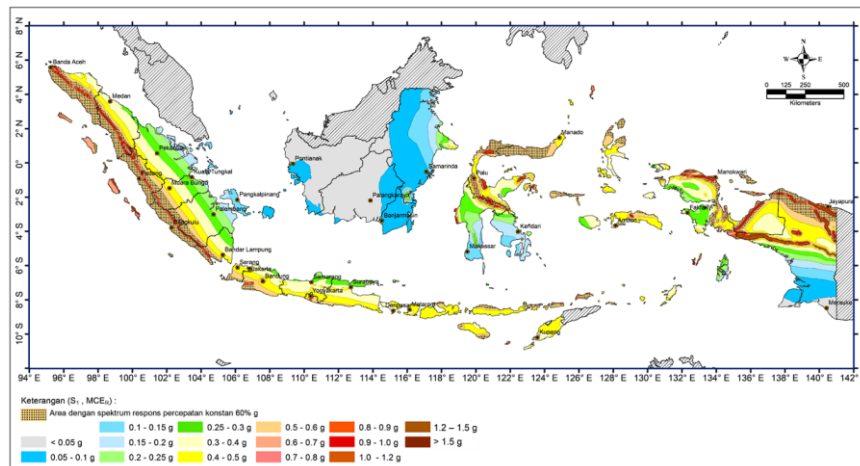
- a. SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Nilai Parameter Ss dan S1 dapat ditentukan dari Gambar 3.11 dan 3.12 sebagai berikut.



Gambar 3. 11 Parameter Gerak Tanah Ss, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spectrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5%)

(Sumber : SNI 1726: 2019)



Gambar 3. 12 Parameter Gerak Tanah, S₁, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5 %)

(Sumber: SNI 1726: 2019)

3.4.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

Spektrum respons desain harus dikembangkan sesuai dengan Gambar 3.9 sebagai berikut dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T₀ dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s, spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan SDS, harus diambil dari persamaan berikut,

$$S_a = SDS \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.20)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T₀ dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s, spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan SDS,
3. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L, respons spektral percepatan desain, S_a, diambil berdasarkan persamaan 3.21 sebagai berikut.

$$S_a = \frac{SD1}{T} \quad (3.21)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L, respons spektral percepatan desain, S_a, diambil berdasarkan persamaan 3.28 sebagai berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (3.22)$$

dengan:

SDS = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek,

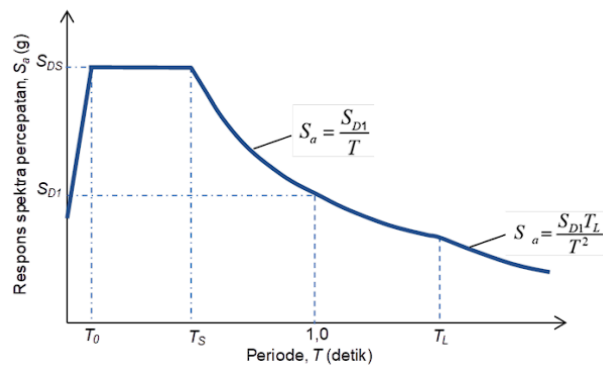
SD1 = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik,

T = periode getar fundamental struktur,

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

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

TL = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3.13 yang nilainya diambil Gambar 3.7.



Gambar 3. 13 Spektrum Respons Desain

(Sumber : SNI 1726: 2019)

3.4.4 Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (v) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan 3.23 sebagai berikut.

$$V = CS W \quad (3.23)$$

$$CS = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.24)$$

dengan:

Cs = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan persamaan 3.24

W = berat seismik efektif

- SDS = parameter respons spektral desain dalam rentang periode pendek
 R = koefisien modifikasi respons dalam SNI 1726: 2019 pada Tabel 12 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik halaman 49
 Ie = Faktor keutamaan gempa

Nilai Cs yang dihitung sesuai dengan persamaan 3.24 tidak perlu melebihi sesuai persamaan berikut ini.

Untuk $T \leq T_L$

$$CS = \frac{S_{D1}}{T \frac{R}{I_e}} \quad (3.25)$$

Untuk $T > T_L$

$$CS = \frac{S_{D1} T_L}{T \frac{R}{I_e}} \quad (3.26)$$

Cs harus tidak kurang dari

$$CS = 0,044 SDS I_e \geq 0,01 \quad (3.27)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka harus Cs harus tidak kurang dari:

$$CS = \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{I_e}} \quad (3.28)$$

dengan:

- SD1 = parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1 detik,
 T = periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan,
 S1 = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan.

3.4.5 Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a) harus ditentukan dari persamaan 3.29 berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.29)$$

Keterangan: h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t , dan x ditentukan pada Tabel 3.8.

Tabel 3. 8 Nilai Parameter Periode Pendekatan Ct dan x

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

Sumber : SNI 1726:2019

3.4.6 Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Gaya seismik lateral F_x (kN) di sembarang tingkat harus ditentukan dari Persamaan 3.30 dan Persamaan 3.31 sebagai berikut.

$$F_x = C_{vx} V \quad (3.30)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.31)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal,

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur,

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,

untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$,

untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$,

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

3.4.7 Distribusi Horizontal Gaya Seismik

Geser tingkat desain seismik di semua tingkat (V_x) harus ditentukan dari Persamaan 3.32 sebagai berikut.

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3.32)$$

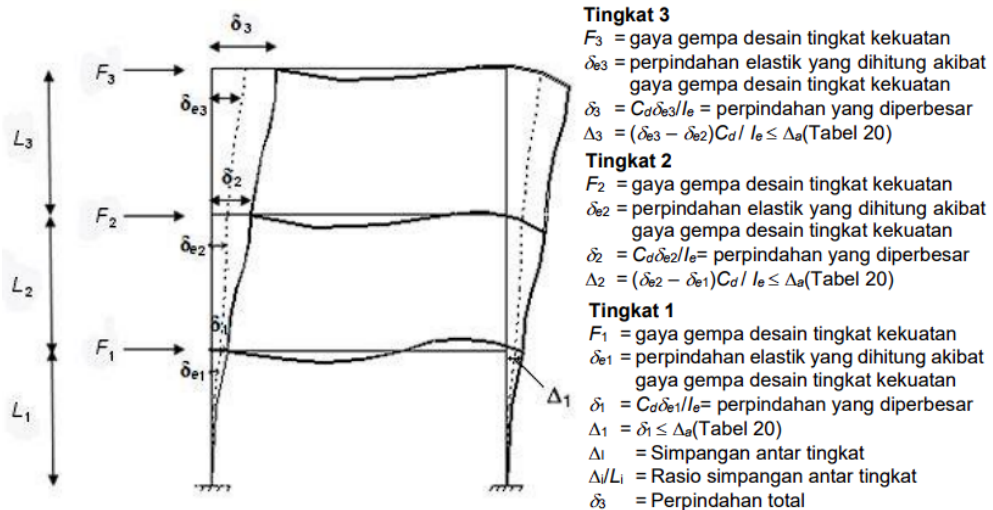
Keterangan:

F_i = bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i (kN).

3.5 Simpangan Antar Lantai

3.5.1 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726: 2019 pasal 7.8.6, penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Penentuan simpangan antar lantai dapat dilihat pada gambar 3.14 sebagai berikut.



Gambar 3. 14 Penentuan Simpangan Antar Lantai

(Sumber : SNI 1726: 2019)

Simpangan pusat massa di tingkat - x (δ_x) ditentukan sesuai dengan persamaan 3.33 berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.33)$$

keterangan:

- C_d = faktor pembesaran simpangan lateral dalam SNI 1726: 2019 pada Tabel 12 Faktor R, C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik halaman 49,
 δ_{xe} = simpangan di tingkat -x yang ditentukan dengan analisis elastik,
 I_e = faktor keutamaan gempa.

3.5.2 Batasan Simpangan Antar Lantai

Menurut SNI 1726: 2019 simpangan antar lantai mempunyai batasan atau simpangan antar lantai yang diizinkan. Simpangan antar lantai yang terjadi tidak boleh melebihi simpangan antar lantai yang diizinkan. Simpangan antar lantai izin ditunjukkan melalui Tabel 3.9.

Tabel 3. 9 Simpangan Antar a Tingkat Izin ($\Delta_a^{a,b}$)

Struktur			
	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

Catatan:

- a. H_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat -x.

- b. Untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar tingkat izin harus sesuai dengan persyaratan. C
- c. Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam tidak diabaikan.
- d. Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung pondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

3.6 Sistem Ganda

3.6.1 Dinding Geser

Wibisono (2018) mengatakan sistem ganda merupakan gabungan dari sistem pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan sistem rangka pemikul momen. Dinding geser merupakan salah satu pengaku struktur yang digunakan untuk memikul beban lateral pada bangunan. Hutahaean dan Aswandy (2016) dinding geser berperan sangat membantu pada gedung bertingkat selain mencegah kegagalan dinding eksterior, dinding geser juga dapat membantu agar struktur tidak runtuh.

Batasan dinding geser mengacu pada SNI 2847: 2019 pada pasal 14.3.1.1 tebal minimum sebesar 140 mm dan sekurang-kurangnya tebal dinding $1/24$ dari balok terpanjang. Dinding geser yang dipasang pada struktur juga tidak boleh terlalu banyak dikarenakan akan tidak efektif dan tidak ekonomis. Pada SNI 1726-2019 pasal 7.2.2 memberikan batasan minimal sebesar 25% untuk rangka struktur pada bangunan dapat menahan beban lateral agar dinding geser tidak terlalu banyak.

Penempatan dinding geser tidak diletakkan pada sembarang tempat. Fauziah (2013) mengatakan struktur dengan penempatan dinding geser searah beban gempa atau searah dengan sumbu x dan y lebih kuat menahan beban lateral. Manalip (2015) mengatakan pada penelitiannya letak dinding geser diletakkan agar tetap

mempertahankan kesimetrisan dan titik pusat massa bangunan. Andaras (2016) mengatakan pada penelitiannya penempatan dinding geser paling optimum diletakkan pada sisi gedung paling luar dan searah sumbu x dan y.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode Penelitian bertujuan untuk memberikan gambaran langkah-langkah penelitian secara sistematis agar penelitian lebih teratur. Penelitian yang akan dilakukan berpedoman dengan SNI 1726: 2019 dan SNI 2847: 2019. Pada penelitian kali ini membandingkan kinerja bangunan gedung eksisting dengan menambah dinding geser.

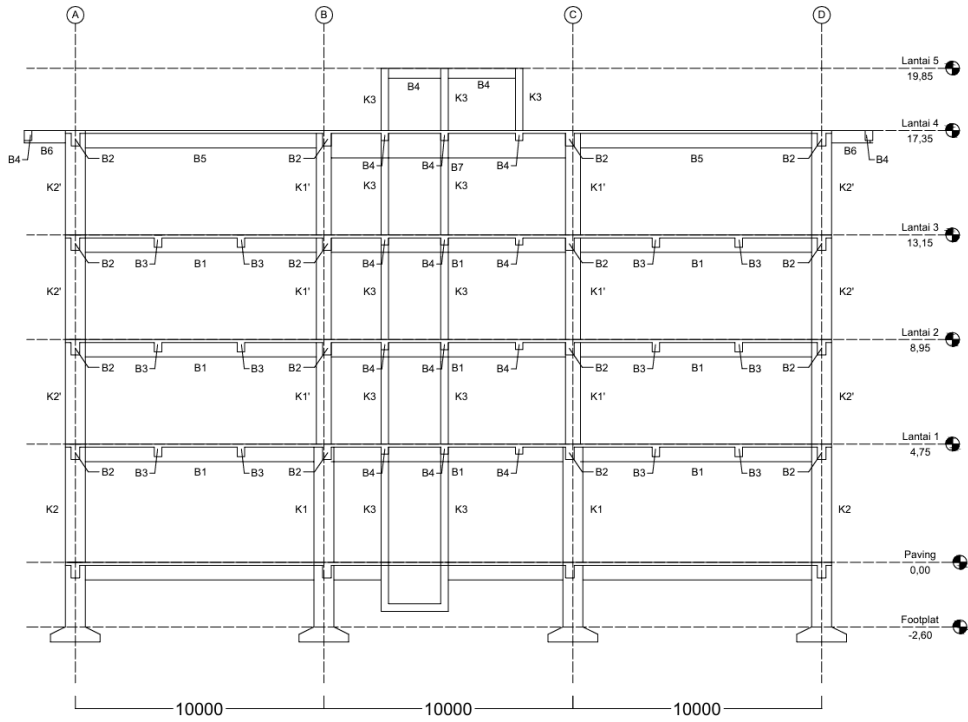
4.2 Model Struktur

Objek penelitian yang akan digunakan adalah gedung Laboratorium Riset. Tinggi bangunan adalah 19,85 meter dan memiliki jumlah lantai sebanyak 5 lantai. Penelitian ini menggunakan 3 pemodelan diuraikan dalam Tabel 4.1 dibawah ini.

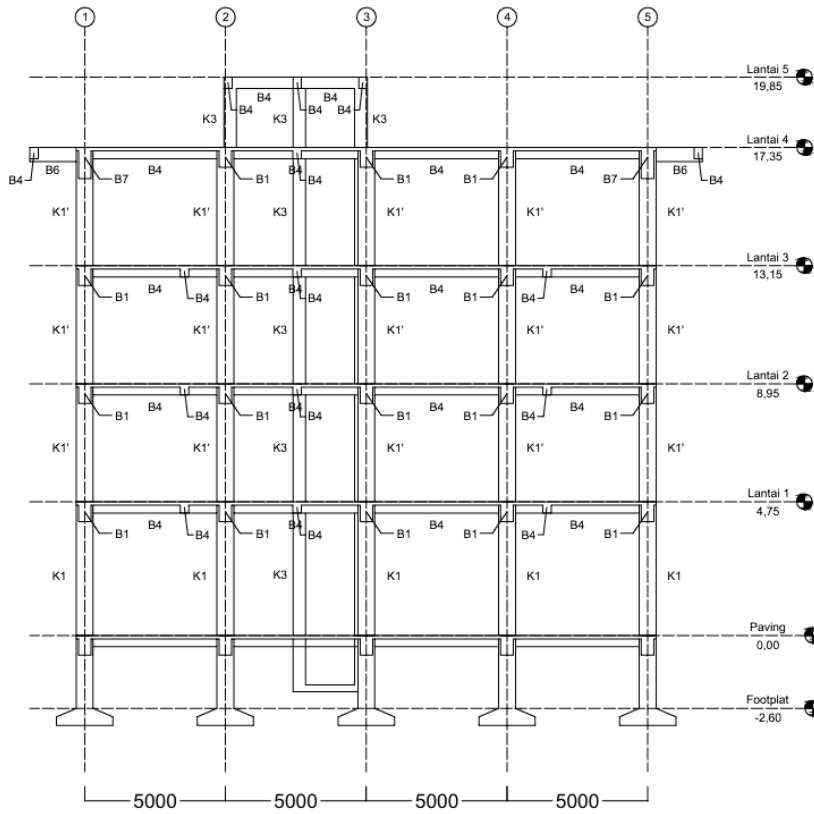
Tabel 4. 1 Pemodelan Struktur

Model	Struktur Penahan Gaya Gempa	Dimensi Balok dan Kolom
1	Gedung eksisting	Menggunakan ukuran gedung eksisting
2	Gedung eksisting dengan menambah dinding geser	Menggunakan ukuran gedung eksisting
3	Redesain gedung dengan menambah dinding geser	Menggunakan ukuran redesain gedung eksisting

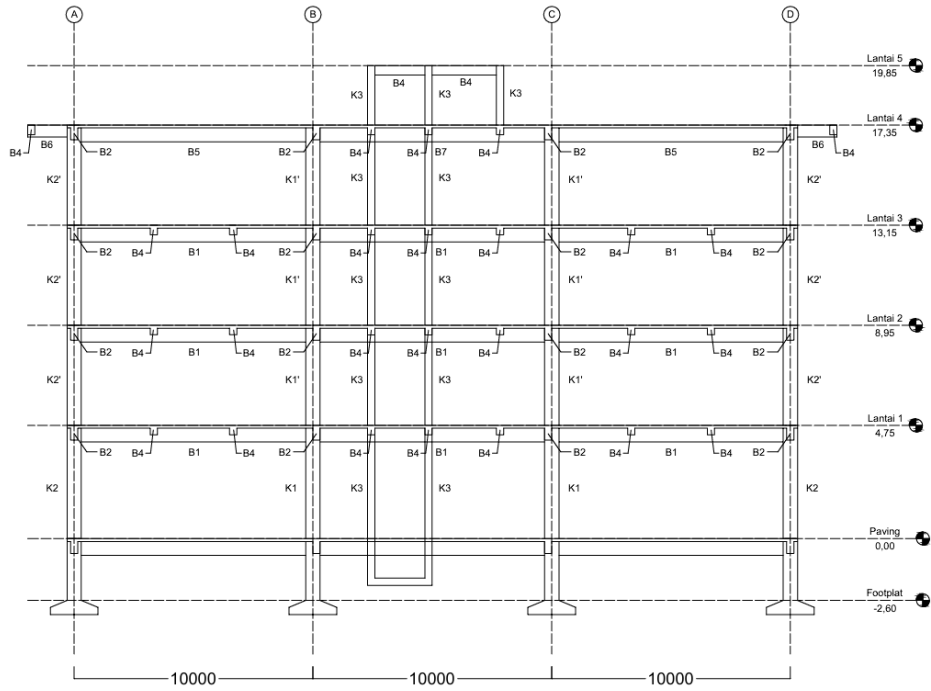
Penambahan dinding geser tidak merubah potongan secara signifikan karena tinggi lantai tidak diubah. Gambar potongan untuk ketiga model dapat dilihat pada Gambar 4. sebagai berikut.



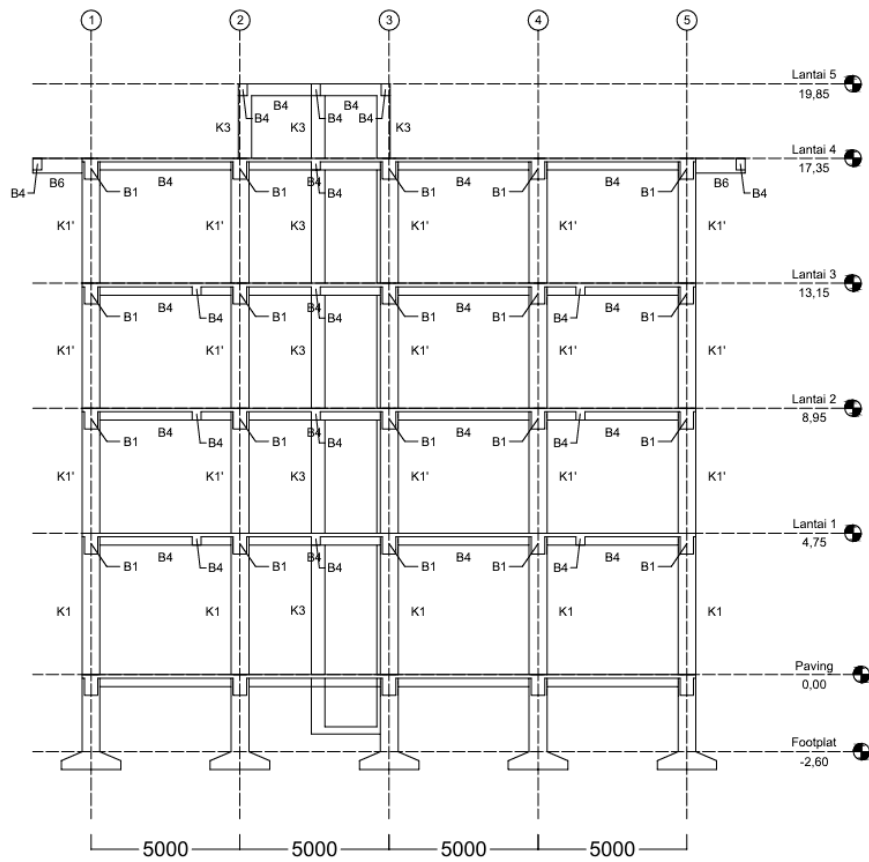
Gambar 4. 1 Potongan Model 1 dan Model 2 Arah X



Gambar 4. 2 Potongan Model 1 dan Model 2 Arah Y



Gambar 4. 3 Potongan Model 3 Arah X



Gambar 4. 4 Potongan Model 3 Arah X

4.2.1 Model 1 (Gedung Eksisting)

Adapun data dimensi balok, kolom dan pelat lantai untuk model 1 dapat dilihat pada Tabel 4.2 hingga Tabel 4.4 dan Gambar 4.1 hingga Gambar 4.10 dibawah ini.

Tabel 4. 2 Dimensi Balok Model 1

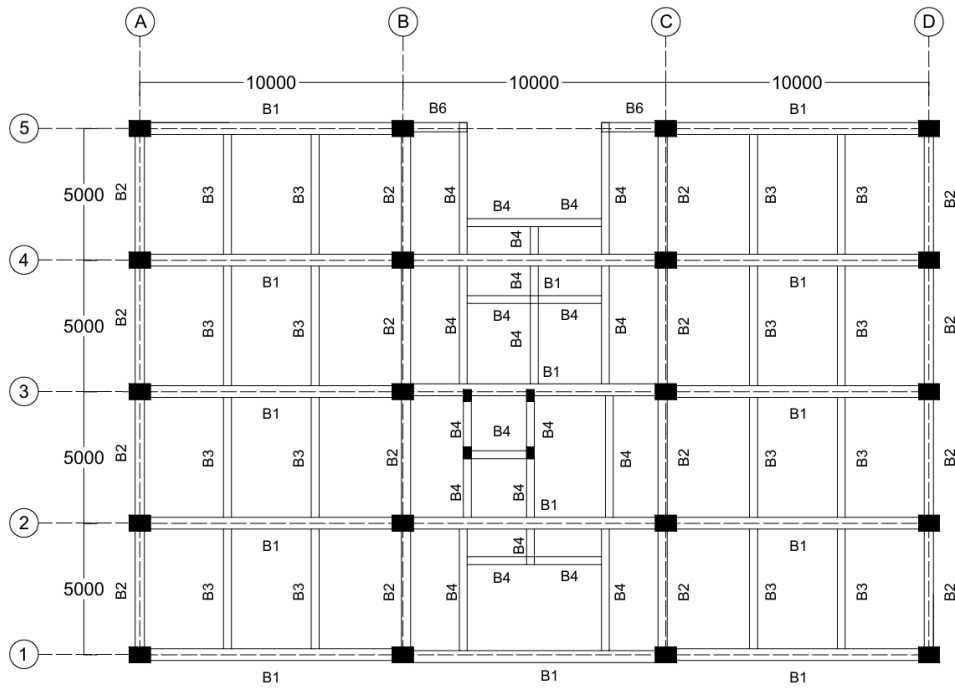
Balok dan Kolom	Dimensi (mm)
B1	450 x 700
B2	350 x 500
B3	300 x 500
B4	300 x 400
B5	450 x 700
B6	350 x 500
B7	450 x 1100

Tabel 4. 3 Dimensi Kolom Model 1

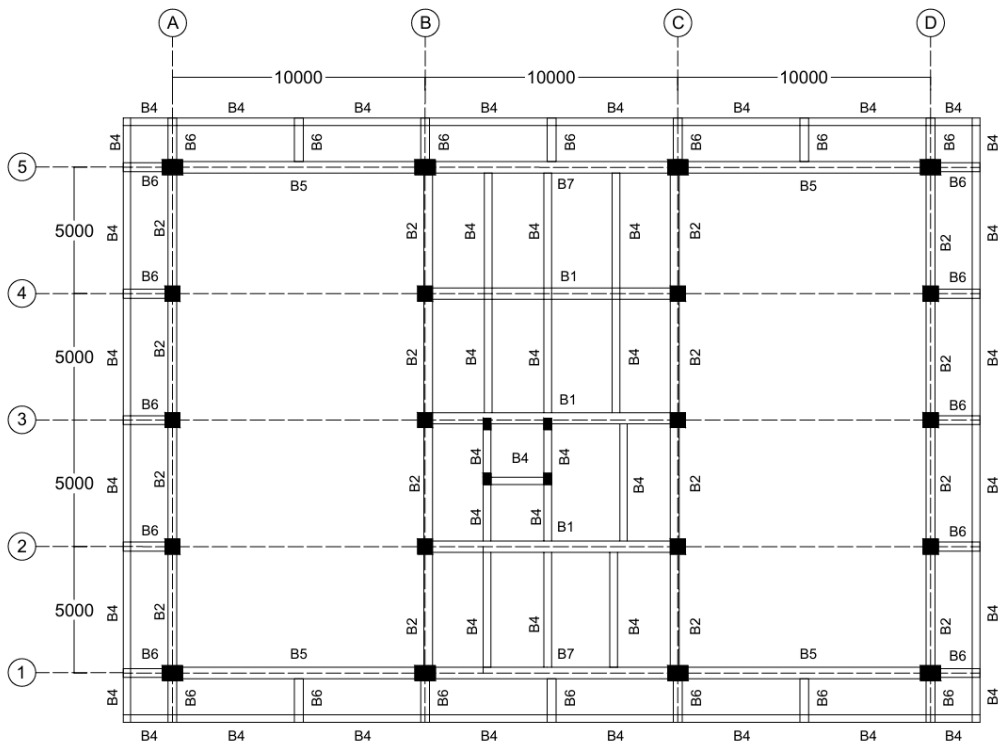
Kolom	Dimensi (mm)
K1	600 x 800
K2	600 x 800
K1'	600 x 600
K2'	600 x 600
K3	300 x 450

Tabel 4. 4 Dimensi Pelat Lantai Model 1

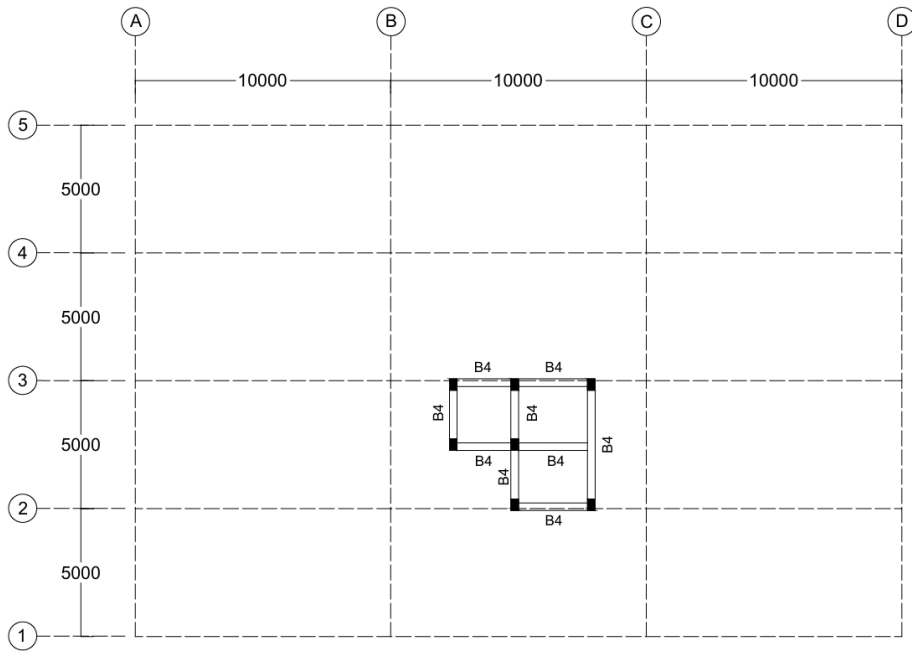
Pelat	Dimensi (mm)
A1	120
A2	140
A3	120



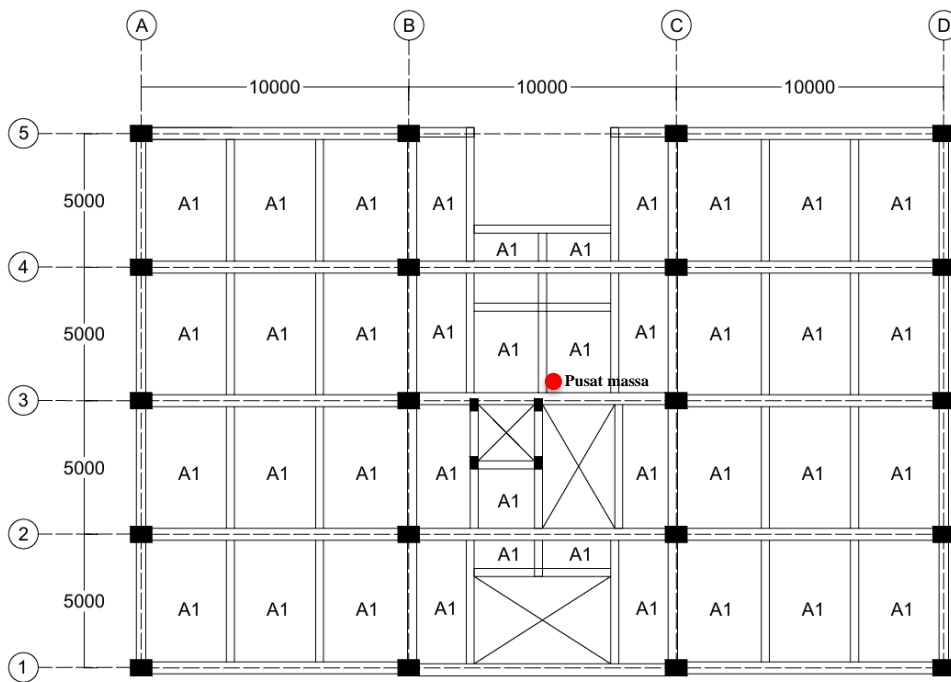
Gambar 4. 5 Kodifikasi Balok Model 1 Lantai 1 - 3



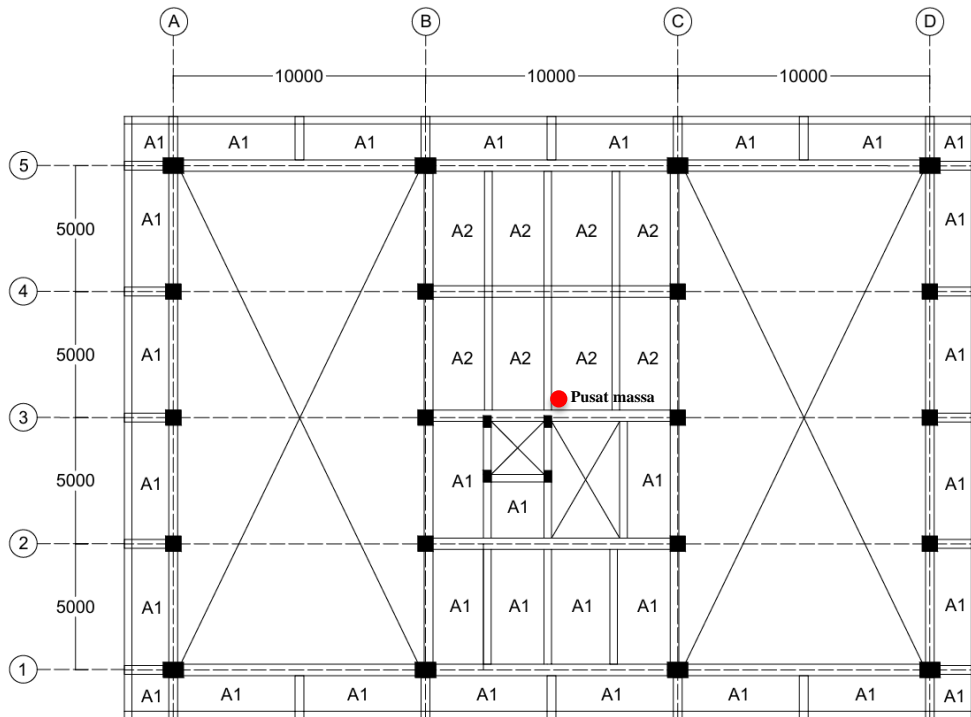
Gambar 4. 6 Kodifikasi Balok Model 1 Lantai 4



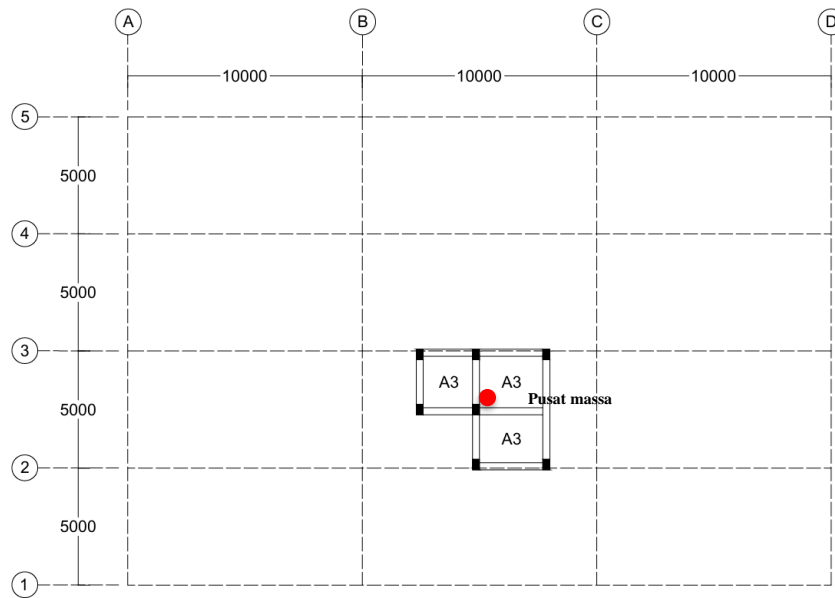
Gambar 4. 7 Kodefikasi Balok Model 1 Lantai 5



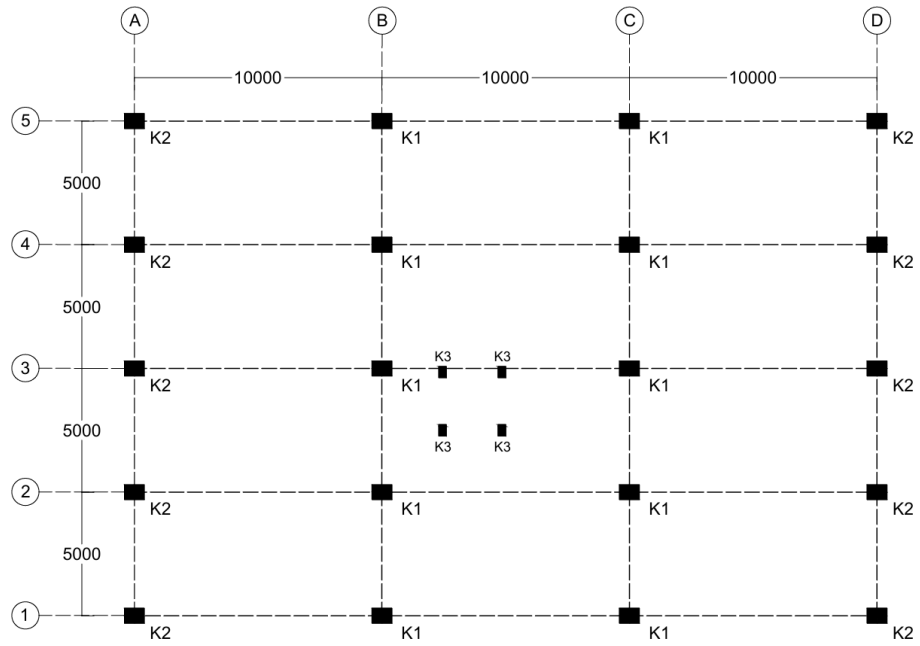
Gambar 4. 8 Kodefikasi Pelat A1 Model 1 Lantai 1 - 3



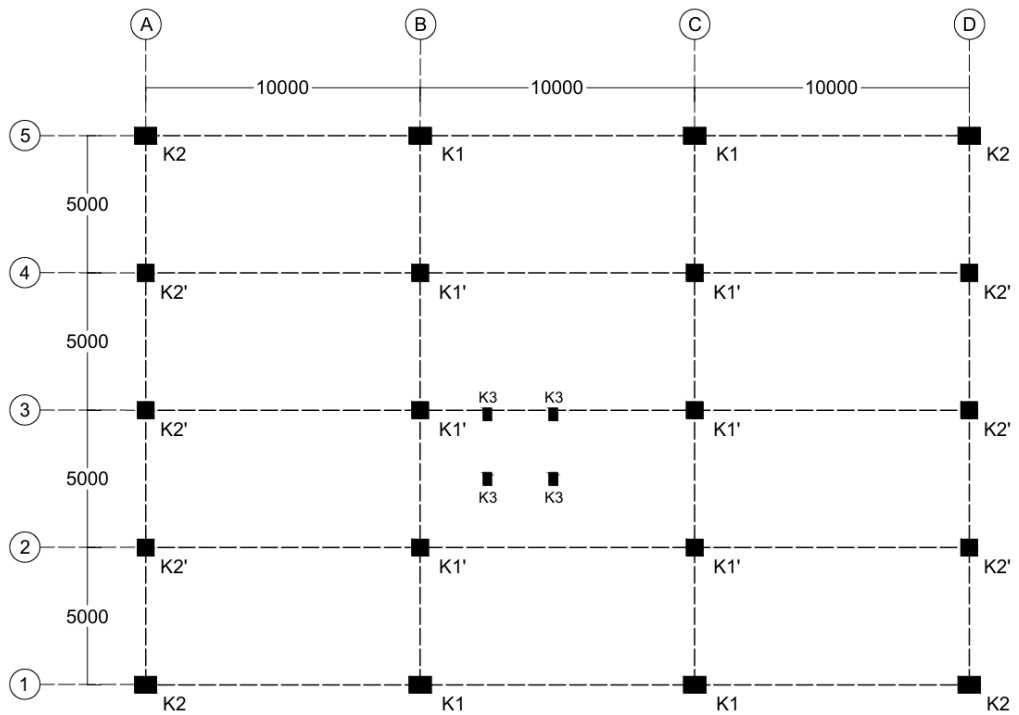
Gambar 4. 9 Kodefikasi Pelat A2 Model 1 Lantai 4



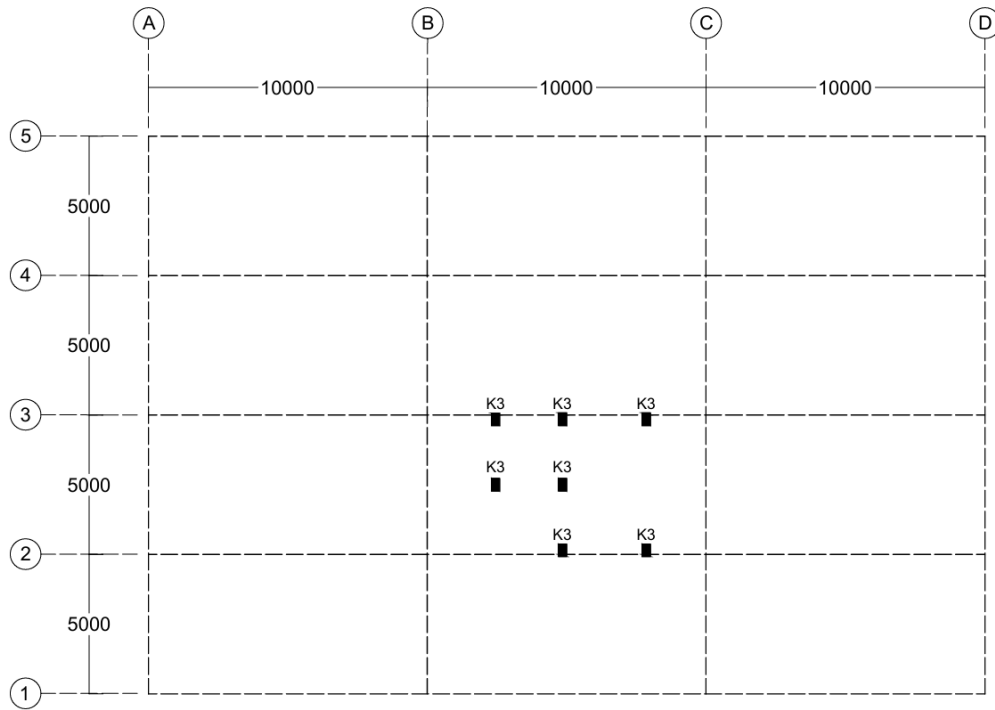
Gambar 4. 10 Kodefikasi Pelat A3 Model 1 Lantai 5



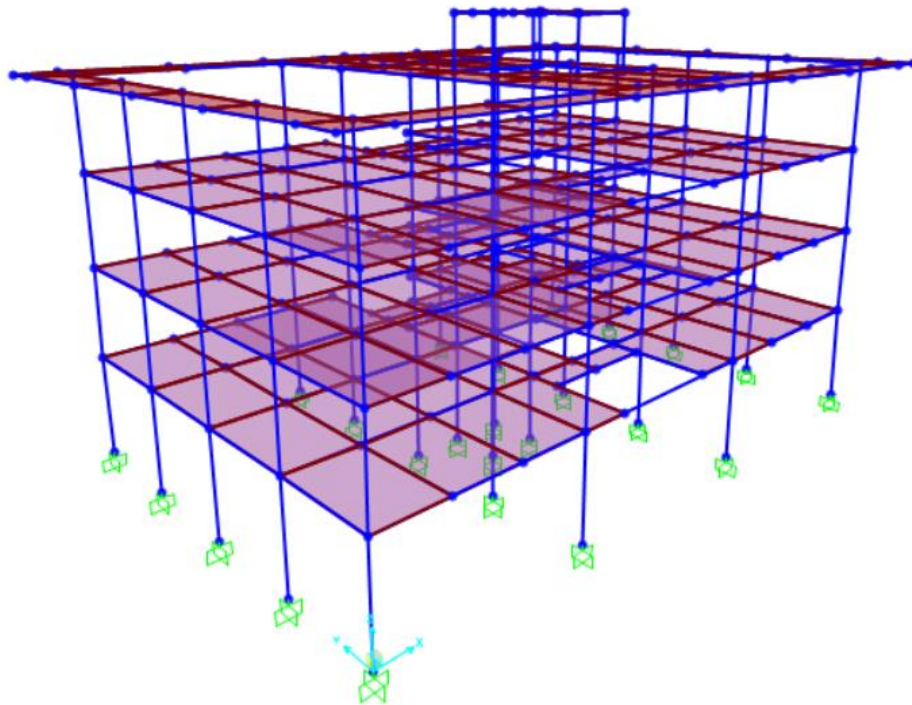
Gambar 4. 11 Kodefikasi Kolom Model 1 Lantai 1



Gambar 4. 12 Kodefikasi Kolom Model 1 Lantai 2-4



Gambar 4. 13 Kodefikasi Kolom Model 1 Lantai 5



Gambar 4. 14 Pemodelan SAP2000 Model 1

4.2.2 Model 2 (Gedung Eksisting dengan Menambah Dinding Geser)

Dalam penempatan dinding geser untuk model 2, Wiryadi & Sudarsana (2019) menjelaskan bahwa dinding geser dengan tipe I yang diletakkan secara simetris di bagian tepi struktur memiliki nilai kekakuan yang tinggi dibandingkan bentuk T, L dan IWF. Effendi al. (2017) menambahkan jika dinding geser yang ditempatkan tidak simetris akan memberikan waktu getar yang lebih panjang.

Adapun data dimensi balok, kolom, pelat lantai, dinding geser dan denah penempatan dinding geser untuk model 2 dapat dilihat pada Tabel 4.5 hingga Tabel 4.8 dan Gambar 4.10 hingga Gambar 4.22 dibawah ini.

Tabel 4. 5 Dimensi Balok Model 2

Balok dan Kolom	Dimensi (mm)
B1	450 x 700
B2	350 x 500
B3	300 x 500
B4	300 x 400
B5	450 x 700
B6	350 x 500
B7	450 x 1100

Tabel 4. 6 Dimensi Kolom Model 2

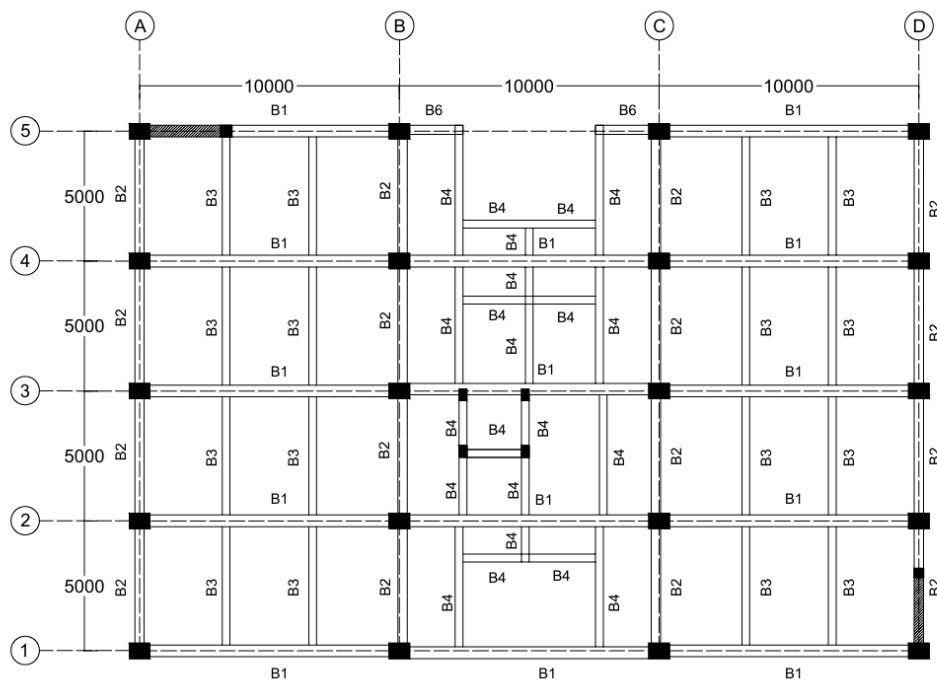
Kolom	Dimensi (mm)
K1	600 x 800
K2	600 x 800
K1'	600 x 600
K2'	600 x 600
K3	300 x 450
KP arah X	450 x 450
KP arah Y	300 x 300

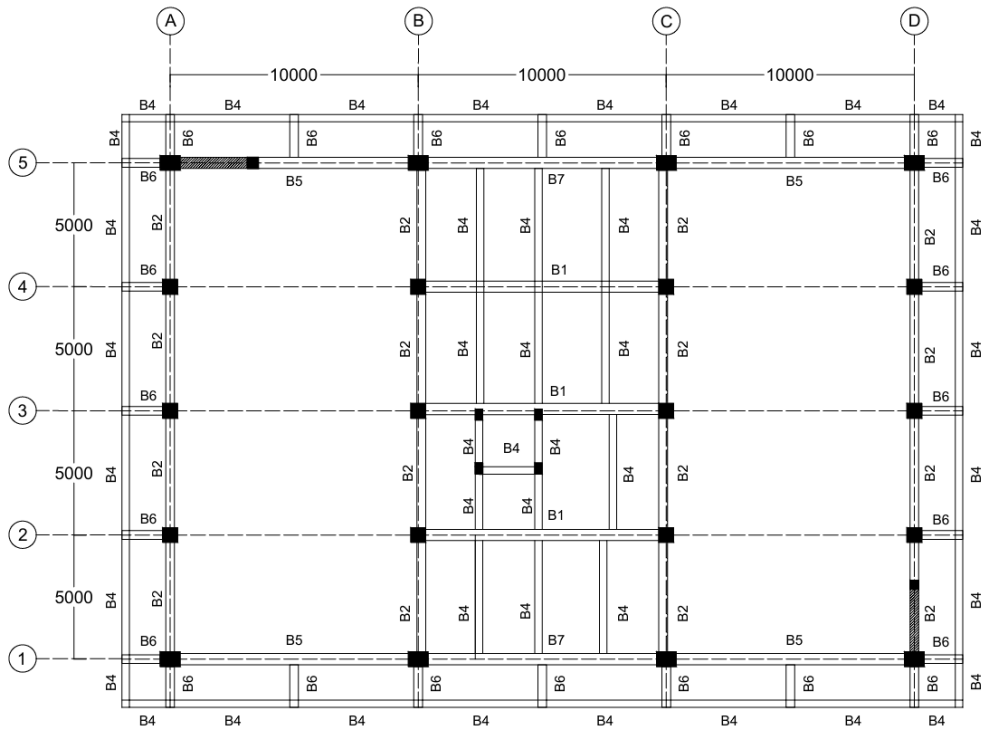
Tabel 4. 7 Dimensi Pelat Lantai Model 2

Pelat	Dimensi (mm)
A1	120
A2	140
A3	120

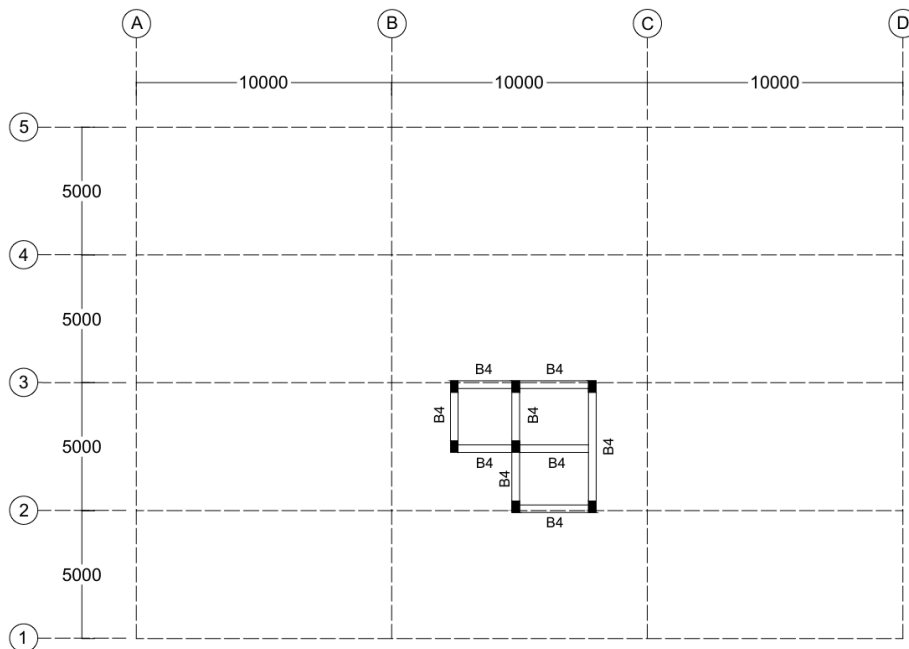
Tabel 4. 8 Dimensi Dinding Geser Model 2

Dinding Geser	Panjang (m)	Tinggi (m)	Tebal (m)
SW1	3,333	4,75	0,2
SW2	3	4,75	0,2

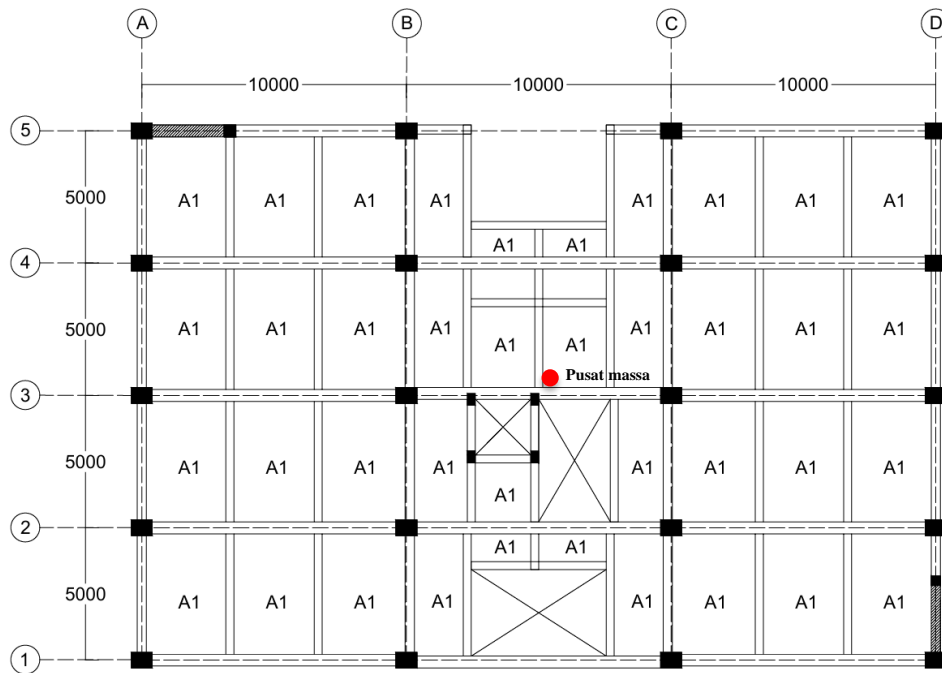
**Gambar 4. 15 Kodefikasi Balok Model 2 Lantai 1 - 3**



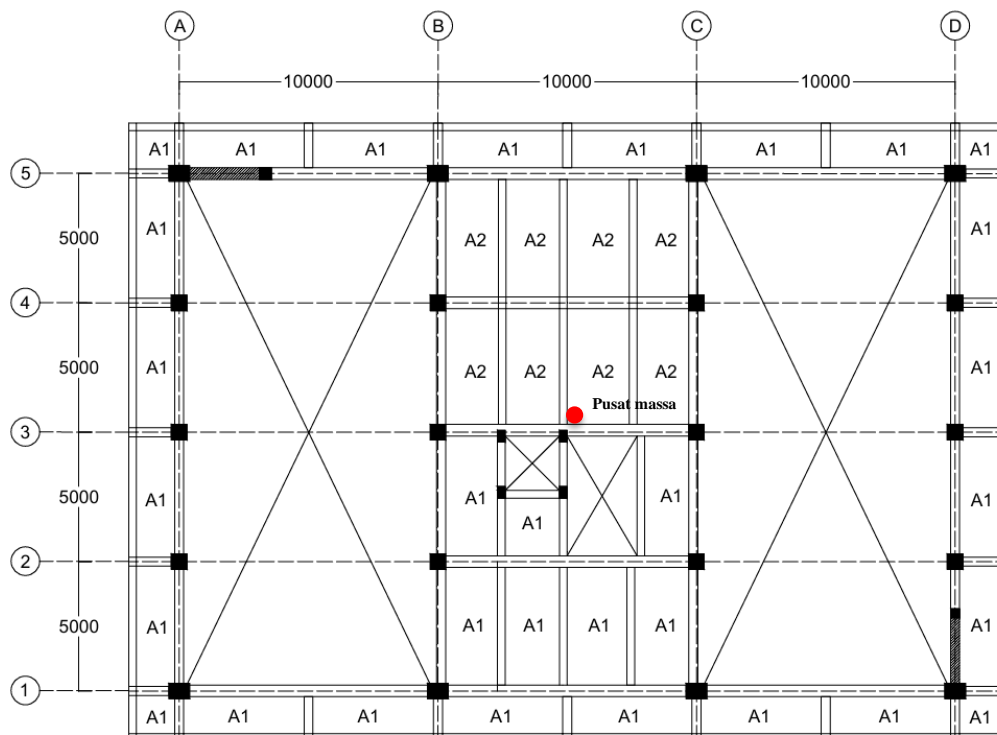
Gambar 4. 16 Kodefikasi Balok Model 2 Lantai 4



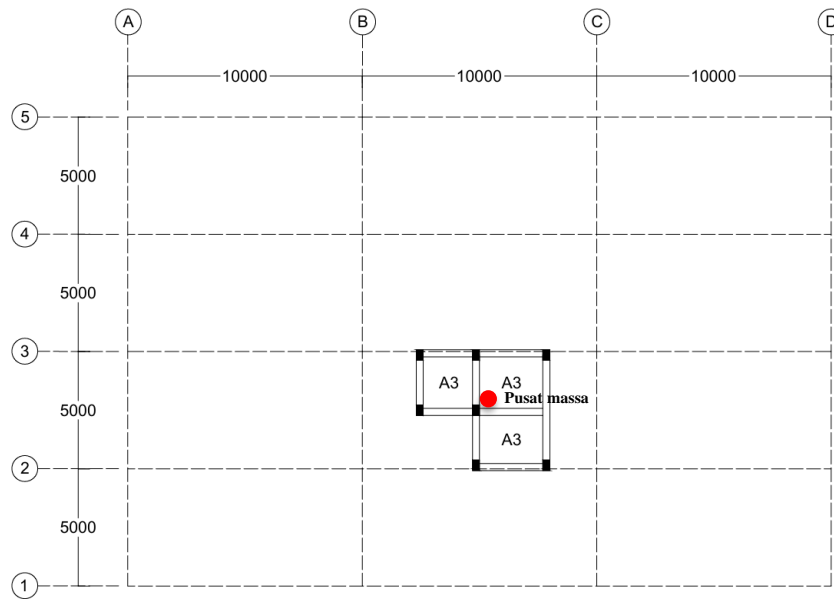
Gambar 4. 17 Kodefikasi Balok Model 2 Lantai 5



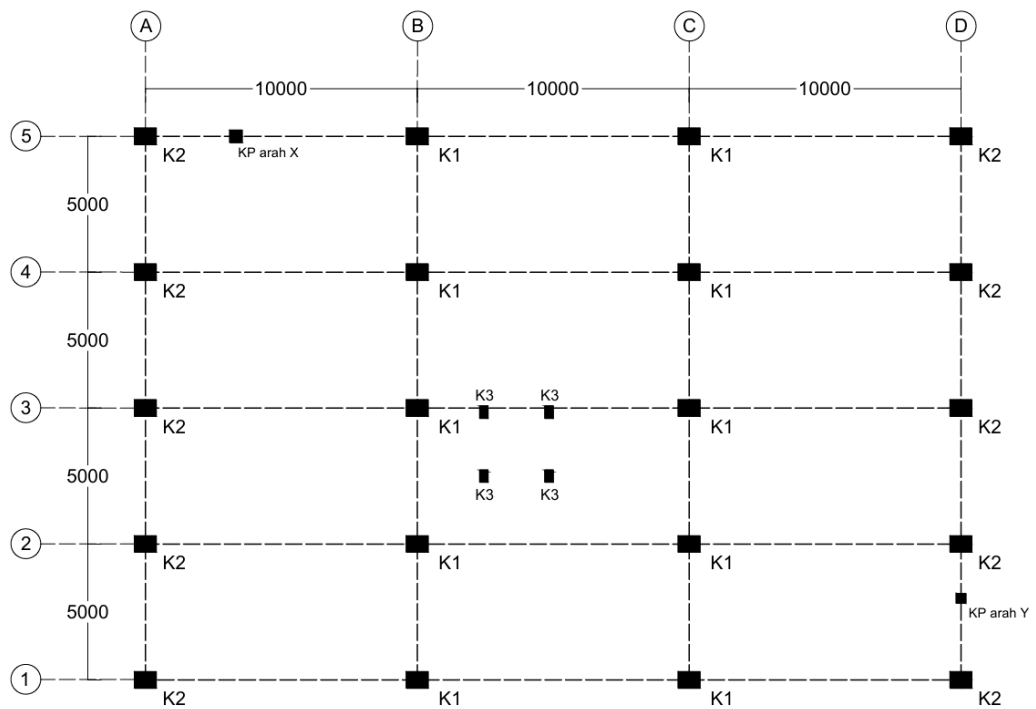
Gambar 4. 18 Kodifikasi Pelat A1 Model 2 Lantai 1 - 3



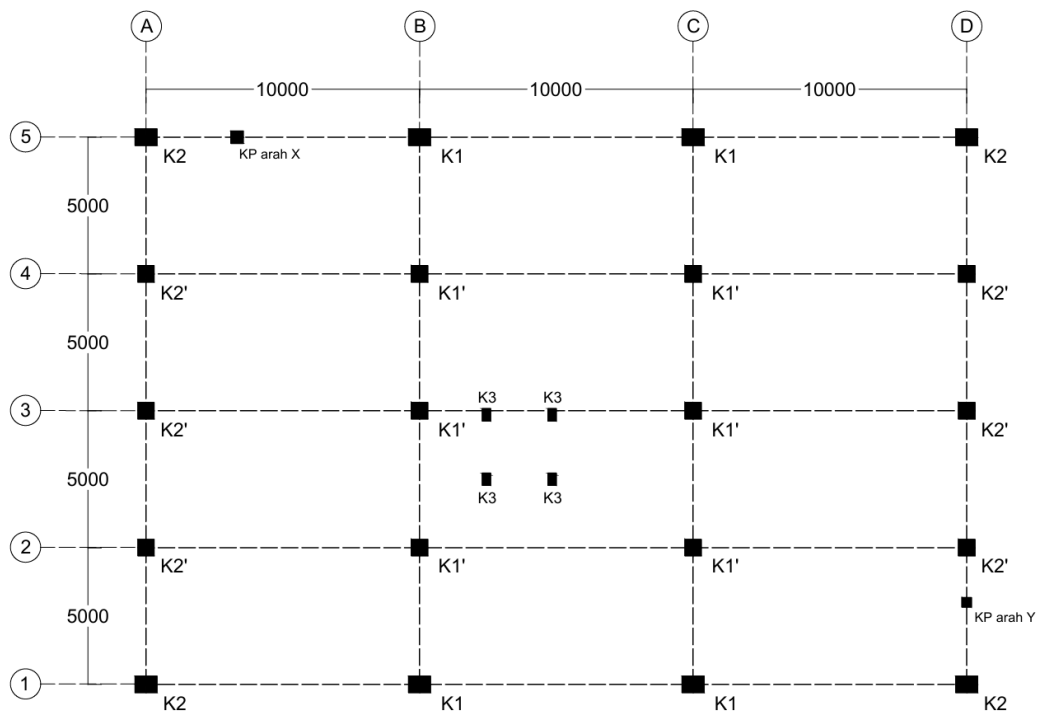
Gambar 4. 19 Kodifikasi Pelat A2 Model 2 Lantai 4



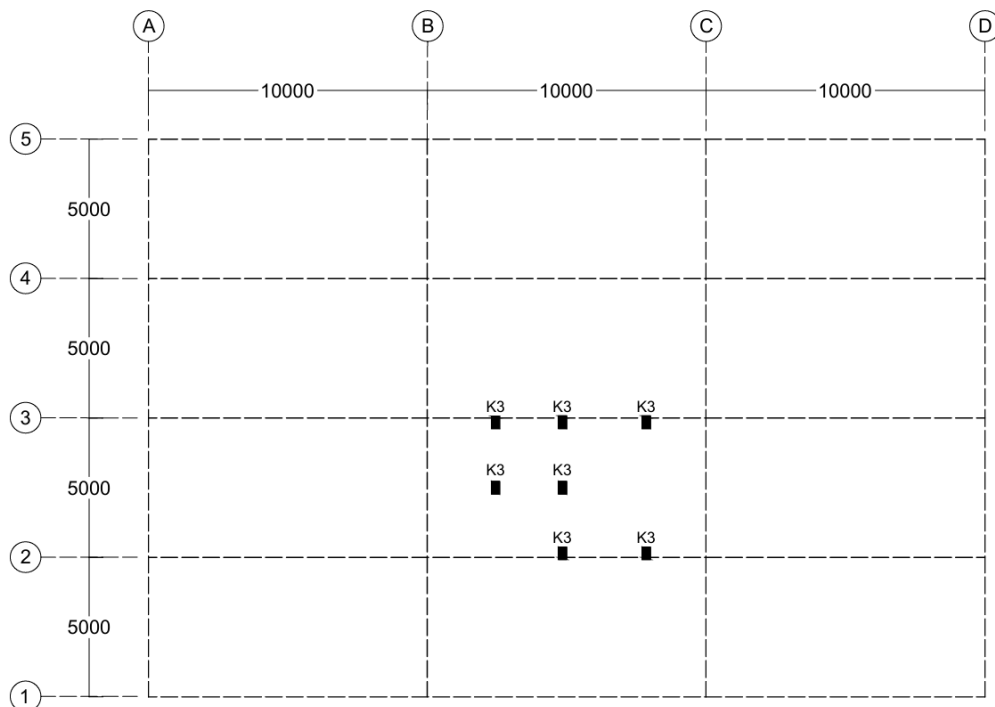
Gambar 4. 20 Kodefikasi Pelat A3 Model 2 Lantai 5



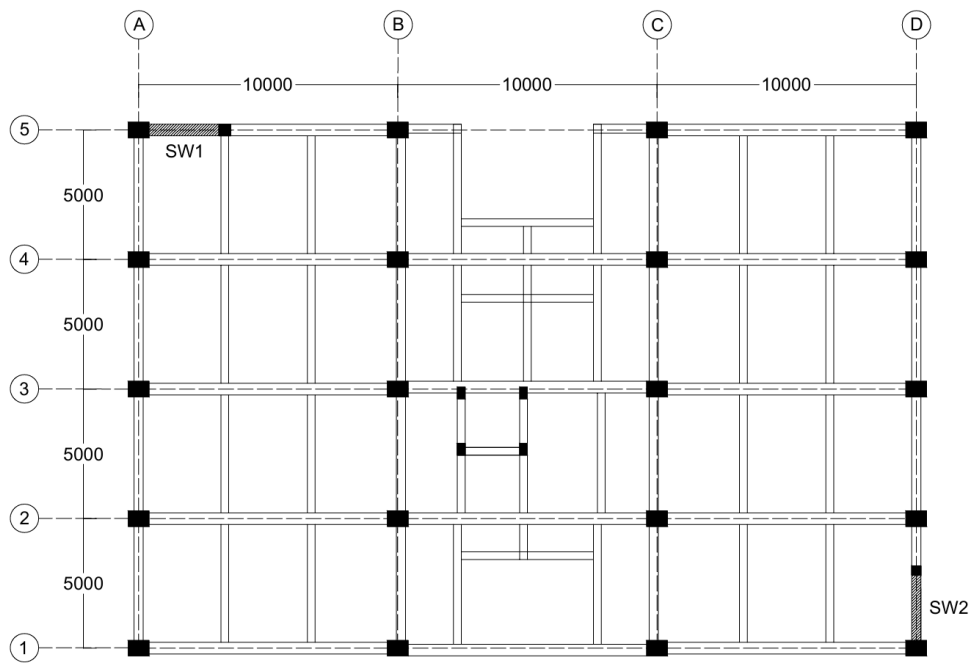
Gambar 4. 21 Kodefikasi Kolom Model 2 Lantai 1



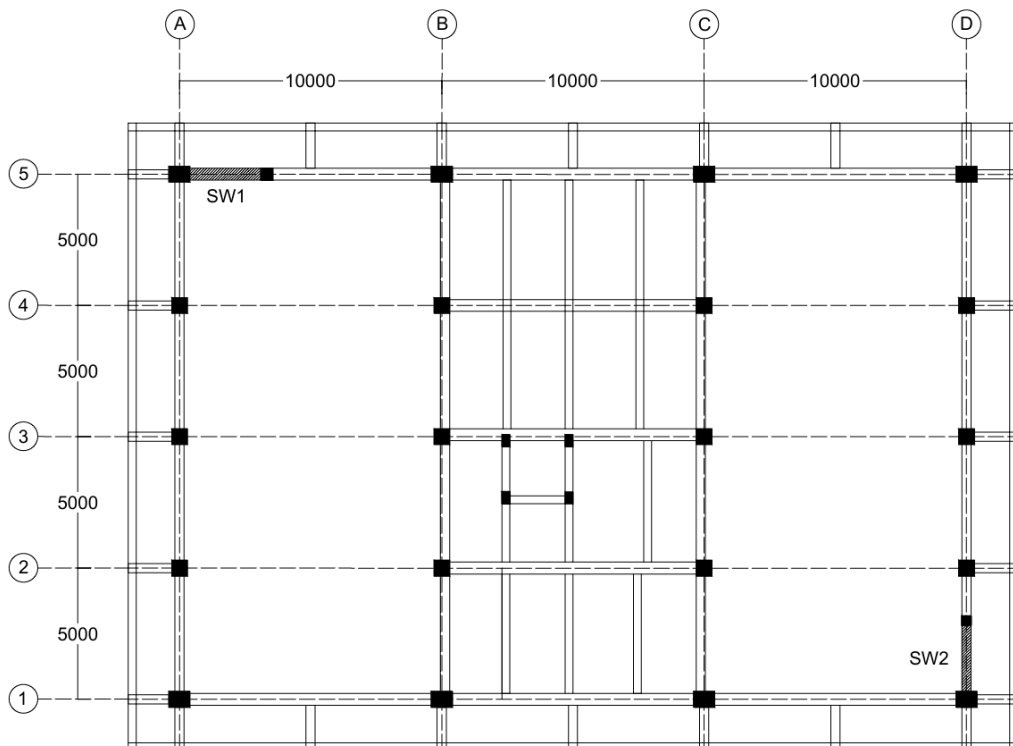
Gambar 4. 22 Kodefikasi Kolom Model 2 Lantai 2 - 4



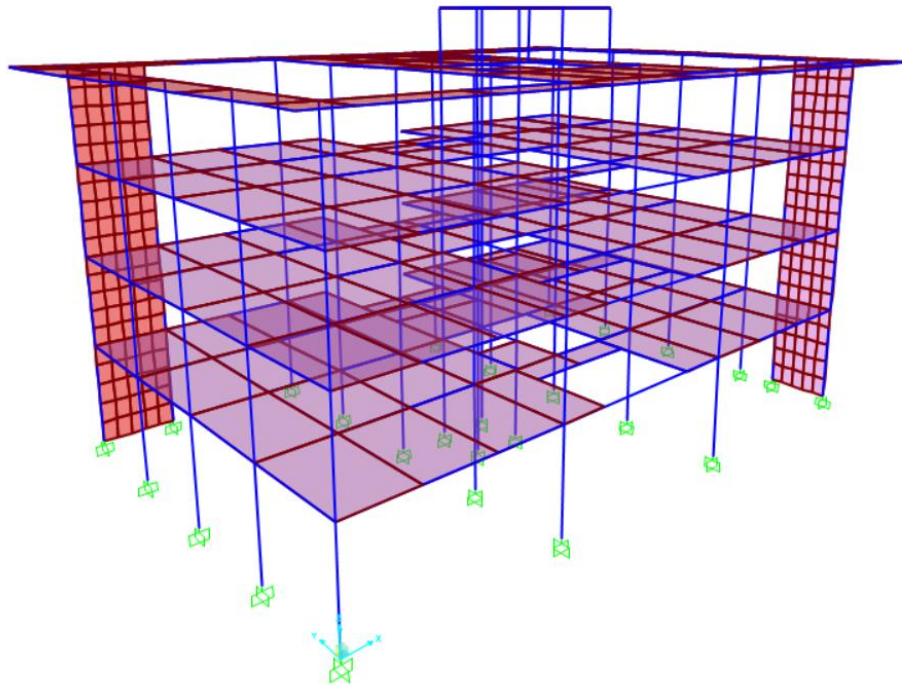
Gambar 4. 23 Kodefikasi Kolom Model 2 Lantai 5



Gambar 4. 24 Kodifikasi Dinding Geser Model 2 Lantai 1 – 3



Gambar 4. 25 Kodifikasi Dinding Geser Model 2 Lantai 4



Gambar 4. 26 Pemodelan SAP2000 Model 2

4.2.2 Model 3 (Gedung Redesain dengan Menambah Dinding Geser)

Sama halnya seperti model 2, data dimensi balok, kolom, pelat lantai, dinding geser dan gambar denah untuk model 3 dapat dilihat pada Tabel 4.9 hingga Tabel 4.12 dan Gambar 4.21 hingga Gambar 4.34 dibawah ini.

Tabel 4. 9 Dimensi Balok Model 3

Balok	Dimensi (mm)
B1	450 x 700
B2	300 x 500
B3	300 x 400
B4	300 x 400
B5	450 x 700
B6	300 x 500
B7	450 x 700

Tabel 4. 10 Dimensi Kolom Model 3

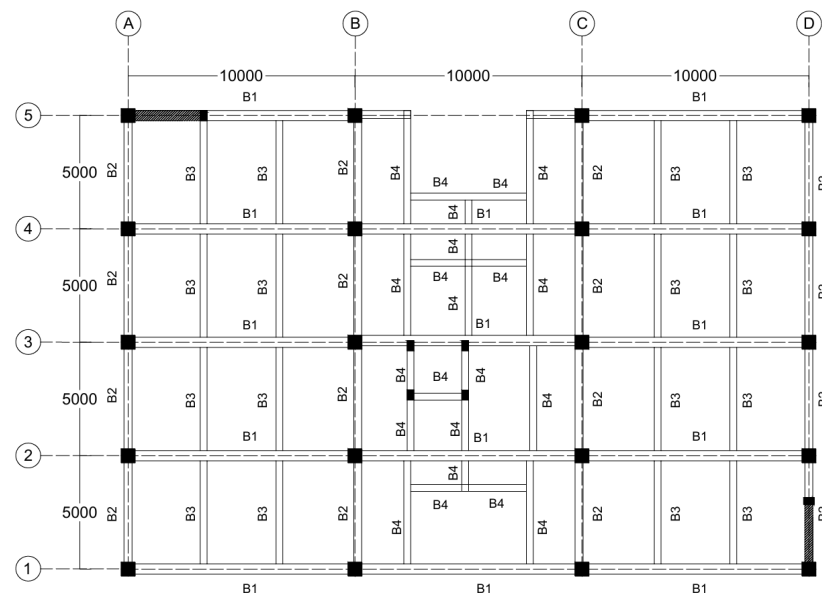
Kolom	Dimensi (mm)
K1	600 x 600
K2	600 x 600
K1'	600 x 600
K2'	600 x 600
K3	300 x 450

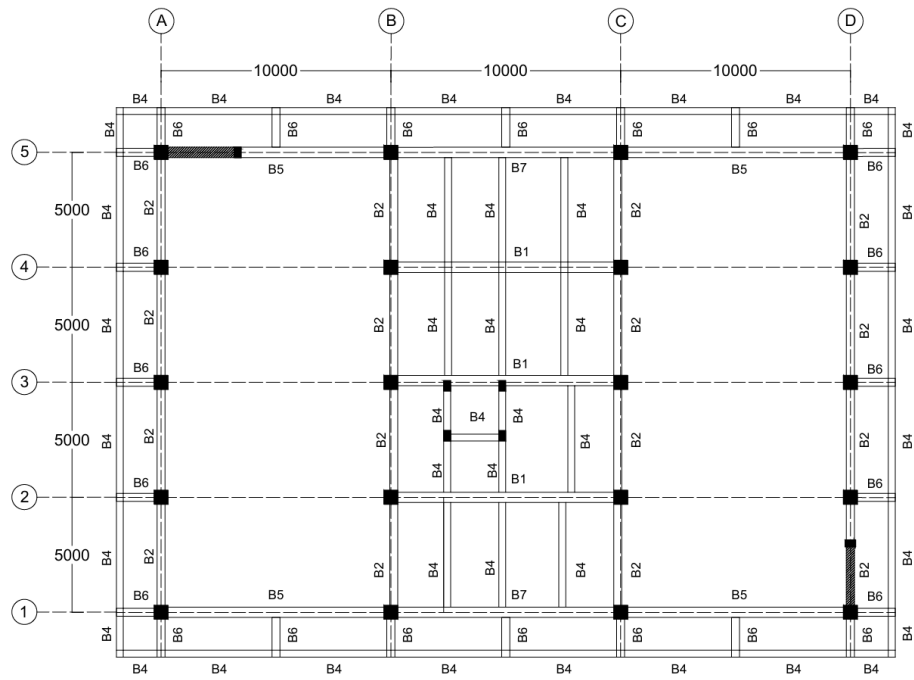
Tabel 4. 11 Dimensi Pelat Lantai Model 3

Pelat	Dimensi (mm)
A1	120
A2	140
A3	120

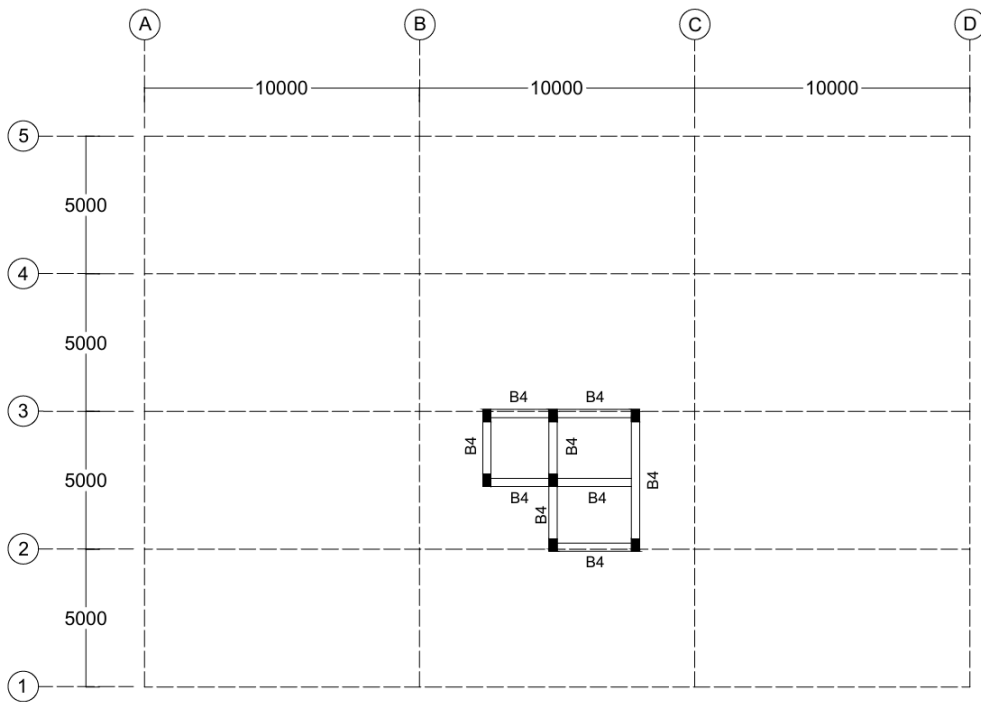
Tabel 4. 12 Dimensi Dinding Geser Model 3

Dinding Geser	Panjang (m)	Tinggi (m)	Tebal (m)
SW1	3,333	4,75	0,2
SW2	3	4,75	0,2

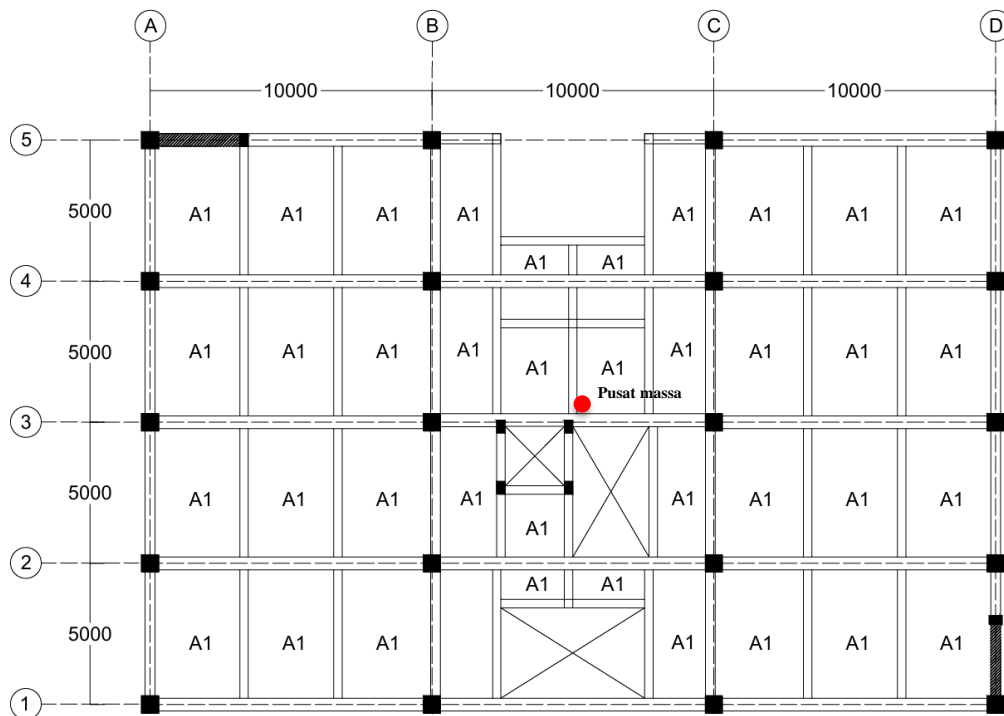
**Gambar 4. 27 Kodifikasi Balok Model 3 Lantai 1 – 3**



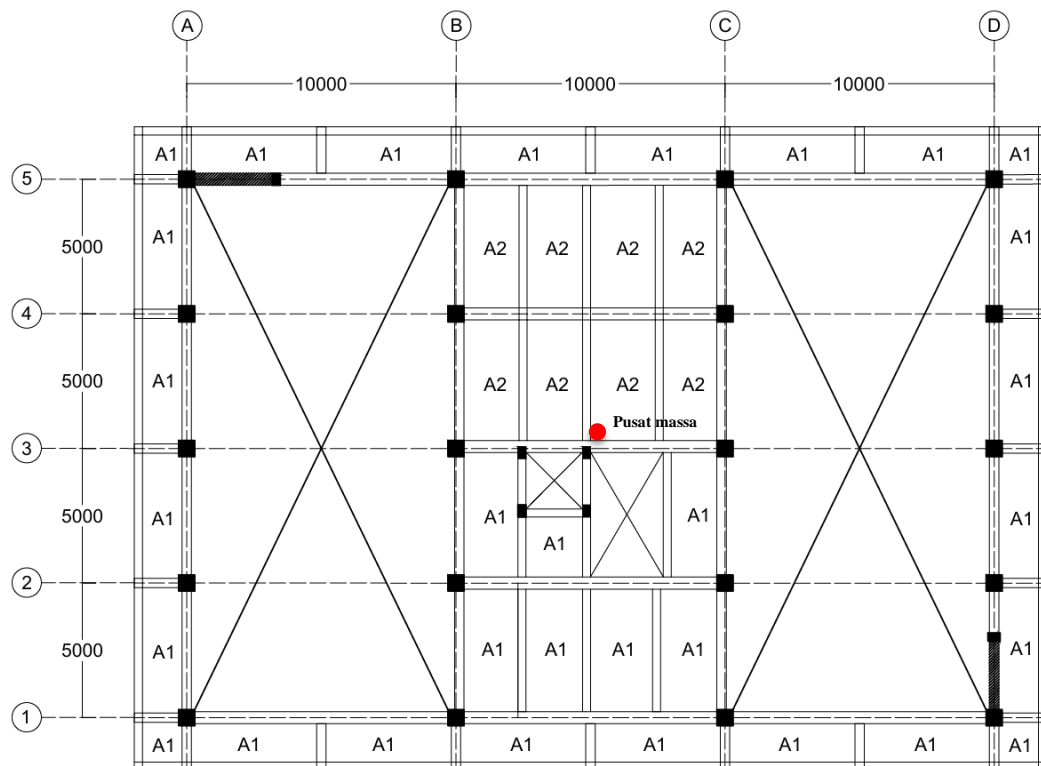
Gambar 4. 28 Kodefikasi Balok Model 3 Lantai 4



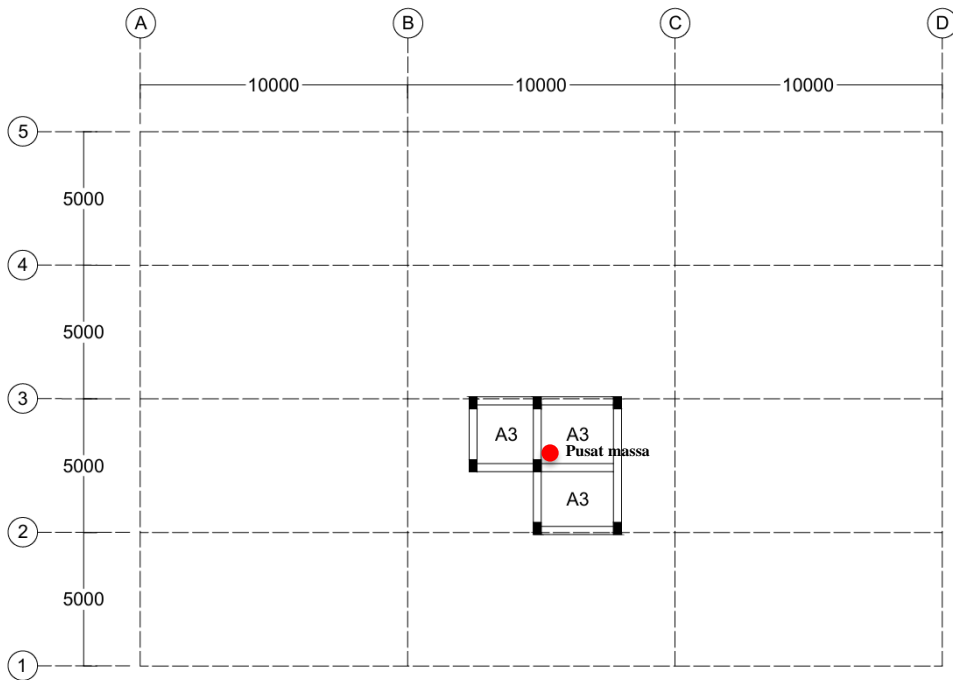
Gambar 4. 29 Kodefikasi Balok Model 3 Lantai 5



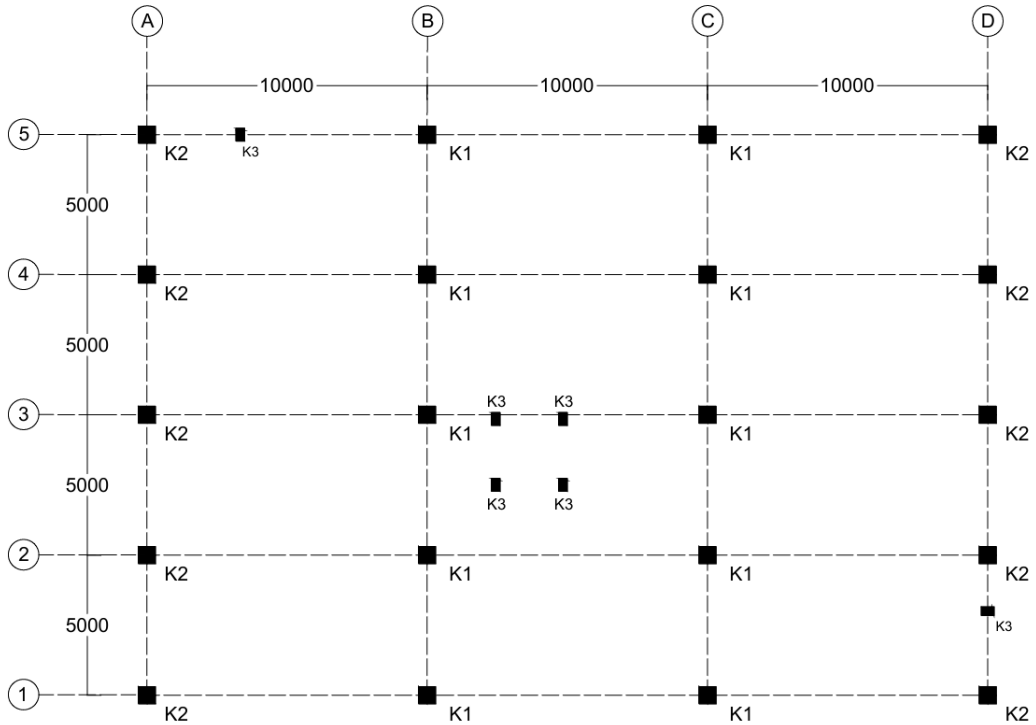
Gambar 4. 30 Kodefikasi Pelat A1 Model 3 Lantai 1 – 3



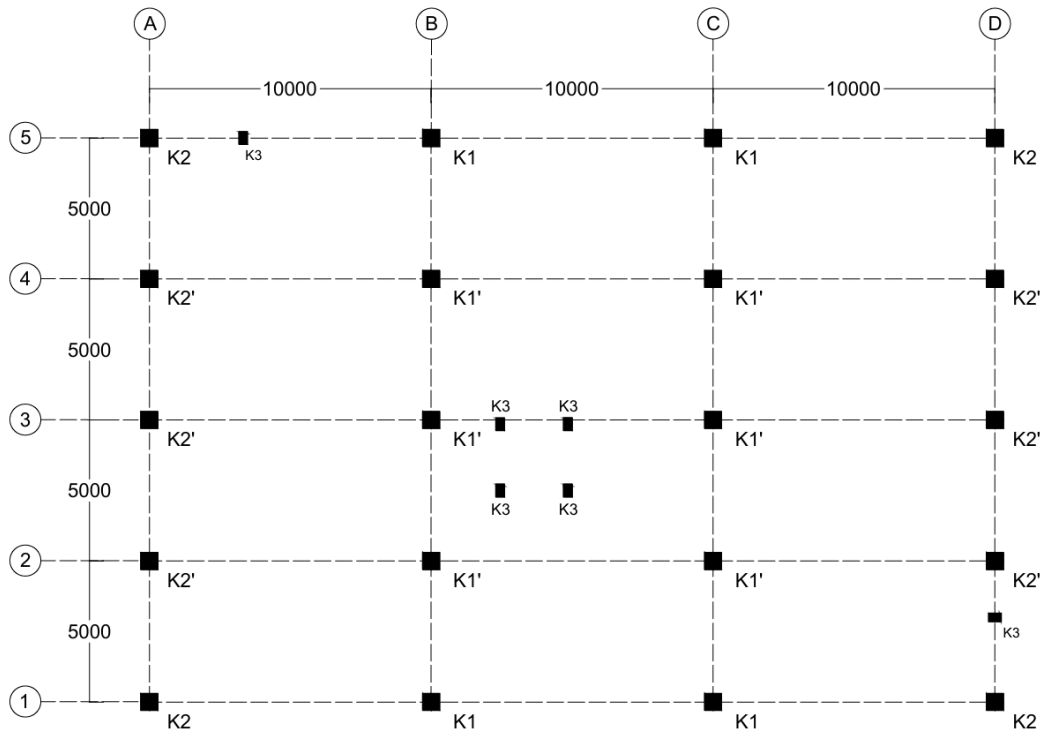
Gambar 4. 31 Kodefikasi Pelat A2 Model 3 Lantai 4



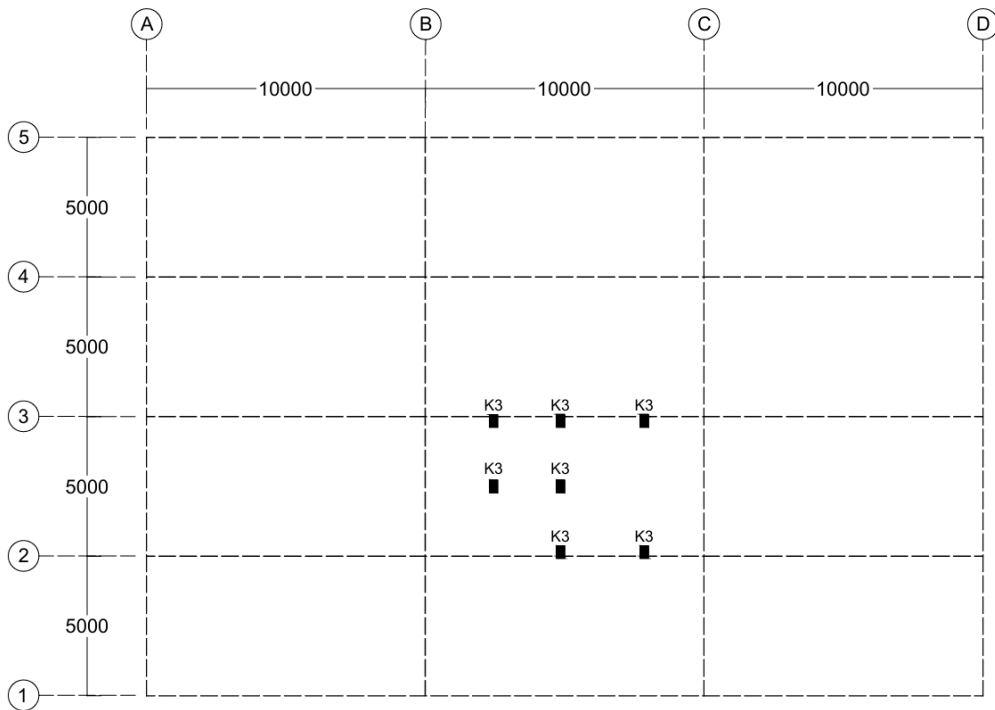
Gambar 4. 32 Kodefikasi Pelat A3 Model 3 Lantai 5



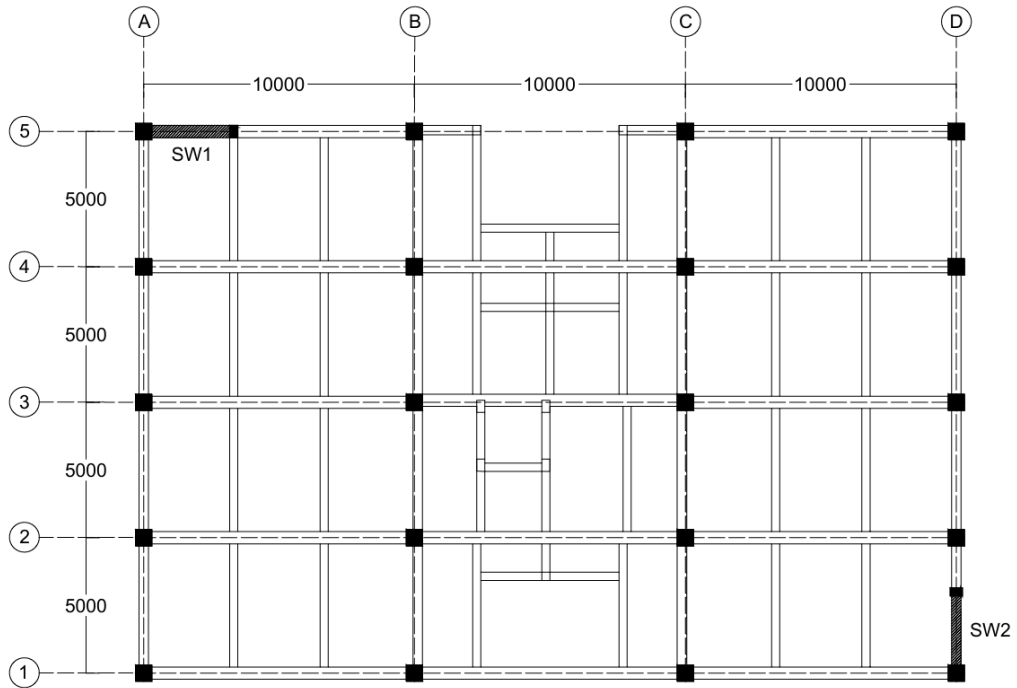
Gambar 4. 33 Kodefikasi Kolom Model 3 Lantai 1



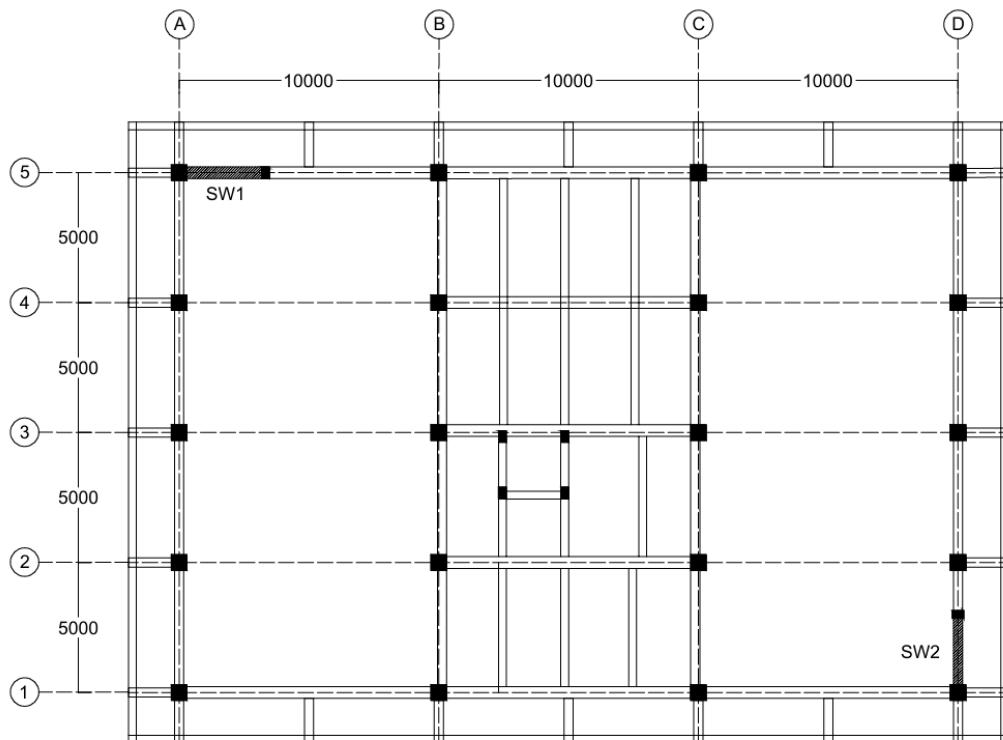
Gambar 4. 34 Kodefikasi Kolom Model 3 Lantai 2 - 4



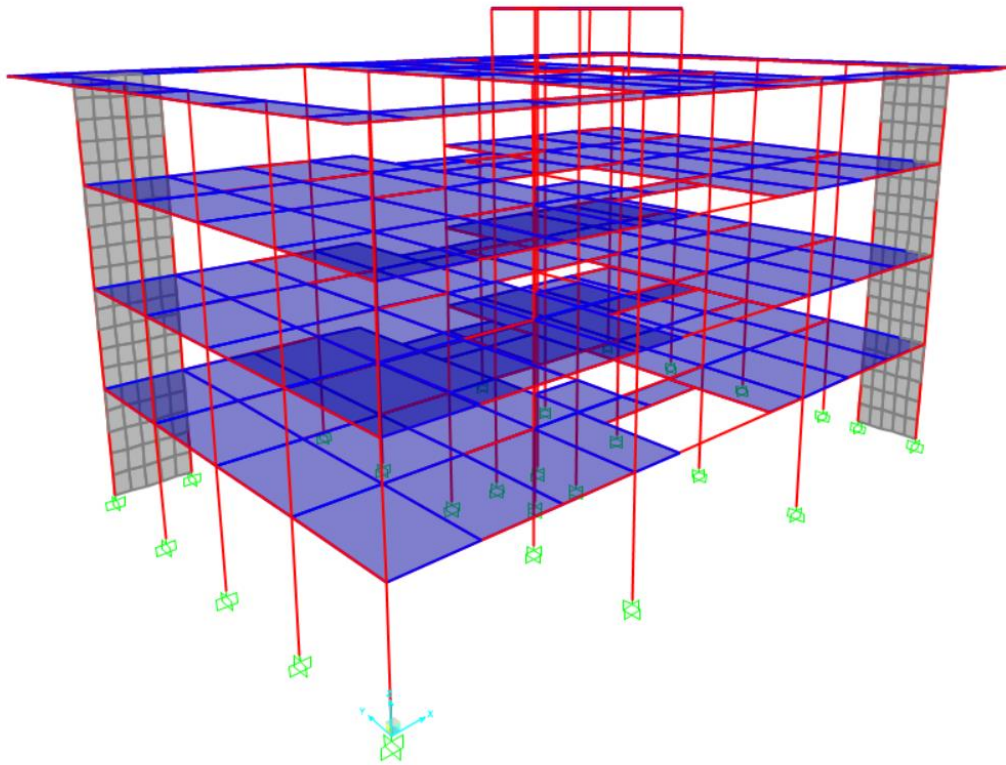
Gambar 4. 35 Kodefikasi Kolom Model 3 Lantai 5



Gambar 4. 36 Kodefikasi Dinding Geser Model 3 Lantai 1 - 3



Gambar 4. 37 Kodefikasi Dinding Geser Model 3 Lantai 4



Gambar 4. 38 Pemodelan SAP2000 Model 3

Andalas (2016) menyatakan bahwa ketika dinding geser ditempatkan pada lokasi – lokasi tertentu yang cocok dan strategis, dinding tersebut dapat digunakan secara ekonomis untuk menyediakan tahanan beban horizontal yang diperlukan.

4.3 Data Penelitian

Data penelitian yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.13 sebagai berikut.

Tabel 4. 13 Data Penelitian

No	Parameter	Nilai
1	Nama Bangunan	Laboratorium Riset Jurusan Kimia Fakultas MIPA
1	Fungsi bangunan	Laboratorium
2	Letak bangunan	Yogyakarta
3	Jenis tanah dasar	Keras (SC)
4	Jumlah lantai	5 lantai
5	Tinggi bangunan	19,85 meter
6	Panjang bangunan arah X	30 meter
7	Panjang bangunan arah Y	20 meter
8	Jenis struktur	Struktur beton bertulang
9	Mutu beton (f_c')	25 MPa
10	Mutu baja tulangan $d > 13$ mm	400 MPa
11	Mutu baja tulangan $d \leq 13$ mm	240 MPa

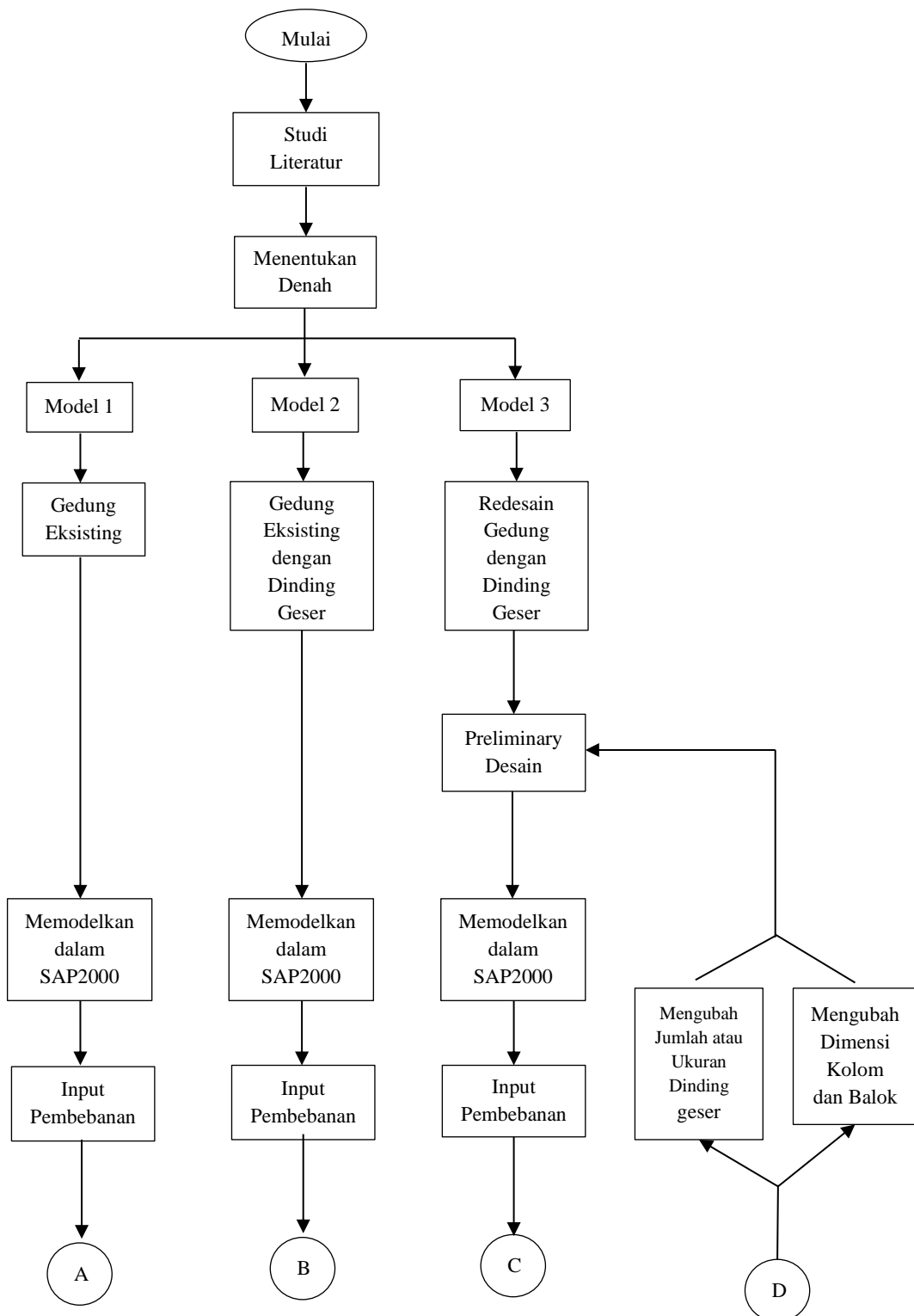
4.5 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

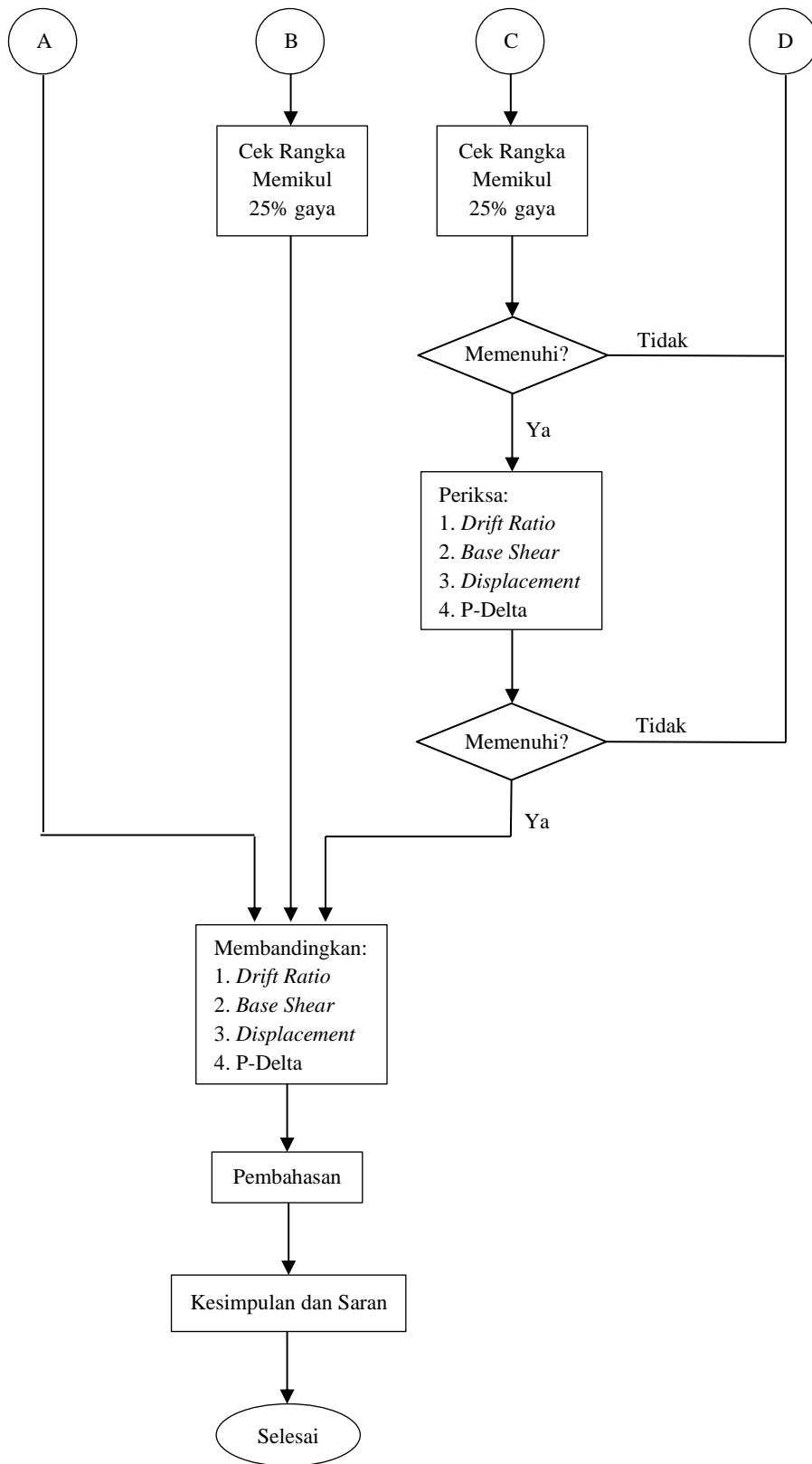
1. Studi literatur
2. Mendesain model. Mendesain model meliputi struktur bangunan, fungsi bangunan, mutu bahan dan menentukan dimensi.
3. Analisis pembebanan. Menganalisis beban mati, beban hidup dan beban gempa sesuai dengan pedoman yang diikuti.

4. Pemodelan bangunan pada SAP2000. Pemodelan dilakukan sesuai dengan model yang sudah ditentukan diawal. Model 1 merupakan gedung eksisting, model 2 merupakan gedung eksisting dengan menambah dinding geser, model 3 merupakan redesain gedung dengan menambah dinding geser.
5. Input gaya pembebanan yang telah dianalisis sebelumnya.
6. Membandingkan hasil respon struktur. Nilai simpangan yang diambil berasal dari pusat massa.
7. Membuat pembahasan perbandingan ketiga model yang telah dianalisis.
8. Membuat kesimpulan dan saran penelitian yang telah dilakukan.

Diagram alir ditunjukkan pada Gambar 4.32 sebagai berikut.



Gambar 4. 39 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4. 32 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Konfigurasi Bangunan

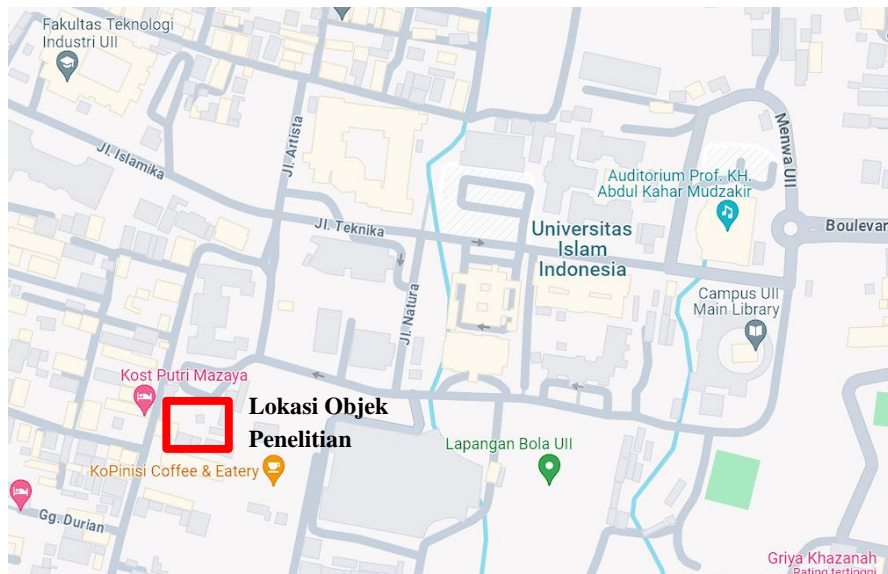
Data perencanaan digunakan sebagai tahapan awal dalam analisis gedung yang akan didesain ulang pada penelitian ini. Dasar-dasar perencanaan terdiri dari data struktur dan data material.

5.1.1 Konfigurasi Bagunan

Bangunan gedung Laboratorium Riset terdiri dari 5 lantai. Data struktur dari bangunan gedung Laboratorium riset yang akan didesain ulang adalah sebagai berikut.

1. Nama gedung : Laboratorium Riset Jurusan Kimia Fakultas MIPA
2. Jenis bangunan : Gedung bertingkat
3. Fungsi bangunan : Laboratorium
4. Lokasi bangunan : Kampus terpadu Universitas Islam Indonesia
5. Jumlah lantai : 5 lantai
6. Tinggi bangunan : 19,85 m

Adapun denah lokasi gedung Laboratorium riset dapat dilihat pada Gambar 5.1 dibawah ini.



Gambar 5. 1 Denah Lokasi Gedung Laboratorium Riset

Sumber: <https://www.google.com/maps>

5.1.2 Data Mutu Bahan

Mutu bahan yang digunakan dalam perencanaan gedung Laboratorium Riset adalah sebagai berikut.

1. Gedung eksisting (Model 1)
 - a. Mutu beton (f_c') yang digunakan sebesar 25 MPa.
 - b. Selimut beton yang digunakan sebesar 40 mm.
 - c. Diameter tulangan ulir yang digunakan sebesar 25 mm, 19 mm dan 16 mm. Kuat tarik leleh baja tulangan (f_y) sebesar 400 MPa. Sedangkan untuk tulangan polos menggunakan diameter 10 mm dan kuat tarik leleh baja tulangan sebesar 240 MPa.
2. Gedung eksisting dengan menambah dinding geser (Model 2)
 - a. Mutu beton (f_c') pada kolom, balok dan dinding geser yang digunakan sebesar 25 MPa.
 - b. Selimut beton yang digunakan sebesar 40 mm.
 - c. Diameter tulangan ulir yang digunakan sebesar 25 mm, 19 mm dan 16 mm. Kuat tarik leleh baja tulangan (f_y) sebesar 400 MPa. Sedangkan untuk

tulangan polos menggunakan diameter 10 mm dan kuat tarik leleh baja tulangan sebesar 240 MPa.

3. Gedung redesain dengan menambah dinding geser (Model 3)
 - a. Mutu beton (f_c') pada kolom, balok dan dinding geser yang digunakan sebesar 25 MPa.
 - b. Selimut beton yang digunakan sebesar 40 mm.
 - c. Diameter tulangan ulir yang digunakan sebesar 25 mm, 19 mm dan 16 mm. Kuat tarik leleh baja tulangan (f_y) sebesar 400 MPa. Sedangkan untuk tulangan polos menggunakan diameter 10 mm dan kuat tarik leleh baja tulangan sebesar 240 MPa.

5.1.3 Dimensi Elemen Struktur

Dimensi elemen struktur model 1, model 2, dan model 3 dapat dilihat pada Tabel 5.1, Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Dimensi Balok

Balok	Model 1		Model 2		Model 3	
	H (mm)	B (mm)	H (mm)	B (mm)	H (mm)	B (mm)
B1	700	450	700	450	700	450
B2	500	350	500	350	500	300
B3	500	300	500	300	400	300
B4	400	300	400	300	400	300
B5	700	450	700	450	700	450
B6	500	350	500	350	500	300
B7	1100	450	1100	450	700	450

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Dimensi Kolom

Balok	Model 1		Model 2		Model 3	
	H (mm)	B (mm)	H (mm)	B (mm)	H (mm)	B (mm)
K1	800	600	800	600	600	600
K2	800	600	800	600	600	600
K1'	600	600	600	600	600	600
K2'	600	600	600	600	600	600
K3	450	300	450	300	450	300
KP arah X	-	-	450	450	-	-
KP arah Y	-	-	300	300	-	-

Catatan :

KP = Kolom praktis

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Dimensi Pelat

Tipe Pelat	Tebal (mm)		
	Model 1	Model 2	Model 3
A1	120	120	120
A2	140	140	140
A3	120	120	120

5.1.4 Penentuan Jenis Tanah

Penyelidikan tanah dilakukan di beberapa titik di lokasi pembangunan gedung Laboratorium Riset dengan maksud untuk mendapatkan gambaran riil tentang jenis tanah di lokasi tersebut. Jenis pengujian yang dilakukan adalah pengujian sondir. Berdasarkan hasil pengujian penetrasi sondir yaitu dari data perlawanan konus (*Cone Resisten*) dengan notasi CR, tingkat kepadatan relative dapat diketahui, seperti pada Tabel 5.4 Sebagai berikut.

Tabel 5. 4 Kepadatan Relatif Berdasarkan Nilai Konus (CR)

Nilai Konus (CR) Kg/cm²	Kepadatan Relatif
0 – 16	Sangat Lepas
16 – 40	Lepas
40 – 120	Sedang
120 – 200	Padat
> 200	Sangat Padat

Hasil pengujian dengan alat sondir yang telah dilaksanakan terhadap 3 (tiga) titik (S-1 s/d S-3) diperoleh lapisan tanah keras dan jumlah hambatan lekat seperti pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Sondir

Titik Sondir	Kedalaman (m)	Nilai Konus (CR) Kg/cm²	Jenis Hambatan Lekat (TF) Kg/cm
S-1	3,00	200	130,67
S-2	2,00	200	92,00
S-3	3,00	200	97,33

Dari hasil pengujian sondir yang dilakukan di lapangan sebanyak 3 titik lapisan tanah keras dengan besarnya nilai konus, $CR = 200 \text{ kg/cm}^2$, dijumpai pada kedalaman 2,00 meter hingga 3,00 meter dari muka tanah setempat dengan jumlah hambatan lekat minimal sebesar: 92,00 kg/cm dan maksimal sebesar: 130,67 kg/cm. Dengan demikian tanah lokasi pengujian sondir mempunyai kepadatan sedang hingga padat. Oleh karena itu, pada penelitian ini jenis tanah yang diambil adalah tanah keras (SC).

5.2 Perhitungan Pembebanan Struktur

Perhitungan pembebanan struktur pada gedung Laboratorium Riset terdiri dari beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi merupakan beban yang bekerja searah dengan gravitasi, terdiri dari beban hidup dan beban mati.

Sedangkan, beban lateral merupakan beban yang bekerja tegak lurus dengan arah gravitasi, terdiri dari beban gempa. Perhitungan pembebanan struktur pada gedung Laboratorium Riset adalah sebagai berikut.

5.2.1 Beban Mati

Beban mati pada suatu struktur terdiri dari beban sendiri struktur dan beban mati tambahan. Berat sendiri struktur dapat dihitung secara otomatis oleh program SAP2000, sedangkan beban mati tambahan pada struktur berupa beban merata pada pelat lantai dan pelat atap yang terdiri dari material bangunan yang bersifat permanen. Perhitungan beban mati tambahan dijabarkan seperti berikut.

1. Beban mati tambahan pelat lantai

$$1 \text{ kg} = 0,0098 \text{ kN}$$

$$\text{Pelat beton} = 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,00981 = 2,825 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Keramik} = 24 \text{ kg/m}^2 \times 0,00981 = 0,235 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 0,03 \text{ m} \times 2000 \text{ kg/m}^3 \times 0,00981 = 0,589 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pasir} = 0,04 \text{ m} \times 1600 \text{ kg/m}^3 \times 0,00981 = 0,628 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Plafond dan lampu} = 11 \text{ kg/m}^2 \times 0,00981 = 0,108 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban mati lantai} &= 0,235 + 0,589 + 0,628 + 0,108 \\ &= 1,560 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. Beban mati tambahan pelat atap

$$\text{Pelat beton} = 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,00981 = 2,825 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 0,02 \text{ m} \times 2100 \text{ kg/m}^3 \times 0,00981 = 0,412 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Waterproof} = 5 \times 0,00981 = 0,049 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban mati atap} &= 0,412 + 0,049 \\ &= 0,461 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

5.2.2 Beban Hidup

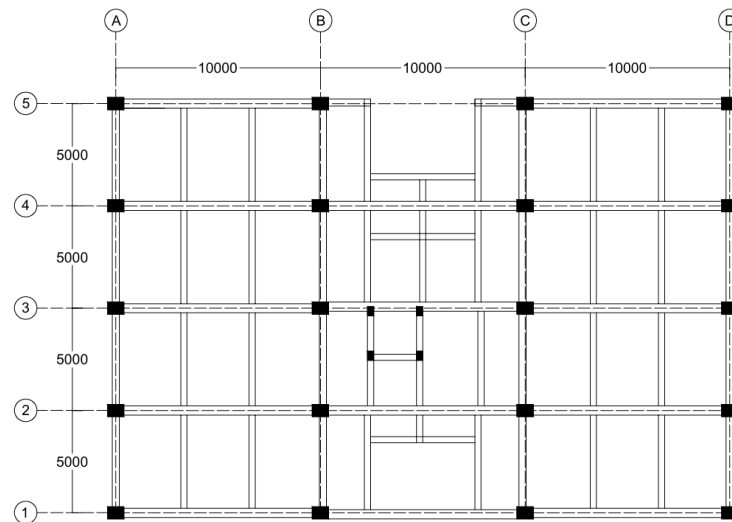
Beban hidup yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 1727:2019 tabel 4.3.1 dimana beban hidup pada pelat lantai sebesar $2,87 \text{ kN/m}^2$ untuk gedung laboratorium dan $0,96 \text{ kN/m}^2$ untuk beban hidup pelat atap.

5.3 Model 1 (Gedung Eksisting)

5.3.1 Preliminary Design

1. Dimensi balok

Pada model bangunan penelitian ini, denah untuk balok dapat dilihat pada Gambar 5.2 sebagai berikut.

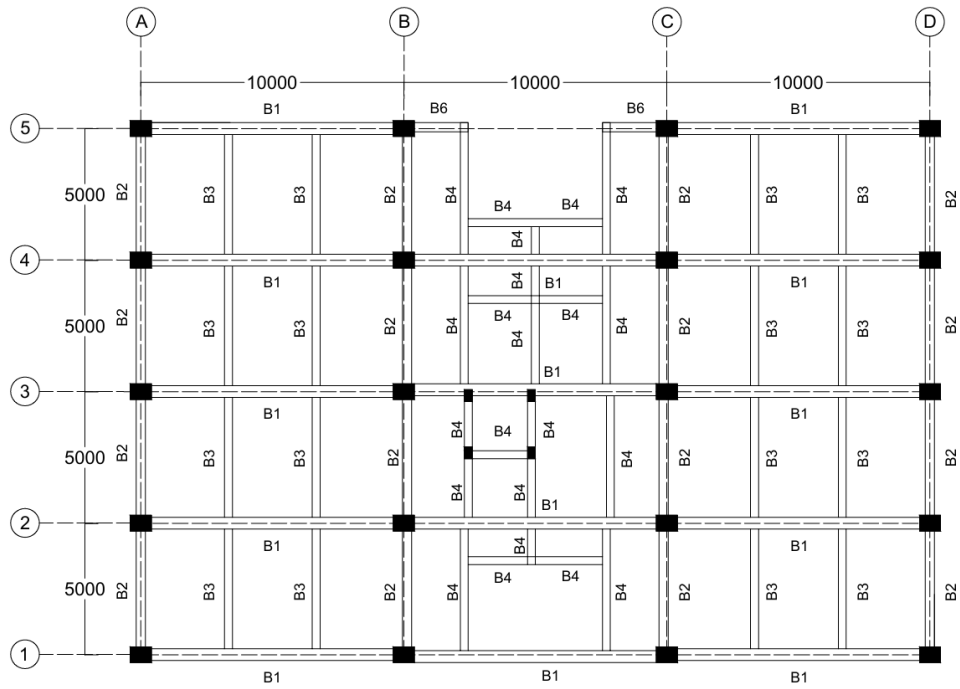


Gambar 5. 2 Denah Bangunan Model 1

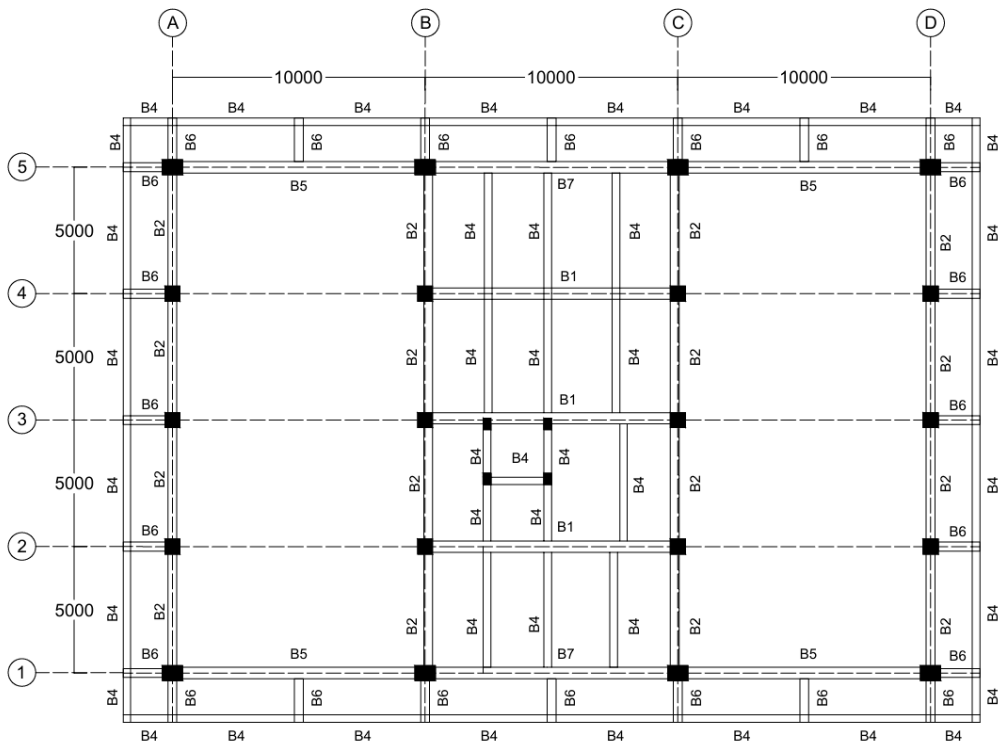
Dimensi balok yang dipakai yaitu menggunakan dimensi struktur yang ada serta gambar kodefikasi balok yang tercantum dalam Tabel 5.6, Gambar 5.3, Gambar 5.4, dan Gambar 5.5 di bawah ini.

Tabel 5. 6 Dimensi Balok (Sesuai Ukuran Gedung Eksisting)

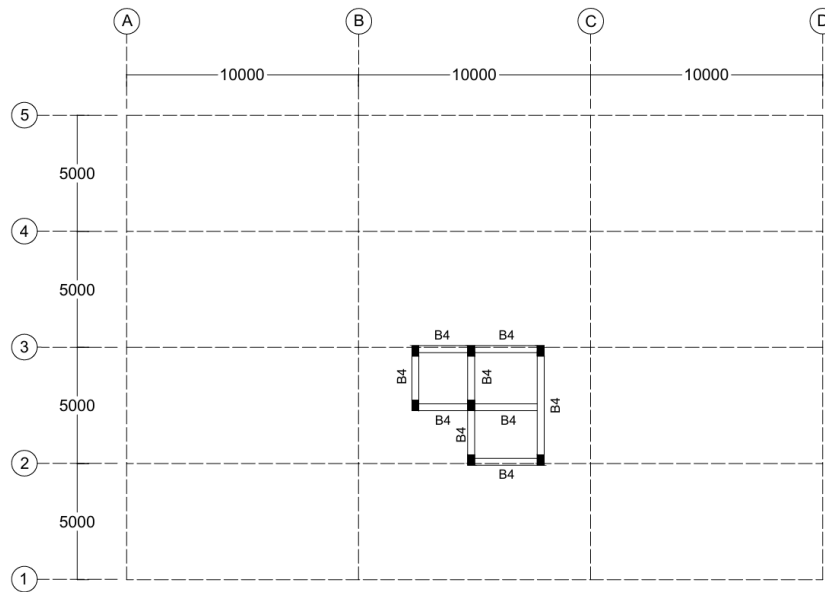
No	Balok	Panjang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)
1	B1	10000	700	450
2	B2	5000	500	350
3	B3	5000	500	300
4	B4	5000	400	300
5	B5	10000	700	450
6	B6	1650	500	350
7	B7	10000	1100	450



Gambar 5. 3 Kodefikasi Balok Model 1 Lantai 1 - 3



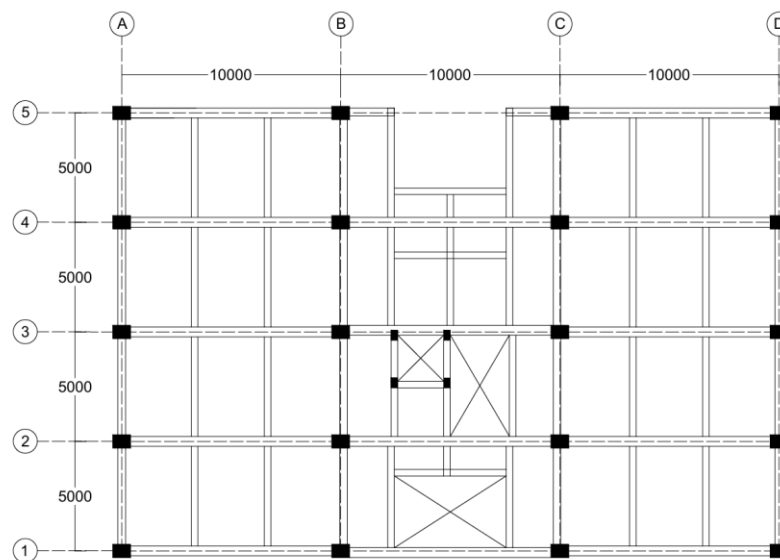
Gambar 5. 4 Kodefikasi Balok Model 1 Lantai 4



Gambar 5. 5 Kodefikasi Balok Model 1 Lantai 5

2. Tebal pelat

Pada model bangunan penelitian ini, denah pelat dapat dilihat pada Gambar 5.6 sebagai berikut.

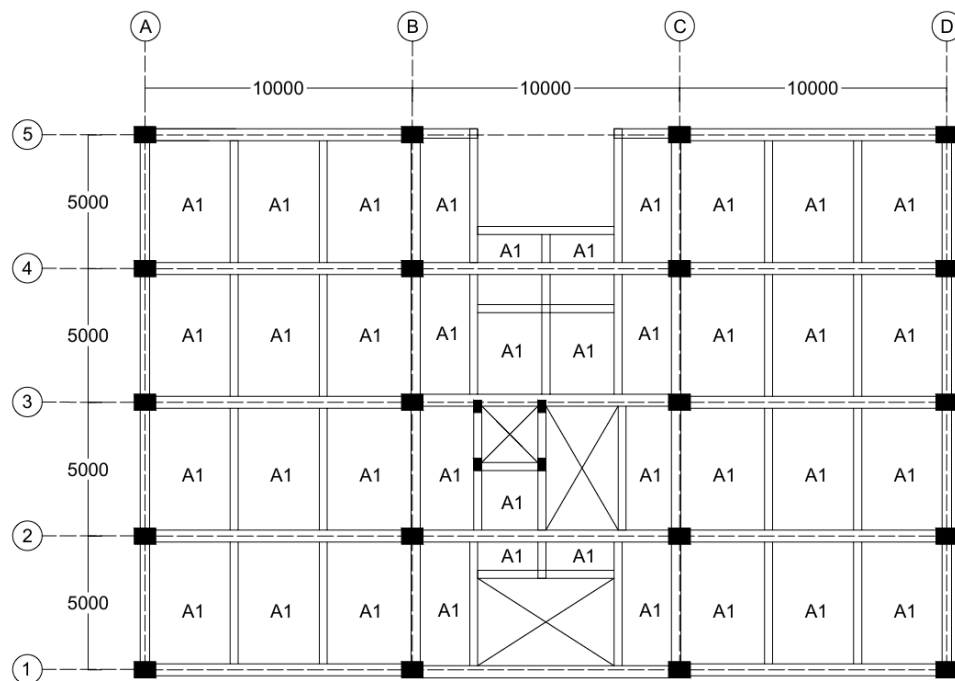


Gambar 5. 6 Denah Bangunan Model 1

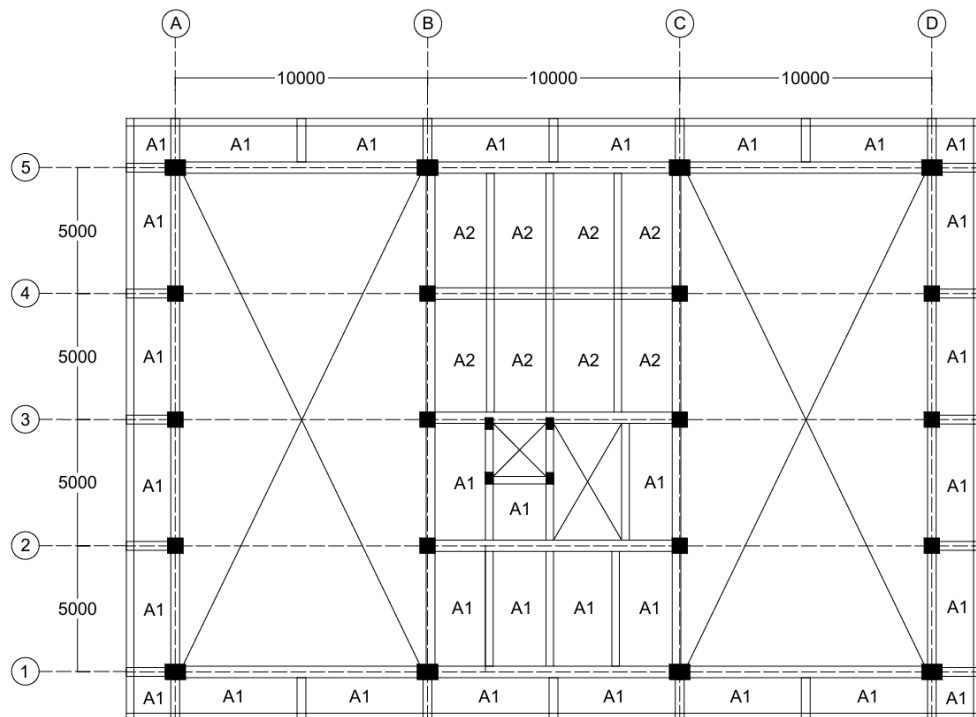
Dimensi pelat yang dipakai yaitu menggunakan dimensi struktur yang ada serta gambar kodefikasi pelat yang tercantum dalam Tabel 5.7, Gambar 5.7, Gambar 5.8, dan Gambar 5.9 di bawah ini.

Tabel 5. 7 Dimensi Pelat (Sesuai Ukuran Gedung Eksisting)

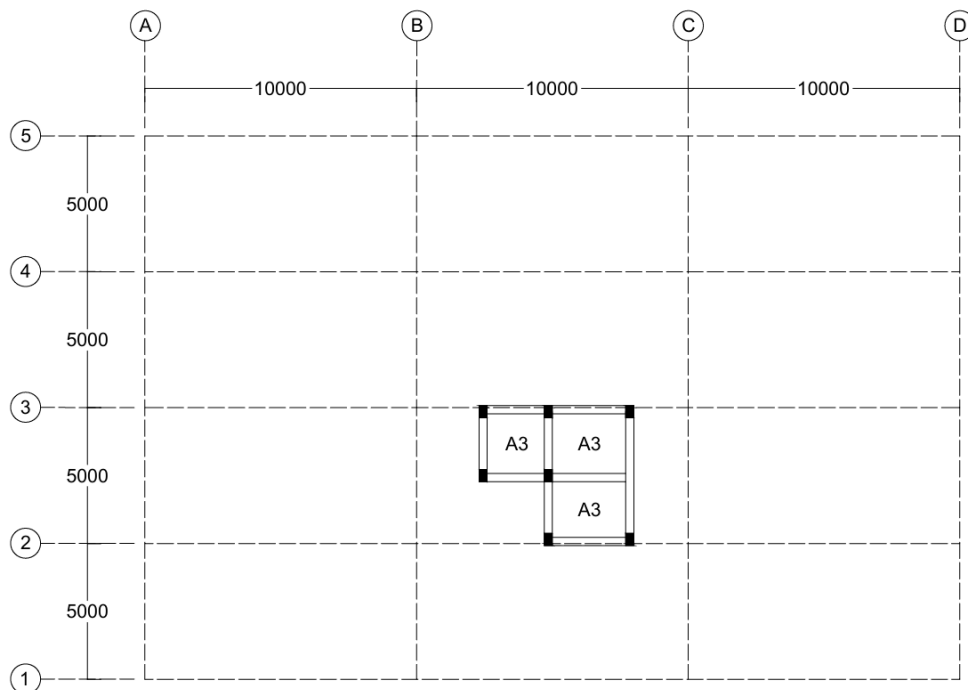
Type Pelat	Tebal Pelat (mm)
A1	120
A2	140
A3	120



Gambar 5. 7 Kodefikasi Pelat A1 Model 1 Lantai 1 - 3



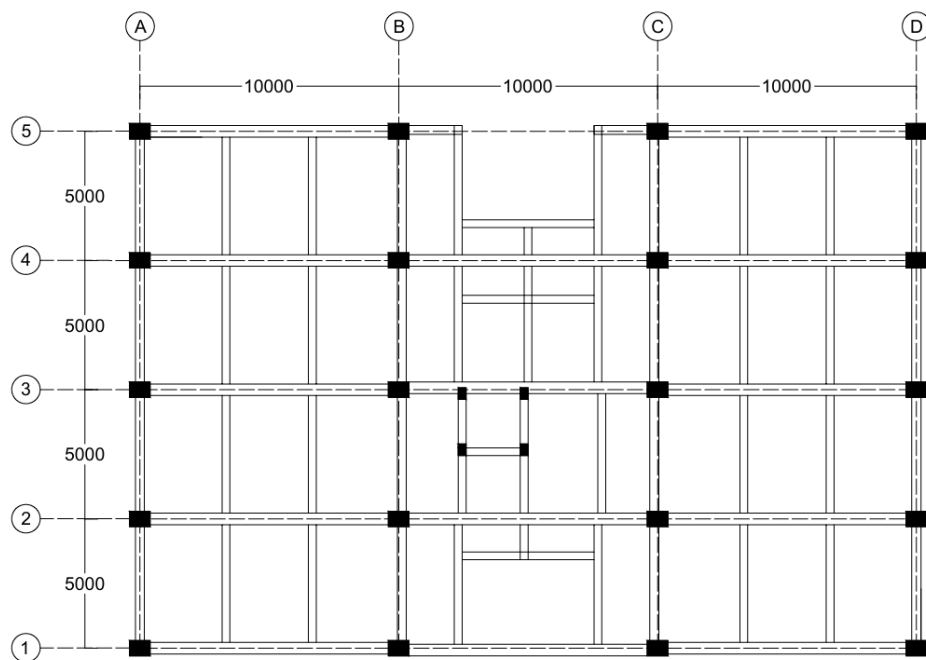
Gambar 5. 8 Kodefikasi Pelat A2 Model 1 Lantai 4



Gambar 5. 9 Kodefikasi Pelat A3 Model 1 Lantai 5

3. Dimensi kolom

Pada model bangunan penelitian ini, denah dimensi kolom dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.

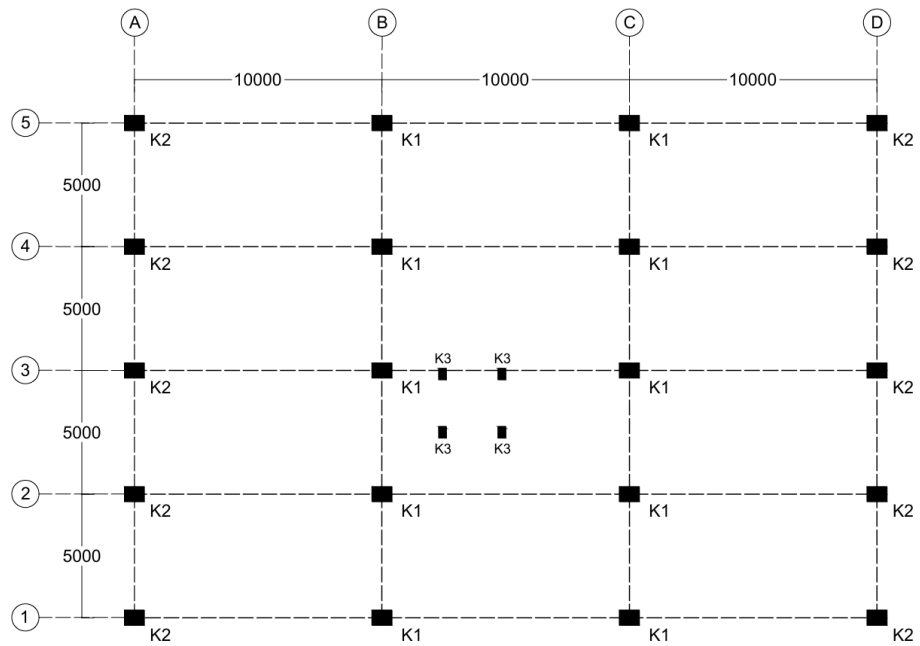


Gambar 5. 10 Denah Bangunan Model 1

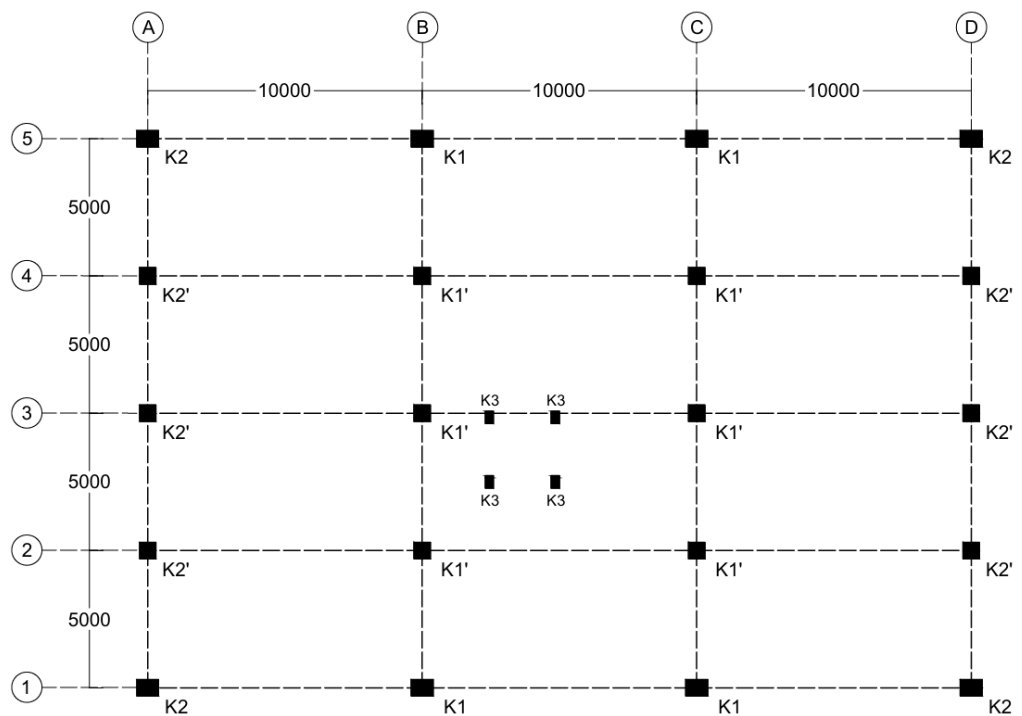
Dimensi kolom yang dipakai yaitu menggunakan dimensi struktur yang ada serta gambar kodefikasi kolom yang tercantum dalam Tabel 5.8, Gambar 5.11, Gambar 5.12, dan Gambar 5.13 di bawah ini.

Tabel 5. 8 Dimensi Kolom (Sesuai Ukuran Gedung Eksisting)

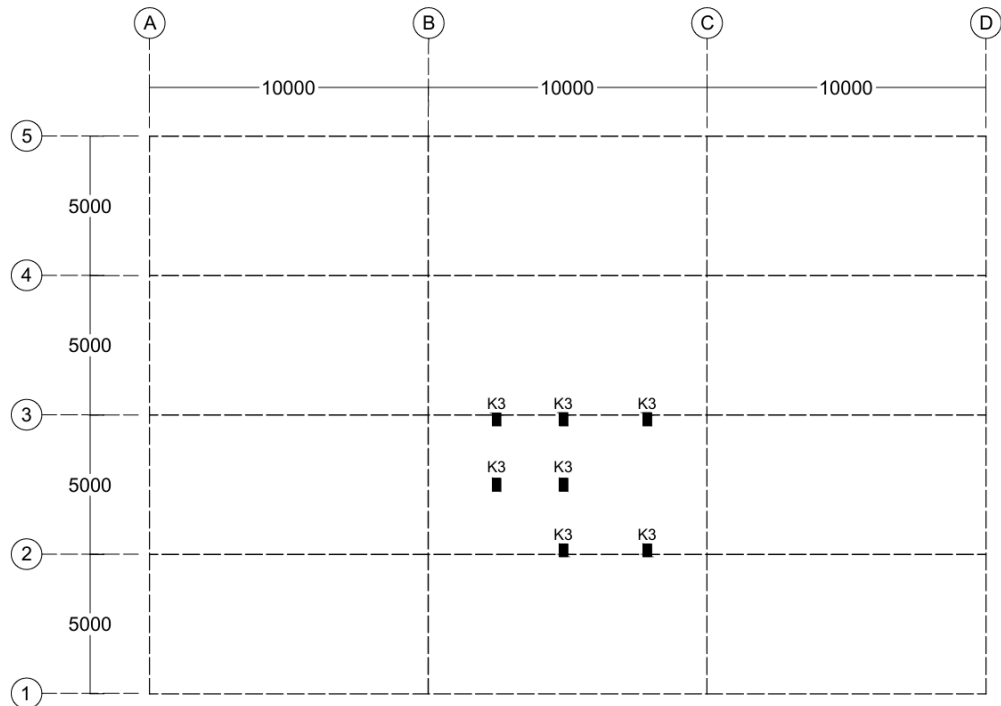
No	Kolom	h (mm)	b (mm)
1	K1	800	600
2	K2	800	600
3	K1'	600	600
4	K2'	600	600
5	K3	450	300



Gambar 5. 11 Kodefikasi Kolom Model 1 Lantai 1



Gambar 5. 12 Kodefikasi Kolom Model 1 Lantai 2 – 4



Gambar 5. 13 Kodefikasi Kolom Model 1 Lantai 5

5.3.2 Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan pada gedung eksisting mengacu pada 1726:2019, tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Perhitungan beban gempa dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Lokasi gedung = Yogyakarta
2. Fungsi gedung = Laboratorium
3. Kategori risiko bangunan = IV (SNI 1726:2019 Tabel 3)
4. Faktor keutamaan gempa = 1,5 (SNI 1726:2019 Tabel 4)
5. Klasifikasi situs = Tanah Keras (SC)
6. Parameter percepatan dasar periode pendek (S_s) = 1,107 g
7. Parameter percepatan dasar periode 1 detik (S_1) = 0,507 g
8. Faktor percepatan dasar periode pendek (F_a) = 1,2 (SNI 1726:2019 Tabel 6)
9. Faktor percepatan dasar periode 1 detik (F_v) = 1,5 (SNI 1726:2019 Tabel 7)
10. Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS})

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$= 1,2 \times 1,107$$

$$= 1,328 \text{ g}$$

11. Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik (S_{M1})

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

$$= 1,5 \times 0,507$$

$$= 0,757 \text{ g}$$

12. Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek (S_{DS})

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

$$= \frac{2}{3} \times 1,328$$

$$= 0,886 \text{ g}$$

13. Parameter percepatan spectral desain untuk periode 1 detik (S_{D1})

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

$$= \frac{2}{3} \times 0,757$$

$$= 0,505 \text{ g}$$

14. Kategori desain seismik (KDS) = D (SNI 1726:2019 Tabel 8 dan Tabel 9)

15. Koefisien modifikasi respons (R) = 8 (SNI 1726:2019 Tabel 12)

16. Faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5 (SNI 1726:2019 Tabel 12)

17. Koefisien batas atas (C_u) = 1,4 (SNI 1726:2019 Tabel 17)

18. Nilai parameter periode pendekatan (C_t) = 0,0488 (SNI 1726:2019 Tabel 18)

19. Nilai parameter periode pendekatan (x) = 0,9 (SNI 1726:2019 Tabel 18)

20. Periode fundamental (T_a)

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

$$= 0,0488 \times 19,85^{0,9}$$

$$= 0,686$$

21. Periode bangunan (T_c)

Nilai T_c didapatkan dari analisis SAP2000 menggunakan analisis “*Modal*”.

Setelah itu didapatkan nilai T_c pada Gambar 5.14 sebagai berikut.

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.866416	1.15417935...	7.25192278...	52.5903841...
MODAL	Mode	2	0.74756	1.33768508...	8.40492327...	70.6427352...
MODAL	Mode	3	0.723514	1.38214312...	8.68426138...	75.4163958...
MODAL	Mode	4	0.273631	3.65455218...	22.9622286...	527.263943...
MODAL	Mode	5	0.235283	4.25020011...	26.7047949...	713.146071...
MODAL	Mode	6	0.224009	4.46410918...	28.0488252...	786.736595...
MODAL	Mode	7	0.149468	6.69040893...	42.0370791...	1767.11602...
MODAL	Mode	8	0.142087	7.03796329...	44.2208275...	1955.48159...
MODAL	Mode	9	0.136499	7.32606273...	46.0310097...	2118.85385...
MODAL	Mode	10	0.134154	7.45411961...	46.8356148...	2193.57482...
MODAL	Mode	11	0.129232	7.73802786...	48.6194629...	2363.85217...
MODAL	Mode	12	0.128435	7.78604903...	48.9211888...	2393.28272...
MODAL	Mode	13	0.126284	7.91868059...	49.7545375...	2475.51400...
MODAL	Mode	14	0.125062	7.99602336...	50.2404965...	2524.10749...
MODAL	Mode	15	0.12311	8.12283934...	51.0373048...	2604.80648...
MODAL	Mode	16	0.120297	8.31277288...	52.2306924...	2728.04523...

Gambar 5. 14 Nilai Tc Model 1

Dari gambar diatas dapat diketahui nilai Tc sebesar 0,866 detik.

22. Tpakai

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, didapatkan:

$$T_c = 0,866 \text{ detik}$$

$$T_a = 0,686 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} C_u T_a &= 1,4 \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,686 \\ &= 0,961 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan menggunakan rumus dan hasil analisis pada SAP2000 maka dapat menentukan nilai periode getar yang dipakai dengan syarat yaitu:

- Jika $T_{crack} > C_u T_a$, maka T_a yang digunakan $T = C_u T_a$.
- Jika $T_a < T_{crack} < C_u T_a$, maka T_a yang digunakan $T = T_{crack}$.
- Jika $T_{crack} < T_a$, maka T_a yang digunakan $T = T_a$.

Berdasarkan keterangan diatas dapat diketahui bahwa $T_a < T_c < C_u T_a$ sehingga nilai periode yang digunakan adalah 0,866 detik.

23. Koefisien respon seismik (C_s)

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 koefisien respons seismic C_s harus ditentukan oleh persamaan berikut:

$$C_{s1} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$= \frac{0,886}{\left(\frac{8}{1,5}\right)}$$

$$= 0,116 \text{ g}$$

Nilai C_{s1} tidak perlu melebihi berikut ini:

$$C_{s2} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$= \frac{0,505}{0,866\left(\frac{8}{1,5}\right)}$$

$$= 0,109 \text{ g}$$

Nilai C_{s1} harus tidak kurang berikut ini:

$$C_{s3} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e$$

$$= 0,044 \times 0,886 \times 1,5$$

$$= 0,058 \text{ g}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui bahwa nilai $C_{s3} < C_{s2} < C_{s1}$, maka nilai C_s yang digunakan adalah sebesar 0,109 g.

24. Berat bangunan (W)

Berat total bangunan merupakan beban mati yang terdiri dari berat material setiap elemen struktur dan beban hidup yang direncanakan sesuai dengan acuan SNI 1727:2020. Berat total bangunan tiap model hasil dari *output* SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5. 9 Berat Total Bangunan Model 1

Lantai	Berat Model 1 (kN)
5	231,748
4	5099,423
3	6349,706
2	6457,951
1	7080,665
Total	25219,493
Total (SAP2000)	25258,645
Persentase (%)	0,16%

Berdasarkan tabel diatas, hasil perhitungan berat total bangunan pada model 1 antara hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan SAP2000 dapat dikatakan hampir sama. Perbedaan yang dihasilkan hanya 0,16%, maka berat bangunan yang digunakan untuk model 1 adalah 25219,493 kN.

25. Gaya geser seismic (V)

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W \\ &= 0,109 \times 25219,493 \\ &= 2756,148 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.3.3 Ketidakberaturan Vertikal

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 (SNI 1726:2019).

a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan vertikal yang dapat dilihat pada tabel 5.10 dan tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5. 10 Kekakuan Tingkat Lunak Arah X Model 1

Tinggi (h)	F _x	V _x	U1	Δ1	K	Cek (70%K _{i+1})	Cek (80%(avgK _{i+3}))	Status
mm	kN	kN	mm	mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	
19850	1	1	0,050	0,007	146,306	0,000	0,000	Regular
17350	1	2	0,043	0,008	240,993	102,414	117,045	Regular
13150	1	3	0,035	0,012	256,454	168,695	154,919	Regular
8950	1	4	0,023	0,014	290,571	179,518	171,667	Regular
4750	1	5	0,010	0,010	513,927	203,400	210,138	Regular

Tabel 5. 11 Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y Model 1

Tinggi (h)	F _x	V _x	U ₂	Δ ₁	K	Cek (70%K _{i+1})	Cek (80%(avgK _{i+3}))	Status
mm	kN	kN	mm	mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	
19850	1	1	0,074	0,014	69,759	0,000	0,000	Regular
17350	1	2	0,059	0,011	189,125	48,832	0,000	Regular
13150	1	3	0,049	0,015	196,747	132,388	19,533	Regular
8950	1	4	0,033	0,019	215,726	137,723	48,325	Regular
4750	1	5	0,015	0,015	334,627	151,009	85,051	Regular

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa tidak terjadi ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada model 1 baik arah x maupun arah y.

b. Ketidakberaturan Berat (*Massa*)

Ketidakberaturan berat massa adalah perbandingan berat masa yang terjadi antar lantai. Batasan persentase yang terjadi antar lantai mengacu pada SNI 1726:2019 adalah tidak lebih dari 150%. Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan berat massa pada Tabel 5.12 dibawah ini.

Tabel 5. 12 Perhitungan Ketidakberaturan Massa Model 1

Lantai	W (kN)	150%W _{i+1} (kN)	Status
5	231,748	0,000	Regular
4	5099,423	347,623	Regular
3	6349,706	7649,134	Regular
2	6457,951	9524,558	Regular
1	7080,665	9686,927	Regular

Dari Tabel diatas dapat diketahui ketidakberaturan massa struktur telah memenuhi syarat presentasi yang terjadi antar lantai tidak lebih dari 150%.

a. 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. Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan geometri vertikal pada Tabel 5.13 dan Tabel 5.14 dibawah ini.

Tabel 5. 13 Geometri Vertikal Portal Arah X Model 1

Lantai	di	di/(di+1)	Status
	m	m	
5	7,4	0	Regular
4	33,6	9,62	Regular
3	30	43,68	Regular
2	30	39	Regular
1	30	39	Regular

Tabel 5. 14 Geometri Vertikal Portal Arah Y Model 1

Lantai	di	di/(di+1)	Status
	m	m	
5	5	0	Regular
4	20,6	6,5	Regular
3	20	26,78	Regular
2	20	26	Regular
1	20	26	Regular

Dari Tabel diatas dapat diketahui ketidakberaturan geometri vertikal telah memenuhi syarat gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.

b. Ketidakberaturan akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Vertikal

Setelah dilakukan analisis ketidakberaturan vertikal pada model 1, tidak dijumpai kolom portal yang diskontinuitas dari atap hingga lantai 1.

c. Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat

Didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65% dan 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau (SNI 1726:2019 Tabel 14). Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan tingkat lemah yang dapat dilihat pada Tabel 5.15 dibawah ini.

Tabel 5. 15 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Model 1

Lantai	W	h	K	W.h ^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
	kN	m				kN		
5	231,75	19,85	1,18	7953,116	0,02	0,019	0,000	
4	5099,42	17,35	1,18	149234,79	0,35	0,372	19,764	Regular
3	6349,71	13,15	1,18	133867,60	0,32	0,689	1,852	Regular
2	6457,95	8,95	1,18	86357,369	0,21	0,894	1,297	Regular
1	7080,66	4,75	1,18	44744,876	0,11	1,000	1,119	Regular
Total	25219,4			422157,76	1,00			

Dari Tabel diatas dapat diketahui tidak terjadi ketidakberaturan tingkat lemah dan telah memenuhi syarat kekuatan lateral suatu tingkat tidak kurang dari 65% dan 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya.

5.3.4 Ketidakberaturan Horizontal

Tabel 13 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam T.

a. Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi adalah perhitungan pengaruh torsi yang terjadi pada suatu bangunan untuk mengetahui bangunan merupakan bangunan yang beraturan atau tidak. Sesuai SNI 1726:2019 ketidakberaturan torsi dihitung dengan ketentuan sebagai berikut.

- 1) Tanpa ketidakberaturan torsi apabila $\delta_{max} < 1,2 \delta_{avg}$
- 2) Ketidakberaturan torsi 1a apabila $1,2 \delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq 1,4 \delta_{avg}$
- 3) Ketidakberaturan torsi 1b apabila $\delta_{max} > 1,4 \delta_{avg}$

Hasil perhitungan pengaruh torsi arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 sebagai berikut.

Tabel 5. 16 Hasil Perhitungan Torsi Arah X Model 1

Story	Elevasi (m)	δA (m)	δB (m)	Δ_{avg} (m)	Δ_{max} (m)	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Status
4	17,35	0,0284	0,0229	0,0047	0,0051	1,1012	reguler
3	13,15	0,0232	0,0188	0,0071	0,0079	1,1093	reguler
2	8,95	0,0153	0,0124	0,0083	0,0092	1,1057	reguler
1	4,75	0,0061	0,0050	0,0056	0,0061	1,1033	reguler

Tabel 5. 17 Hasil Perhitungan Torsi Arah Y Model 1

Story	Elevasi (m)	δA (m)	δB (m)	Δ_{avg} (m)	Δ_{max} (m)	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Status
4	17,35	0,0358	0,0335	0,0058	0,0060	1,0345	reguler
3	13,15	0,0298	0,0279	0,0092	0,0096	1,0363	reguler
2	8,95	0,0203	0,0190	0,0111	0,0115	1,0342	reguler
1	4,75	0,0088	0,0082	0,0085	0,0088	1,0300	reguler

Berdasarkan hasil perhitungan torsi pada arah x dan arah y menunjukkan bahwa tidak terjadi torsi pada model 1.

b. Ketidakberaturan Sudut Dalam

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 (SNI 1726:2019 Tabel 13). Perhitungan ketidakberaturan sudut dalam adalah sebagai berikut:

1) Arah X

$$\begin{aligned} 15\% \times L_x &= 15\% \times 30 \\ &= 4,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{L_x}{P_x} = \frac{30}{5,4} = 5,6 \text{ m} > 4,5 \text{ m (OKE)}$$

2) Arah Y

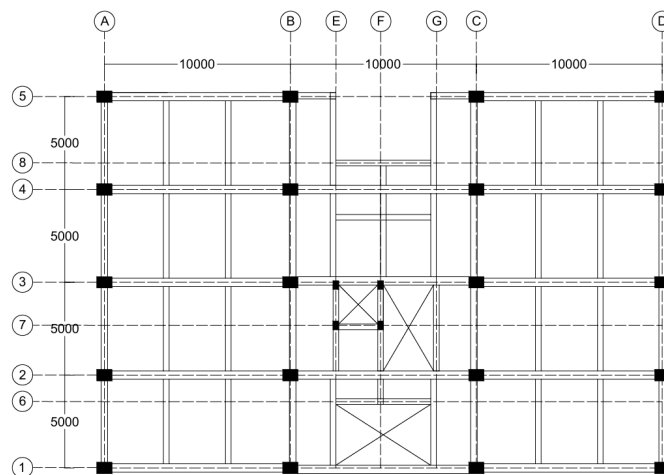
$$\begin{aligned} 15\% \times L_y &= 15\% \times 20 \\ &= 3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{L_x}{P_x} = \frac{20}{3,6} = 5,6 \text{ m} > 3 \text{ m (OKE)}$$

Berdasarkan perhitungan di atas menunjukkan bahwa pada arah X dan arah Y model 1 tidak memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

c. 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 (SNI 1726:2019 Tabel 13). Perhitungan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma adalah sebagai berikut.



Gambar 5. 15 Denah Model 1

1. Luas diafragma

Berikut merupakan tabel perhitungan luas daerah diagram bruto tertutup dan terbuka yang dapat dilihat pada tabel 5.18 dan tabel 5.19 sebagai berikut.

Tabel 5. 18 Daerah Diafragma Bruto Tertutup Model 1

No	Grid	Grid	Dimensi Arah X (m)	Dimensi Arah Y (m)	Luas (m ²)
1	A-B	1-5	10	20	200
2	B-C	1-4	10	15	150
3	C-D	1-5	10	20	200
4	B-E	4-5	2,3	5	11,5
5	E-G	4-8	5,4	1,425	7.695
6	G-C	4-5	2,3	5	11,5
Total					580.695

Tabel 5. 19 Daerah Diafragma Bruto Terbuka Model 1

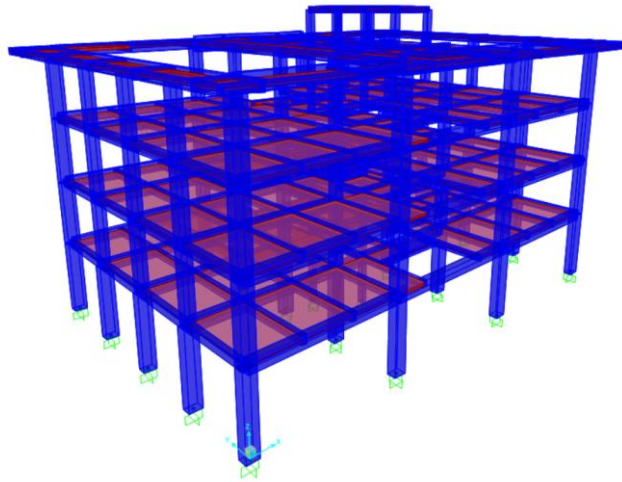
No	Grid	Grid	Dimensi Arah X (m)	Dimensi Arah Y (m)	Luas (m ²)
1	B-C	1-6	5,4	3,575	19.305
2	B-C	2-3	3	5	15
3	C-D	1-5	2,4	2,35	5.64
Total					39.945

$$\frac{\text{Luas Diagram Bruto Terbuka}}{\text{Luas Diagram Bruto Tertutup}} \times 100\% = \frac{39,945}{580,695} \times 100\% = 6,879\% < 50\% \text{ (OKE)}$$

Dari perhitungan diatas menunjukkan bahwa tidak terdapat ketidakberaturan diskontinuitas diafragma pada model 1.

- d. Ketidakberaturan akibat Pergeseran Tegak Lurus terhadap Bidang
Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada model 1 telah memenuhi syarat karena tidak terdapat diskontinuitas dalam lintasan

tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.16 Sebagai berikut.



Gambar 5. 16 Pemodelan Gedung Eksisting (Model 1)

e. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik (SNI 1726:2019 tabel 13). Pada model 1 tidak terdapat ketidakberaturan sistem non paralel karena semua elemen vertikal pemikul gaya lateral paralel terhadap sumbu ortogonal.

5.3.5 Rekapitulasi Ketidakberaturan

Setelah dilakukan pengecekan ketidakberaturan pada model 1. Berikut merupakan tabel rekapitulasi dari ketidakberaturan vertikal dan ketidakberaturan horizontal yang dapat dilihat pake Tabel 5.20 dibawah ini.

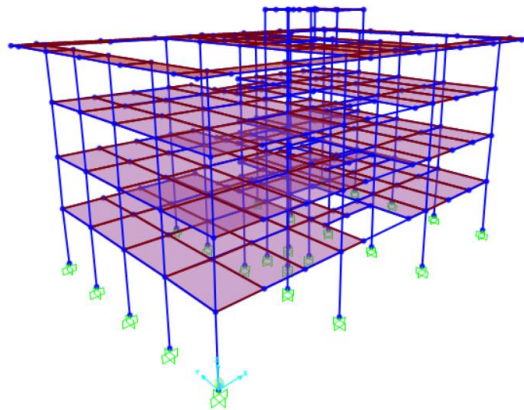
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal dan Horizontal Model 1

Type	Vertikal	Type	Horizontal
1	Regular	1	Reguler
2	Regular	2	Reguler
3	Regular	3	Reguler
4	Reguler	4	Reguler
5	Regular	5	Reguler

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa pada model 1 tidak terdapat ketidakberaturan baik vertikal maupun horizontal.

5.3.3 Pengecekan Hasil Analisis

Pengecekan hasil analisis struktur model 1 (Gedung Eksisting) pada penelitian ini terdiri dari kontrol gaya geser dasar (*base shear*) struktur, simpangan antar lantai, *displacement* dan P-Delta. Pemodelan eksisting gedung Laboratorium Riset dapat dilihat pada Gambar 5.17 sebagai berikut.



Gambar 5. 17 Gedung Eksisting (Model 1)

1. Kontrol gaya geser dasar (*base shear*) struktur

Gaya geser dasar merupakan kombinasi respon untuk gaya geser dasar hasil analisis SAP2000. Jika hasil gaya geser dasar dinamik kurang dari 100% gaya geser statik pada struktur maka perlu skala baru untuk memenuhi syarat yang

mengacu pada SNI 1726:2019. Perhitungan gaya geser dasar pada model 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ (trial 1)} &= 2756,148 \text{ kN} \\
 100\% V_s \text{ (trial 1)} &= 100\% \times 2756,148 \\
 &= 2756,148 \text{ kN} \\
 \text{Gaya geser arah x (trial 1)} &= V_d = 100\% V_s \\
 &= 2640,797 \text{ kN} \neq 2756,148 \text{ kN (perlu skala)} \\
 \text{Skala baru} &= \frac{100\% V_s}{V_d} \\
 &= \frac{2756,148}{2640,797} \\
 &= 1,044
 \end{aligned}$$

Dilakukan perhitungan trial 2 untuk memenuhi syarat yang ditentukan seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ (trial 2)} &= 2756,148 \text{ kN} \\
 100\% V_s \text{ (trial 2)} &= 100\% \times 2756,148 \\
 &= 2756,148 \text{ kN} \\
 \text{Gaya geser arah x (trial 2)} &= V_d = 100\% V_s \\
 &= 2756,148 \text{ kN} = 2756,148 \text{ kN (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka syarat gaya geser dasar struktur memenuhi syarat. Gaya geser yang dihasilkan untuk model 1 dapat dilihat pada Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5. 21 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*) Model 1

Perhitungan		Model 1	
		Arah X (kN)	Arah Y (kN)
Trial 1	100% V_{statik}	2756,148	2756,148
	V_{dinamik}	2640,797	2336,077
	Keterangan	Perlu skala	Perlu skala
Trial 2	100% V_{statik}	2756,148	2756,148
	V_{dinamik}	2756,148	2756,148
	Keterangan	Memenuhi	Memenuhi

Berdasarkan tabel diatas, gaya geser dasar (*base shear*) pada model 1 sudah memenuhi persyaratan yaitu $100\% V_{\text{statik}} \leq V_{\text{dinamik}}$.

2. Simpangan antar lantai

Simpangan antar lantai adalah perpindahan antara dua lantai yang terjadi diakibatkan adanya gaya lateral pada sebuah bangunan. Menurut SNI 1726:2019 simpangan antar lantai (Δ) yang terjadi pada sebuah bangunan tidak boleh melebihi simpangan ijin yang sudah diperhitungkan agar tidak terjadi kerusakan bangunan saat ada gempa. Pada penelitian kali ini bangunan yang digunakan adalah bangunan laboratorium yang termasuk dalam kategori resiko IV berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.1.2. Perhitungan simpangan antar lantai pada gedung laboratorium penelitian ini adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 h_{sx} &= 2,5 \text{ m} \\
 C_d &= 5,5 \\
 \text{Faktor Scala} &= 1,044 \\
 \delta e_5 &= 0,0232 \text{ m} \\
 \delta e_4 &= 0,0229 \text{ m} \\
 I_e &= 1,5 \\
 \delta_5 &= \delta e_5 \times \text{Faktor scala} \times C_d / I_e \\
 &= 0,0232 \times 1,044 \times 5,5 / 1,5 \\
 &= 0,0889 \text{ m} \\
 \delta_4 &= \delta e_4 \times \text{Faktor scala} \times C_d / I_e \\
 &= 0,0229 \times 1,044 \times 5,5 / 1,5 \\
 &= 0,0878 \text{ m} \\
 \Delta &= \delta_5 - \delta_4 \\
 &= 0,0889 - 0,0878 \\
 &= 0,0011 \\
 \Delta a &= 0,01 \times h_{sX} \\
 &= 0,01 \times 2,5 \\
 &= 0,025 \text{ m} \\
 \Delta a/p &= 0,025/1,0 \\
 &= 0,025 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Didapatkan $0,0011 \text{ m} < 0,0250 \text{ m}$
 $\Delta 5 < \Delta a \text{ (OK)}$

Untuk simpangan antar lantai pada lantai lainnya dihitung menggunakan rumus dan cara yang sama. Rekap hasil perhitungan antar lantai arah x dan arah y ditunjukkan pada Tabel 5.22 dan Tabel 5.23 dibawah ini.

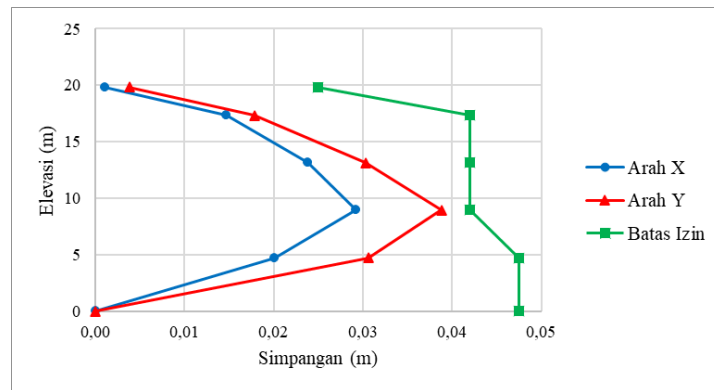
Tabel 5. 22 Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi (m)	δ_e (m)	δ (m)	Δ (m)	Δ Izin (m)	Kontrol $\Delta < \Delta a$
5	19,85	2,5	0,0232	0,0889	0,0011	0,0250	Aman
4	17,35	4,2	0,0229	0,0878	0,0147	0,0420	Aman
3	13,15	4,2	0,0191	0,0731	0,0238	0,0420	Aman
2	8,95	4,2	0,0129	0,0493	0,0293	0,0420	Aman
1	4,75	4,75	0,0052	0,0201	0,0201	0,0475	Aman

Tabel 5. 23 Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi (m)	δ_e (m)	δ (m)	Δ (m)	Δ Izin (m)	Kontrol $\Delta < \Delta a$
5	19,85	2,5	0,0280	0,1212	0,0038	0,0250	Aman
4	17,35	4,2	0,0271	0,1174	0,0178	0,0420	Aman
3	13,15	4,2	0,0230	0,0996	0,0303	0,0420	Aman
2	8,95	4,2	0,0160	0,0694	0,0388	0,0420	Aman
1	4,75	4,75	0,0071	0,0306	0,0306	0,0475	Aman

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa simpangan antar lantai model 1 telah memenuhi syarat, sehingga didapatkan grafik simpangan antar lantai pada Gambar 5.18 sebagai berikut.



Gambar 5. 18 Grafik Simpanan Antar Lantai Model 1

Dari Gambar 5.18 diatas, dapat diketahui bahwa simpangan antar lantai baik arah x maupun arah y telah memenuhi syarat karena tidak melebihi batas izin simpangan antar lantai.

3. Kontrol pengaruh P-delta

Kontrol pengaruh P-delta terhadap struktur mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 dimana pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk perhitungan apabila koefisien stabilitas (θ) sama dengan atau kurang dari 0,10. Nilai P_x , V_x dan V_y didapatkan dari analisis SAP2000 dimana V_x pada Gambar 5.19, V_y pada Gambar 5.20 dan P_x pada lantai Gambar 5.21 berikut ini.

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	GlobalIX m	GlobalY m
K.Atop	Ex RS	LinRespSpec	Max	50.294	3.747	1.118	12.5521	124.147	102.9069	15.02534	
K.L1.4	Ex RS	LinRespSpec	Max	862.387	2.578	4.682	17.0119	3899.796	2193.6148	14.9629	
K.L1.3	Ex RS	LinRespSpec	Max	1701.463	2.054	6.428	24.046	10544.7239	4432.0977	14.9629	
K.L1.2	Ex RS	LinRespSpec	Max	2324.573	3.575	12.787	38.1778	20221.0571	6059.7496	14.9629	
K.L1.1	Ex RS	LinRespSpec	Max	2640.797	3.797	11.966	42.5628	32305.905	6796.6152	14.775	

Gambar 5. 19 Nilai V_x Model 1

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	GlobalX m	GlobalY m
K.Atap	Ey RS	LinRespSpec	Max	1.883	51.072	2.532	134.038	1.9686	31.1247	15.02534	
K.LI 4	Ey RS	LinRespSpec	Max	2.278	759.184	13.021	3525.3108	13.1328	64.6458	14.9629	
K.LI 3	Ey RS	LinRespSpec	Max	2.508	1460.864	15.999	9588.4943	15.1248	109.2805	14.9629	
K.LI 2	Ey RS	LinRespSpec	Max	2.834	2028.771	23.186	17762.8719	25.1474	142.0956	14.9629	
K.LI 1	Ey RS	LinRespSpec	Max	3.798	2336.077	23.562	28419.6095	37.9161	546.612	14.775	

Gambar 5. 20 Nilai Vy Model 1

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	GlobalX m	GlobalY m
K.Atap	Px	Combination	2.194E-12	3.533E-12	298.348	-605.4017	-116.6911	1.363E-11	15.02534	9.86507
K.LI 4	Px	Combination	2.828E-12	3.032E-12	6342.423	-311.5568	-121.5726	1.953E-11	14.9629	9.9337
K.LI 3	Px	Combination	2.876E-12	2.796E-12	15191.352	7.8763	-163.43	2.156E-11	14.9629	9.9337
K.LI 2	Px	Combination	2.947E-12	2.726E-12	21542.856	286.7241	-198.9096	2.365E-11	14.9629	9.9337
K.LI 1	Px	Combination	2.976E-12	2.648E-12	30208.692	4749.2778	-5922.4198	2.287E-11	14.775	9.79792

Gambar 5. 21 Nilai Px Model 1

Perhitungan nilai koefisien stabilitas (θ) pada lantai 1 arah x adalah sebagai berikut.

$$\theta = \frac{Px \times \Delta \times l_e}{V_x \times h_{nx} \times Cd}$$

$$= \frac{30208,692 \times 0,0201 \times 1,5}{2640,797 \times 4,75 \times 5,5}$$

$$\theta = 0,0132$$

Nilai koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi dari nilai θ_{max} yang telah ditentukan. Perhitungan θ_{max} adalah sebagai berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \times Cd} \leq 0,25$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \times Cd} \leq 0,25$$

$$\theta_{\max} = 0,0909$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa Nilai koefisien stabilitas (θ) lebih kecil dari θ_{\max} , sehingga P-delta pada lantai 1 arah X telah memenuhi syarat. Kontrol pengaruh P-delta pada model 1 untuk arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 5.24 dan Table 5.25 sebagai berikut.

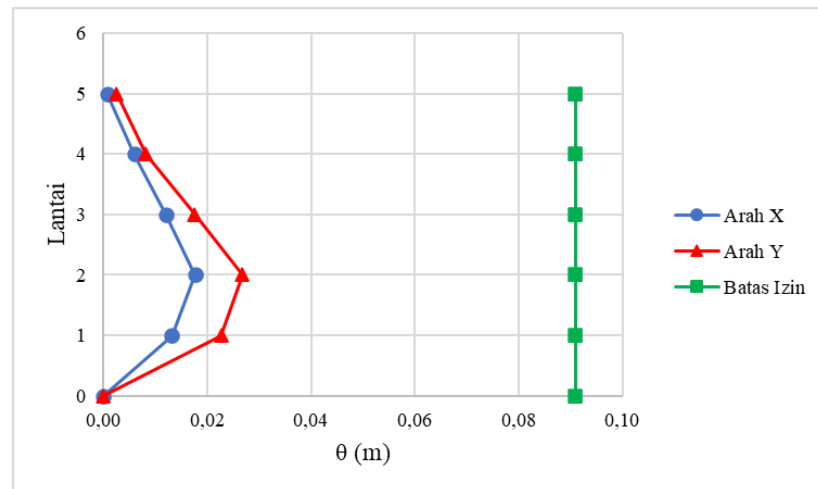
Tabel 5. 24 P-Delta Arah X Model 1

Lantai	Px (kN)	Δ (m)	Ie	Vx (kN)	Hnx (m)	θ (m)	θ maks (m)	Status
5	298,346	0,0011	1,5	50,294	2,5	0,0007	0,0909	Aman
4	5342,423	0,0147	1,5	862,387	4,2	0,0059	0,0909	Aman
3	13191,352	0,0238	1,5	1701,463	4,2	0,0120	0,0909	Aman
2	21542,856	0,0293	1,5	2324,573	4,2	0,0176	0,0909	Aman
1	30208,692	0,0201	1,5	2640,797	4,75	0,0132	0,0909	Aman
0	0	0	1,5	0	0	0	0,0909	Aman

Tabel 5. 25 P-Delta Arah Y Model 1

Lantai	Py (kN)	Δ (m)	Ie	Vy (kN)	Hny (m)	θ (m)	θ maks (m)	Status
5	298,346	0,0038	1,5	51,072	2,5	0,0024	0,0909	Aman
4	5342,423	0,0178	1,5	759,184	4,2	0,0081	0,0909	Aman
3	13191,352	0,0303	1,5	1480,864	4,2	0,0175	0,0909	Aman
2	21542,856	0,0388	1,5	2026,771	4,2	0,0268	0,0909	Aman
1	30208,692	0,0306	1,5	2336,077	4,75	0,0227	0,0909	Aman
0	0	0	1,5	0	0	0	0,0909	Aman

Berdasarkan Tabel 5.24 dan Tabel 5.25 dapat diketahui kontrol P-delta arah X dan arah Y telah memenuhi syarat dan diperoleh grafik kontrol arah X dan Arah Y yang dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut ini.



Gambar 5. 22 Grafik Kontrol P-Delta Model 1

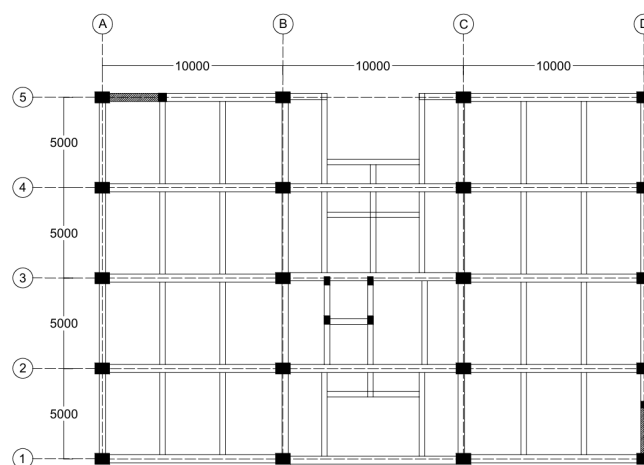
Dari Gambar 5.22, p-delta untuk model 1 baik arah x maupun arah y sudah memenuhi syarat dan tidak melebihi batas izin.

5.4 Model 2 (Gedung Eksisting Dengan Menambah Dinding Geser)

5.4.1 Preliminary Design

1. Dimensi balok

Pada model bangunan penelitian ini, denah balok dapat dilihat pada Gambar 5.23 sebagai berikut.

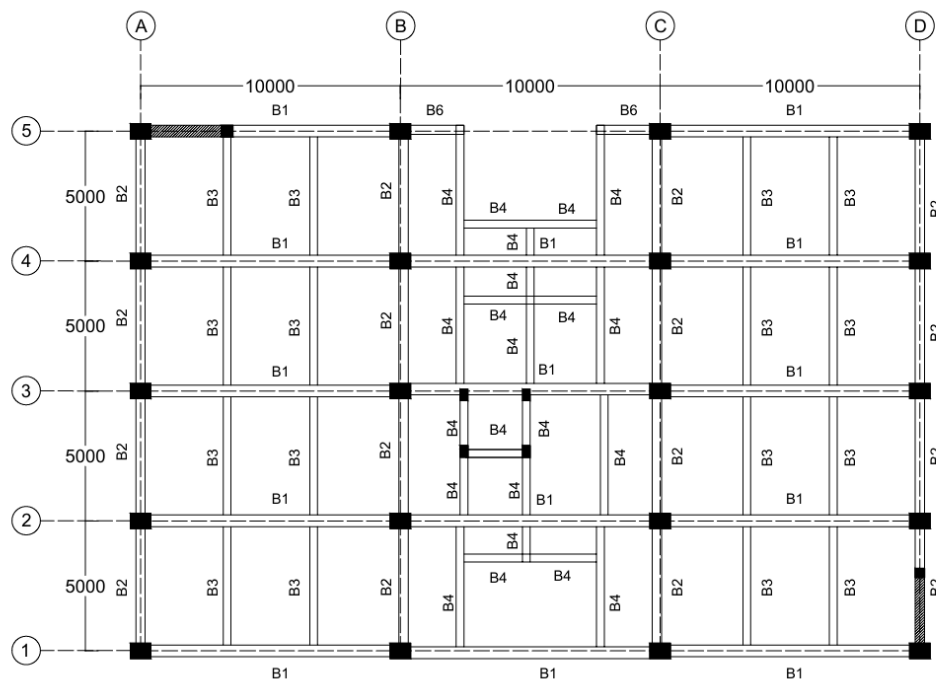


Gambar 5. 23 Denah Bangunan Model 2

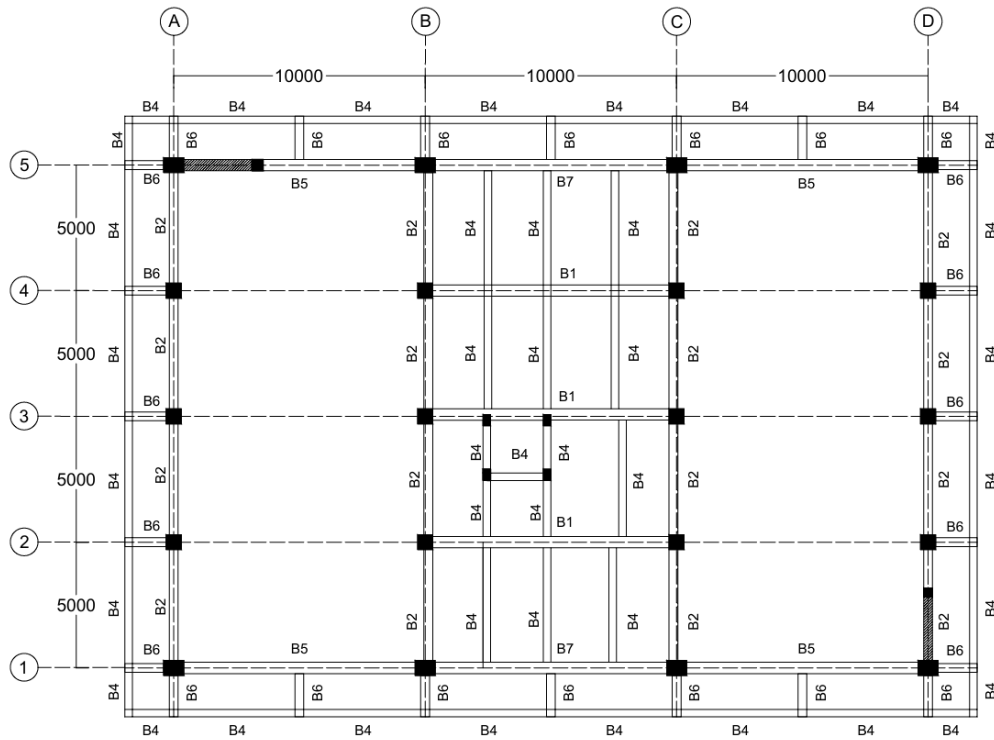
Dimensi balok yang dipakai yaitu menggunakan dimensi struktur yang ada serta gambar kodefikasi balok yang tercantum dalam Tabel 5.26, Gambar 5.24, Gambar 5.25, dan Gambar 5.26 di bawah ini.

Tabel 5. 26 Dimensi Balok Model 2 (Sesuai Ukuran Gedung Eksisting)

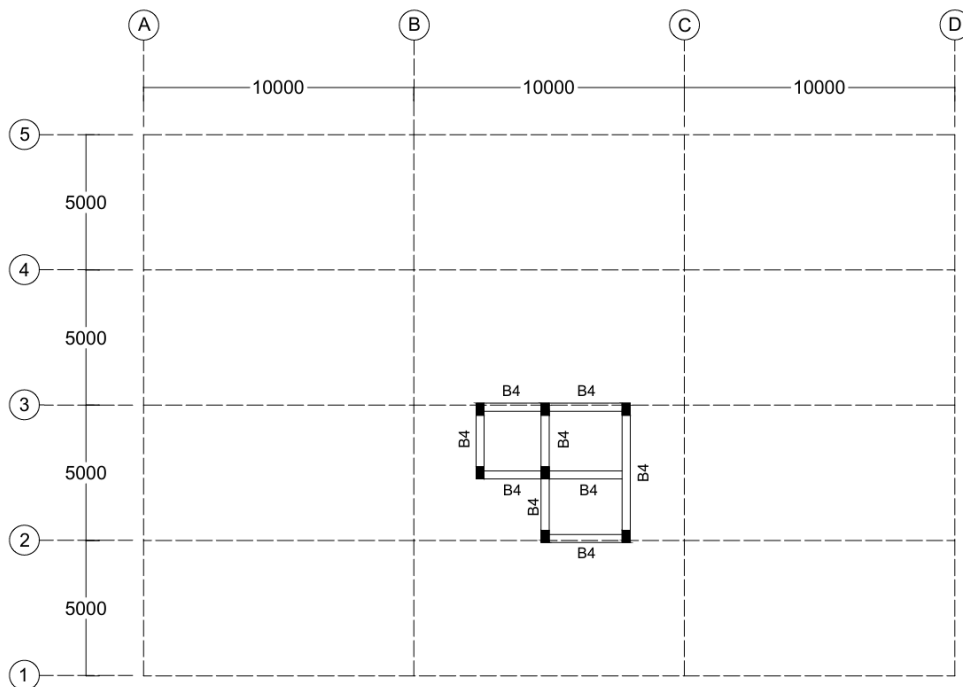
No	Balok	Panjang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)
1	B1	10000	700	450
2	B2	5000	500	350
3	B3	5000	500	300
4	B4	5000	400	300
5	B5	10000	700	450
6	B6	1650	500	350
7	B7	10000	1100	450



Gambar 5. 24 Kodefikasi Balok Model 2 Lantai 1 - 3



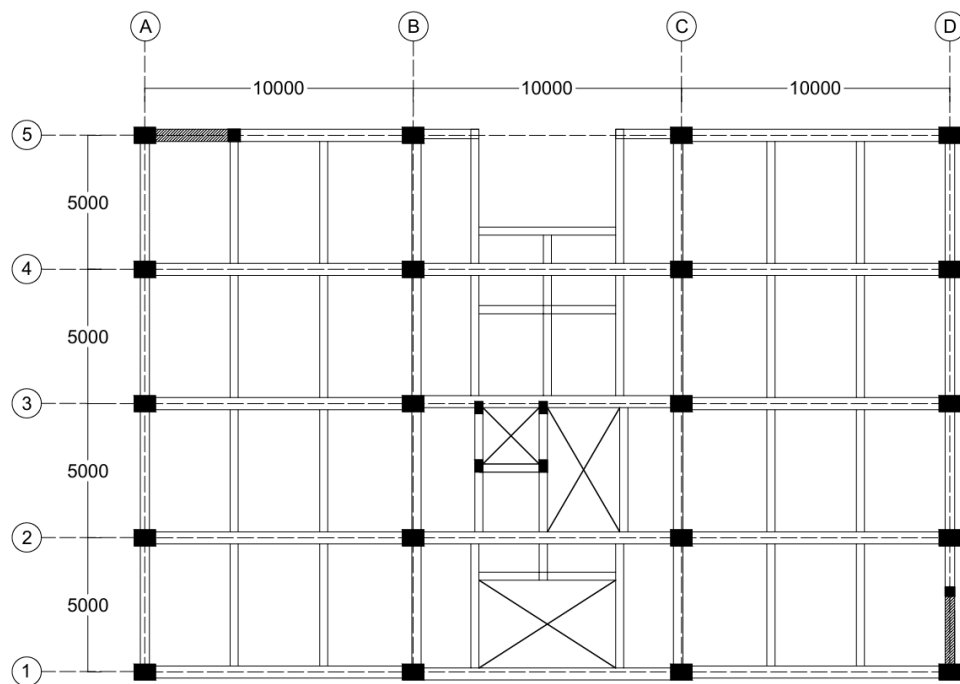
Gambar 5. 25 Kodefikasi Balok Model 2 Lantai 4



Gambar 5. 26 Kodefikasi Balok Model 2 Lantai 5

2. Tebal pelat

Pada model bangunan penelitian ini, denah pelat dapat dilihat pada Gambar 5.27 sebagai berikut.

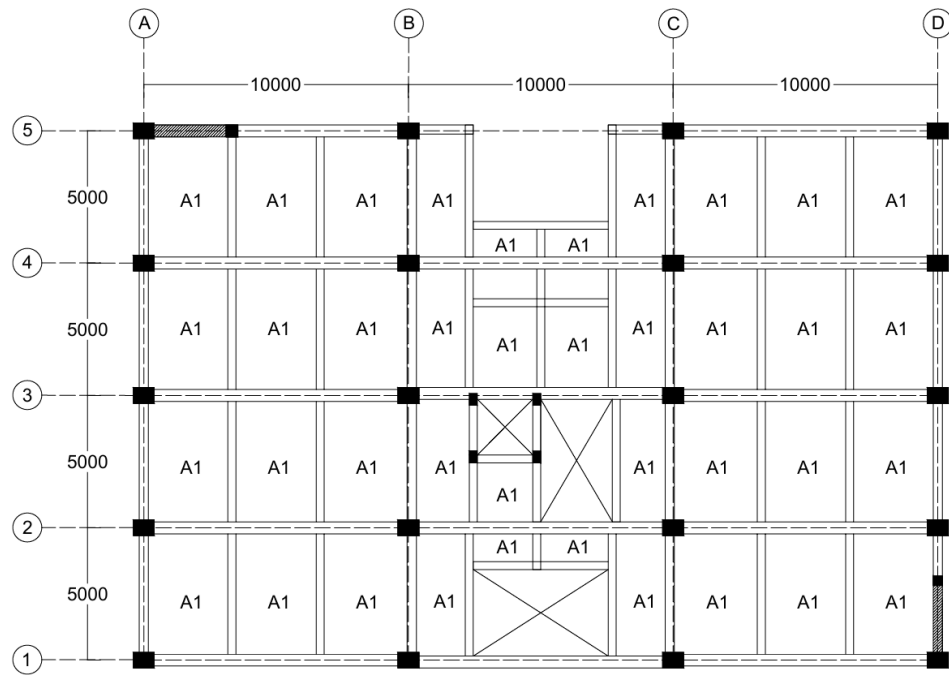


Gambar 5. 27 Denah Bangunan Model 2

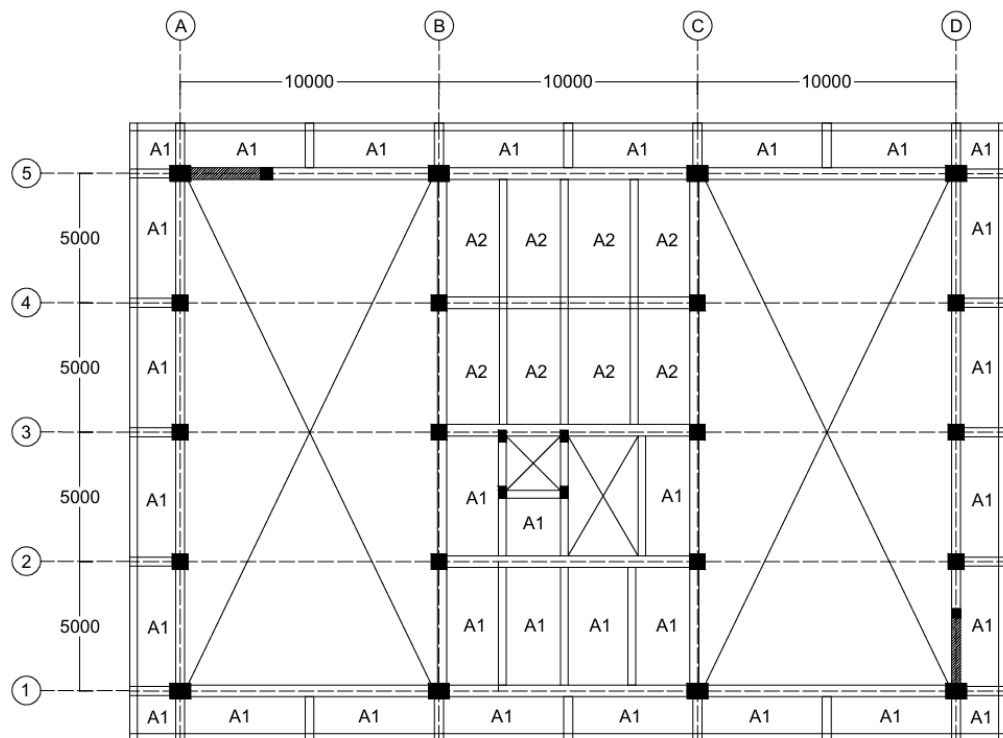
Dimensi pelat yang dipakai yaitu menggunakan dimensi struktur yang ada serta gambar kodefikasi pelat yang tercantum dalam Tabel 5.27, Gambar 5.28, Gambar 5.29, dan Gambar 5.30 di bawah ini.

Tabel 5. 27 Dimensi Pelat Model 2 (Sesuai Ukuran Gedung Eksisting)

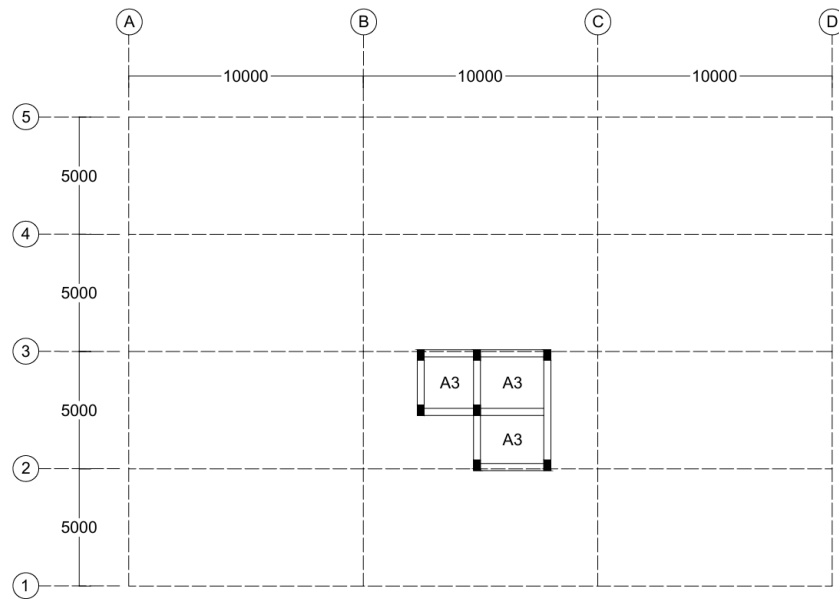
Type Pelat	Tebal Pelat (mm)
A1	120
A2	140
A3	120



Gambar 5. 28 Kodifikasi Pelat A1 Model 2 Lantai 1 - 3



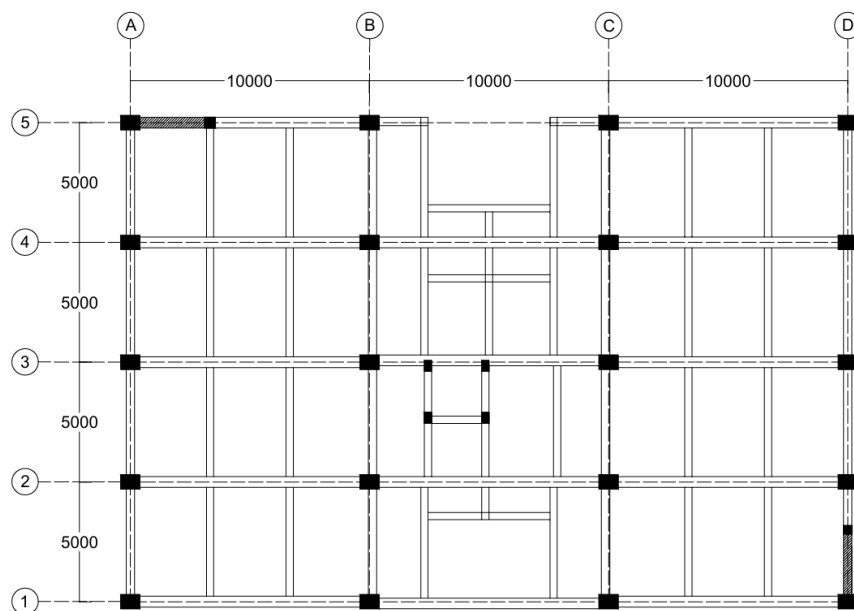
Gambar 5. 29 Kodifikasi Pelat A2 Model 2 Lantai 4



Gambar 5. 30 Kodefikasi Pelat A3 Model 2 Lantai 5

3. Dimensi kolom

Pada model bangunan penelitian ini, denah kolom dapat dilihat pada Gambar 5.31 sebagai berikut.

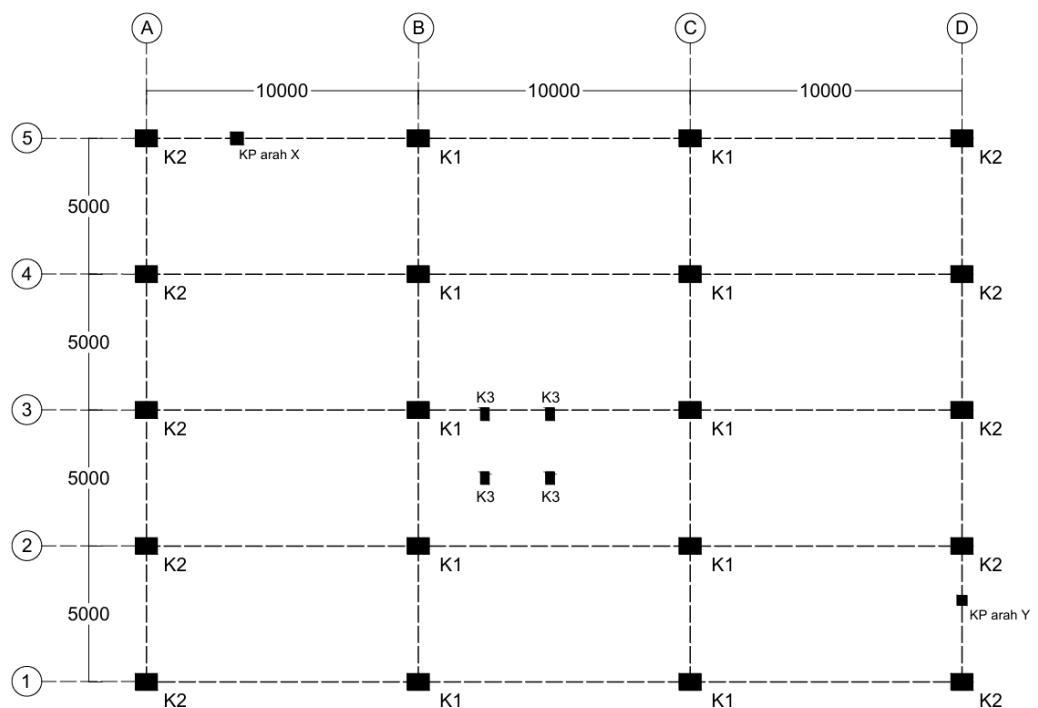


Gambar 5. 31 Denah Bangunan Model 2

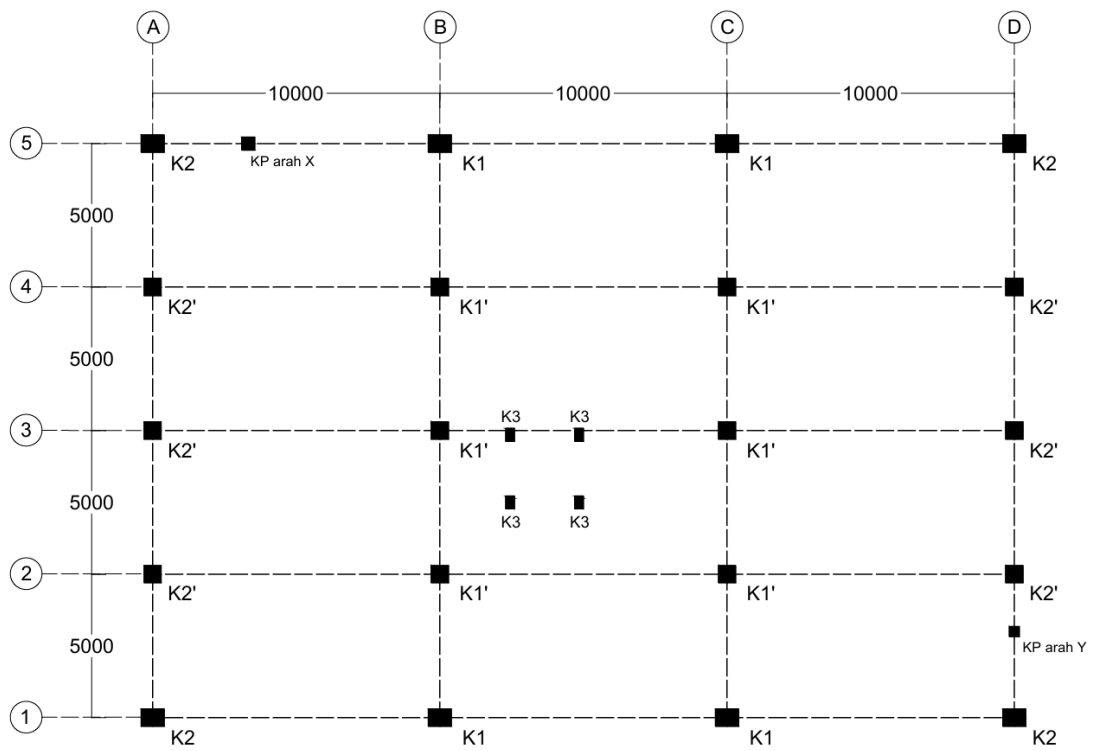
Dimensi kolom yang dipakai yaitu menggunakan dimensi struktur yang ada serta gambar kodefikasi kolom yang tercantum dalam Tabel 5.28, Gambar 5.32, Gambar 5.33, dan Gambar 5.34 di bawah ini.

Tabel 5. 28 Dimensi Kolom Model 2 (Sesuai Ukuran Gedung Eksisting)

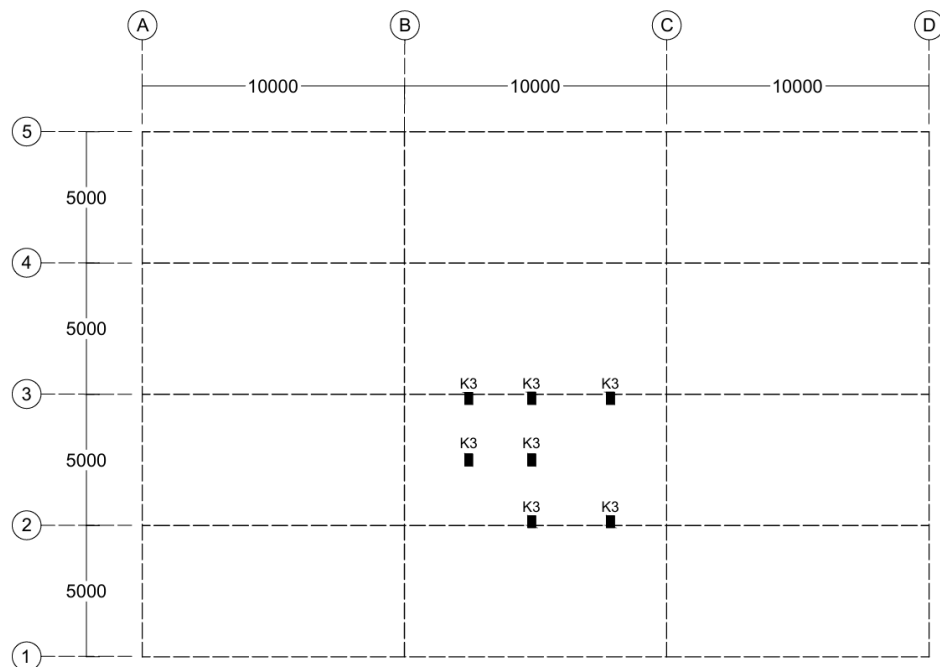
No	Kolom	h (mm)	b (mm)
1	K1	800	600
2	K2	800	600
3	K1'	600	600
4	K2'	600	600
5	K3	450	300
6	KP arah x	450	450
7	KP arah y	300	300



Gambar 5. 32 Kodefikasi Kolom Model 2 Lantai 1



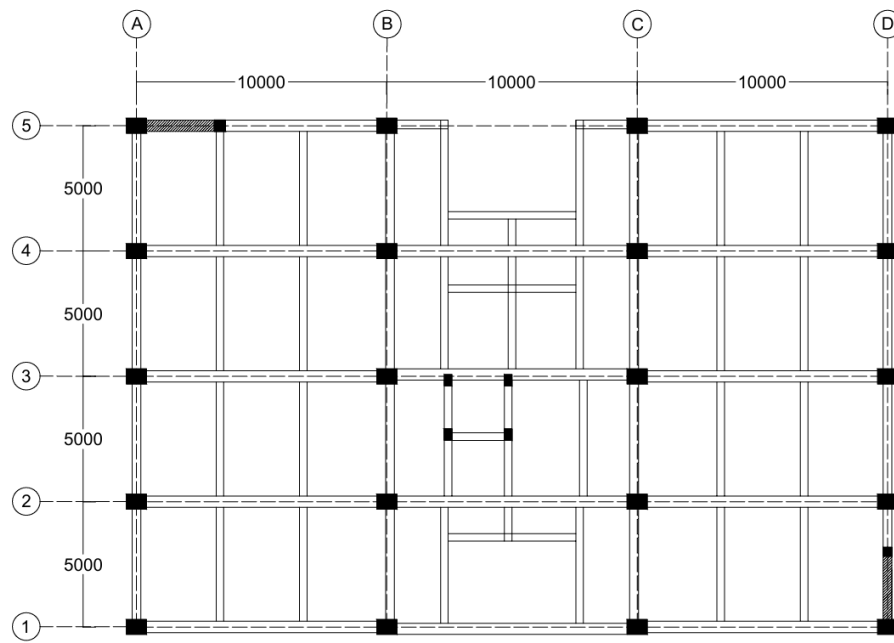
Gambar 5. 33 Kodefikasi Kolom Model 2 Lantai 2 – 4



Gambar 5. 34 Kodefikasi Kolom Model 2 Lantai 5

4. Estimasi dimensi dinding geser

Pada model bangunan penelitian ini, denah untuk estimasi dimensi dinding geser dapat dilihat pada Gambar 5.35 sebagai berikut.



Gambar 5. 35 Denah Bangunan Model 2

Perhitungan estimasi dinding geser mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 11.3.1.1 dimana terdapat ketentuan dalam menentukan tebal dinding geser, yaitu ketebalan terbesar dari 100 mm atau 1/25 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu. Penjabaran perhitungan dari estimasi tebal dinding geser adalah sebagai berikut:

Diketahui:

1. Dinding geser arah x

Panjang dinding = 3333 mm

Tinggi dinding = 4750 mm

Tebal dinding = 200 mm

Cek syarat :

$$\begin{aligned}
 200 \text{ mm} &\geq \frac{\text{Panjang dinding}}{25} \\
 &= \frac{3333}{25}
 \end{aligned}$$

$$200 \text{ mm} = 133,22 \text{ mm (OKE)}$$

$$200 \text{ mm} \geq \frac{\text{Tinggi dinding}}{25}$$

$$= \frac{4750}{25}$$

$$200 \text{ mm} = 190 \text{ mm (OKE)}$$

$$200 \text{ mm} \geq 100 \text{ mm (OK)}$$

2. Dinding geser arah y

$$\text{Panjang dinding (L)} = 3000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi dinding} = 4750 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal dinding} = 200 \text{ mm}$$

Cek syarat :

$$200 \text{ mm} \geq \frac{\text{Panjang dinding}}{25}$$

$$= \frac{3000}{25}$$

$$200 \text{ mm} = 120 \text{ mm (OKE)}$$

$$200 \text{ mm} \geq \frac{\text{Tinggi dinding}}{25}$$

$$= \frac{4750}{25}$$

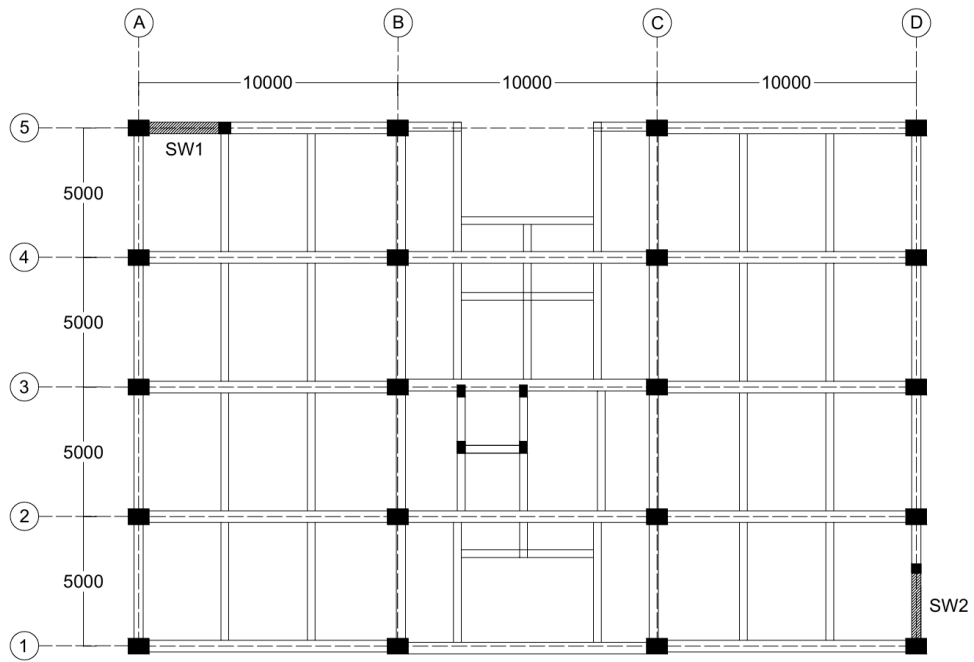
$$200 \text{ mm} = 190 \text{ mm (OKE)}$$

$$200 \text{ mm} \geq 100 \text{ mm (OK)}$$

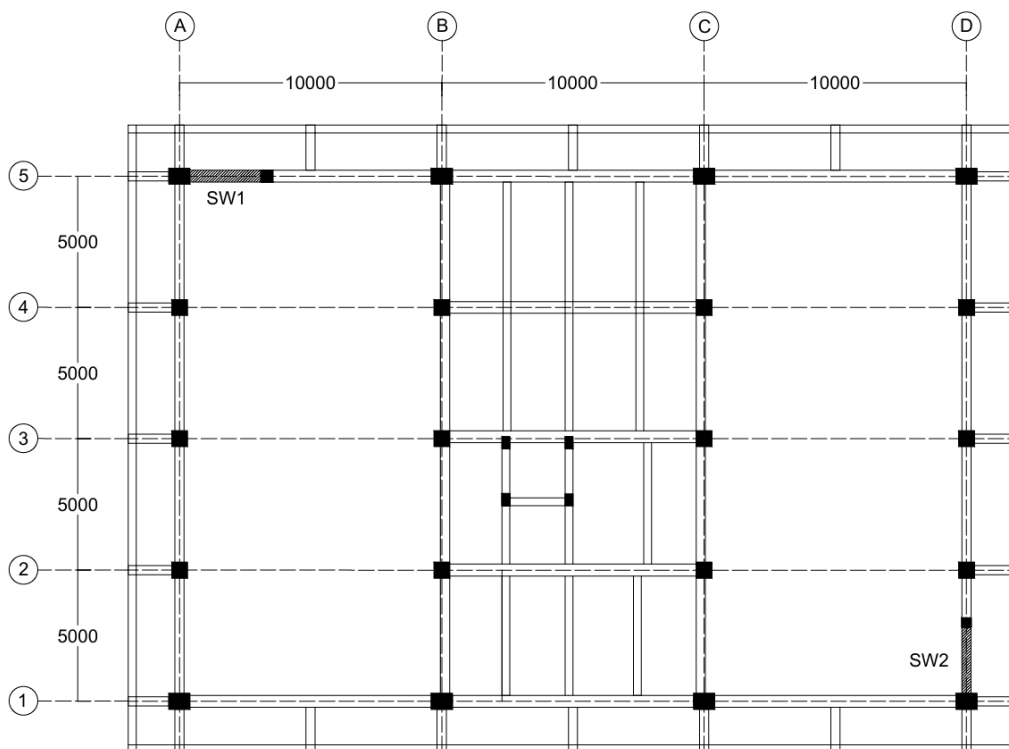
Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan estimasi tebal dinding geser dan gambar penempatan dinding geser yang dapat dilihat pada Tabel 5.29, Gambar 5.36, dan Gambar 5.37 sebagai berikut.

Tabel 5. 29 Estimasi Dimensi Dinding Geser Model 2

Dinding geser	Tebal (mm)	Tinggi (mm)	Panjang (mm)	t > L/25	t > H/25	t > 100	Status
SW1	200	4750	3333	133,32	190	100	OKE
SW2	200	4750	3000	120	190	100	OKE



Gambar 5. 36 Denah Dinding Geser Model 2 Lantai 1 – 3



Gambar 5. 37 Denah Dinding Geser Model 2 Lantai 4

5.4.2 Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan pada gedung eksisting mengacu pada 1726:2019, tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Perhitungan beban gempa dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Lokasi gedung = Yogyakarta
2. Fungsi gedung = Laboratorium
3. Kategori risiko bangunan = IV (SNI 1726:2019 Tabel 3)
4. Faktor keutamaan gempa = 1,5 (SNI 1726:2019 Tabel 4)
5. Klasifikasi situs = Tanah Keras (SC)
6. Parameter percepatan dasar periode pendek (S_s) = 1,107 g
7. Parameter percepatan dasar periode 1 detik (S_1) = 0,507 g
8. Faktor percepatan dasar periode Pendek (F_a) = 1,2 (SNI 1726:2019 Tabel 6)
9. Faktor percepatan dasar periode 1 detik (F_v) = 1,5 (SNI 1726:2019 Tabel 7)
10. Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS})

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,2 \times 1,107 \\ &= 1,328 \text{ g} \end{aligned}$$

11. Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik (S_{M1})

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1,5 \times 0,507 \\ &= 0,757 \text{ g} \end{aligned}$$

12. Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek (S_{DS})

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times 1,328 \\ &= 0,886 \text{ g} \end{aligned}$$

13. Parameter percepatan spectral desain untuk periode 1 detik (S_{D1})

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,757 \\ &= 0,505 \text{ g} \end{aligned}$$

14. Kategori desain seismik (KDS) = D (SNI 1726:2019 Tabel 8 dan Tabel 9)
15. Koefisien modifikasi respons (R) = 7 (SNI 1726:2019 Tabel 12)
16. Faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5 (SNI 1726:2019 Tabel 12)
17. Koefisien batas atas (C_u) = 1,4 (SNI 1726:2019 Tabel 17)
18. Nilai parameter periode pendekatan (C_t) = 0,0488 (SNI 1726:2019 Tabel 18)
19. Nilai parameter periode pendekatan (x) = 0,9 (SNI 1726:2019 Tabel 18)
20. Periode fundamental (T_a)

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t \times h_n^x \\
 &= 0,0488 \times 19,85^{0,9} \\
 &= 0,686
 \end{aligned}$$

21. Periode bangunan (T_c)

Nilai T_c didapatkan dari analisis SAP2000 menggunakan analisis “Modal”. Setelah itu didapatkan nilai T_c yang dapat dilihat pada Gambar 5.38 sebagai berikut.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
	Text	Unitless	Sec	Cyclesec	rad/sec	rad/sec ²
MODAL	Mode	1	0.806494	1.23993431...	7.79073704...	60.6955837...
MODAL	Mode	2	0.604962	1.65299682...	10.3860853...	107.870769...
MODAL	Mode	3	0.456411	2.19100651...	13.7684999...	189.516521...
MODAL	Mode	4	0.251405	3.97764309...	24.9922686...	624.613492...
MODAL	Mode	5	0.175171	5.70872025...	35.8689472...	1286.58137...
MODAL	Mode	6	0.141968	7.08879297...	44.5401998...	1983.82940...
MODAL	Mode	7	0.137352	7.28058304...	45.7452524...	2092.62811...
MODAL	Mode	8	0.135605	7.37433720...	46.3343271...	2146.86987...
MODAL	Mode	9	0.133719	7.47836027...	46.9879233...	2207.86494...
MODAL	Mode	10	0.130749	7.64824778...	48.0553581...	2309.31744...
MODAL	Mode	11	0.126395	7.91168351...	49.7105736...	2471.14112...
MODAL	Mode	12	0.125956	7.93926881...	49.8838971...	2488.40319...
MODAL	Mode	13	0.124741	8.01660868...	50.3698379...	2537.12057...
MODAL	Mode	14	0.121272	8.24582959...	51.8107036...	2684.34901...
MODAL	Mode	15	0.118737	8.42197576...	52.9168343...	2800.19136...
MODAL	Mode	16	0.118358	8.44898507...	53.0863503...	2818.16059...

Gambar 5. 38 Nilai T_c Bangunan Model 2

Dari gambar diatas dapat diketahui nilai T_c sebesar 0,806 detik.

22. Tpakai

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, didapatkan:

$$T_c = 0,806 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}
 T_a &= 0,686 \text{ detik} \\
 C_u T_a &= 1,4 \times T_a \\
 &= 1,4 \times 0,686 \\
 &= 0,961 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan menggunakan rumus dan hasil analisis pada SAP2000 maka dapat menentukan nilai periode getar yang dipakai dengan syarat yaitu:

- Jika $T_{crack} > C_u T_a$, maka T_a yang digunakan $T = C_u T_a$.
- Jika $T_a < T_{crack} < C_u T_a$, maka T_a yang digunakan $T = T_{crack}$.
- Jika $T_{crack} < T_a$, maka T_a yang digunakan $T = T_a$.

Berdasarkan keterangan diatas dapat diketahui bahwa $T_a < T_c < C_u T_a$ sehingga nilai periode yang digunakan adalah 0,806 detik.

23. Koefisien respon seismik (C_s)

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 koefisien respons seismic C_s harus ditentukan oleh persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 C_{s1} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,886}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
 &= 0,190 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Nilai C_{s1} tidak perlu melebihi berikut ini:

$$\begin{aligned}
 C_{s2} &= \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,886}{0,806 \left(\frac{8}{1,5}\right)} \\
 &= 0,134 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Nilai C_{s1} harus tidak kurang berikut ini:

$$\begin{aligned}
 C_{s3} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \\
 &= 0,044 \times 0,886 \times 1,5 \\
 &= 0,058 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui bahwa nilai $C_{s3} < C_{s2} < C_{s1}$, maka nilai C_s yang digunakan adalah sebesar 0,134 g.

24. Berat bangunan (W)

Berat total bangunan merupakan beban mati yang terdiri dari berat material setiap elemen struktur dan beban hidup yang direncanakan sesuai dengan acuan SNI 1727:2020. Berat total bangunan tiap model hasil dari *output* SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 5.30 sebagai berikut.

Tabel 5. 30 Berat Total Bangunan Model 2

Lantai	Berat Model 2 (kN)
5	231,748
4	5256,580
3	6506,863
2	6615,109
1	7016,365
Total	25626,666
Total (SAP2000)	25896,037
Persentase (%)	1,05%

Berdasarkan Tabel 5.30, hasil perhitungan berat total bangunan pada model 2 antara hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan SAP2000 dapat dikatakan hampir sama. Perbedaan yang dihasilkan hanya 1,05%, maka berat bangunan yang digunakan untuk model 1 adalah 25626,666 kN.

25. Gaya geser seismic (V)

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W \\
 &= 0,134 \times 25626,666 \\
 &= 3438,552 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5.4.3 Ketidakberaturan Vertikal

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 (SNI 1726:2019).

a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan vertikal yang dapat dilihat pada Tabel 5.31 dan Tabel 5.32 sebagai berikut.

Tabel 5. 31 Kekakuan Tingkat Lunak Arah X Model 2

Tinggi (h)	F _x	V _x	U ₁	Δ ₁	K	Cek (70%K _i +1)	Cek (80%(avgK _i +3))	Status
mm	kN	kN	mm	mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	
19850	1	1	0,037	0,006	158,103	0,000	0,000	Regular
17350	1	2	0,031	0,007	279,096	110,672	0,000	Regular
13150	1	3	0,023	0,008	354,526	195,367	44,269	Regular
8950	1	4	0,015	0,009	456,308	248,168	81,610	Regular
4750	1	5	0,006	0,006	815,794	319,416	147,789	Regular

Tabel 5. 32 Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y Model 2

Tinggi (h)	F _x	V _x	U ₂	Δ ₁	K	Cek (70%K _i +1)	Cek (80%(avgK _i +3))	Status
mm	kN	kN	mm	mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	
19850	1	1	0,057	0,014	70,537	0,000	0,000	Regular
17350	1	2	0,042	0,009	223,739	49,376	0,000	Regular
13150	1	3	0,033	0,011	264,877	156,617	19,750	Regular
8950	1	4	0,022	0,013	319,923	185,414	54,931	Regular
4750	1	5	0,010	0,010	522,958	223,946	104,375	Regular

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa tidak terjadi ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada model 1 baik arah x maupun arah y.

b. Ketidakberaturan Berat (*Massa*)

Ketidakberaturan berat massa adalah perbandingan berat masa yang terjadi antar lantai. Batasan persentase yang terjadi antar lantai mengacu pada SNI 1726:2019 adalah tidak lebih dari 150%. Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan berat massa pada Tabel 5.33 dibawah ini.

Tabel 5. 33 Perhitungan Ketidakberaturan Massa Model 2

Lantai	W (kN)	150%Wi+1 (kN)	Status
5	231,748	0,000	Regular
4	5256,580	347,623	Regular
3	6506,863	7884,870	Regular
2	6615,109	9760,294	Regular
1	7016,365	9922,663	Regular

Dari Tabel diatas dapat diketahui ketidakberaturan massa struktur telah memenuhi syarat presentasi yang terjadi antar lantai tidak lebih dari 150%.

c. 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. Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan geometri vertikal pada Tabel 5.34 dan Tabel 5.35 dibawah ini.

Tabel 5. 34 Geometri Vertikal Portal Arah X Model 2

Lantai	di	di/(di+1)	Status
	m	m	
5	7,4	0,0	Regular
4	33,6	9,6	Regular
3	30,0	43,7	Regular
2	30,0	39,0	Regular
1	30,0	39,0	Regular

/

Tabel 5. 35 Geometri Vertikal Portal Arah Y Model 2

Lantai	di	di/(di+1)	Status
	m	m	
5	5,0	0,0	Regular
4	20,6	6,5	Regular
3	20,0	26,8	Regular
2	20,0	26,0	Regular
1	20,0	26,0	Regular

Dari Tabel diatas dapat diketahui ketidakberaturan geometri vertikal telah memenuhi syarat gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.

- d. Ketidakberaturan akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Vertikal

Setelah dilakukan analisis ketidakberaturan vertikal pada model 2, tidak dijumpai kolom portal yang diskontiniu dari atap hingga lantai 1.

- e. Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat

Didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65% dan 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau (SNI 1726:2019 Tabel 14). Ketidakberaturan tingkat lemah dapat dilihat pada Tabel 5.36 sebagai berikut.

Tabel 5. 36 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Model 2

Lantai	W	h	K	W.h ^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
	kN	m				kN		
5	231,748	19,85	1,153	7272,021	0,02	0,018	0,000	
4	5256,58	17,35	1,153	141228,29	0,35	0,371	20,421	Regular
3	6506,86	13,15	1,153	126989,97	0,32	0,688	1,855	Regular
2	6615,11	8,95	1,153	82836,939	0,21	0,894	1,301	Regular
1	7016,37	4,75	1,153	42316,241	0,11	1,000	1,118	Regular
Total	25626,7			400643,5	1,00			

Dari Tabel 3.36 dapat diketahui tidak terjadi ketidakberaturan tingkat lemah dan telah memenuhi syarat kekuatan lateral suatu tingkat tidak kurang dari 65% dan 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya.

5.4.4 Ketidakberaturan Horizontal

Tabel 13 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam T

a. Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi adalah perhitungan pengaruh torsi yang terjadi pada suatu bangunan untuk mengetahui bangunan merupakan bangunan yang beraturan atau tidak. Sesuai SNI 1726:2019 ketidakberaturan torsi dihitung dengan ketentuan sebagai berikut.

- 1) Tanpa ketidakberaturan torsi apabila $\delta_{max} < 1,2 \delta_{avg}$
- 2) Ketidakberaturan torsi 1a apabila $1,2 \delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq 1,4 \delta_{avg}$
- 3) Ketidakberaturan torsi 1b apabila $\delta_{max} > 1,4 \delta_{avg}$

Hasil perhitungan pengaruh torsi arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel 5.37 dan Tabel 5.38 sebagai berikut.

Tabel 5. 37 Hasil Perhitungan Torsi Arah X Model 2

Story	Elevasi (m)	δA (m)	δB (m)	Δ_{avg} (m)	Δ_{max} (m)	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Status
4	17,35	0,0201	0,0216	0,0050	0,0051	1,0218	Reguler
3	13,15	0,0150	0,0167	0,0060	0,0061	1,0245	Reguler
2	8,95	0,0092	0,0106	0,0060	0,0064	1,0668	Reguler
1	4,75	0,0036	0,0042	0,0039	0,0042	1,0786	Reguler

Tabel 5. 38 Hasil Perhitungan Torsi Arah Y Model 2

Story	Elevasi (m)	δA (m)	δB (m)	Δ_{avg} (m)	Δ_{max} (m)	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Status
4	17,35	0,0345	0,0232	0,0061	0,0065	1,0591	Reguler
3	13,15	0,0281	0,0175	0,0080	0,0094	1,1707	Reguler
2	8,95	0,0187	0,0109	0,0090	0,0107	1,1900	Reguler
1	4,75	0,0080	0,0044	0,0067	0,0080	1,1927	Reguler

Berdasarkan hasil perhitungan torsi pada arah x dan arah y menunjukkan bahwa tidak terjadi torsi pada model 2.

b. Ketidakberaturan Sudut Dalam

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 (SNI 1726:2019 Tabel 13). Perhitungan ketidakberaturan sudut dalam adalah sebagai berikut:

1) Arah X

$$15\% \times L_x = 15\% \times 30 \\ = 4,5 \text{ m}$$

$$\frac{L_x}{P_x} = \frac{30}{5,4} = 5,6 \text{ m} > 4,5 \text{ m (OKE)}$$

2) Arah Y

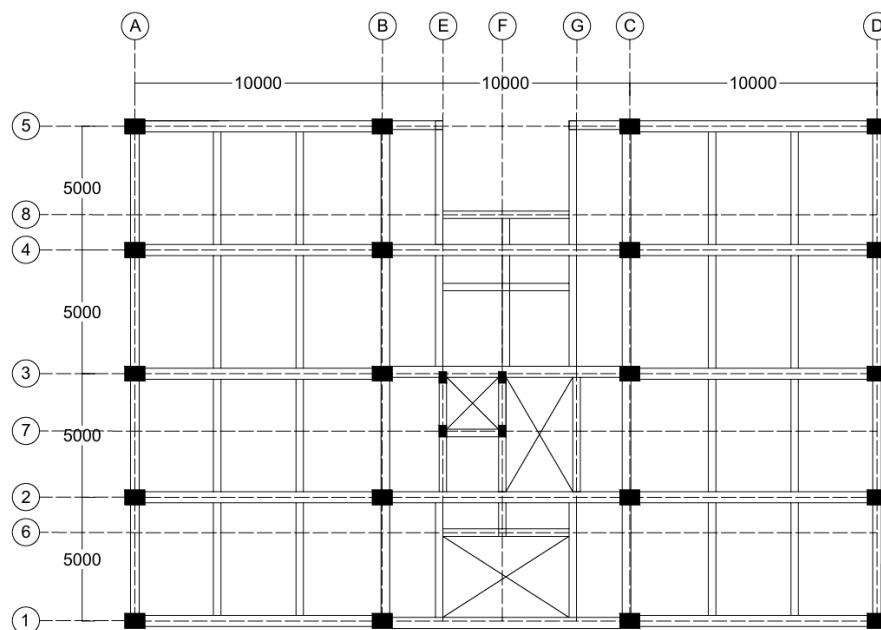
$$15\% \times L_y = 15\% \times 20 \\ = 3 \text{ m}$$

$$\frac{Lx}{Px} = \frac{20}{3,6} = 5,6 \text{ m} > 3 \text{ m (OKE)}$$

Berdasarkan perhitungan diatas menunjukkan bahwa pada arah X dan arah Y model 2 tidak memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

c. 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 (SNI 1726:2019 Tabel 13). Perhitungan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma adalah sebagai berikut.



Gambar 5. 39 Denah Model 2

1. Luas diafragma

Berikut merupakan tabel perhitungan luas daerah diagram bruto tertutup dan terbuka yang dapat dilihat pada tabel 5.39 dan tabel 5.40 sebagai berikut.

Tabel 5. 39 Daerah Diafragma Bruto Tertutup Model 2

No	Grid	Grid	Dimensi Arah X (m)	Dimensi Arah Y (m)	Luas (m ²)
1	A-B	1-5	10	20	200
2	B-C	1-4	10	15	150
3	C-D	1-5	10	20	200
4	B-E	4-5	2,3	5	11,5
5	E-G	4-8	5,4	1,425	7.695
6	G-C	4-5	2,3	5	11,5
Total					580.695

Tabel 5. 40 Daerah Diafragma Bruto Terbuka Model 2

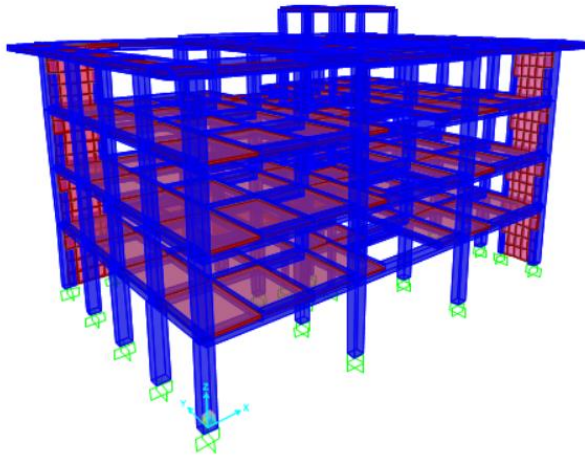
No	Grid	Grid	Dimensi Arah X (m)	Dimensi Arah Y (m)	Luas (m ²)
1	B-C	1-6	5,4	3,575	19.305
2	B-C	2-3	3	5	15
3	C-D	1-5	2,4	2,35	5.64
Total					39.945

$$\frac{\text{Luas Diagram Bruto Terbuka}}{\text{Luas Diagram Bruto Tertutup}} \times 100\% = \frac{39,945}{580,695} \times 100\% = 6,879\% < 50\% \text{ (OKE)}$$

Dari perhitungan diatas menunjukkan bahwa tidak terdapat ketidakberaturan diskontinuitas diafragma pada model 2.

d. Ketidakberaturan akibat Pergeseran Tegak Lurus terhadap Bidang

Ketidakteraturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada model 2 telah memenuhi syarat karena tidak terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. Hal ini dapat dilihat pada gambar 5.40 Sebagai berikut.



Gambar 5. 40 Pemodelan Gedung Eksisting dengan Menambah Dinding Geser (Model 2)

e. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik (SNI 1726:2019 tabel 13). Pada model 2 tidak terdapat ketidakberaturan sistem non paralel karena semua elemen vertikal pemikul gaya lateral paralel terhadap sumbu ortogonal.

5.4.5 Rekapitulasi Ketidakberaturan

Setelah dilakukan pengecekan ketidakberaturan pada model 2. Berikut merupakan tabel rekapitulasi dari ketidakberaturan vertikal dan ketidakberaturan horizontal yang dapat dilihat pada Tabel 5.41 dibawah ini.

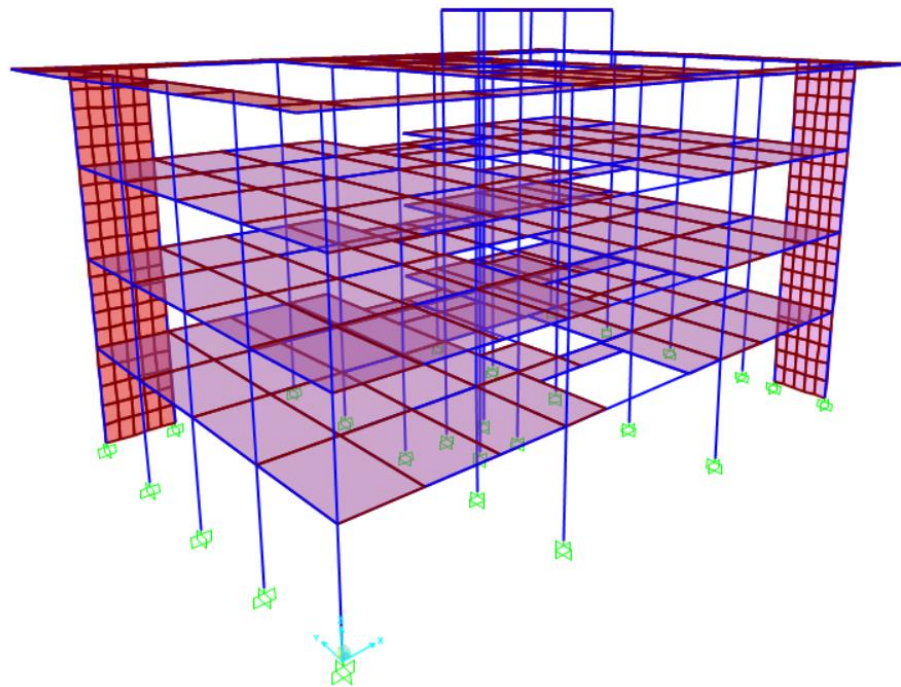
Tabel 5. 41 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal dan Horizontal Model 2

Type	Vertikal	Type	Horizontal
1	Regular	1	Regular
2	Regular	2	Regular
3	Regular	3	Regular
4	Regular	4	Regular
5	Regular	5	Regular

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa pada model 2 tidak terdapat ketidakberaturan baik vertikal maupun horizontal.

5.4.3 Pengecekan Hasil Analisis

Pengecekan hasil analisis struktur model 2 (Gedung Eksisting dengan Menambah Dinding Geser) pada penelitian ini terdiri dari kontrol gaya geser dasar (*base shear*) struktur, simpangan antar lantai, *displacement* dan P-Delta. Pemodelan eksisting gedung Laboratorium Riset dapat dilihat pada Gambar 5.41 dibawah ini.



Gambar 5. 41 Model 2 (Gedung Eksisting dengan Menambah Dinding Geser)

1. Kontrol gaya geser dasar (*base shear*) struktur

Gaya geser dasar merupakan kombinasi respon untuk gaya geser dasar hasil analisis SAP2000. Jika hasil gaya geser dasar dinamik kurang dari 100% gaya geser statik pada struktur maka perlu skala baru untuk memenuhi syarat yang

mengacu pada SNI 1726:2019. Perhitungan gaya geser dasar pada model 2 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ (trial 1)} &= 3438,552 \text{ kN} \\
 100\% V_s \text{ (trial 1)} &= 100\% \times 3438,552 \\
 &= 3438,552 \text{ kN} \\
 \text{Gaya geser arah x (trial 1)} &= V_d = 100\% V_s \\
 &= 2921,194 \text{ kN} \neq 3438,552 \text{ kN (perlu skala)} \\
 \text{Skala baru} &= \frac{100\% V_s}{V_d} \\
 &= \frac{3438,552}{2921,194} \\
 &= 1,177
 \end{aligned}$$

Dilakukan perhitungan trial 2 untuk memenuhi syarat yang ditentukan seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ (trial 2)} &= 3438,552 \text{ kN} \\
 100\% V_s \text{ (trial 2)} &= 100\% \times 3438,552 \\
 &= 3438,552 \text{ kN} \\
 \text{Gaya geser arah x (trial 2)} &= V_d = 100\% V_s \\
 &= 3438,552 \text{ kN} = 3438,552 \text{ kN (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka syarat gaya geser dasar struktur memenuhi syarat. Gaya geser yang dihasilkan untuk model 2 dapat dilihat pada Tabel 5.42 sebagai berikut.

Tabel 5. 42 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*) Model 2

Perhitungan		Model 2	
		Arah X (kN)	Arah Y (kN)
Trial 1	100% V_{statik}	2921,194	2223,521
	V_{dinamik}	3438,552	3438,552
	Keterangan	Perlu skala	Perlu skala
Trial 2	100% V_{statik}	3438,552	3438,552
	V_{dinamik}	3438,552	3438,552
	Keterangan	Memenuhi	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 4.42 dapat diketahui bahwa gaya geser dasar (*base shear*) pada model 2 sudah memenuhi persyaratan yaitu $100\% V_{\text{statik}} \leq V_{\text{dinamik}}$.

2. Simpangan antar lantai

Simpangan antar lantai adalah perpindahan antara dua lantai yang terjadi diakibatkan adanya gaya lateral pada sebuah bangunan. Menurut SNI 1726:2019 simpangan antar lantai (Δ) yang terjadi pada sebuah bangunan tidak boleh melebihi simpangan ijin yang sudah diperhitungkan agar tidak terjadi kerusakan bangunan saat ada gempa. Pada penelitian kali ini bangunan yang digunakan adalah bangunan laboratorium yang termasuk dalam kategori resiko IV berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.1.2. Perhitungan simpangan antar lantai pada gedung apartemen penelitian ini adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 h_{sx} &= 2,5 \text{ m} \\
 C_d &= 5,5 \\
 \text{Faktor Scala} &= 1,177 \\
 \delta e_5 &= 0,0190 \text{ m} \\
 \delta e_4 &= 0,0179 \text{ m} \\
 I_e &= 1,5 \\
 \delta_5 &= \delta e_5 \times \text{Faktor scala} \times C_d / I_e \\
 &= 0,0190 \times 1,177 \times 5,5 / 1,5 \\
 &= 0,0821 \text{ m} \\
 \delta_4 &= \delta e_4 \times \text{Faktor scala} \times C_d / I_e \\
 &= 0,0179 \times 1,177 \times 5,5 / 1,5 \\
 &= 0,0772 \text{ m} \\
 \Delta &= \delta_5 - \delta_4 \\
 &= 0,0821 - 0,0772 \\
 &= 0,0049 \\
 \Delta a &= 0,01 \times h_{nx} \\
 &= 0,01 \times 2,5 \\
 &= 0,025 \text{ m} \\
 \Delta a / \rho &= 0,025 / 1,0 \\
 &= 0,025 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Didapatkan $0,0049 \text{ m} < 0,0250 \text{ m}$
 $\Delta 5 < \Delta a \text{ (OK)}$

Untuk simpangan antar lantai pada lantai lainnya dihitung menggunakan rumus dan cara yang sama. Rekap hasil perhitungan antar lantai arah x dan arah y ditunjukkan pada Tabel 5.43 dan Tabel 5.44 dibawah ini.

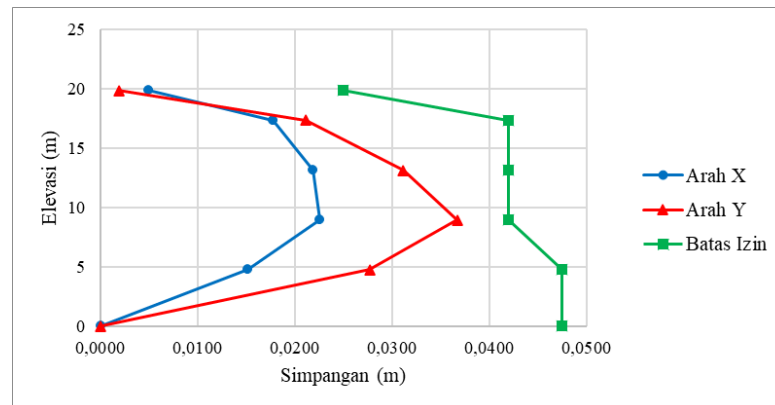
Tabel 5. 43 Simpangan Antar Lantai Arah X Model 2

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi (m)	δe (m)	δ (m)	Δ (m)	Δ Izin (m)	Kontrol $\Delta < \Delta a$
5	19,85	2,5	0,0190	0,0821	0,0049	0,0250	Aman
4	17,35	4,2	0,0179	0,0772	0,0177	0,0420	Aman
3	13,15	4,2	0,0138	0,0595	0,0218	0,0420	Aman
2	8,95	4,2	0,0087	0,0377	0,0226	0,0420	Aman
1	4,75	4,75	0,0035	0,0151	0,0151	0,0475	Aman

Tabel 5. 44 Simpangan Antar Lantai Arah Y Model 2

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi (m)	δe (m)	δ (m)	Δ (m)	Δ Izin (m)	Kontrol $\Delta < \Delta a$
5	19,85	2,5	0,0209	0,1185	0,0019	0,0250	Aman
4	17,35	4,2	0,0206	0,1166	0,0211	0,0420	Aman
3	13,15	4,2	0,0168	0,0955	0,0311	0,0420	Aman
2	8,95	4,2	0,0114	0,0644	0,0367	0,0420	Aman
1	4,75	4,75	0,0049	0,0277	0,0277	0,0475	Aman

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa simpangan antar lantai model 2 telah memenuhi syarat, sehingga didapatkan grafik simpangan antar lantai pada Gambar 5.42 sebagai berikut.



Gambar 5. 42 Grafik Simpangan Antar Lantai Model 2

Dari Gambar 5.42 dapat diketahui simpangan antar lantai baik arah x maupun arah y semuanya memenuhi syarat dan tidak melewati batas izin.

3. Kontrol pengaruh P-delta

Kontrol pengaruh P-delta terhadap struktur mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 dimana pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk perhitungan apabila koefisien stabilitas (θ) sama dengan atau kurang dari 0,10. Nilai P_x , V_x dan V_y didapatkan dari analisis SAP2000 dimana V_x pada Gambar 5.43, V_y pada Gambar 5.44 dan P_x pada Gambar 5.45 berikut ini.

Section/Cut Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	GlobalX m
K Atap	Ex RS	LinRespSpec	Max	60.716	45.041	4.192	125.2146	149.8913	148.9758	15.02534
K Lt 4	Ex RS	LinRespSpec	Max	1046.339	601.371	25.944	2800.5781	4637.8697	6191.4782	15.24495
K Lt 3	Ex RS	LinRespSpec	Max	1963.533	1091.674	31.878	7345.908	12707.0963	10819.1438	15.24495
K Lt 2	Ex RS	LinRespSpec	Max	2694.85	1430.027	41.734	13145.7983	23266.3048	14124.898	15.24495
K Lt 1	Ex RS	LinRespSpec	Max	2921.187	1616.09	44.184	20514.9204	36701.571	15913.1142	15.13528

Gambar 5. 43 Nilai V_x Model 2

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	GlobalX m	GlobalY m
K Atap	Ey RS	LinRespSpec	Max	35.847	49.63	2.655	130.2097	88.3761	85.6117	15.02534	9.86507
K Lt 4	Ey RS	LinRespSpec	Max	589.947	772.104	12.946	3517.1893	2632.1181	7260.6625	15.24495	9.92853
K Lt 3	Ey RS	LinRespSpec	Max	1078.627	1453.269	17.708	9513.9861	7034.0552	12756.6438	15.24495	9.92853
K Lt 2	Ey RS	LinRespSpec	Max	1428.641	1947.728	24.009	17415.04	12742.3938	16705.7419	15.24495	9.92853
K Lt 1	Ey RS	LinRespSpec	Max	1616.092	2223.524	26.03	27581.0826	20064.1959	18660.2734	15.13526	10.12206

Gambar 5. 44 Nilai Vy Model 2

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	GlobalX m	GlobalY m
K Atap	Px	Combination	-4.653E-12	1.669E-12	314.483	-637.7588	-125.8879	-4.541E-11	15.02534	9.86507
K Lt 4	Px	Combination	2.142E-12	5.851E-12	5801.238	41.8974	1586.7919	-4.243E-10	15.24495	9.92853
K Lt 3	Px	Combination	8.292E-12	3.73E-12	14000.053	799.3696	3955.6437	-5.521E-10	15.24495	9.92853
K Lt 2	Px	Combination	1.278E-11	2.332E-12	22701.391	1518.855	6472.5444	-6.111E-10	15.24495	9.92853
K Lt 1	Px	Combination	1.476E-11	1.59E-12	31737.269	-3780.4312	5601.9527	-6.12E-10	15.13526	10.12206

Gambar 5. 45 Nilai Px Model 2

Perhitungan nilai koefisien stabilitas (θ) pada lantai 1 adalah sebagai berikut.

$$\theta = \frac{Px \times \Delta \times Ie}{Vx \times hnx \times Cd}$$

$$= \frac{31737,269 \times 0,0151 \times 1,5}{2921,187 \times 4,75 \times 5,5}$$

$$\theta = 0,0094$$

Nilai koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi dari nilai θ_{max} yang telah ditentukan. Perhitungan θ_{max} adalah sebagai berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \times Cd} \leq 0,25$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \times Cd} \leq 0,25$$

$$\theta_{\max} = 0,0909$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa Nilai koefisien stabilitas (θ) lebih kecil dari θ_{\max} , sehingga P-delta pada lantai 1 arah X telah memenuhi syarat. Kontrol pengaruh P-delta pada model 2 untuk arah X dan Arah Y dapat dilihat pada Tabel 5.45 dan Tabel 5.46 seperti berikut.

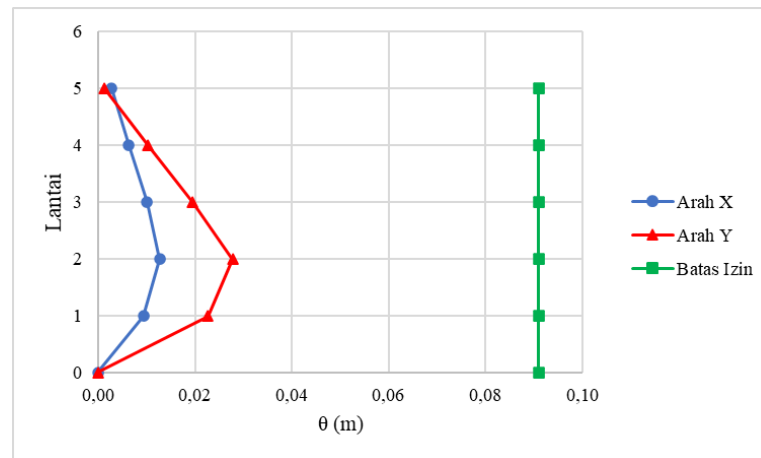
Tabel 5. 45 P-Delta Arah X Model 2

Lantai	Px (kN)	Δ (m)	Ie	Vx (kN)	Hnx (m)	Cd	θ (m)	θ max (m)	Status
5	314,483	0,0049	1,5	60,716	2,5	5,5	0,0028	0,0909	Aman
4	5801,288	0,0177	1,5	1046,339	4,2	5,5	0,0064	0,0909	Aman
3	14000,053	0,0218	1,5	1963,533	4,2	5,5	0,0101	0,0909	Aman
2	22701,391	0,0226	1,5	2604,85	4,2	5,5	0,0128	0,0909	Aman
1	31737,269	0,0151	1,5	2921,187	4,75	5,5	0,0094	0,0909	Aman

Tabel 5. 46 P-Delta Arah Y Model 2

Lantai	Py (kN)	Δ (m)	Ie	Vy (kN)	Hnx (m)	Cd	θ (m)	θ max (m)	Status
5	314,483	0,0019	1,5	49,63	2,5	5,5	0,0013	0,0909	Aman
4	5801,288	0,0211	1,5	772,104	4,2	5,5	0,0103	0,0909	Aman
3	14000,053	0,0311	1,5	1453,288	4,2	5,5	0,0195	0,0909	Aman
2	22701,391	0,0367	1,5	1947,728	4,2	5,5	0,0278	0,0909	Aman
1	31737,269	0,0277	1,5	2223,524	4,75	5,5	0,0227	0,0909	Aman

Berdasarkan tabel diatas diperoleh grafik kontrol arah X dan Arah Y yang dapat dilihat pada Gambar 5.46 berikut ini.



Gambar 5. 46 Grafik Kontrol P-Delta Model 2

Dari Gambar 5.46 dapat diketahui bahwa P-delta untuk model 2 baik arah x maupun arah y sudah memenuhi syarat dan tidak melebihi batas izin.

4. Cek sistem rangka memikul 25% gaya seismik

Mengacu pada SNI 1726-2019 sistem pemikul gaya seismik mempunyai izin yang berbeda-beda. Untuk bangunan uji termasuk sistem rangka ganda khusus yang minimal memikul gaya seismik sebesar 25%. SNI membatasi 25% agar jika kurang dari itu maka sistem ganda (*shear wall*) terlalu banyak, sehingga pembangunan tidak efisien dan tidak ekonomis. Berikut merupakan hasil analisis menggunakan SAP2000 terhadap bangunan yang di uji yang dapat dilihat pada Tabel 5.47 sebagai berikut.

Tabel 5. 47 Cek Bangunan Memikul 25% Gaya Seismik pada Model 2

Perhitungan	Fx		Fy	
	Frame	SW	Frame	SW
Total (kN)	1768,263	1255,971	1649,491	801,584
Total Keseluruhan (kN)	3024,234		2451,075	
Persentase	58%	42%	67%	33%
Cek	OKE		OKE	

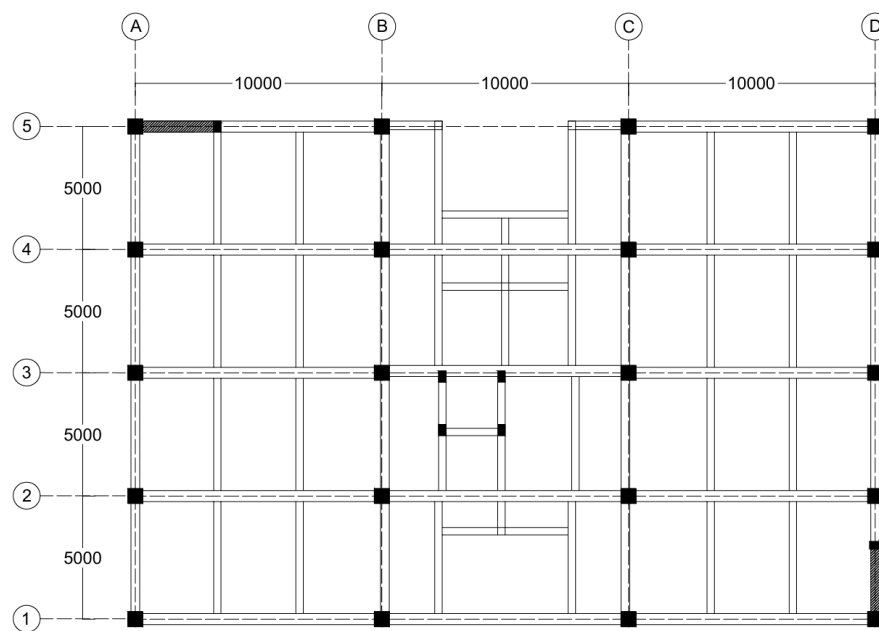
Berdasarkan hasil analisis diatas maka model 2 baik arah x dan arah y bangunan telah memenuhi syarat minimal memikul 25% gaya seismik.

5.5 Model 3 (Gedung Redesain dengan Menambah Dinding Geser)

5.5.1 Preliminary Design

a. Estimasi dimensi balok

Pada model bangunan untuk penelitian ini, estimasi balok dapat dilihat pada Gambar 5.47 sebagai berikut.



Gambar 5. 47 Denah Bangunan Model 3

Berikut merupakan contoh perhitungan estimasi balok induk B1 dan balok anak B3.

a. Balok induk B1

$$\text{Panjang bentang (L)} = 10000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (h)} = \frac{1}{12} \times L$$

$$= \frac{1}{12} \times 10000$$

$$= 714,286 \text{ mm}$$

$$\text{H pakai} = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar balok (b)} = \frac{1}{2} \times h$$

$$= \frac{1}{2} \times 714,286$$

$$= 357,143 \text{ mm}$$

$$\text{B pakai} = 450 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi balok induk B1 adalah 700 mm x 450 mm.

b. Balok Anak B3

$$\text{Panjang bentang (L)} = 5000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (h)} = \frac{1}{14} \times L$$

$$= \frac{1}{14} \times 5000$$

$$= 357,14 \text{ mm}$$

$$\text{H pakai} = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar balok (b)} = \frac{1}{2} \times h$$

$$= \frac{1}{2} \times 357,14$$

$$= 178,57 \text{ mm}$$

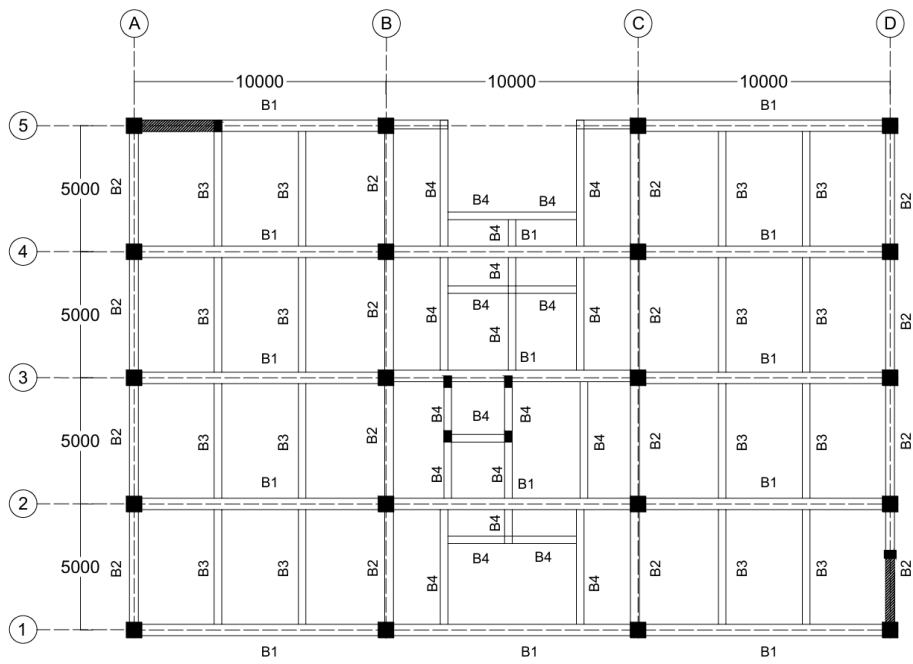
$$\text{B pakai} = 300 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi balok induk B1 adalah 500 mm x 300 mm.

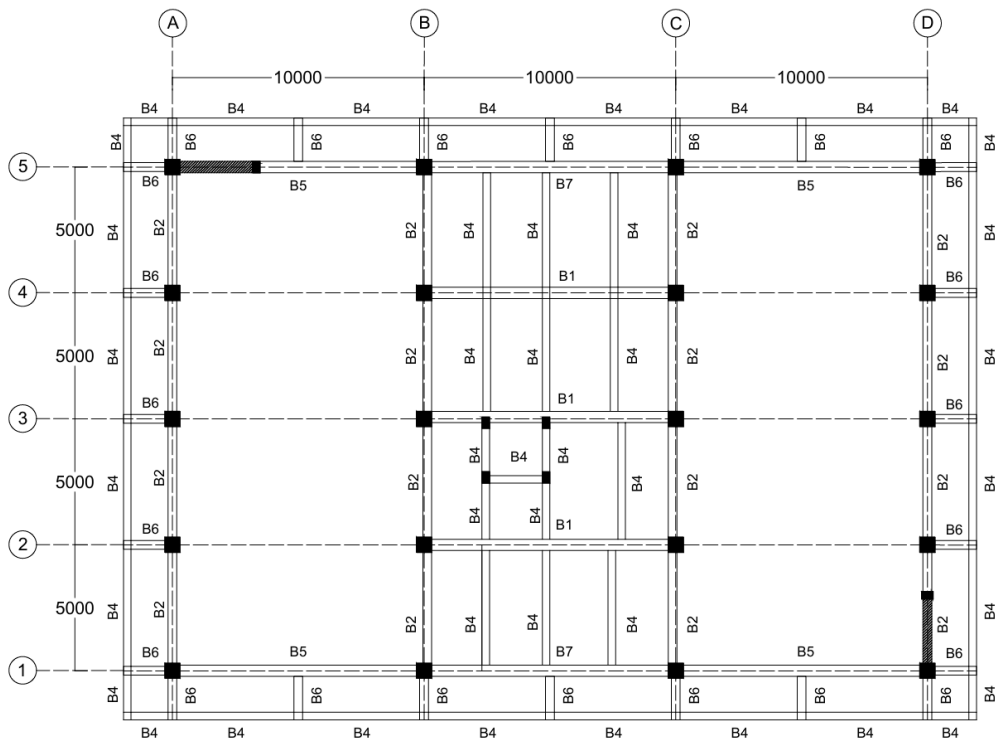
Perhitungan estimasi dimensi pada balok B2 dan balok lainnya menggunakan cara yang sama seperti diatas sehingga rekapitulasi perhitungan estimasi dimensi balok dan gambar denah dapat dilihat pada Tabel 5.48, Gambar 5.48, Gambar 5.49 dan Gambar 5.50 dibawah ini.

Tabel 5. 48 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok Model 3

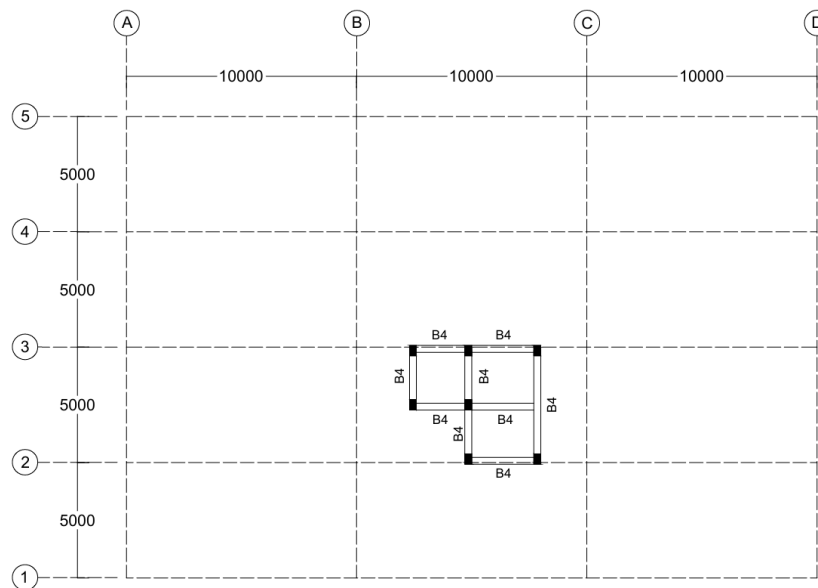
No	Balok	Panjang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)
1	B1	10000	700	450
2	B2	5000	500	300
3	B3	5000	400	300
4	B4	5000	400	300
5	B5	10000	700	450
6	B6	1650	500	300
7	B7	10000	700	450



Gambar 5. 48 Kodefikasi Balok Model 3 Lantai 1 – 3



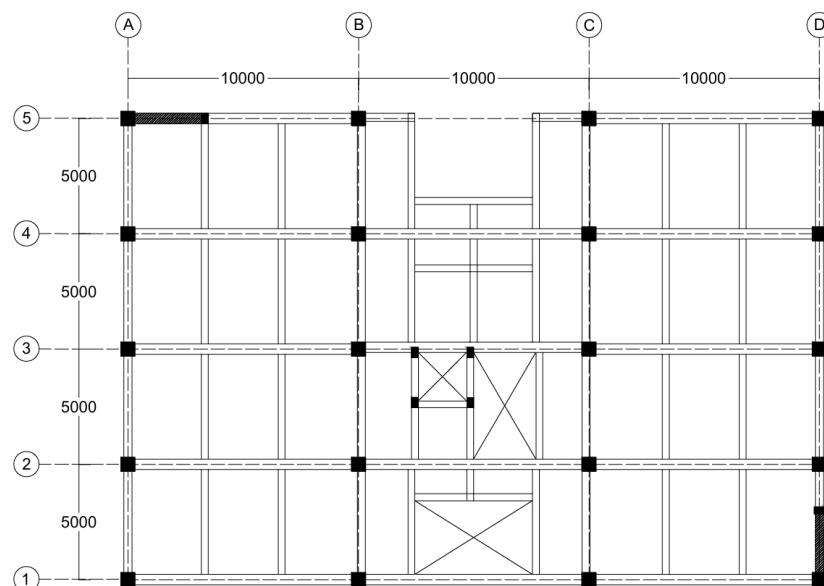
Gambar 5. 49 Kodefikasi Balok Model 3 Lantai 4



Gambar 5. 50 Kodefikasi Balok Model 3 Lantai 5

b. Estimasi tebal pelat

Pada model bangunan untuk penelitian ini, estimasi pelat lantai dapat dilihat pada gambar 5.51 sebagai berikut.



Gambar 5. 51 Denah Bangunan Model 3

Estimasi tebal pelat mengacu pada SNI 2847:2019 pasal R8.3.1.1 dimana perhitungan tebal minimum pelat tanpa balok interior. Perencanaan tebal pelat menggunakan pelat yang terdapat dari data struktur gedung Laboratorium Riset. Perhitungan estimasi pelat dapat dilihat sebagai berikut.

$$L_y = 5000 \text{ m}$$

$$L_x = 3333 \text{ m}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{5000}{3333}$$

$$= 1,5 < 2 \text{ (Pelat Dua Arah)}$$

$$L_{ny} = L_y - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar balok tumpuan atas}\right) - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar balok tumpuan bawah}\right)$$

$$= 5000 - \left(\frac{1}{2} \times B1\right) - \left(\frac{1}{2} \times B1\right)$$

$$= 5000 - \left(\frac{1}{2} \times 450\right) - \left(\frac{1}{2} \times 450\right)$$

$$= 4550 \text{ mm}$$

$$L_{nx} = L_x - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar balok tumpuan kanan}\right) - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar balok tumpuan kiri}\right)$$

$$= 3333 - \left(\frac{1}{2} \times B3\right) - \left(\frac{1}{2} \times B2\right)$$

$$= 3333 - \left(\frac{1}{2} \times 300\right) - \left(\frac{1}{2} \times 350\right)$$

$$= 3008 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_{ny}}{L_{nx}}$$

$$= \frac{4550}{3008}$$

$$= 1,513$$

$$\alpha_{m1} = \frac{E_b1 \times I_b1}{E_p1 \times I_p1}$$

$$= \frac{\frac{1}{12} \times 350 \times 500^3}{\frac{1}{12} \times 5000 \times 120^3}$$

$$= 5,064$$

$$\alpha_{m2} = \frac{E_b2 \times I_b2}{E_p2 \times I_p2}$$

$$= \frac{\frac{1}{12} \times 300 \times 500^3}{\frac{1}{12} \times 5000 \times 120^3}$$

$$= 4,340$$

$$\begin{aligned}\alpha_{m3} &= \frac{Eb3 \times Ib3}{Ep3 \times Ip3} \\ &= \frac{\frac{1}{12} \times 450 \times 700^3}{\frac{1}{12} \times 3333 \times 120^3} \\ &= 26,800\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{m4} &= \frac{Eb3 \times Ib3}{Ep3 \times Ip3} \\ &= \frac{\frac{1}{12} \times 450 \times 700^3}{\frac{1}{12} \times 3333 \times 120^3} \\ &= 26,800\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{rerata} &= \frac{\alpha_{m1} + \alpha_{m2} + \alpha_{m3} + \alpha_{m4}}{4} \\ &= \frac{5,064 + 4,340 + 26,800 + 26,800}{4} \\ &= 15,751\end{aligned}$$

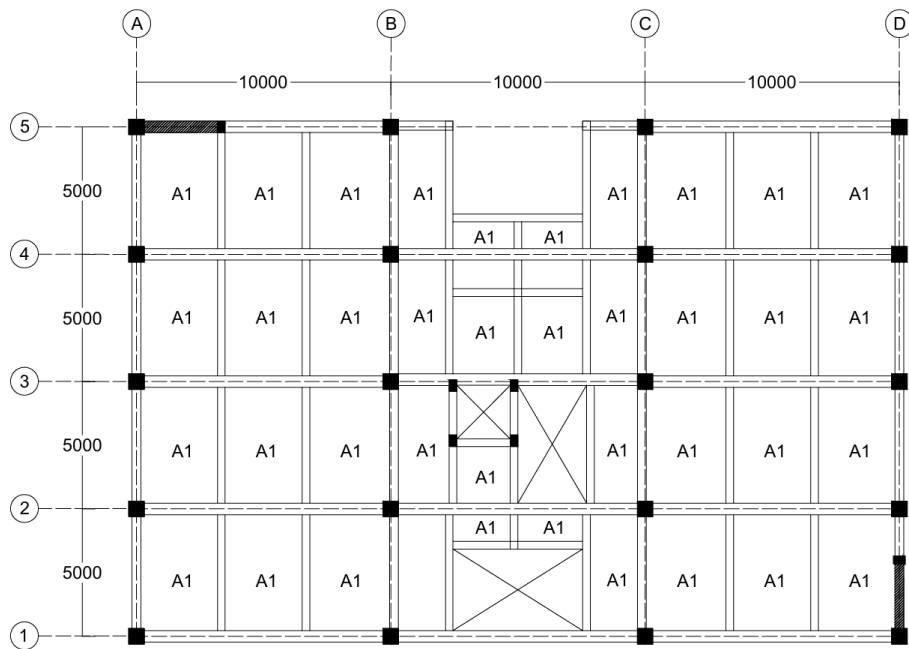
$$\begin{aligned}h_{\min} &= \frac{Ln \times \left(0,8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \\ &= \frac{4550 \times \left(0,8 + \frac{240}{1400}\right)}{36 + 9(1,513)} \\ &= 89,088 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$H_{\text{pakai}} = 120 \text{ mm}$$

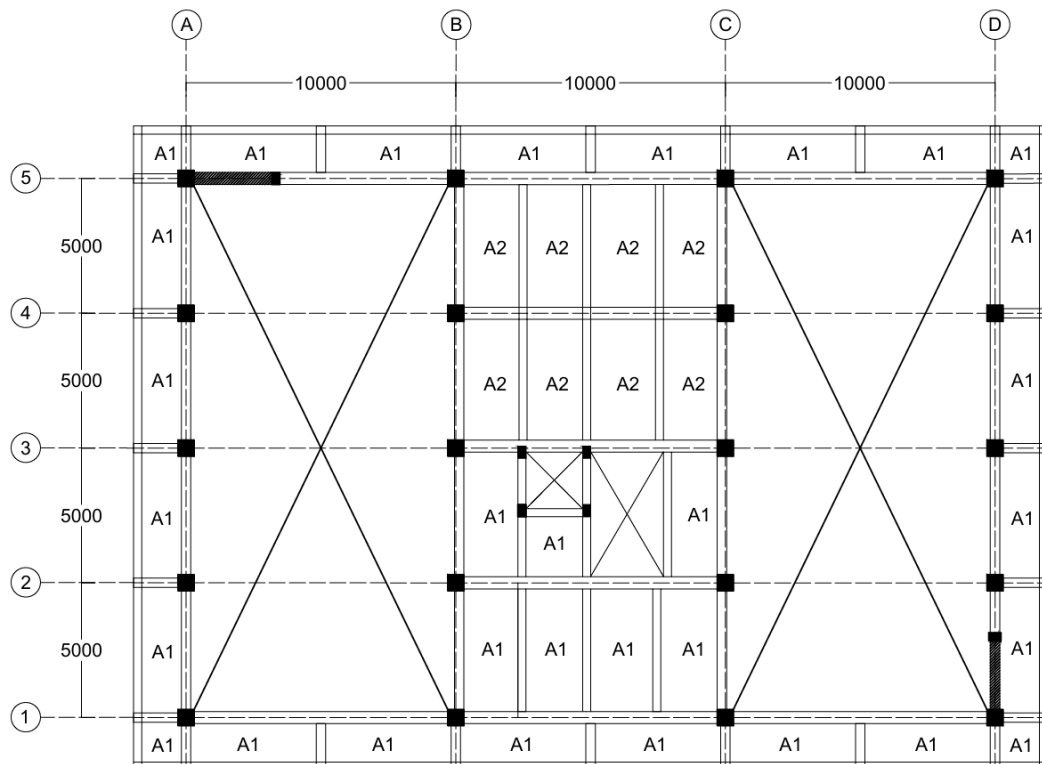
Kemudian perhitungan yang sama dilakukan untuk pelat A2 dan dan pelat A3. Berikut ini merupakan detail rekapitulasi estimasi tebal pelat dan gambar denah pelat yang dapat dilihat pada Tabel 5.49, Gambar 5.52, Gambar 5.53 dan Gambar 5.54 dibawah ini.

Tabel 5. 49 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Pelat Model 3

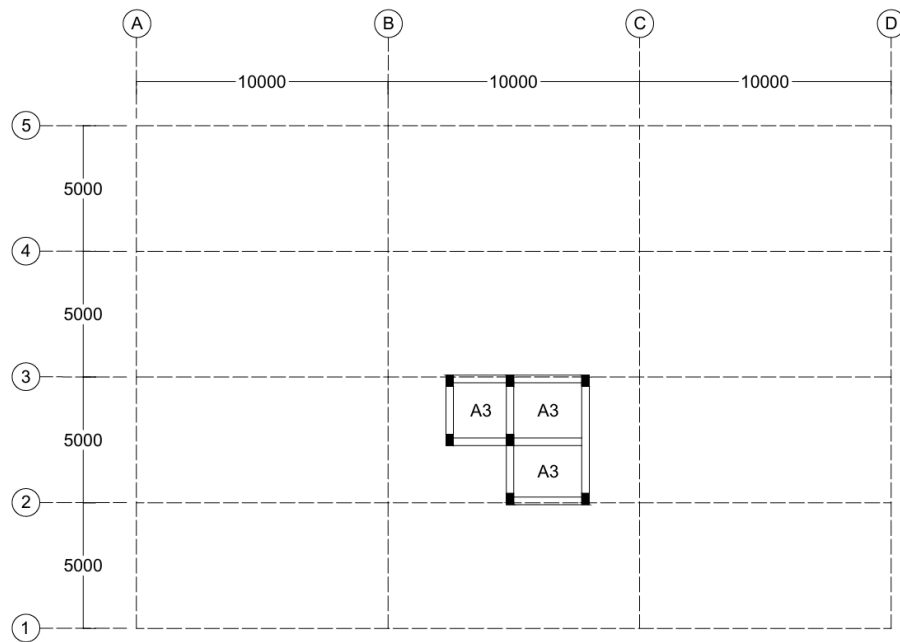
Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)
A1	120
A2	140
A3	120



Gambar 5. 52 Denah Pelat A1 Model 3 Lantai 1 – 3



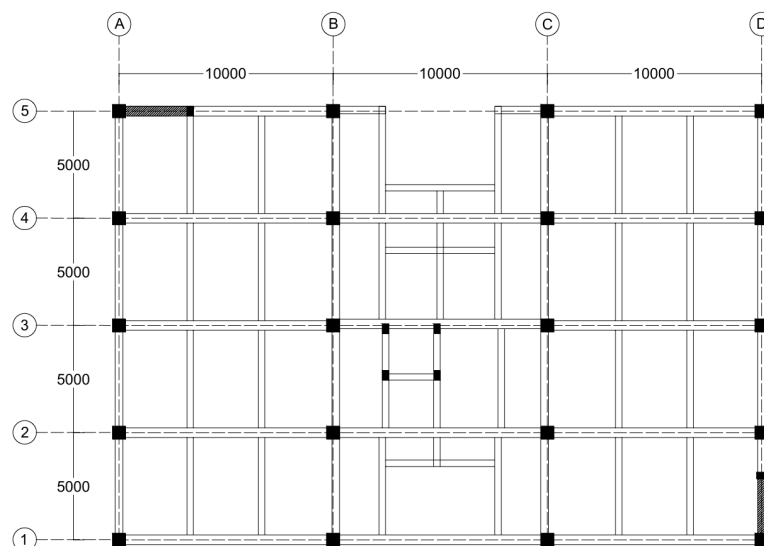
Gambar 5. 53 Denah Pelat A2 Model 3 Lantai 4



Gambar 5. 54 Denah Pelat A3 Model 3 Lantai 5

c. Estimasi dimensi kolom

Pada model bangunan penelitian ini, denah untuk estimasi dimensi kolom dapat dilihat pada Gambar 5.55 sebagai berikut.



Gambar 5. 55 Denah Bangunan Model 3

Perhitungan estimasi kolom pada gedung Laboratorium Riset adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_u &= (1,2 q_d + 1,6 q_L) \text{ lantai} + (1,2 q_d + 1,6 q_L) \text{ atap} \\ &= (1,2 \times 1,422) + (1,6 \times 4,79) + (1,2 \times 1,236) + (1,6 \times 0,96) \\ &= 12,390 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$n \text{ (jumlah lantai)} = 5 \text{ lantai}$$

$$A \text{ (luas lantai)} = 16,665 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya aksial} &= n \times Q_u \times A \\ &= 5 \times 12,39 \times 16,665 \\ &= 1032,414 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_u \text{ max} = 1032414,415 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} A_g &= \frac{P_u}{0,4 \times f_c'} \\ &= \frac{1032414,415}{0,4 \times 25} \\ &= 137655,255 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \sqrt{A_g} \\ &= \sqrt{137655,255} \\ &= 371,019 \text{ mm} \end{aligned}$$

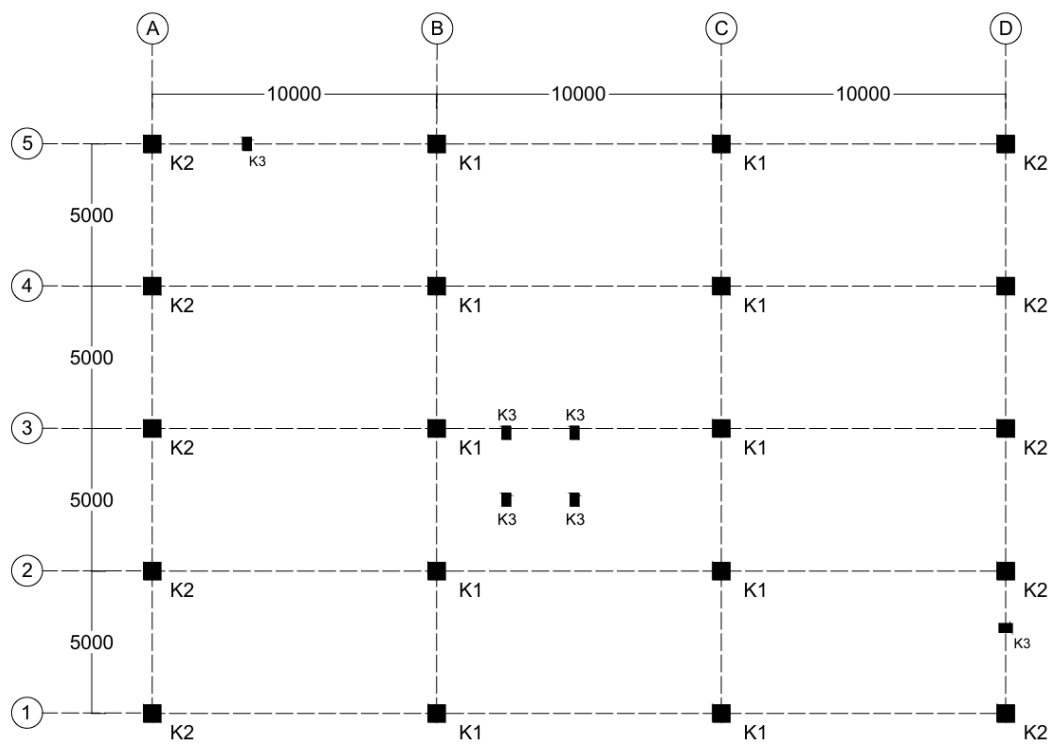
$$B \text{ pakai} = 600 \text{ mm}$$

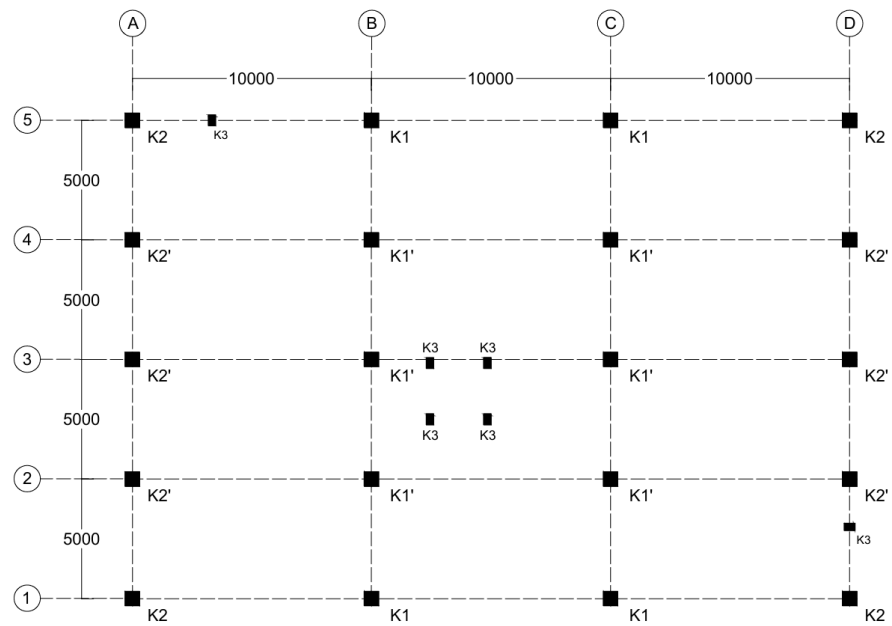
$$H \text{ pakai} = 600 \text{ mm}$$

Kemudian perhitungan yang sama dilakukan untuk kolom K2 dan kolom lainnya. Berikut merupakan rekapitulasi dari perhitungan estimasi kolom dan gambar denah kolom yang dapat dilihat pada Tabel 5.50, Gambar 5.56, Gambar 5.57 dan Gambar 5.58 sebagai berikut.

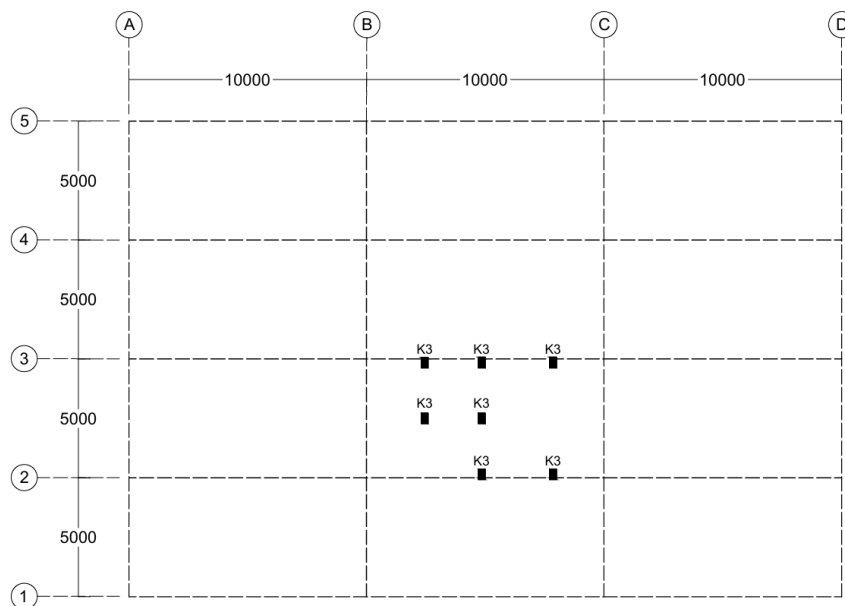
Tabel 5. 50 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom Model 3

No	Kolom	h (mm)	b (mm)
1	K1	600	600
2	K2	600	600
3	K1'	600	600
4	K2'	600	600
5	K3	450	300

**Gambar 5. 56 Kodefikasi Kolom Model 3 Lantai 1**



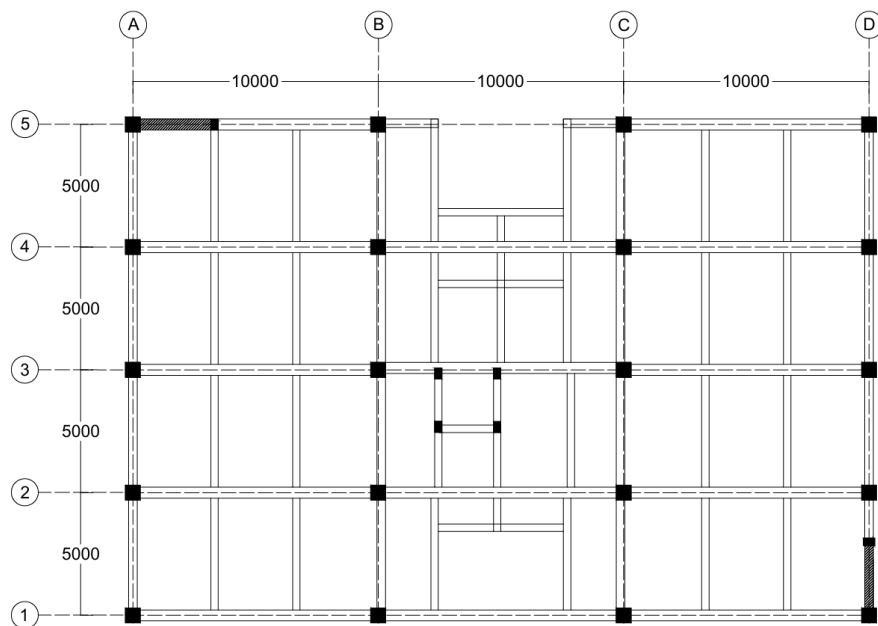
Gambar 5. 57 Kodefikasi Kolom Model 3 Lantai 2 - 4



Gambar 5. 58 Kodefikasi Kolom Model 3 Lantai 5

d. Estimasi dinding geser

Pada model bangunan penelitian ini, denah untuk estimasi dimensi dinding geser dapat dilihat pada Gambar 5.59 sebagai berikut.



Gambar 5. 59 Denah Bangunan Model 3

Perhitungan estimasi dinding geser mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 11.3.1.1 dimana terdapat ketentuan dalam menentukan tebal dinding geser, yaitu ketebalan terbesar dari 100 mm atau $1/25$ nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu. Penjabaran perhitungan dari estimasi tebal dinding geser adalah sebagai berikut:

Diketahui:

1. Dinding geser arah x

Panjang dinding = 3333 mm

Tinggi dinding = 4750 mm

Tebal dinding = 200 mm

Cek syarat :

$$200 \text{ mm} \geq \frac{\text{Panjang dinding}}{25}$$

$$= \frac{3333}{25}$$

$$200 \text{ mm} = 133,22 \text{ mm (OKE)}$$

$$200 \text{ mm} \geq \frac{\text{Tinggi dinding}}{25}$$

$$= \frac{4750}{25}$$

$$200 \text{ mm} = 190 \text{ mm (OKE)}$$

$$200 \text{ mm} \geq 100 \text{ mm (OK)}$$

2. Dinding geser arah y

$$\text{Panjang dinding (L)} = 3000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi dinding} = 4750 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal dinding} = 200 \text{ mm}$$

Cek syarat :

$$200 \text{ mm} \geq \frac{\text{Panjang dinding}}{25}$$

$$= \frac{3000}{25}$$

$$200 \text{ mm} = 120 \text{ mm (OKE)}$$

$$200 \text{ mm} \geq \frac{\text{Tinggi dinding}}{25}$$

$$= \frac{4750}{25}$$

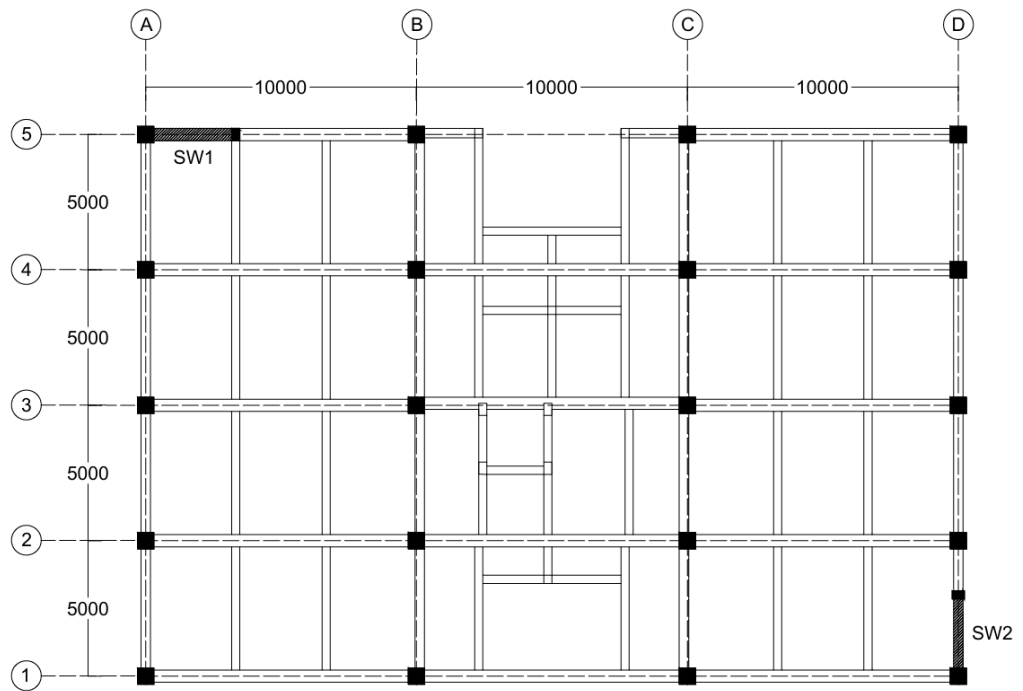
$$200 \text{ mm} = 190 \text{ mm (OKE)}$$

$$200 \text{ mm} \geq 100 \text{ mm (OK)}$$

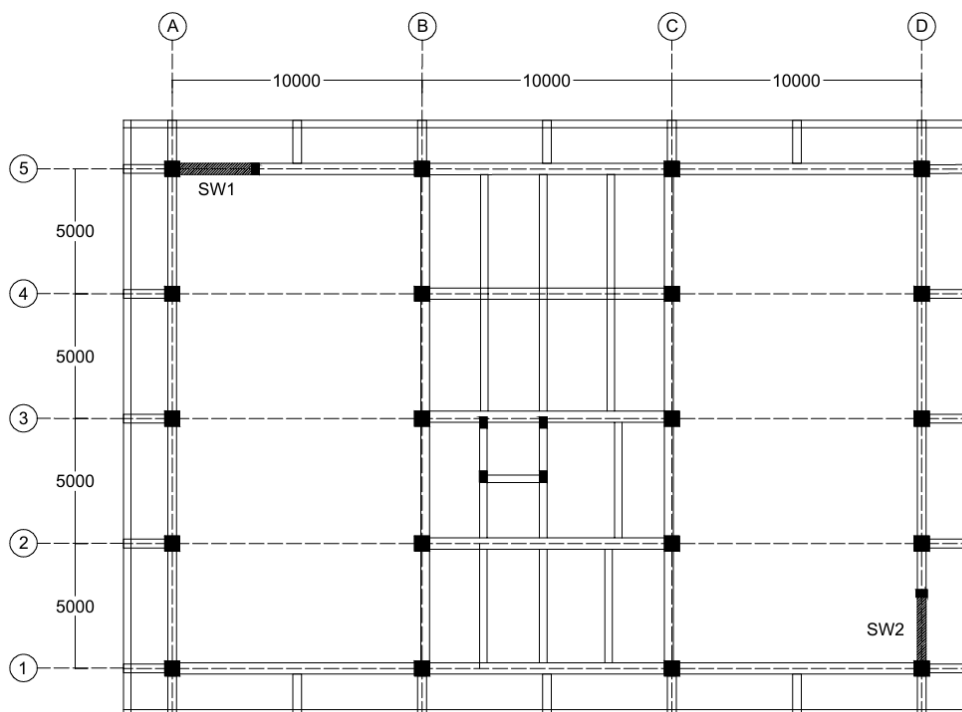
Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan estimasi tebal dinding geser dan gambar penempatan dinding geser yang dapat dilihat pada Tabel 5.51 dan Gambar 5.61 Hingga Gambar 5.61 sebagai berikut.

Tabel 5. 51 Estimasi Dimensi Dinding Geser Model 3

Dinding geser	Tebal (mm)	Tinggi (mm)	Panjang (mm)	t > L/25	t > H/25	t > 100	Status
SW1	200	4750	3333	133,32	190	100	OKE
SW2	200	4750	3000	120	190	100	OKE



Gambar 5. 60 Denah Perletakan Dinding Geser Model 3 Lantai 1 – 3



Gambar 5. 61 Denah Perletakan Dinding Geser Model 3 Lantai 4

5.5.2 Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan pada gedung eksisting mengacu pada 1726:2019, tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Perhitungan beban gempa dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Lokasi gedung = Yogyakarta
2. Fungsi gedung = Laboratorium
3. Kategori risiko bangunan = IV (SNI 1726:2019 Tabel 3)
4. Faktor keutamaan gempa = 1,5 (SNI 1726:2019 Tabel 4)
5. Klasifikasi situs = Tanah Keras (SC)
6. Parameter percepatan dasar periode pendek (S_s) = 1,107 g
7. Parameter percepatan dasar periode 1 detik (S_1) = 0,507 g
8. Faktor percepatan dasar periode Pendek (F_a) = 1,2 (SNI 1726:2019 Tabel 6)
9. Faktor percepatan dasar periode 1 detik (F_v) = 1,5 (SNI 1726:2019 Tabel 7)
10. Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS})

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,2 \times 1,107 \\ &= 1,328 \text{ g} \end{aligned}$$

11. Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik (S_{M1})

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1,5 \times 0,507 \\ &= 0,757 \text{ g} \end{aligned}$$

12. Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek (S_{DS})

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times 1,328 \\ &= 0,886 \text{ g} \end{aligned}$$

13. Parameter percepatan spectral desain untuk periode 1 detik (S_{D1})

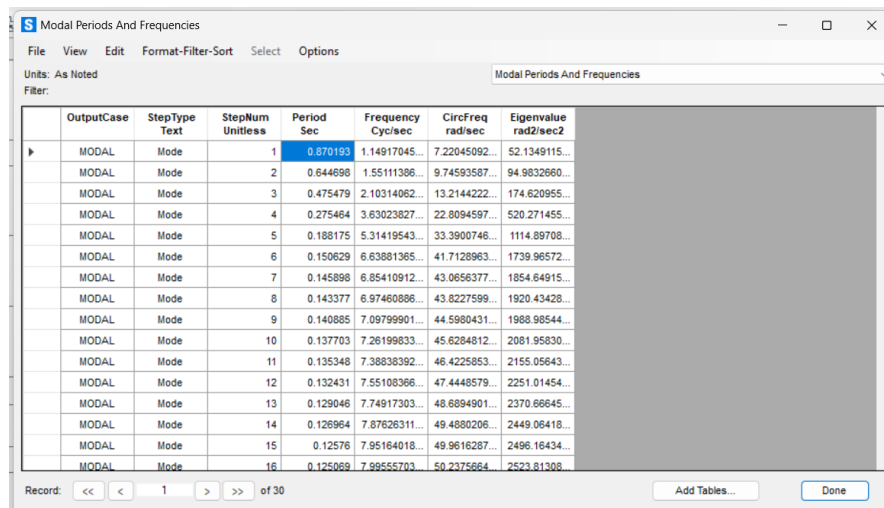
$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,757 \\ &= 0,505 \text{ g} \end{aligned}$$

14. Kategori desain seismik (KDS) = D (SNI 1726:2019 Tabel 8 dan Tabel 9)
15. Koefisien modifikasi respons (R) = 7 (SNI 1726:2019 Tabel 12)
16. Faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5 (SNI 1726:2019 Tabel 12)
17. Koefisien batas atas (C_u) = 1,4 (SNI 1726:2019 Tabel 17)
18. Nilai parameter periode pendekatan (C_t) = 0,0488 (SNI 1726:2019 Tabel 18)
19. Nilai parameter periode pendekatan (x) = 0,9 (SNI 1726:2019 Tabel 18)
20. Periode fundamental (T_a)

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t \times h_n^x \\
 &= 0,0488 \times 19,85^{0,9} \\
 &= 0,686
 \end{aligned}$$

21. Periode bangunan (T_c)

Nilai T_c didapatkan dari analisis SAP2000 menggunakan analisis “Modal”. Setelah itu didapatkan nilai T_c yang dapat dilihat pada Gambar 5.62 sebagai berikut.



OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad/sec ²
MODAL	Mode	1	0.870193	1.14917045...	7.22045092...	52.1349115...
MODAL	Mode	2	0.644698	1.55111386...	9.74593587...	94.9832660...
MODAL	Mode	3	0.475479	2.10314062...	13.2144222...	174.620955...
MODAL	Mode	4	0.275464	3.63023827...	22.8094597...	520.271455...
MODAL	Mode	5	0.188175	5.31419543...	33.3900746...	1114.89708...
MODAL	Mode	6	0.150629	6.63881365...	41.7128963...	1739.96572...
MODAL	Mode	7	0.145898	6.85410912...	43.0656377...	1854.64915...
MODAL	Mode	8	0.143377	6.97460886...	43.8227599...	1920.43428...
MODAL	Mode	9	0.140885	7.09799901...	44.5980431...	1988.98544...
MODAL	Mode	10	0.137703	7.26199833...	45.6284812...	2081.95830...
MODAL	Mode	11	0.135348	7.38838392...	46.4225853...	2155.05643...
MODAL	Mode	12	0.132431	7.55108366...	47.4448579...	2251.01454...
MODAL	Mode	13	0.129046	7.74917303...	48.6894901...	2370.66645...
MODAL	Mode	14	0.126964	7.87626311...	49.4880206...	2449.06418...
MODAL	Mode	15	0.12576	7.95164018...	49.9616287...	2496.16434...
MODAL	Mode	16	0.125069	7.98555703...	50.2375664...	2523.81308...

Gambar 5. 62 Nilai T_c Model 3

Dari gambar diatas dapat diketahui nilai T_c sebesar 0,870 detik.

22. Tpkai

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, didapatkan:

$$T_c = 0,870 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}
 T_a &= 0,686 \text{ detik} \\
 C_u T_a &= 1,4 \times T_a \\
 &= 1,4 \times 0,686 \\
 &= 0,961 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan menggunakan rumus dan hasil analisis pada SAP2000 maka dapat menentukan nilai periode getar yang dipakai dengan syarat yaitu:

- Jika $T_{crack} > C_u T_a$, maka T_a yang digunakan $T = C_u T_a$.
- Jika $T_a < T_{crack} < C_u T_a$, maka T_a yang digunakan $T = T_{crack}$.
- Jika $T_{crack} < T_a$, maka T_a yang digunakan $T = T_a$.

Berdasarkan keterangan diatas dapat diketahui bahwa $T_a < T_c < C_u T_a$ sehingga nilai periode yang digunakan adalah 0,870 detik.

23. Koefisien respon seismik (C_s)

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 koefisien respons seismic C_s harus ditentukan oleh persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 C_{s1} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,886}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
 &= 0,190 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Nilai C_{s1} tidak perlu melebihi berikut ini:

$$\begin{aligned}
 C_{s2} &= \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,886}{0,870 \left(\frac{8}{1,5}\right)} \\
 &= 0,124 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Nilai C_{s1} harus tidak kurang berikut ini:

$$\begin{aligned}
 C_{s3} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \\
 &= 0,044 \times 0,886 \times 1,5 \\
 &= 0,058 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui bahwa nilai $C_{s3} < C_{s1} > C_{s2}$, maka nilai C_s yang digunakan adalah sebesar 0,124 g.

24. Berat bangunan (W)

Berat total bangunan merupakan beban mati yang terdiri dari berat material setiap elemen struktur dan beban hidup yang direncanakan sesuai dengan acuan SNI 1727:2020. Berat total bangunan tiap model hasil dari *output* SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 5.52 sebagai berikut.

Tabel 5. 52 Berat Total Bangunan Model 3

Lantai	Model 3 (kN)
5	231,748
4	5101,007
3	6442,442
2	6550,687
1	7021,385
Total	25347,269
Total (SAP2000)	24853,690
Persentase (%)	1,12%

Berdasarkan tabel diatas, hasil perhitungan berat total bangunan pada model 2 antara hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan SAP2000 dapat dikatakan hampir sama. Perbedaan yang dihasilkan hanya 1,12%, maka berat bangunan yang digunakan untuk model 3 adalah 25347,269 kN.

25. Gaya geser seismic (V)

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W \\
 &= 0,124 \times 25347,269 \\
 &= 3056,523 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5.5.3 Ketidakberatiran Vertikal

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 (SNI 1726:2019).

a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan vertikal yang dapat dilihat pada Tabel 5.53 dan Tabel 5.54 sebagai berikut.

Tabel 5. 53 Kekakuan Tingkat Lunak Arah X Model 3

Tinggi (h)	F _x	V _x	U1	Δ1	K	Cek (70%K _{i+1})	Cek (80%(avgK _{i+3}))	Status
mm	kN	kN	mm	mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	
19850	1	1	0,043	0,006	157,035	0,000	0,000	Regular
17350	1	2	0,037	0,009	234,000	109,925	0,000	Regular
13150	1	3	0,029	0,010	308,008	163,800	43,970	Regular
8950	1	4	0,019	0,010	387,222	215,606	72,993	Regular
4750	1	5	0,009	0,009	587,544	271,055	130,488	Regular

Tabel 5. 54 Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y Model 3

Tinggi (h)	F _x	V _x	U2	Δ1	K	Cek (70%K _{i+1})	Cek (80%(avgK _{i+3}))	Status
mm	kN	kN	mm	mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	
19850	1	1	0,063	0,014	69,478	0,000	0,000	Regular
17350	1	2	0,048	0,010	199,980	48,635	0,000	Regular
13150	1	3	0,038	0,013	236,798	139,986	19,454	Regular
8950	1	4	0,026	0,014	282,925	165,759	50,299	Regular
4750	1	5	0,012	0,012	428,927	198,048	94,501	Regular

Dari Tabel 5.53 dan Tabel 5.54 dapat diketahui bahwa tidak terjadi ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada model 1 baik arah x maupun arah y.

b. Ketidakberaturan Berat (*Massa*)

Ketidakteraturan berat massa adalah perbandingan berat masa yang terjadi antar lantai. Batasan persentase yang terjadi antar lantai mengacu pada SNI 1726:2019 adalah tidak lebih dari 150%. Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan berat massa pada Tabel 5.55 dibawah ini.

Tabel 5. 55 Perhitungan Ketidakberaturan Massa Model 3

Lantai	W (kN)	150%Wi+1 (kN)	Status
5	231,748	0,000	Regular
4	5000,788	347,623	Regular
3	6303,031	7501,182	Regular
2	6411,277	9454,546	Regular
1	6631,840	9616,915	Regular

Dari Tabel 5.55 dapat diketahui ketidakberaturan massa struktur telah memenuhi syarat presentasi yang terjadi antar lantai tidak lebih dari 150%.

c. 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. Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan geometri vertikal pada Tabel 5.56 dan Tabel 5.57 dibawah ini.

Tabel 5. 56 Geometri Vertikal Portal Arah X Model 3

Lantai	di	di/(di+1)	Status
	m	m	
5	7,4	0,0	Regular
4	33,6	9,6	Regular
3	30,0	43,7	Regular
2	30,0	39,0	Regular
1	30,0	39,0	Regular

Tabel 5. 57 Geometri Vertikal Portal Arah Y Model 3

Lantai	di	di/(di+1)	Status
	m	m	
5	5,0	0,0	Regular
4	20,6	6,5	Regular
3	20,0	26,8	Regular
2	20,0	26,0	Regular
1	20,0	26,0	Regular

Dari Tabel 5.56 dan Tabel 5.57 dapat diketahui ketidakberaturan geometri vertikal telah memenuhi syarat gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.

- d. Ketidakberaturan akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Vertikal

Setelah dilakukan analisis ketidakberaturan vertikal pada model 2, tidak dijumpai kolom portal yang diskontiniu dari atap hingga lantai 1.

- e. Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat

Didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65% dan 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau (SNI 1726:2019 Tabel 14). Ketidakberaturan tingkat lemah dapat dilihat pada Tabel 5.58 sebagai berikut.

Tabel 5. 58 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Model 3

Lantai	W	h	K	W.h ^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
	kN	m				kN		
5	231,75	19,85	1,185	7998,12	0,019	0,019	0,000	
4	5000,79	17,35	1,185	147139,05	0,353	0,372	19,397	Regular
3	6303,03	13,15	1,185	133531,72	0,320	0,693	1,861	Regular
2	6411,28	8,95	1,185	86088,80	0,207	0,899	1,298	Regular
1	6631,84	4,75	1,185	42032,12	0,101	1,000	1,112	Regular
Total	24578,7			416789,81	1,00			

Dari Tabel 5.58 dapat diketahui tidak terjadi ketidakberaturan tingkat lemah dan telah memenuhi syarat kekuatan lateral suatu tingkat tidak kurang dari 65% dan 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya.

5.5.4 Ketidakberaturan Horizontal

Tabel 13 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam T

a. Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi adalah perhitungan pengaruh torsi yang terjadi pada suatu bangunan untuk mengetahui bangunan merupakan bangunan yang beraturan atau tidak. Sesuai SNI 1726:2019 ketidakberaturan torsi dihitung dengan ketentuan sebagai berikut.

- 1) Tanpa ketidakberaturan torsi apabila $\delta_{max} < 1,2 \delta_{avg}$
- 2) Ketidakberaturan torsi 1a apabila $1,2 \delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq 1,4 \delta_{avg}$
- 3) Ketidakberaturan torsi 1b apabila $\delta_{max} > 1,4 \delta_{avg}$

Hasil perhitungan pengaruh torsi arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel 5.59 dan Tabel 5.60 sebagai berikut.

Tabel 5. 59 Hasil Perhitungan Torsi Arah X Model 3

Story	Elevasi (m)	δA (m)	δB (m)	Δ_{avg} (m)	Δ_{max} (m)	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Status
4	17,35	0,0217	0,0233	0,0054	0,0055	1,0243	Reguler
3	13,15	0,0162	0,0181	0,0062	0,0062	1,0080	Reguler
2	8,95	0,0101	0,0118	0,0063	0,0066	1,0578	Reguler
1	4,75	0,0042	0,0052	0,0047	0,0052	1,1101	Reguler

Tabel 5. 60 Hasil Perhitungan Torsi Arah Y Model 3

Story	Elevasi (m)	δA (m)	δB (m)	Δ_{avg} (m)	Δ_{max} (m)	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Status
4	17,35	0,0359	0,0224	0,0061	0,0065	1,0635	Reguler
3	13,15	0,0295	0,0167	0,0080	0,0095	1,1965	Reguler
2	8,95	0,0199	0,0103	0,0093	0,0111	1,1889	Reguler
1	4,75	0,0089	0,0042	0,0075	0,0089	1,1867	Reguler

Berdasarkan hasil perhitungan torsi pada arah x dan arah y menunjukkan bahwa tidak terjadi torsi pada model 3.

b. Ketidakberaturan Sudut Dalam

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 (SNI 1726:2019 Tabel 13). Perhitungan ketidakberaturan sudut dalam adalah sebagai berikut:

3) Arah X

$$15\% \times L_x = 15\% \times 30 \\ = 4,5 \text{ m}$$

$$\frac{L_x}{P_x} = \frac{30}{5,4} = 5,6 \text{ m} > 4,5 \text{ m (OKE)}$$

4) Arah Y

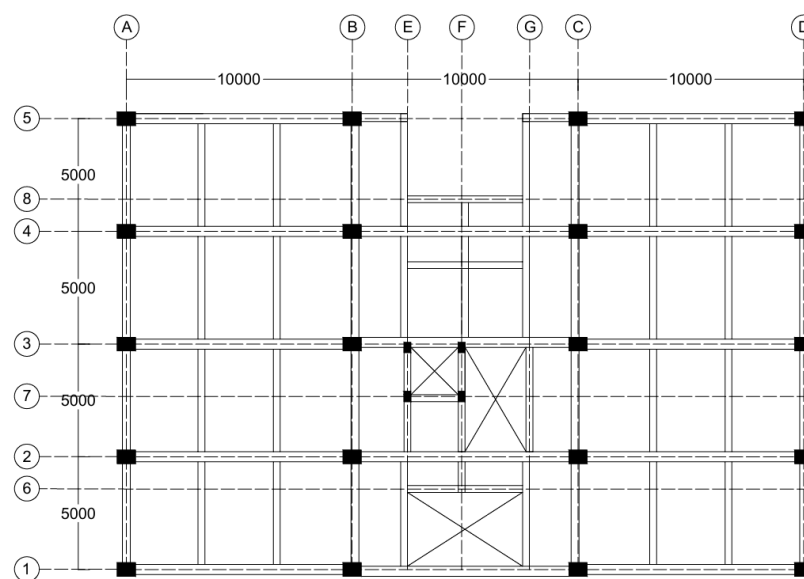
$$15\% \times L_y = 15\% \times 20 \\ = 3 \text{ m}$$

$$\frac{Lx}{Px} = \frac{20}{3,6} = 5,6 \text{ m} > 3 \text{ m (OKE)}$$

Berdasarkan perhitungan diatas menunjukkan bahwa pada arah X dan arah Y model 2 tidak memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

c. 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 (SNI 1726:2019 Tabel 13). Perhitungan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma adalah sebagai berikut.



Gambar 5. 63 Denah Model 3

2. Luas diafragma

Berikut merupakan tabel perhitungan luas daerah diagram bruto tertutup dan terbuka yang dapat dilihat pada Tabel 5.61 dan Tabel 5.62 sebagai berikut.

Tabel 5. 61 Daerah Diafragma Bruto Tertutup Model 3

No	Grid	Grid	Dimensi Arah X (m)	Dimensi Arah Y (m)	Luas (m ²)
1	A-B	1-5	10	20	200
2	B-C	1-4	10	15	150
3	C-D	1-5	10	20	200
4	B-E	4-5	2,3	5	11,5
5	E-G	4-8	5,4	1,425	7.695
6	G-C	4-5	2,3	5	11,5
Total					580.695

Tabel 5. 62 Daerah Diafragma Bruto Terbuka Model 3

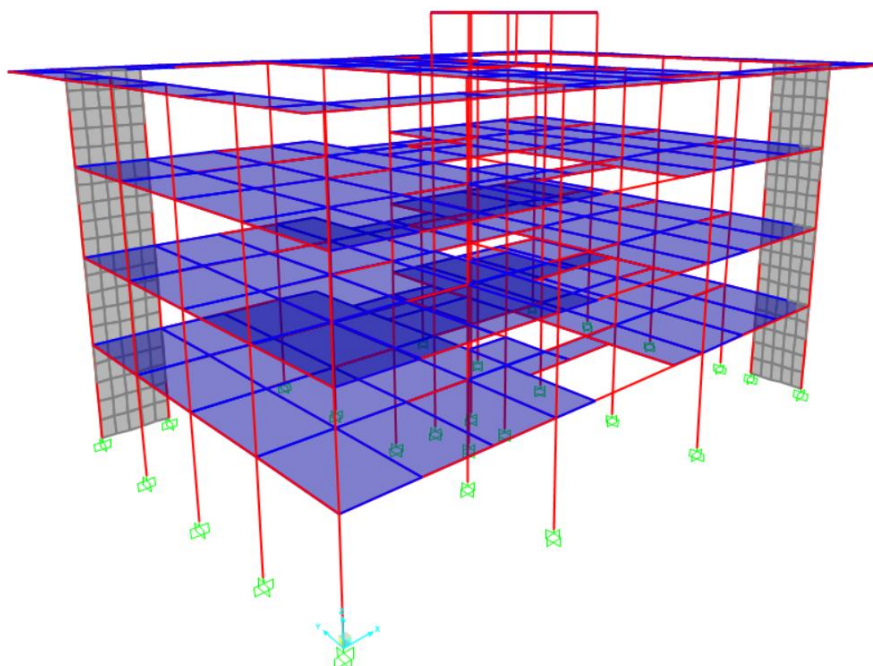
No	Grid	Grid	Dimensi Arah X (m)	Dimensi Arah Y (m)	Luas (m ²)
1	B-C	1-6	5,4	3,575	19.305
2	B-C	2-3	3	5	15
3	C-D	1-5	2,4	2,35	5.64
Total					39.945

$$\frac{\text{Luas Diagram Bruto Terbuka}}{\text{Luas Diagram Bruto Tertutup}} \times 100\% = \frac{39,945}{580,695} \times 100\% = 6,879\% < 50\% \text{ (OKE)}$$

Dari perhitungan diatas menunjukkan bahwa tidak terdapat ketidakberaturan diskontinuitas diafragma pada model 2.

d. Ketidakberaturan akibat Pergeseran Tegak Lurus terhadap Bidang

Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada model 2 telah memenuhi syarat karena tidak terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.64 Sebagai berikut.



Gambar 5. 64 Pemodelan Gedung Redesain dengan Menambah Dinding Geser (Model 3)

e. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik (SNI 1726:2019 tabel 13). Pada model 2 tidak terdapat ketidakberaturan sistem non paralel karena semua elemen vertikal pemikul gaya lateral paralel terhadap sumbu ortogonal.

5.5.5 Rekapitulasi Ketidakberaturan

Setelah dilakukan pengecekan ketidakberaturan pada model 2. Berikut merupakan tabel rekapitulasi dari ketidakberaturan vertikal dan ketidakberaturan horizontal yang dapat dilihat pake Tabel 5.63 dibawah ini.

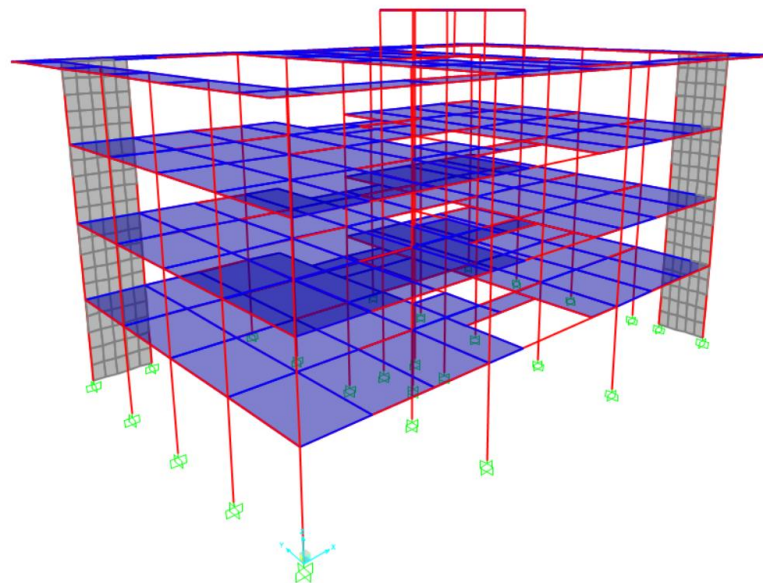
Tabel 5. 63 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal dan Horizontal Model 3

Type	Vertikal	Type	Horizontal
1	Regular	1	Reguler
2	Regular	2	Reguler
3	Regular	3	Reguler
4	Reguler	4	Reguler
5	Regular	5	Reguler

Dari Tabel 5.63 dapat diketahui bahwa pada model 3 tidak terdapat ketidakberaturan baik vertikal maupun horizontal.

5.5.6 Pengecekan Hasil Analisis

Pengecekan hasil analisis struktur model 3 (Gedung Redesain dengan Menambah Dinding Geser) pada penelitian ini terdiri dari kontrol gaya geser dasar (*base shear*) struktur, simpangan antar lantai, *displacement* dan P-Delta. Pemodelan eksisting gedung Laboratorium Riset dapat dilihat pada Gambar 5.65 dibawah ini.

**Gambar 5. 65 Model 3 (Gedung Redesain dengan Menambah Dinding Geser)**

1. Kontrol gaya geser dasar (*base shear*) struktur

Gaya geser dasar merupakan kombinasi respon untuk gaya geser dasar hasil analisis SAP2000. Jika hasil gaya geser dasar dinamik kurang dari 100% gaya geser statik pada struktur maka perlu skala baru untuk memenuhi syarat yang mengacu pada SNI 1726:2019. Perhitungan gaya geser dasar pada model 3 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ (trial 1)} &= 3056,523 \text{ kN} \\
 100\% V_s \text{ (trial 1)} &= 100\% \times 3056,523 \\
 &= 3056,523 \text{ kN} \\
 \text{Gaya geser arah x (trial 1)} &= V_d = 100\% V_s \\
 &= 2714,217 \text{ kN} \neq 3056,523 \text{ kN (perlu skala)} \\
 \text{Skala baru} &= \frac{100\% V_s}{V_d} \\
 &= \frac{3056,523}{2714,217} \\
 &= 1,126
 \end{aligned}$$

Dilakukan perhitungan trial 2 untuk memenuhi syarat yang ditentukan seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ (trial 2)} &= 3056,523 \text{ kN} \\
 100\% V_s \text{ (trial 2)} &= 100\% \times 3056,523 \\
 &= 3056,523 \text{ kN} \\
 \text{Gaya geser arah x (trial 2)} &= V_d = 100\% V_s \\
 &= 3056,523 \text{ kN} = 3056,523 \text{ kN (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka syarat gaya geser dasar struktur memenuhi syarat. Gaya geser yang dihasilkan untuk model 2 dapat dilihat pada Tabel 5.64 sebagai berikut.

Tabel 5. 64 Gaya Geser Dasar (Base Shear) Model 3

Perhitungan		Model 3	
		Arah X (kN)	Arah Y (kN)
Trial 1	100% V_{statik}	3056,523	3056,523
	V_{dinamik}	2714,217	1981,822
	Keterangan	Perlu skala	Perlu skala
Trial 2	100% V_{statik}	3056,523	3056,523
	V_{dinamik}	3056,523	3056,523
	Keterangan	Memenuhi	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.64 dapat diketahui bahwa gaya geser dasar (*base shear*) pada model 3 sudah memenuhi persyaratan yaitu $100\% V_{\text{statik}} \leq V_{\text{dinamik}}$.

2. Simpangan antar lantai

Simpangan antar lantai adalah perpindahan antara dua lantai yang terjadi diakibatkan adanya gaya lateral pada sebuah bangunan. Menurut SNI 1726:2019 simpangan antar lantai (Δ) yang terjadi pada sebuah bangunan tidak boleh melebihi simpangan ijin yang sudah diperhitungkan agar tidak terjadi kerusakan bangunan saat ada gempa. Pada penelitian kali ini bangunan yang digunakan adalah bangunan apartemen yang termasuk dalam kategori resiko ke IV berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.1.2. Perhitungan simpangan antar lantai pada gedung apartemen penelitian ini adalah sebagai berikut.

$$h_{sx} = 2,5 \text{ m}$$

$$C_d = 5,5$$

$$\text{Faktor Scala} = 1,126$$

$$\delta e_5 = 0,0205 \text{ m}$$

$$\delta e_4 = 0,0195 \text{ m}$$

$$I_e = 1,5$$

$$\begin{aligned} \delta_5 &= \delta e_5 \times \text{Faktor scala} \times C_d / I_e \\ &= 0,0205 \times 1,126 \times 5,5 / 1,5 \\ &= 0,0848 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\delta_4 = \delta e_4 \times \text{Faktor scala} \times C_d / I_e$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0195 \times 1,126 \times 5,5 / 1,5 \\
 &= 0,0806 \text{ m} \\
 \Delta &= \delta_5 - \delta_4 \\
 &= 0,0848 - 0,0806 \\
 &= 0,0042 \\
 \Delta a &= 0,01 \times h_{nx} \\
 &= 0,01 \times 2,5 \\
 &= 0,025 \text{ m} \\
 \Delta a / \rho &= 0,025 / 1,0 \\
 &= 0,025 \text{ m} \\
 \text{Didapatkan } \Delta_5 &= 0,0042 \text{ m} < 0,0250 \text{ m} \\
 &= \Delta_5 < \Delta a \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Untuk simpangan antar lantai pada lantai lainnya dihitung menggunakan rumus dan cara yang sama. Rekap hasil perhitungan antar lantai arah x dan arah y ditunjukkan pada Tabel 5.65 dan Tabel 5.66 dibawah ini.

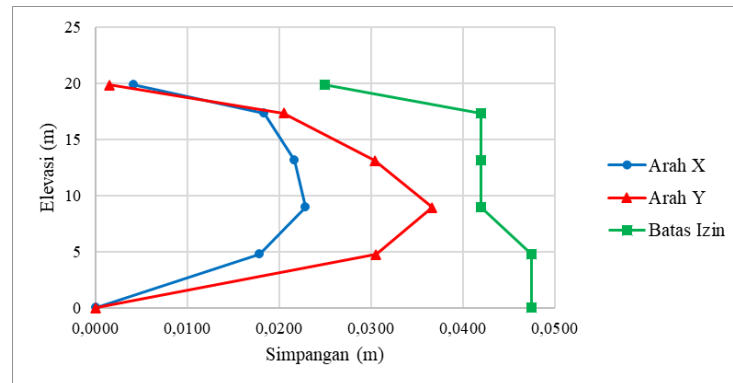
Tabel 5. 65 Simpangan Antar Lantai Arah X Model 3

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi (m)	δ_e (m)	δ (m)	Δ (m)	Δ Izin (m)	Kontrol $\Delta < \Delta a$
5	19,85	2,5	0,0205	0,0848	0,0042	0,0250	Aman
4	17,35	4,2	0,0195	0,0806	0,0184	0,0420	Aman
3	13,15	4,2	0,0151	0,0623	0,0216	0,0420	Aman
2	8,95	4,2	0,0098	0,0407	0,0228	0,0420	Aman
1	4,75	4,75	0,0043	0,0178	0,0178	0,0475	Aman

Tabel 5. 66 Simpangan Antar Lantai Arah Y Model 3

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi (m)	δ_e (m)	δ (m)	Δ (m)	Δ Izin (m)	Kontrol $\Delta < \Delta a$
5	19,85	2,5	0,0211	0,1195	0,0015	0,0250	Aman
4	17,35	4,2	0,0209	0,1180	0,0205	0,0420	Aman
3	13,15	4,2	0,0173	0,0976	0,0304	0,0420	Aman
2	8,95	4,2	0,0119	0,0672	0,0367	0,0420	Aman
1	4,75	4,75	0,0054	0,0305	0,0305	0,0475	Aman

Dari Tabel 5.65 dan Tabel 5.66 dapat diketahui bahwa simpangan antar lantai model 3 telah memenuhi syarat, sehingga didapatkan grafik simpangan antar lantai pada Gambar 5.66 sebagai berikut.



Gambar 5. 66 Grafik Simpangan Antar Lantai Model 3

Dari gambar diatas, dapat diketahui simpangan antar lantai baik arah x maupun arah y semuanya memenuhi syarat dan tidak melewati batas izin.

3. Kontrol pengaruh P-delta

Kontrol pengaruh P-delta terhadap struktur mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 dimana pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk perhitungan apabila koefisien stabilitas (θ) sama dengan atau kurang dari 0,10. Nilai P_x , V_x dan V_y didapatkan dari analisis SAP2000 dimana V_x pada gambar 5.67, V_y pada gambar 5.68 dan P_x pada lantai 5.69 berikut ini.

Section Cut Forces - Analysis

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Section Cut Forces - Analysis

Filter:

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	GlobalX m	GlobalY m
K Atap	Ex RS	LinRespSpec	Max	56.731	45.844	3.905	126.9794	139.966	137.637	15.02534	
K Lt 4	Ex RS	LinRespSpec	Max	951.899	589.727	24.043	2803.8047	4230.1733	5106.9357	15.24495	
K Lt 3	Ex RS	LinRespSpec	Max	1792.349	1073.459	26.795	7259.5868	11585.632	8981.1956	15.24495	
K Lt 2	Ex RS	LinRespSpec	Max	2395.381	1409.916	34.136	12953.0825	21296.9265	11725.5981	15.24495	
K Lt 1	Ex RS	LinRespSpec	Max	2714.209	1589.2	34.826	20189.5908	33749.5836	13217.6975	15.13526	

Record: << < 5 > >> of 5

Add Tables... Done

Gambar 5. 67 Nilai Vx Model 3

Section Cut Forces - Analysis

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Section Cut Forces - Analysis

Filter:

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	GlobalX m	GlobalY m
K Atap	Ey RS	LinRespSpec	Max	35.709	45.101	3.227	119.3449	87.78	84.8523	15.02534	
K Lt 4	Ey RS	LinRespSpec	Max	573.196	680.026	10.585	3155.1112	2573.3721	7053.847	15.24495	
K Lt 3	Ey RS	LinRespSpec	Max	1043.204	1285.65	13.885	6457.2434	6815.6878	12490.5995	15.24495	
K Lt 2	Ey RS	LinRespSpec	Max	1390.522	1729.003	16.354	15465.6945	12357.4763	16350.8033	15.24495	
K Lt 1	Ey RS	LinRespSpec	Max	1589.2	1981.823	16.801	24516.4531	19529.8168	18340.8823	15.13526	

Record: << < 5 > >> of 5

Add Tables... Done

Gambar 5. 68 Nilai Vy Model 3

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	GlobalX m	GlobalY m
KAtap	Px	Combination	-4.764E-12	1.943E-12	314.483	-637.7588	-125.8879	-5.399E-11	15.02534	9.86507
K Lt 4	Px	Combination	7.204E-12	1.624E-12	5543.708	-96.5789	1386.3227	-2.156E-10	15.24495	9.92853
K Lt 3	Px	Combination	9.525E-12	1.417E-12	13538.852	521.2666	3560.5309	-2.358E-10	15.24495	9.92853
K Lt 2	Px	Combination	1.079E-11	-4.41E-13	22036.57	1101.1253	5882.788	-4.673E-10	15.24495	9.92853
K Lt 1	Px	Combination	1.108E-11	-1.897E-12	30694.922	-4161.3187	4870.3299	-4.847E-10	15.13526	10.12206

Gambar 5. 69 Nilai Px Model 3

Perhitungan nilai koefisien stabilitas (θ) pada lantai 1 adalah sebagai berikut.

$$\theta = \frac{Px \times \Delta \times l_e}{Vx \times h_{nx} \times Cd}$$

$$= \frac{30694,922 \times 0,0178 \times 1,5}{2714,209 \times 4,75 \times 5,5}$$

$$\theta = 0,0116$$

Nilai koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi dari nilai θ_{max} yang telah ditentukan. Perhitungan θ_{max} adalah sebagai berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \times Cd} \leq 0,25$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \times Cd} \leq 0,25$$

$$\theta_{max} = 0,0909$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa Nilai koefisien stabilitas (θ) lebih kecil dari θ_{max} , sehingga P-delta pada lantai 1 arah X telah memenuhi syarat. Kontrol pengaruh P-delta pada model 3 untuk arah X dan Arah Y dapat dilihat pada Tabel 5.67 dan Tabel 5.68 seperti berikut.

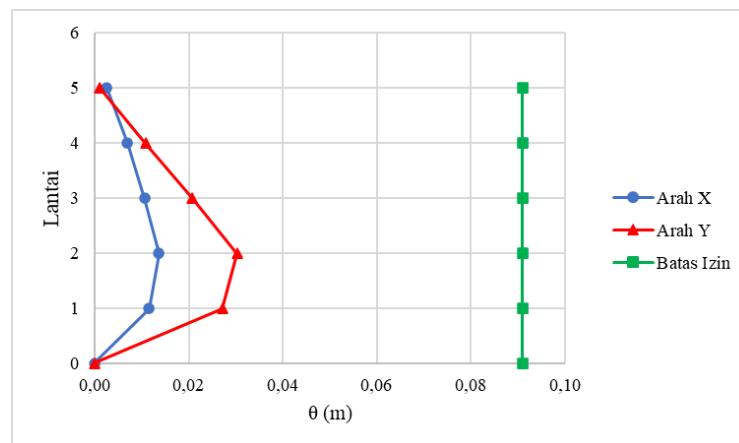
Tabel 5. 67 P-Delta Arah X Model 3

Lantai	Px (kN)	Δ (m)	Ie	Vx	hnx	Cd	θ	θ_{max}	Status
5	314,483	0,0042	1,5	56,731	2,5	5,5	0,0025	0,0909	Aman
4	5543,708	0,0184	1,5	951,899	4,2	5,5	0,0069	0,0909	Aman
3	13538,852	0,0216	1,5	1792,349	4,2	5,5	0,0106	0,0909	Aman
2	22036,570	0,0228	1,5	2395,381	4,2	5,5	0,0136	0,0909	Aman
1	30694,922	0,0178	1,5	2714,209	4,75	5,5	0,0116	0,0909	Aman

Tabel 5. 68 P-Delta Arah Y Model 3

Lantai	Py (kN)	Δ (m)	Ie	Vy	hny	Cd	θ	θ_{max}	Status
5	314,483	0,0015	1,5	45,101	2,5	5,5	0,0011	0,0909	Aman
4	5543,708	0,0205	1,5	680,026	4,2	5,5	0,0108	0,0909	Aman
3	13538,852	0,0304	1,5	1285,65	4,2	5,5	0,0208	0,0909	Aman
2	22036,570	0,0367	1,5	1729,003	4,2	5,5	0,0303	0,0909	Aman
1	30694,922	0,0305	1,5	1981,823	4,75	5,5	0,0272	0,0909	Aman

Berdasarkan tabel diatas diperoleh grafik kontrol arah X dan Arah Y yang dapat dilihat pada Gambar 5.70 berikut ini.

**Gambar 5. 70 Grafik Kontrol P-Delta Model 3**

Dari gambar 5.70 dapat diketahui bahwa P-delta untuk model 3 baik arah x maupun arah y sudah memenuhi syarat dan tidak melebihi batas izin.

4. Cek sistem rangka memikul 25% gaya seismic

Mengacu pada SNI 1726-2019 sistem pemikul gaya seismic mempunyai izin yang berbeda-beda. Untuk bangunan uji termasuk sistem rangka ganda khusus yang minimal memikul gaya seismic sebesar 25%. SNI membatasi 25% agar jika kurang dari itu maka sistem ganda (*shearwall*) terlalu banyak, sehingga pembangunan tidak efisien dan tidak ekonomis. Berikut merupakan hasil analisis menggunakan SAP2000 yang dapat dilihat pada Tabel 5.69 dibawah ini.

Tabel 5. 69 Cek Bangunan Memikul 25% Gaya Seismik pada Model 3

Perhitungan	Fx		Fy	
	Frame	SW	Frame	SW
Total (kN)	1289.122	1510.391	1491.109	826.508
Total Keseluruhan (kN)	2799.513		2317.617	
Persentase (%)	46%	54%	64%	36%
Cek	OKE		OKE	

Berdasarkan hasil analisis diatas maka model 3 baik arah x dan arah y bangunan telah memenuhi syarat minimal memikul 25% gaya seismic.

5.5.7 Redesain Struktur Eksisting

Proses redesain meliputi perubahan dimensi penampang termasuk juga perhitungan penulangan dan detail gambar hasil. Proses redesain dilakukan untuk mengecek signifikansi pengecilan dimensi akibat penambahan dinding geser.

1. Penulangan Pelat

Perhitungan desain pelat mengacu pada SNI 2847:2019. Berikut merupakan penjabaran perhitungan pelat yaitu pada pelat A1.

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

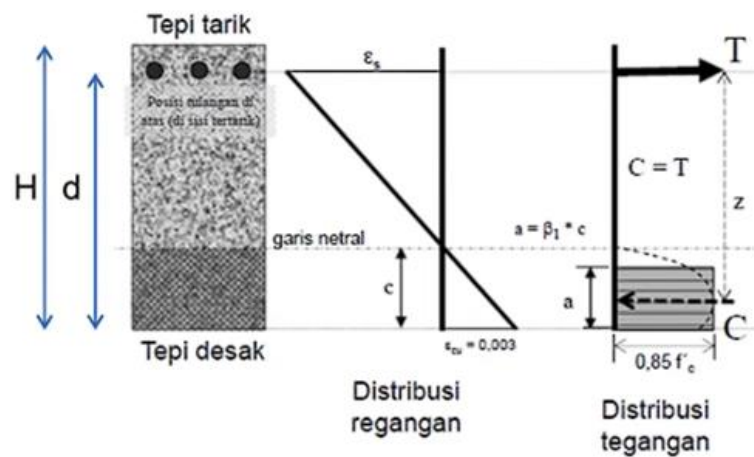
$$f_y (d > 12 \text{ mm}) = 400 \text{ MPa}$$

$$f_y (d < 12 \text{ mm}) = 240 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{cu} &= 0,003 \\
d \text{ pokok} &= 10 \text{ mm} \\
d \text{ susut} &= 10 \text{ mm} \\
h \text{ pelat} &= 120 \text{ mm} \\
S_b &= 20 \text{ mm} \\
d_s &= S_b + (0,5 \times d \text{ pokok}) \\
&= 20 + (0,5 \times 10) \\
&= 25 \text{ mm} \\
L_y &= 5000 \text{ mm} \\
&= 5 \text{ m} \\
L_x &= 3333 \text{ mm} \\
&= 3,333 \text{ m} \\
\frac{L_y}{L_x} &= \frac{5000}{3333} \\
&= 1,5 \\
L_{ny} &= L_y - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar balok tumpuan atas}\right) - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar balok tumpuan bawah}\right) \\
&= 5000 - \left(\frac{1}{2} \times B_1\right) - \left(\frac{1}{2} \times B_1\right) \\
&= 5000 - \left(\frac{1}{2} \times 450\right) - \left(\frac{1}{2} \times 450\right) \\
&= 4550 \text{ mm} \\
L_{nx} &= L_x - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar balok tumpuan kanan}\right) - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar balok tumpuan kiri}\right) \\
&= 3333 - \left(\frac{1}{2} \times B_2\right) - \left(\frac{1}{2} \times B_3\right) \\
&= 3333 - \left(\frac{1}{2} \times 350\right) - \left(\frac{1}{2} \times 300\right) \\
&= 3008 \text{ mm} \\
L_n \text{ terpendek} &= 3008 \text{ mm} \\
&= 3,008 \text{ m} \\
Q_u &= 1,2 Q_d + 1,6 Q_l \\
&= (1,2 \times 1,442) + (1,6 \times 4,79) \\
&= 9,371 \text{ kN/m}^2 \\
M_{tx} (-) &= -0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times \text{koefisien} \\
&= -0,001 \times 9,371 \times (3,333)^2 \times 76
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -7,912 \text{ kNm} \\
 M_{lx} (+) &= 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times \text{koefisien} \\
 &= 0,001 \times 9,371 \times (3,333)^2 \times 36 \\
 &= 3,748 \text{ kNm} \\
 M_{ty} (-) &= -0,001 \times Q_u \times L_y^2 \times \text{koefisien} \\
 &= -0,001 \times 9,371 \times (5)^2 \times 57 \\
 &= -13,354 \text{ kNm} \\
 M_{lx} (+) &= 0,001 \times Q_u \times L_y^2 \times \text{koefisien} \\
 &= 0,001 \times 9,371 \times (5)^2 \times 17 \\
 &= 3,983 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



Gambar 5. 71 Distribusi Regangan dan Tegangan

a. Pelat A1 Tumpuan Arah X

$$M_{tx} = 7,912 \text{ kNm}$$

$$\emptyset = 0,9$$

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\emptyset}$$

$$= \frac{7,912}{0,9}$$

$$= 8,791 \text{ kNm}$$

$$= 8790728,504 \text{ Nmm}$$

b = 1000 mm

$$d = 95 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi}$$

$$(0,85 \times f_c' \times a \times B) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = \frac{Mu}{\phi}$$

$$(0,85 \times f_c' \times B \times d) a - \left(\frac{0,85 \times f_c' \times B}{2}\right) a^2 = \frac{Mu}{\phi}$$

$$\left(\frac{0,85 \times f_c' \times B}{2}\right) a^2 - (0,85 \times f_c' \times B \times d) a + \frac{Mu}{\phi} = 0$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{0,85 \times f_c' \times B}{2} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 1000}{2} \\ &= 10625 a^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= -0,85 \times f_c' \times B \times d \\ &= -0,85 \times 25 \times 1000 \times 95 \\ &= -2018750 a \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{8790728,504}{0,9} \\ &= 9243958,141 \end{aligned}$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a_1 = \frac{-(-2018750) + \sqrt{(-2018750)^2 - 4(10625)(9243958,141)}}{2(10625)}$$

$$= 185,305 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{-(-2018750) - \sqrt{(-2018750)^2 - 4(10625)(9243958,141)}}{2(10625)}$$

$$= 4,695 \text{ mm}$$

$$\text{pakai} = 4,695 \text{ mm}$$

mencari As terpasang dengan persamaan $T_s = C_c$

$$\begin{aligned} \text{As tulangan pokok} &= \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 4,695 \times 1000}{400} \\ &= 249,426 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min 1} &= 0,002 \times B \times h \text{ pelat} \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As pakai} = 249,426 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{As tulangan} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 102^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{\text{As tul} \times b}{\text{As pakai}} \\ &= \frac{78,540 \times 1000}{249,426} \\ &= 314,883 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s \text{ max 1} &= 2 \times h \text{ pelat} \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm (OKE)} \end{aligned}$$

$$s \text{ max 2} = 450 \text{ mm (OKE)}$$

Didapatkan penulangan pokok D10 – 200

$$\begin{aligned} \text{As tps} &= \frac{B \times \text{As tulangan pokok}}{s \text{ pakai}} \\ &= \frac{1000 \times 78,540}{200} \\ &= 392,699 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a \text{ baru} &= \frac{\text{As tps} \times f_y}{0,85 \times f_c \times B} \\ &= \frac{392,699 \times 400}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 7,392 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Mn baru} = C_c \times z \text{ atau } T_s \times z$$

$$\begin{aligned} \text{Mn baru} &= T_s \times z \\ &= (\text{As} \times f_y) \times (d - a/2) \\ &= (392,699 \times 400) \times (95 - (7,392/2)) \\ &= 14342000,14 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Mn baru} = 14,342 \text{ kNm} > \text{Mu} = 8,320 \text{ kNm (OKE)}$$

$$\text{As susut} = 0,002 \times b \times h$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 120$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan} = 0,5 \times \pi \times d^2$$

$$= 0,5 \times \pi \times 102$$

$$= 78,540 \text{ mm}^2$$

$$s \text{ susut} = \frac{\text{As tul} \times b}{\text{As pakai}}$$

$$= \frac{78,540 \times 1000}{240}$$

$$= 327,249 \text{ mm}$$

$$s \text{ susut pakai} = 200 \text{ mm}$$

Didapatkan penulangan susut D10 – 200

b. Pelat A1 Lapangan Arah X

$$M_{lx} = 3,941 \text{ kNm}$$

$$\emptyset = 0,9$$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\emptyset}$$

$$= \frac{3,941}{0,9}$$

$$= 4,379 \text{ kNm}$$

$$= 4378717,014 \text{ Nmm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 95 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\emptyset}$$

$$(0,85 \times f_c' \times a \times B) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = \frac{Mu}{\emptyset}$$

$$(0,85 \times f_c' \times B \times d) a - \left(\frac{0,85 \times f_c' \times B}{2}\right) a^2 = \frac{Mu}{\emptyset}$$

$$\left(\frac{0,85 \times f_c' \times B}{2}\right) a^2 - (0,85 \times f_c' \times B \times d) a + \frac{Mu}{\emptyset} = 0$$

$$A = \frac{0,85 \times f_c' \times B}{2}$$

$$= \frac{0,85 \times 25 \times 1000}{2}$$

$$= 10625 a^2$$

$$\begin{aligned}
 B &= -0,85 \times f_c' \times B \times d \\
 &= -0,85 \times 25 \times 1000 \times 95 \\
 &= -2018750 \text{ a}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{3940845,313}{0,9} \\
 &= 4378717,014
 \end{aligned}$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{-(-2018750) + \sqrt{(-2018750)^2 - 4(10625)(4378717,014)}}{2(10625)} \\
 &= 187,806 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_2 &= \frac{-(-2018750) - \sqrt{(-2018750)^2 - 4(10625)(4378717,014)}}{2(10625)} \\
 &= 2,194 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{apakai} = 2,194 \text{ mm}$$

mencari As terpasang dengan persamaan $T_s = C_c$

$$\begin{aligned}
 \text{As tulangan pokok} &= \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 25 \times 2,194 \times 1000}{400} \\
 &= 116,576 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min 1} &= 0,002 \times B \times h \text{ pelat} \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\
 &= 240 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{As pakai} = 240 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{As tulangan} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\
 &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \\
 &= 78,540 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{As \text{ tul} \times b}{As \text{ pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 1000}{240} \\
 &= 327,249 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$s \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s \text{ max } 1 &= 2 \times h \text{ pelat} \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm (OKE)} \end{aligned}$$

$$s \text{ max } 2 = 450 \text{ mm (OKE)}$$

Didapatkan penulangan pokok D10 – 200

$$\begin{aligned} As \text{ tps} &= \frac{B \times As \text{ tulangan pokok}}{Spakai} \\ &= \frac{1000 \times 78,540}{200} \\ &= 392,699 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a \text{ baru} &= \frac{As \text{ tps} \times fy}{0,85 \times fc' \times B} \\ &= \frac{392,699 \times 400}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 7,392 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Mn \text{ baru} = Cc \times z \text{ atau } Ts \times z$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ baru} &= Ts \times z \\ &= (As \times fy) \times (d-a/2) \\ &= (392,699 \times 400) \times (95-(7,392/2)) \\ &= 14342000,14 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Mn \text{ baru} = 14,342 \text{ kNm} > Mu = 3,941 \text{ kNm (OKE)}$$

$$\begin{aligned} As \text{ susut} &= 0,002 \times b \times h \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As \text{ tulangan} &= 0,5 \times \pi \times d^2 \\ &= 0,5 \times \pi \times 10^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s \text{ susut} &= \frac{As \text{ tul} \times b}{As \text{ pakai}} \\ &= \frac{78,540 \times 1000}{240} \\ &= 327,249 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \text{ susut pakai} = 200 \text{ mm}$$

Didapatkan penulangan susut D10 – 200

c. Pelat A1 Tumpuan Arah Y

$$M_{tx} = 6,240 \text{ kNm}$$

$$\emptyset = 0,9$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{tx}}{\emptyset} \\ &= \frac{6,240}{0,9} \\ &= 6,933 \text{ kNm} \\ &= 6932968,606 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 95 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\emptyset}$$

$$(0,85 \times f_{c'} \times a \times B) \times (d - \frac{a}{2}) = \frac{Mu}{\emptyset}$$

$$(0,85 \times f_{c'} \times B \times d) a - \left(\frac{0,85 \times f_{c'} \times B}{2}\right) a^2 = \frac{Mu}{\emptyset}$$

$$\left(\frac{0,85 \times f_{c'} \times B}{2}\right) a^2 - (0,85 \times f_{c'} \times B \times d) a + \frac{Mu}{\emptyset} = 0$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{0,85 \times f_{c'} \times B}{2} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 1000}{2} \\ &= 10625 a^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= -0,85 \times f_{c'} \times B \times d \\ &= -0,85 \times 25 \times 1000 \times 95 \\ &= -2018750 a \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{Mu}{\emptyset} \\ &= \frac{6239671,745}{0,9} \\ &= 6932968,606 \end{aligned}$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a_1 = \frac{-(-2018750) + \sqrt{(-2018750)^2 - 4(10625)(6932968,606)}}{2(10625)}$$

$$= 186,501 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{-(-2018750) - \sqrt{(-2018750)^2 - 4(10625)(6932968,606)}}{2(10625)}$$

$$= 3,499 \text{ mm}$$

$$\text{apakai} = 3,499 \text{ mm}$$

mencari As terpasang dengan persamaan $T_s = C_c$

$$\begin{aligned} \text{As tulangan pokok} &= \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 3,499 \times 1000}{400} \\ &= 185,869 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min 1} &= 0,002 \times B \times h \text{ pelat} \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As pakai} = 240 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{As tulangan} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 102^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{\text{As tul} \times b}{\text{As pakai}} \\ &= \frac{78,540 \times 1000}{240} \\ &= 327,249 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s \text{ max 1} &= 2 \times h \text{ pelat} \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm (OKE)} \end{aligned}$$

$$s \text{ max 2} = 450 \text{ mm (OKE)}$$

Didapatkan penulangan pokok D10 – 200

$$\begin{aligned} \text{As tps} &= \frac{B \times \text{As tulangan pokok}}{s_{pakai}} \\ &= \frac{1000 \times 78,540}{200} \\ &= 392,699 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a \text{ baru} &= \frac{\text{As tps} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times B} \\ &= \frac{392,699 \times 400}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 7,392 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ baru} &= C_c \times z \text{ atau } T_s \times z \\
 M_n \text{ baru} &= T_s \times z \\
 &= (A_s \times f_y) \times (d - a/2) \\
 &= (392,699 \times 400) \times (95 - (7,392/2)) \\
 &= 14342000,14 \text{ Nmm} \\
 &= 14,342 \text{ kNm} \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 14,342 \\
 &= 12,908 \text{ kNm} > M_u = 6,240 \text{ kNm (OKE)} \\
 A_s \text{ susut} &= 0,002 \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\
 &= 240 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ tulangan} &= 0,5 \times \pi \times d^2 \\
 &= 0,5 \times \pi \times 102^2 \\
 &= 78,540 \text{ mm}^2 \\
 s \text{ susut} &= \frac{A_s \text{ tul} \times b}{A_s \text{ pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 1000}{240} \\
 &= 327,249 \text{ mm} \\
 s \text{ susut pakai} &= 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Didapatkan penulangan susut D10 – 200

d. Pelat A1 Lapangan Arah Y

$$\begin{aligned}
 M_{ly} &= 1,861 \text{ kNm} \\
 \phi &= 0,9 \\
 M_n &= \frac{M_{ly}}{\phi} \\
 &= \frac{1,861}{0,9} \\
 &= 2,068 \text{ kNm} \\
 &= 2067727,479 \text{ Nmm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 d &= 95 \text{ mm} \\
 M_n &= \frac{M_u}{\phi}
 \end{aligned}$$

$$(0,85 \times f_c' \times a \times B) \times (d - \frac{a}{2}) = \frac{Mu}{\phi}$$

$$(0,85 \times f_c' \times B \times d) a - \left(\frac{0,85 \times f_c' \times B}{2}\right) a^2 = \frac{Mu}{\phi}$$

$$\left(\frac{0,85 \times f_c' \times B}{2}\right) a^2 - (0,85 \times f_c' \times B \times d) a + \frac{Mu}{\phi} = 0$$

$$A = \frac{0,85 \times f_c' \times B}{2}$$

$$= \frac{0,85 \times 25 \times 1000}{2}$$

$$= 10625 a^2$$

$$B = -0,85 \times f_c' \times B \times d$$

$$= -0,85 \times 25 \times 1000 \times 95$$

$$= -2018750 a$$

$$C = \frac{Mu}{\phi}$$

$$= \frac{3940845,313}{0,9}$$

$$= 2067727,479$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a_1 = \frac{-(-2018750) + \sqrt{(-2018750)^2 - 4(10625)(2067727,479)}}{2(10625)}$$

$$= 188,970 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{-(-2018750) - \sqrt{(-2018750)^2 - 4(10625)(2067727,479)}}{2(10625)}$$

$$= 1,030 \text{ mm}$$

apakai = 1,030 mm

mencari As terpasang dengan persamaan $T_s = C_c$

$$\text{As tulangan pokok} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 25 \times 1,030 \times 1000}{400}$$

$$= 54,710 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min 1} = 0,002 \times B \times h \text{ pelat}$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 120$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} = 240 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} As \text{ tulangan} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{As \text{ tul} \times b}{As \text{ pakai}} \\ &= \frac{78,540 \times 1000}{240} \\ &= 327,249 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s \text{ max 1} &= 2 \times h \text{ pelat} \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm (OKE)} \end{aligned}$$

$$s \text{ max 2} = 450 \text{ mm (OKE)}$$

Didapatkan penulangan pokok D10 – 200

$$\begin{aligned} As \text{ tps} &= \frac{B \times As \text{ tulangan pokok}}{Spakai} \\ &= \frac{1000 \times 78,540}{200} \\ &= 392,699 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a \text{ baru} &= \frac{As \text{ tps} \times fy}{0,85 \times fc' \times B} \\ &= \frac{392,699 \times 400}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 7,392 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Mn \text{ baru} = Cc \times z \text{ atau } Ts \times z$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ baru} &= Ts \times z \\ &= (As \times fy) \times (d - a/2) \\ &= (392,699 \times 400) \times (95 - (7,392/2)) \\ &= 14342000,14 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Mn \text{ baru} = 14,342 \text{ kNm} > Mu = 1,861 \text{ kNm (OKE)}$$

$$\begin{aligned} As \text{ susut} &= 0,002 \times b \times h \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$As \text{ tulangan} = 0,5 \times \pi \times d^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,5 \times \pi \times 102 \\
 &= 78,540 \text{ mm}^2 \\
 \text{s susut} &= \frac{As \text{ tul} \times b}{As \text{ pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 1000}{240} \\
 &= 327,249 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

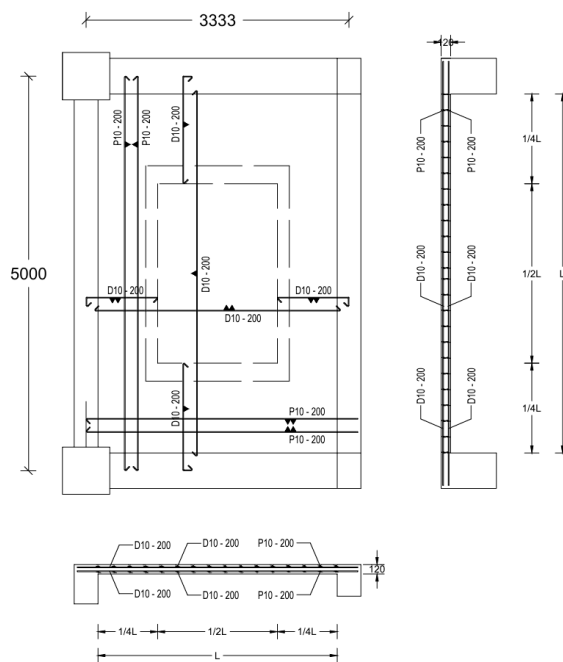
$$\text{s susut pakai} = 200 \text{ mm}$$

Didapatkan penulangan susut D10 – 200

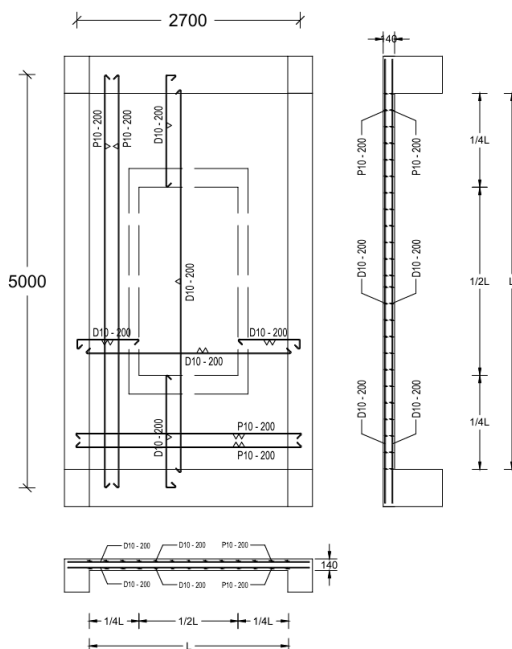
Pada perhitungan pelat A2 dan A3 menggunakan Langkah yang sama, sehingga didapatkan rekapitulasi perhitungan yang dapat dilihat pada Tabel 5.70 dan gambar penulangan pelat yang dapat dilihat pada Gambar 5.72 untuk A1, Gambar 5.73 untuk A2 serta Gambar 5.74 untuk A3 sebagai berikut.

Tabel 5. 70 Rekapitulasi Penulangan Pelat

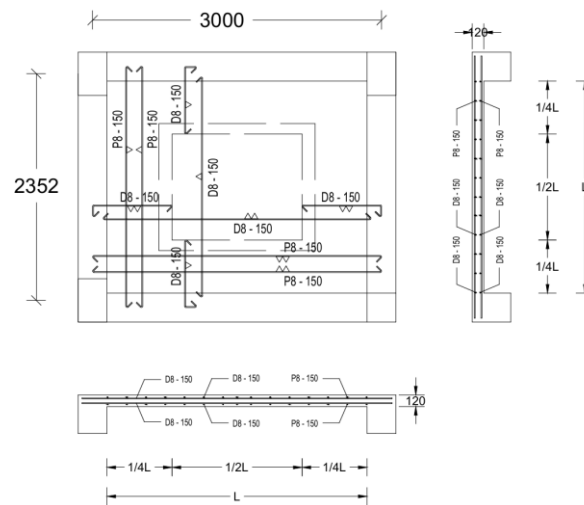
Jenis Pelat	Tebal (mm)	Tul. Tumpuan Pokok	Tul. Lapangan Pokok	Tul. Tumpuan Susut	Tul. Lapangan Susut
A1	120	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200
A2	140	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200
A3	120	P8 – 150	P8 – 150	P8 – 150	P8 – 150



Gambar 5. 72 Penulangan Pelat Lantai Tipe A1



Gambar 5. 73 Penulangan Pelat Lantai Tipe A2



Gambar 5. 74 Penulangan Pelat Lantai Tipe A3

2. Penulangan balok

Balok merupakan elemen struktur yang memiliki fungsi untuk mentransfer beban menuju kolom. Perhitungan desain balok mengacu pada SNI 2847:2020 pasal. Penjabaran perhitungan desain balok pada B7 adalah sebagai berikut.

Panjang balok (L)	= 10000 mm
Lebar balok (b)	= 1100 mm
Tinggi balok (h)	= 450 mm
Diameter tulangan pokok (\emptyset_p)	= 25 mm
Diameter tulangan sengkang (\emptyset_s)	= 10 mm
Selimut beton (S_b)	= 40 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 25 MPa
Tegangan leleh baja pokok (f_y)	= 400 MPa
Tegangan leleh baja sengkang (f_{ys})	= 240 MPa
Modulus elastisitas baja (E_s)	= 200000 MPa
Tegangan maksimum beton (ϵ_c)	= 0,003
β_1	= 0,85

a. Rekapitulasi momen balok

Momen balok diperoleh dari analisis struktur dengan bantuan *software* SAP2000. Momen yang didapatkan berupa momen tumpuan, momen

lapangan dan gaya geser. Berikut merupakan rekapitulasi momen balok yang dapat dilihat pada Tabel 5.71 sebagai berikut.

Tabel 5. 71 Rekapitulasi Momen Balok

Kode Balok	M tumpuan (kNm)		M lapangan (kNm)	
	M (-)	M (+)	M (-)	M (+)
B1	807,715	213,869	30,120	358,783
B2	381,379	270,755	195,117	191,800
B3	138,244	-	-	43,676
B4	116,040	-	-	50,693
B5	408,564	114,032	143,916	147,081
B6	161,228	2,415	115,392	22,076
B7	471,738	161,491	84,683	287,700

b. Redistribusi momen balok

Redistribusi momen merupakan suatu konsep rekayasa struktur yang digunakan untuk menyederhanakan detail tulangan terutama pada bagian tumpuan. Menurut SNI 2847:2020 pasal menjelaskan bahwa batas maksimal redistribusi momen yang diizinkan sebesar $20 \left(1 - \frac{\rho - \rho'}{\rho_o}\right)$ persen. Perhitungan redistribusi momen pada balok B1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Sigma M \text{ tumpuan} &= 807,715 + 213,869 \\ &= 1021,584 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$50\% M- = 403,858 \text{ kNm}$$

Dari Tabel 5.71 nilai M+ pada tumpuan sebesar 213,869 kNm. Pada SNI 2847:2020 pasal 18.6.3.2, Mn+ di tumpuan harus minimal 50% Mn-, maka dapat disimpulkan bahwa balok perlu redistribusi momen.

$$\% \text{ Redis Trial} = 10\%$$

$$\begin{aligned}\text{Momen Redistribusi} &= M- \times \% \text{ Redis Trial} \\ &= 807,715 \times 10\% \\ &= 80,772 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M- \text{ setelah redistribusi} = (M-) - \text{Momen Redistribusi}$$

$$\begin{aligned}
 &= 807,715 - 80,772 \\
 &= 726,944 \text{ kNm} \\
 \text{M+ setelah redistribusi} &= (\text{M+}) + \text{Momen Redistribusi} \\
 &= 213,869 + 80,772 \\
 &= 294,640 \text{ kNm} \\
 \Sigma \text{M Redistribusi} &= (\text{M-}) \text{ redistribusi} + (\text{M+}) \text{ redistribusi} \\
 &= 726,944 + 294,640 \\
 &= 1021,584 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Apabila $\Sigma \text{M Redistribusi} = \Sigma \text{M}$ sebelum Redistribusi sehingga sudah memenuhi syarat ΣM .

$$\begin{aligned}
 50\% \text{M-} &= 50\% \times 726,944 \\
 &= 363,472 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Maka M+ setelah redistribusi $< 50\% \text{M-}$ sehingga masih belum memenuhi syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{M- Desain Tumpuan} &= \text{M- Setelah Redistribusi} \\
 &= 726,944 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

M+ Desain Tumpuan bergantung pada hasil cek syarat, apabila hasil menunjukkan M+ setelah redistribusi sudah memenuhi syarat, maka M+ Desain menggunakan M+ setelah redistribusi, apabila tidak memenuhi syarat maka nilai yang digunakan adalah $50\% \text{M-}$ setelah redistribusi. Dari pengecekan syarat nilai M+ setelah redistribusi belum memenuhi syarat. Sehingga M+ setelah redistribusi digunakan sebesar 363,472 kNm.

$$\begin{aligned}
 25\% \text{ M maks} &= \text{M- Desain Tumpuan} \times 25\% \\
 &= 726,944 \times 25\% \\
 &= 181,736 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Apabila $\text{M- Desain Lapangan}$ menunjukkan $\text{M- Lapangan} \leq 25\% \text{ M maks}$ maka digunakan $\text{M- Desain Lapangan} = 25\% \text{ M maks}$. Sehingga $\text{M- Desain Lapangan}$ adalah sebesar 181,736 kNm. Sama halnya dengan $\text{M+ Desain Lapangan}$, Maka nilai $\text{M+ Desain lapangan}$ adalah sebesar 358,783 kNm. Untuk perhitungan momen redistribusi balok lainnya sama dengan

perhitungan pada balok B1 sehingga didapatkan rekapitulasi redistribusi momen yang dapat dilihat pada Tabel 5.72 sebagai berikut.

Tabel 5. 72 Rekapitulasi Momen Distribusi Balok

Kode Balok	M tumpuan (kNm)		M lapangan (kNm)	
	M (-)	M (+)	M (-)	M (+)
B1	726,944	363,472	181,736	358,783
B2	381,379	270,755	195,117	191,800
B3	-	-	-	-
B4	-	-	-	-
B5	367,707	183,854	143,916	147,081
B6	145,105	72,553	115,392	36,276
B7	424,564	212,282	106,141	287,700

c. Desain Tulangan Lentur Balok

Analisis desain tulangan lentur balok daerah tumpuan dan daerah lapangan untuk balok B7 adalah sebagai berikut.

1) Daerah Tumpuan

$$F_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= F_y/E_s \\ &= 400/200000 \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

$$M_u^- = 424,564 \text{ kNm}$$

$$M_u^+ = 212,282 \text{ kNm}$$

Asumsi : $\phi = 0,9$, maka nilai M_n yaitu :

$$\begin{aligned} M_n &= M_u^- / \phi \\ &= 424,564 / 0,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 471,738 \text{ kNm} \\
m &= F_y / (0,85 \cdot F_c') \\
&= 400 / (0,85 \cdot 25) \\
&= 18,824 \\
\rho_b &= \frac{\beta_1}{m} \cdot \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} \\
&= \frac{0,85}{18,824} \cdot \frac{0,003}{0,003 + 0,002} \\
&= 0,027 \\
R_b &= \rho_b \cdot F_y \cdot (1 - (0,5 \cdot \rho_b \cdot m)) \\
&= 0,027 \cdot 400 \cdot (1 - (0,5 \cdot 0,027 \cdot 18,824)) \\
&= 8,074 \text{ MPa} \\
R_m &= 0,75 \cdot R_b \\
&= 0,75 \cdot 8,074 \\
&= 6,055 \text{ Mpa} \\
b_{\text{perlu}} &= \left(\frac{M_n}{R_m \cdot 4} \right)^{1/3} \\
&= \left(\frac{471,738 \cdot 10^6}{6,055 \cdot 4} \right)^{1/3} \\
&= 269,049 \text{ mm} \\
h_{\text{perlu}} &= 2 \cdot b_{\text{perlu}} \\
&= 2 \cdot (269,049) \\
&= 538,098 \\
b_{\text{pakai}} &= 450 \text{ mm} \\
h_{\text{pakai}} &= 700 \text{ mm} \\
D_{\text{pokok}} &= 25 \text{ mm} \\
\emptyset_{\text{sengkang}} &= 10 \text{ mm} \\
P_b &= 40 \text{ mm} \\
s_v &= 25 \text{ mm} \\
\phi_0 &= 1,25
\end{aligned}$$

a) Komponen tulangan sebelah

$$M_u^+ < 50\% M_u^-$$

$$212,282 \text{ KNm} = 212,282 \text{ KNm}$$

Karena nilai $Mu^+ = 50\%Mu^-$, maka untuk nilai C_{pakai} yaitu:

$$C_{pakai} = 0,2$$

$$\begin{aligned} R1 &= C_{pakai} \cdot Rb \\ &= 0,2 \cdot 8,074 \\ &= 1,615 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M1 &= R1 \cdot b_{pakai} \cdot h_{pakai}^2 \\ &= 1,615 \cdot 450 \cdot (700)^2 \\ &= 356060643,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ds \text{ asumsi} &= P_b + D_{senggang} + D_{pokok} + (0,5 \cdot 25) \\ &= 40 + 10 + 25 + (0,5 \cdot 25) \\ &= 87,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h_{pakai} - ds_{asumsi} \\ &= 700 - 87,5 \\ &= 612,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Mn = Cc \cdot (d - 0,5 \cdot a)$$

$$Mn = 0,85 \cdot Fc' \cdot b \cdot a \cdot (d - 0,5 \cdot a)$$

$$356060643,8 = 0,85 \cdot 28 \cdot 400 \cdot a \cdot (612,5 - 0,5 \cdot a)$$

$$a = 64,152 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= 64,152 / 0,85 \\ &= 75,472 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= (d - c) / c \cdot \epsilon_{cu} \\ &= (612,5 - 75,472) / 75,472 \cdot 0,003 \\ &= 0,02135 \end{aligned}$$

Asumsi : regangan tarik baja telah leleh

$$\epsilon_s > \epsilon_y$$

$$0,02135 > 0,0021 \text{ (asumsi benar)}$$

$$\begin{aligned} Fs &= Es \cdot \epsilon_s \\ &= 200000 \cdot 0,02135 \\ &= 4269,331 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Jika baja tarik belum leleh maka tegangan baja pakai menggunakan nilai F_s , dan jika baja tarik telah leleh maka tegangan baja pakai menggunakan nilai F_y . Karena baja tarik telah leleh maka tegangan baja pakai menggunakan nilai F_y yaitu:

$$\begin{aligned}
 F_y &= 400 \text{ Mpa} \\
 A_{S_{\text{perlu}}} &= 0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b / F_y \\
 &= 0,85 \cdot 25 \cdot 64,752 \cdot 450 / 400 \\
 &= 1533,622 \text{ mm}^2 \\
 A_{S_1 \text{ tulangan}} &= (1/4) \cdot \pi \cdot D_{\text{pokok}}^2 \\
 &= (1/4) \cdot \pi \cdot 25^2 \\
 &= 490,874 \text{ mm}^2 \\
 n_{\text{perlu}} &= (A_{S_{\text{perlu}}} / A_{S_1 \text{ tulangan}}) \\
 &= (1533,622 / 490,874) \\
 &= 3,124 \text{ buah} \\
 n_{\text{pakai}} &= 3 \text{ buah} \\
 A_{S_{\text{baru}}} &= n_{\text{pakai}} \cdot A_{S_1 \text{ tulangan}} \\
 &= 3 \cdot 490,874 \\
 &= 1472,622 \text{ mm}^2 \\
 T_{S_{\text{baru}}} &= A_{S_{\text{baru}}} \cdot F_y \\
 &= 1472,622 \cdot 400 \\
 &= 589048,6225 \text{ N} \\
 a_{\text{baru}} &= T_{S_{\text{baru}}} / (0,85 \cdot F_c' \cdot b) \\
 &= 589048,6225 / (0,85 \cdot 25 \cdot 400) \\
 &= 61,600 \text{ mm} \\
 c_{\text{baru}} &= a_{\text{baru}} / \beta_1 \\
 &= 61,600 / 0,85 \\
 &= 72,470 \text{ mm} \\
 \epsilon_{S_{\text{baru}}} &= (d - c_{\text{baru}}) / c_{\text{baru}} \cdot \epsilon_{cu} \\
 &= (612,5 - 72,470) / 72,470 \cdot 0,003 \\
 &= 0,02236
 \end{aligned}$$

Asumsi : regangan tarik baja telah leleh

$$\varepsilon_{s_{baru}} > \varepsilon_y$$

$$0,02236 > 0,0021 \text{ (asumsi benar)}$$

$$Mn_1 = Cc \cdot (d - 0,5 \cdot a)$$

$$Mn_1 = 0,85 \cdot Fc' \cdot b \cdot a \cdot (d - 0,5 \cdot a)$$

$$Mn_1 = 0,85 \cdot 25 \cdot 400 \cdot 61,600 \cdot (612,5 - 0,5 \cdot 61,600)$$

$$Mn_1 = 342649626,2 \text{ Nmm}$$

b) Komponen tulangan rangkap

$$Mn_2 = Mn - Mn_1$$

$$Mn_2 = (471,738 \cdot 10^6) - 342649626,2$$

$$Mn_2 = 129087973,8 \text{ Nmm}$$

$$ds' \text{ asumsi} = P_b + D_{sengkang} + (0,5 \cdot D_{pokok})$$

$$= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25)$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

$$d = h_{pakai} - ds'_{asumsi}$$

$$= 700 - 62,5$$

$$= 637,5 \text{ mm}$$

$$As' \text{ perlu} = \left(\frac{Mn_2}{(d - ds')} \right) / Fy$$

$$= \left(\frac{129087973,8}{(637,5 - 62,5)} \right) / 400$$

$$= 561,252 \text{ mm}^2$$

$$As_{1 \text{ tulangan}} = (1/4) \cdot \pi \cdot D_{pokok}^2$$

$$= (1/4) \cdot \pi \cdot 25^2$$

$$= 490,874 \text{ mm}^2$$

$$n' \text{ perlu} = (As'_{perlu} / As_{1 \text{ tulangan}})$$

$$= (561,252 / 490,874)$$

$$= 1,37 \text{ buah}$$

$$n' \text{ pakai} = 3 \text{ buah}$$

c) Cek Momen Nominal Negatif

$$n_{tarik} = n_{tulangan \text{ sebelah}} + n_{tulangan \text{ rangkap}}$$

$$= 3 + 3$$

$$= 6 \text{ buah}$$

$$n_{\text{tekan}} = n_{\text{tulangan rangkap}}$$

$$= 3 \text{ buah}$$

1. Konfigurasi Tulangan Tarik

Jumlah pada baris 1 = 6 buah

$$S = s_v + D_{\text{pokok}}$$

$$= 25 + 25$$

$$= 50 \text{ mm}$$

$$x_1 = P_b + D_{\text{senggang}} + (0,5 \cdot D_{\text{pokok}})$$

$$= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25)$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

$$x_2 = x_1 + s$$

$$= 50 + 62,5$$

$$= 112,5 \text{ mm}$$

$$As_1 = \text{Jumlah pada baris 1} \cdot A_1 \text{ tulangan}$$

$$= 6 \cdot 490,874$$

$$= 3926,991 \text{ mm}^2$$

$$As_1 \cdot x_1 = 3926,991 \cdot 62,5$$

$$= 184077,695 \text{ mm}^3$$

$$ds = \frac{\sum As \cdot x}{\sum As}$$

$$= 184077,695 / (2945,243)$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

$$S = \frac{b_{\text{pakai}} - 2 \cdot P_b - 2 \cdot D_{\text{senggang}} - n \cdot D_{\text{pokok}}}{n-1}$$

$$= \frac{450 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 6 \cdot 25}{6-1}$$

$$= 40 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

2. Konfigurasi Tulangan Tekan

Jumlah pada baris 1 = 3 buah

$$S = s_v + D_{\text{pokok}}$$

$$= 25 + 25$$

$$= 50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} x_1 &= P_b + D_{sengakang} + (0,5 \cdot D_{pokok}) \\ &= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25) \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_2 &= x_1 + s \\ &= 50 + 62,5 \\ &= 112,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \text{Jumlah pada baris 1} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\ &= 3 \cdot 490,874 \\ &= 1472,622 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} \cdot x_1 &= 1472,622 \cdot 62,5 \\ &= 92038,847 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ds &= \Sigma A_s \cdot x / (\Sigma A_s) \\ &= 92038,847 / (1472,622) \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{b_{pakai} - 2 \cdot P_b - 2 \cdot D_{sengakang} - n \cdot D_{pokok}}{n-1} \\ &= \frac{450 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 3 \cdot 25}{3-1} \\ &= 137,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Momen Nominal :

$$ds = 62,5 \text{ mm}$$

$$ds' = 62,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - ds \\ &= 700 - 62,5 \\ &= 637,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{Spakai} &= n_{tarik} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\ &= 6 \cdot 490,874 \\ &= 3926,991 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S'pakai} &= n_{tekan} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\ &= 3 \cdot 490,874 \end{aligned}$$

$$= 1472,621 \text{ mm}^2$$

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s \cdot F_y = (0,85 \cdot F_c' \cdot c \cdot \beta_1 \cdot b_{pakai}) + (A_s' \cdot (\epsilon_c \cdot \frac{c-ds'}{c}) \cdot E_s)$$

$$2945,243 \cdot 400 = (0,85 \cdot 25 \cdot c \cdot 0,85 \cdot 400) + (1472,621(0,003 \cdot (c-62,5)/c) \cdot 2 \cdot 10^5)$$

$$c = 102,512 \text{ mm}$$

$$a = c/\beta_1$$

$$= 102,512/0,85$$

$$= 87,135 \text{ mm}$$

$$F_s = (\epsilon_c \cdot (c - ds')/c) \cdot E_s$$

$$= (0,003 \cdot (102,512 - 62,5)/102,512) \cdot 2 \cdot 10^5$$

$$= 234,188 \text{ Mpa}$$

$$M_n = C_c \cdot x \cdot (d - 0,5a) + C_s \cdot x \cdot (d - ds')$$

$$M_n = 0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b \cdot x \cdot (d - 0,5a) + A_s' \cdot x \cdot F_s \cdot x \cdot (d - ds')$$

$$M_n = 0,85 \cdot 25 \cdot 87,135 \cdot 450 \cdot x \cdot (637,5 - 0,5 \cdot 87,135)$$

$$+ 1472,621 \cdot 234,188 \cdot x \cdot (637,5 - 62,5)$$

$$M_n = 693181042,8 \text{ Nmm}$$

$$\epsilon_t = ((h_{pakai} - P_b - D_{sengkang} - 0,5D_{pokok}) \cdot 0,003)/c - 0,003$$

$$= ((700 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 25) \cdot 0,003)/102,512 - 0,003$$

$$= 0,015656$$

$$\epsilon_t > 0,005 \text{ maka faktor reduksi } \phi = 0,90$$

$$\phi M_n = 0,90 \cdot 693181042,8$$

$$= 623862938,6 \text{ Nmm}$$

$$= 623,863 \text{ KNm}$$

$$\text{Cek : } \phi M_n \geq M_u^-$$

$$623,863 \text{ KNm} \geq 424,564 \text{ KNm (OK Aman)}$$

d) Cek Momen Kapasitas Negatif

$$d_s = 62,5 \text{ mm}$$

$$d_s' = 62,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d_s \\ &= 700 - 62,5 \\ &= 637,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= n_{\text{tarik}} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\ &= 6 \cdot 490,874 \\ &= 3926,991 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pakai}}} &= n_{\text{tekan}} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\ &= 3 \cdot 490,874 \\ &= 1472,622 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$T_s = C_c + C_s$$

$$\begin{aligned} A_s \cdot F_y &= (0,85 \cdot F_c' \cdot c \cdot \beta_1 \cdot b_{\text{pakai}}) + (A_{s'} \cdot (\epsilon_c \cdot (c - d_s')/c) \cdot E_s) \\ 2945,243 \cdot 400 &= (0,85 \cdot 25 \cdot c \cdot 0,85 \cdot 450) + (1472,622 \cdot \\ &\quad (0,003 \cdot (c - 62,5)/c) \cdot 2 \cdot 10^5) \end{aligned}$$

$$c = 126,275 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= c/\beta_1 \\ &= 126,275/0,85 \\ &= 107,333 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_s &= (\epsilon_c \cdot (c - d_s')/c) \cdot E_s \\ &= (0,003 \cdot (126,275 - 62,5)/126,275) \cdot 2 \cdot 10^5 \\ &= 303,028 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$M_{\text{kap}} = C_c \times (d - 0,5a) + C_s \times (d - d_s')$$

$$M_{\text{kap}} = 0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b \times (d - 0,5a) + A_{s'} \times F_s \times (d - d_s')$$

$$\begin{aligned} M_{\text{kap}} &= 0,85 \cdot 25 \cdot 107,333 \cdot 450 \times (612,5 - 0,5 \cdot 107,333) \\ &\quad + 1472,622 \times 303,028 \times (637,5 - 62,5) \end{aligned}$$

$$M_{\text{kap}} = 855823673,9 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= ((h_{\text{pakai}} - P_b - D_{\text{sengakang}} - 0,5D_{\text{pokok}}) \cdot 0,003)/c - 0,003 \\ &= ((700 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 25) \cdot 0,003)/126,275 - 0,003 \\ &= 0,01215 \end{aligned}$$

$$\epsilon_t > 0,005 \text{ maka faktor reduksi } \phi = 0,90$$

$$\phi M_{\text{kap}} = 0,90 \cdot 855823673,9$$

$$= 770241306,6 \text{ Nmm}$$

$$= 770,241 \text{ KNm}$$

e) Cek Momen Nominal Positif

$$\begin{aligned} n_{\text{tarik}} &= n_{\text{tulangan sebelah}} + n_{\text{tulangan rangkap}} \\ &= 3 + 3 \\ &= 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tekan}} &= n_{\text{tulangan rangkap}} \\ &= 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

1. Konfigurasi Tulangan Tarik

Jumlah pada baris 1 = 3 buah

$$\begin{aligned} S &= s_v + D_{\text{pokok}} \\ &= 25 + 25 \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_1 &= P_b + D_{\text{sengkang}} + (0,5 \cdot D_{\text{pokok}}) \\ &= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25) \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \text{Jumlah pada baris 1} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\ &= 3 \cdot 490,874 \\ &= 1472,622 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} \cdot x_1 &= 1472,622 \cdot 62,5 \\ &= 92038,847 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ds &= \Sigma A_s \cdot x / (\Sigma A_s) \\ &= 92038,847 / (1472,622) \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{b_{\text{pakai}} - 2 \cdot P_b - 2 \cdot D_{\text{sengkang}} - n \cdot D_{\text{pokok}}}{n-1} \\ &= \frac{450 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 3 \cdot 25}{3-1} \\ &= 137,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

2. Konfigurasi Tulangan Tekan

Jumlah pada baris 1 = 6 buah

$$\begin{aligned}
 S &= s_v + D_{pokok} \\
 &= 25 + 25 \\
 &= 50 \text{ mm} \\
 x_1 &= P_b + D_{senggang} + (0,5 \cdot D_{pokok}) \\
 &= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25) \\
 &= 62,5 \text{ mm} \\
 A_{s1} &= \text{Jumlah pada baris 1} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 6 \cdot 490,874 \\
 &= 3926,991 \text{ mm}^2 \\
 A_{s1} \cdot x_1 &= 3926,991 \cdot 62,5 \\
 &= 184077,695 \text{ mm}^3 \\
 ds &= \Sigma A_s \cdot x / (\Sigma A_s) \\
 &= 184077,695 / (2945,243) \\
 &= 62,5 \text{ mm} \\
 S &= \frac{b_{pakai} - 2 \cdot P_b - 2 \cdot D_{senggang} - n \cdot D_{pokok}}{n-1} \\
 &= \frac{450 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 6 \cdot 25}{6-1} \\
 &= 40 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Momen Nominal :

$$\begin{aligned}
 ds &= 62,5 \text{ mm} \\
 ds' &= 62,5 \text{ mm} \\
 d &= h - ds \\
 &= 700 - 62,5 \\
 &= 637,5 \text{ mm} \\
 A_{Spakai} &= n_{tarik} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 3 \cdot 490,874 \\
 &= 1472,622 \text{ mm}^2 \\
 A_{s'pakai} &= n_{tekan} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 6 \cdot 490,874 \\
 &= 3926,991 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s \cdot F_y = (0,85 \cdot F_c' \cdot c \cdot \beta_1 \cdot b_{pakai}) + (A_s' \cdot (\epsilon_c \cdot \frac{c-ds'}{c}) \cdot E_s)$$

$$1472,622 \cdot 400 = (0,85 \cdot 25 \cdot c \cdot 0,85 \cdot 400) + (3926,991 (0,003 \cdot (c-62,5)/c) \cdot 2 \cdot 10^5)$$

$$c = 64,789 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= c/\beta_1 \\ &= 64,789/0,85 \\ &= 55,071 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_s &= (\epsilon_c \cdot (c - ds')/c) \cdot E_s \\ &= (0,003 \cdot (64,789 - 62,5)/64,789) \cdot 2 \cdot 10^5 \\ &= 21,199 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$M_n = C_c \times (d - 0,5a) + C_s \times (d - ds')$$

$$M_n = 0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b \times (d - 0,5a) + A_s' \times F_s \times (d - ds')$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot 25 \cdot 55,071 \cdot 450 \times (637,5 - 0,5 \cdot 55,071) \\ &\quad + 2945,243 \cdot 21,199 \times (637,5 - 62,5) \end{aligned}$$

$$M_n = 357115817,3 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= ((h_{pakai} - P_b - D_{sengakang} - 0,5D_{pokok}) \cdot 0,003)/c - 0,003 \\ &= ((700 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 25) \cdot 0,003)/64,789 - 0,003 \\ &= 0,02652 \end{aligned}$$

$$\epsilon_t > 0,005 \text{ maka faktor reduksi } \phi = 0,90$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,90 \cdot 357115817,3 \\ &= 321404235,6 \text{ Nmm} \\ &= 321,404 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek : } \phi M_n \geq M_u^-$$

$$321,404 \text{ KNm} \geq 212,828 \text{ KNm (OK Aman)}$$

f) Cek Momen Kapasitas Positif

$$ds = 62,5 \text{ mm}$$

$$ds' = 62,5 \text{ mm}$$

$$d = h - ds$$

$$= 700 - 62,5$$

$$= 637,5 \text{ mm}$$

$$A_{S_{\text{pakai}}} = n_{\text{tarik}} \cdot A_1 \text{ tulangan}$$

$$= 3 \cdot 490,874$$

$$= 1472,622 \text{ mm}^2$$

$$A_{S'_{\text{pakai}}} = n_{\text{tekan}} \cdot A_1 \text{ tulangan}$$

$$= 6 \cdot 490,874$$

$$= 3926,991 \text{ mm}^2$$

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s \cdot F_y = (0,85 \cdot F_c' \cdot c \cdot \beta_1 \cdot b_{\text{pakai}}) + (A_s' \cdot (\epsilon_c \cdot (c - d_s')/c) \cdot E_s)$$

$$1472,622 \cdot 400 = (0,85 \cdot 25 \cdot c \cdot 0,85 \cdot 450) + (2945,243 \cdot$$

$$(0,003 \cdot (c - 62,5)/c) \cdot 2 \cdot 10^5)$$

$$c = 69,288 \text{ mm}$$

$$a = c/\beta_1$$

$$= 69,288/0,85$$

$$= 58,895 \text{ mm}$$

$$F_s = (\epsilon_c \cdot (c - d_s')/c) \cdot E_s$$

$$= (0,003 \cdot (69,288 - 62,5)/69,288) \cdot 2 \cdot 10^5$$

$$= 58,782 \text{ Mpa}$$

$$M_{\text{kap}} = C_c \times (d - 0,5a) + C_s \times (d - d_s')$$

$$M_{\text{kap}} = 0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b \times (d - 0,5a) + A_s' \times F_s \times (d - d_s')$$

$$M_{\text{kap}} = 0,85 \cdot 25 \cdot 58,895 \cdot 450 \times (612,5 - 0,5 \cdot 58,895)$$

$$+ 3926,991 \times 58,782 \times (637,5 - 62,5)$$

$$M_{\text{kap}} = 441993316,5 \text{ Nmm}$$

$$\epsilon_t = ((h_{\text{pakai}} - P_b - D_{\text{sengkang}} - 0,5D_{\text{pokok}}) \cdot 0,003)/c - 0,003$$

$$= ((700 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 25) \cdot 0,003)/69,288 - 0,003$$

$$= 0,02460$$

$$\epsilon_t > 0,005 \text{ maka faktor reduksi } \phi = 0,90$$

$$\phi M_{\text{kap}} = 0,90 \cdot 441993316,5$$

$$= 397793984,8 \text{ Nmm}$$

$$= 397,794 \text{ KNm}$$

g) Cek Rasio Tulangan

1. Cek rasio tulangan atas

$$\begin{aligned}\rho_{\text{maks}} &= 0,364 \cdot \beta_1 \cdot (F_c'/F_y) \\ &= 0,364 \cdot 0,85 \cdot (25/400) \\ &= 0,01934\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{pakai}} &= A_s/(b \cdot d) \\ &= 2945,243/(400 \cdot 637,5) \\ &= 0,01027\end{aligned}$$

Cek Syarat 1 ($\rho_{\text{pakai}} < \rho_{\text{maks}}$)

$$\begin{aligned}\rho_{\text{pakai}} &< \rho_{\text{maks}} \\ 0,01027 &< 0,01934 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{min}_1} &= 1,4/F_y \\ &= 1,4/(400) \\ &= 0,0050\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{min}_2} &= \sqrt{F_c'}/(4 \cdot F_y) \\ &= \sqrt{25}/(4 \cdot 400) \\ &= 0,00313\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{min pakai}} &= \rho_{\text{min}_1} \\ &= 0,00350\end{aligned}$$

Cek Syarat 2 ($\rho_{\text{pakai}} > \rho_{\text{min pakai}}$)

$$\begin{aligned}\rho_{\text{pakai}} &> \rho_{\text{min pakai}} \\ 0,01027 &> 0,00350 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

2. Cek rasio tulangan bawah

$$\begin{aligned}\rho_{\text{maks}} &= 0,364 \cdot \beta_1 \cdot (F_c'/F_y) \\ &= 0,364 \cdot 0,85 \cdot (25/400) \\ &= 0,01934\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{pakai}} &= A_s/(b \cdot d) \\ &= 1472,622/(400 \cdot 637,5)\end{aligned}$$

$$= 0,00513$$

Cek Syarat 1 ($\rho_{pakai} < \rho_{maks}$)

$$\rho_{pakai} < \rho_{maks}$$

$$0,00513 < 0,01934 \text{ (OK)}$$

$$\rho_{min_1} = 1,4/F_y$$

$$= 1,4/(420)$$

$$= 0,00350$$

$$\rho_{min_2} = \sqrt{F_c'}/(4 \cdot F_y)$$

$$= \sqrt{25}/(4 \cdot 400)$$

$$= 0,00313$$

$$\rho_{min \text{ pakai}} = \rho_{min_1}$$

$$= 0,00350$$

Cek Syarat 2 ($\rho_{pakai} > \rho_{min \text{ pakai}}$)

$$\rho_{pakai} > \rho_{min \text{ pakai}}$$

$$0,00513 > 0,00350 \text{ (OK)}$$

Tulangan Pakai Bagian Atas = 6D25

Tulangan Pakai Bagian Bawah = 3D25

2) Daerah Lapangan

$$F_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,003$$

$$\varepsilon_y = F_y/E_s$$

$$= 400/200000$$

$$= 0,002$$

$$M_u^- = 106,141 \text{ kNm}$$

$$M_u^+ = 287,700 \text{ kNm}$$

Asumsi : $\phi = 0,9$, maka nilai M_n yaitu :

$$M_n = M_u^- / \phi$$

$$\begin{aligned}
&= 106,141 / 0,9 \\
&= 117,934 \text{ kNm} \\
m &= F_y / (0,85 \cdot F_c') \\
&= 400 / (0,85 \cdot 25) \\
&= 18,824 \\
\rho_b &= \frac{\beta_1}{m} \cdot \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} \\
&= \frac{0,85}{18,824} \cdot \frac{0,003}{0,003 + 0,002} \\
&= 0,027 \\
R_b &= \rho_b \cdot F_y \cdot (1 - (0,5 \cdot \rho_b \cdot m)) \\
&= 0,027 \cdot 400 \cdot (1 - (0,5 \cdot 0,027 \cdot 18,824)) \\
&= 8,074 \text{ MPa} \\
R_m &= 0,75 \cdot R_b \\
&= 0,75 \cdot 8,074 \\
&= 6,055 \text{ Mpa} \\
b_{\text{perlu}} &= \left(\frac{M_n}{R_m \cdot 4} \right)^{1/3} \\
&= \left(\frac{117,934 \cdot 10^6}{6,055 \cdot 4} \right)^{1/3} \\
&= 169,490 \text{ mm} \\
h_{\text{perlu}} &= 2 \cdot b_{\text{perlu}} \\
&= 2 \cdot (169,490) \\
&= 338,980 \text{ mm} \\
b_{\text{pakai}} &= 450 \text{ mm} \\
h_{\text{pakai}} &= 700 \text{ mm} \\
D_{\text{pokok}} &= 25 \text{ mm} \\
\emptyset_{\text{sengkang}} &= 10 \text{ mm} \\
P_b &= 40 \text{ mm} \\
sv &= 25 \text{ mm} \\
\phi_0 &= 1,25
\end{aligned}$$

a) Komponen tulangan sebelah

$$Mu^+ > 50\%Mu^-$$

$$287,700 \text{ KNm} > 143,850 \text{ KNm}$$

Karena nilai $Mu^+ > 50\%Mu^-$, maka untuk nilai C_{pakai} yaitu:

$$C_{pakai} = 0,3$$

$$\begin{aligned} R1 &= C_{pakai} \cdot Rb \\ &= 0,3 \cdot 8,074 \\ &= 2,422 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M1 &= R1 \cdot b_{pakai} \cdot h_{pakai}^2 \\ &= 2,422 \cdot 450 \cdot (700)^2 \\ &= 534090965,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ds \text{ asumsi} &= P_b + D_{sengakang} + D_{pokok} + (0,5 \cdot 25) \\ &= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25) \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h_{pakai} - ds_{asumsi} \\ &= 700 - 62,5 \\ &= 637,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Mn = Cc \cdot (d - 0,5 \cdot a)$$

$$Mn = 0,85 \cdot Fc' \cdot b \cdot a \cdot (d - 0,5 \cdot a)$$

$$534090965,6 = 0,85 \cdot 25 \cdot 450 \cdot a \cdot (637,5 - 0,5 \cdot a)$$

$$a = 94,636 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= 94,636 / 0,85 \\ &= 111,337 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= (d - c) / c \cdot \epsilon_{cu} \\ &= (637,5 - 111,337) / 111,337 \cdot 0,003 \\ &= 0,01418 \end{aligned}$$

Asumsi : regangan tarik baja telah leleh

$$\epsilon_s > \epsilon_y$$

$$0,01418 > 0,0021 \text{ (asumsi benar)}$$

$$\begin{aligned} Fs &= Es \times \epsilon_s \\ &= 200000 \times 0,01418 \end{aligned}$$

$$= 2835,519 \text{ Mpa}$$

Jika baja tarik belum leleh maka tegangan baja pakai menggunakan nilai F_s , dan jika baja tarik telah leleh maka tegangan baja pakai menggunakan nilai F_y . Karena baja tarik telah leleh maka tegangan baja pakai menggunakan nilai F_y yaitu:

$$F_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= 0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b / F_y \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 94,636 \cdot 450 / 400 \\ &= 2262,400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_1 \text{ tulangan}} &= (1/4) \cdot \pi \cdot D_{\text{pokok}}^2 \\ &= (1/4) \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 490,874 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{perlu}} &= (A_{S_{\text{perlu}}} / A_{S_1 \text{ tulangan}}) \\ &= (2262,400 / 490,874) \\ &= 4,609 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$n_{\text{pakai}} = 2 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{baru}}} &= n_{\text{pakai}} \cdot A_{S_1 \text{ tulangan}} \\ &= 2 \cdot 490,874 \\ &= 981,748 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{S_{\text{baru}}} &= A_{S_{\text{baru}}} \cdot F_y \\ &= 981,748 \cdot 400 \\ &= 392699,082 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{\text{baru}} &= T_{S_{\text{baru}}} / (0,85 \cdot F_c' \cdot b) \\ &= 392699,082 / (0,85 \cdot 25 \cdot 400) \\ &= 41,067 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{baru}} &= a_{\text{baru}} / \beta_1 \\ &= 41,067 / 0,85 \\ &= 48,314 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{S_{\text{baru}}} &= (d - c_{\text{baru}}) / c_{\text{baru}} \cdot \epsilon_{cu} \\ &= (637,5 - 48,314) / 48,314 \cdot 0,003 \end{aligned}$$

$$= 0,0366$$

Asumsi : regangan tarik baja telah leleh

$$\varepsilon_{s_{baru}} > \varepsilon_y$$

$$0,0366 > 0,0021 \text{ (asumsi benar)}$$

$$Mn_1 = Cc \cdot (d - 0,5 \cdot a)$$

$$Mn_1 = 0,85 \cdot Fc' \cdot b \cdot a \cdot (d - 0,5 \cdot a)$$

$$Mn_1 = 0,85 \cdot 25 \cdot 400 \cdot 41,067 \cdot (637,5 - 0,5 \cdot 41,067)$$

$$Mn_1 = 242282262,3 \text{ Nmm}$$

b) Komponen tulangan rangkap

$$Mn_2 = Mn - Mn_1$$

$$Mn_2 = (117,934 \cdot 10^6) - 242282262,3$$

$$Mn_2 = 124347862,3 \text{ Nmm}$$

$$ds' \text{ asumsi} = P_b + D_{sengkang} + (0,5 \cdot D_{pokok})$$

$$= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25)$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

$$d = h_{pakai} - ds'_{asumsi}$$

$$= 700 - 62,5$$

$$= 637,5 \text{ mm}$$

$$As' \text{ perlu} = \left(\frac{Mn_2}{(d - ds')} \right) / Fy$$

$$= \left(\frac{124347862,3}{(637,5 - 62,5)} \right) / 400$$

$$= 540,643 \text{ mm}^2$$

$$As_{1 \text{ tulangan}} = (1/4) \cdot \pi \cdot D_{pokok}^2$$

$$= (1/4) \cdot \pi \cdot 25^2$$

$$= 490,874 \text{ mm}^2$$

$$n' \text{ perlu} = (As'_{perlu} / As_{1 \text{ tulangan}})$$

$$= (540,643 / 490,874)$$

$$= 1,1014 \text{ buah}$$

$$n' \text{ pakai} = 3 \text{ buah}$$

c) Cek Momen Nominal Positif

$$\begin{aligned}
 n_{\text{tarik}} &= n_{\text{tulangan sebelah}} + n_{\text{tulangan rangkap}} \\
 &= 2 + 3 \\
 &= 5 \text{ buah} \\
 n_{\text{tekan}} &= n_{\text{tulangan rangkap}} \\
 &= 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

1. Konfigurasi Tulangan Tarik

Jumlah pada baris 1 = 5 buah

$$\begin{aligned}
 S &= s_v + D_{\text{pokok}} \\
 &= 25 + 25 \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= P_b + D_{\text{senggang}} + (0,5 \cdot D_{\text{pokok}}) \\
 &= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25) \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= \text{Jumlah pada baris 1} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 5 \cdot 490,874 \\
 &= 3926,991 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s1} \cdot x_1 &= 3926,991 \cdot 62,5 \\
 &= 153398,079 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_s &= \Sigma A_s \cdot x / (\Sigma A_s) \\
 &= 153398,079 / (2945,243) \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_{\text{pakai}} - 2 \cdot P_b - 2 \cdot D_{\text{senggang}} - n \cdot D_{\text{pokok}}}{n-1} \\
 &= \frac{450 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 5 \cdot 25}{5-1} \\
 &= 56,250 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

2. Konfigurasi Tulangan Tekan

Jumlah pada baris 1 = 3 buah

$$\begin{aligned}
 S &= s_v + D_{\text{pokok}} \\
 &= 25 + 25 \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= P_b + D_{sengakang} + (0,5 \cdot D_{pokok}) \\
 &= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25) \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_2 &= x_1 + s \\
 &= 50 + 62,5 \\
 &= 112,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= \text{Jumlah pada baris 1} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 3 \cdot 490,874 \\
 &= 1472,622 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s1} \cdot x_1 &= 1472,622 \cdot 62,5 \\
 &= 92038,847 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ds &= \Sigma A_s \cdot x / (\Sigma A_s) \\
 &= 92038,847 / (1472,622) \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_{pakai} - 2 \cdot P_b - 2 \cdot D_{sengakang} - n \cdot D_{pokok}}{n-1} \\
 &= \frac{450 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 3 \cdot 25}{3-1} \\
 &= 137,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Momen Nominal:

$$ds = 62,5 \text{ mm}$$

$$ds' = 62,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - ds \\
 &= 700 - 62,5 \\
 &= 637,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{Spakai} &= n_{tarik} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 5 \cdot 490,874 \\
 &= 3926,991 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S'pakai} &= n_{tekan} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 3 \cdot 490,874 \\
 &= 1472,621 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s \cdot F_y = (0,85 \cdot F_c' \cdot c \cdot \beta_1 \cdot b_{pakai}) + (A_s' \cdot (\epsilon_c \cdot \frac{c-ds'}{c}) \cdot E_s)$$

$$2945,243 \cdot 400 = (0,85 \cdot 25 \cdot c \cdot 0,85 \cdot 400) + (1472,621(0,003 \cdot (c-62,5)/c) \cdot 2 \cdot 10^5)$$

$$c = 88,686 \text{ mm}$$

$$a = c/\beta_1$$

$$= 88,686 / 0,85$$

$$= 75,384 \text{ mm}$$

$$F_s = (\epsilon_c \cdot (c - ds')/c) \cdot E_s$$

$$= (0,003 \cdot (88,686 - 62,5)/88,686) \cdot 2 \cdot 10^5$$

$$= 177,162 \text{ Mpa}$$

$$M_n = C_c \cdot x \cdot (d - 0,5a) + C_s \cdot x \cdot (d - ds')$$

$$M_n = 0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b \cdot x \cdot (d - 0,5a) + A_s' \cdot x \cdot F_s \cdot x \cdot (d - ds')$$

$$M_n = 0,85 \cdot 25 \cdot 75,384 \cdot 450 \cdot x \cdot (637,5 - 0,5 \cdot 87,135)$$

$$+ 1472,621 \cdot 177,162 \cdot x \cdot (637,5 - 62,5)$$

$$M_n = 582388072,3 \text{ Nmm}$$

$$\epsilon_t = ((h_{pakai} - P_b - D_{sengakang} - 0,5D_{pokok}) \cdot 0,003)/c - 0,003$$

$$= ((700 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 25) \cdot 0,003)/88,686 - 0,003$$

$$= 0,01856$$

$$\epsilon_t > 0,005 \text{ maka faktor reduksi } \phi = 0,90$$

$$\phi M_n = 0,90 \cdot 582388072,3$$

$$= 524149265,1 \text{ Nmm}$$

$$= 524,149 \text{ KNm}$$

$$\text{Cek : } \phi M_n \geq M_u^-$$

$$524,149 \text{ KNm} \geq 287,700 \text{ KNm (OK Aman)}$$

d) Cek Momen Kapasitas Positif

$$ds = 62,5 \text{ mm}$$

$$ds' = 62,5 \text{ mm}$$

$$d = h - ds$$

$$= 700 - 62,5$$

$$\begin{aligned}
&= 637,5 \text{ mm} \\
A_{s_{\text{pakai}}} &= n_{\text{tarik}} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
&= 5 \cdot 490,874 \\
&= 3926,991 \text{ mm}^2 \\
A_{s'_{\text{pakai}}} &= n_{\text{tekan}} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
&= 3 \cdot 490,874 \\
&= 1472,622 \text{ mm}^2 \\
T_s &= C_c + C_s \\
A_s \cdot F_y &= (0,85 \cdot F_c' \cdot c \cdot \beta_1 \cdot b_{\text{pakai}}) + (A_{s'} \cdot (\epsilon_c \cdot (c - d_{s'})/c) \cdot E_s) \\
2945,243 \cdot 400 &= (0,85 \cdot 25 \cdot c \cdot 0,85 \cdot 450) + (1472,622 \cdot \\
&\quad (0,003 \cdot (c - 62,5)/c) \cdot 2 \cdot 10^5) \\
c &= 106,231 \text{ mm} \\
a &= c/\beta_1 \\
&= 106,231/0,85 \\
&= 90,296 \text{ mm} \\
F_s &= (\epsilon_c \cdot (c - d_{s'})/c) \cdot E_s \\
&= (0,003 \cdot (106,231 - 62,5)/106,231) \cdot 2 \cdot 10^5 \\
&= 246,994 \text{ Mpa} \\
M_{\text{kap}} &= C_c \times (d - 0,5a) + C_s \times (d - d_{s'}) \\
M_{\text{kap}} &= 0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b \times (d - 0,5a) + A_{s'} \times F_s \times (d - d_{s'}) \\
M_{\text{kap}} &= 0,85 \cdot 25 \cdot 90,296 \cdot 450 \times (637,5 - 0,5 \cdot 90,296) \\
&\quad + 1472,622 \times 246,994 \times (637,5 - 62,5) \\
M_{\text{kap}} &= 720613843 \text{ Nmm} \\
\epsilon_t &= ((h_{\text{pakai}} - P_b - D_{\text{senggang}} - 0,5D_{\text{pokok}}) \cdot 0,003)/c - 0,003 \\
&= ((700 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 25) \cdot 0,003)/106,231 - 0,003 \\
&= 0,015003 \\
\epsilon_t &> 0,005 \text{ maka faktor reduksi } \phi = 0,90 \\
\phi M_{\text{kap}} &= 0,90 \cdot 720613843 \\
&= 648552458,7 \text{ Nmm} \\
&= 648,552 \text{ KNm}
\end{aligned}$$

e) Cek Momen Nominal Negatif

$$\begin{aligned}
 n_{\text{tarik}} &= n_{\text{tulangan sebelah}} + n_{\text{tulangan rangkap}} \\
 &= 2 + 3 \\
 &= 5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{tekan}} &= n_{\text{tulangan rangkap}} \\
 &= 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

1. Konfigurasi Tulangan Tarik

Jumlah pada baris 1 = 3 buah

$$\begin{aligned}
 S &= s_v + D_{\text{pokok}} \\
 &= 25 + 25 \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= P_b + D_{\text{senggang}} + (0,5 \cdot D_{\text{pokok}}) \\
 &= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25) \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= \text{Jumlah pada baris 1} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 3 \cdot 490,874 \\
 &= 1472,622 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s1} \cdot x_1 &= 1472,622 \cdot 62,5 \\
 &= 92038,847 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ds &= \Sigma A_s \cdot x / (\Sigma A_s) \\
 &= 92038,847 / (1472,622) \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_{\text{pakai}} - 2 \cdot P_b - 2 D_{\text{senggang}} - n \cdot D_{\text{pokok}}}{n-1} \\
 &= \frac{450 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 3 \cdot 25}{3-1} \\
 &= 137,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

2. Konfigurasi Tulangan Tekan

Jumlah pada baris 1 = 5 buah

$$\begin{aligned}
 S &= s_v + D_{\text{pokok}} \\
 &= 25 + 25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 50 \text{ mm} \\
 x_1 &= P_b + D_{sengakang} + (0,5 \cdot D_{pokok}) \\
 &= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25) \\
 &= 62,5 \text{ mm} \\
 A_{s1} &= \text{Jumlah pada baris 1} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 5 \cdot 490,874 \\
 &= 3926,991 \text{ mm}^2 \\
 A_{s1} \cdot x_1 &= 3926,991 \cdot 62,5 \\
 &= 153398,079 \text{ mm}^3 \\
 ds &= \Sigma A_s \cdot x / (\Sigma A_s) \\
 &= 153398,079 / (2945,243) \\
 &= 62,5 \text{ mm} \\
 S &= \frac{b_{pakai} \cdot 2 \cdot P_b - 2 \cdot D_{sengakang} - n \cdot D_{pokok}}{n-1} \\
 &= \frac{450 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 5 \cdot 25}{5-1} \\
 &= 56,25 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Momen Nominal :

$$\begin{aligned}
 ds &= 62,5 \text{ mm} \\
 ds' &= 62,5 \text{ mm} \\
 d &= h - ds \\
 &= 700 - 62,5 \\
 &= 637,5 \text{ mm} \\
 A_{Spakai} &= n_{tarik} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 3 \cdot 490,874 \\
 &= 1472,622 \text{ mm}^2 \\
 A_{S'pakai} &= n_{tekan} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 5 \cdot 490,874 \\
 &= 3926,991 \text{ mm}^2 \\
 T_s &= C_c + C_s \\
 A_s \cdot F_y &= (0,85 \cdot F_c' \cdot c \cdot \beta_1 \cdot b_{pakai}) + \left(A_{S'} \cdot \left(\epsilon_c \cdot \frac{c-ds'}{c} \right) \cdot E_s \right)
 \end{aligned}$$

$$1472,622 \cdot 400 = (0,85 \cdot 25 \cdot c \cdot 0,85 \cdot 400) + (3926,991 (0,003 \cdot (c-62,5)/c) \cdot 2 \cdot 10^5$$

$$c = 65,137 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= c/\beta_1 \\ &= 65,137 / 0,85 \\ &= 55,366 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_s &= (\epsilon_c \cdot (c - ds')/c) \cdot E_s \\ &= (0,003 \cdot (65,137 - 62,5)/65,137) \cdot 2 \cdot 10^5 \\ &= 24,287 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$M_n = C_c \cdot x (d - 0,5a) + C_s \cdot x (d - ds')$$

$$M_n = 0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b \cdot x (d - 0,5a) + A_s' \cdot x F_s \cdot x (d - ds')$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot 25 \cdot 55,366 \cdot 450 \cdot x (637,5 - 0,5 \cdot 55,366) \\ &\quad + 2945,243 \cdot 21,199 \cdot x (637,5 - 62,5) \end{aligned}$$

$$M_n = 357136389,3 \text{ Nmm}$$

$$\epsilon_t = ((h_{\text{pakai}} - P_b - D_{\text{sengkang}} - 0,5D_{\text{pokok}}) \cdot 0,003)/c - 0,003$$

$$= ((700 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 25) \cdot 0,003)/65,137 - 0,003$$

$$= 0,02636$$

$$\epsilon_t > 0,005 \text{ maka faktor reduksi } \phi = 0,90$$

$$\phi M_n = 0,90 \cdot 357136389,3$$

$$= 321422750,4 \text{ Nmm}$$

$$= 321,423 \text{ KNm}$$

$$\text{Cek : } \phi M_n \geq M_u^-$$

$$321,423 \text{ KNm} \geq 106,141 \text{ KNm (OK Aman)}$$

f) Cek Momen Kapasitas Positif

$$ds = 62,5 \text{ mm}$$

$$ds' = 62,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - ds \\ &= 700 - 62,5 \\ &= 637,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= n_{\text{tarik}} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\ &= 3.490,874 \\ &= 1472,622 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pakai}}} &= n_{\text{tekan}} \cdot A_1 \text{ tulangan} \\ &= 5.490,874 \\ &= 3926,991 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$T_s = C_c + C_s$$

$$\begin{aligned} A_s \cdot F_y &= (0,85 \cdot F_c' \cdot c \cdot \beta_1 \cdot b_{\text{pakai}}) + (A_{s'} \cdot (\epsilon_c \cdot (c - d_{s'})/c) \cdot E_s) \\ 1472,622 \cdot 400 &= (0,85 \cdot 25 \cdot c \cdot 0,85 \cdot 450) + (2945,243 \cdot (0,003 \cdot \\ &\quad (c - 62,5)/c) \cdot 2 \cdot 10^5) \end{aligned}$$

$$c = 70,357 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= c/\beta_1 \\ &= 70,357/0,85 \\ &= 59,803 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_s &= (\epsilon_c \cdot (c - d_{s'})/c) \cdot E_s \\ &= (0,003 \cdot (70,357 - 62,5)/70,357) \cdot 2 \cdot 10^5 \\ &= 67,001 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$M_{\text{kap}} = C_c \times (d - 0,5a) + C_s \times (d - d_{s'})$$

$$M_{\text{kap}} = 0,85 \cdot F_c' \cdot a \cdot b \times (d - 0,5a) + A_{s'} \times F_s \times (d - d_{s'})$$

$$\begin{aligned} M_{\text{kap}} &= 0,85 \cdot 25 \cdot 59,803 \cdot 450 \times (637,5 - 0,5 \cdot 58,895) \\ &\quad + 3926,991 \times 67,001 \times (637,5 - 62,5) \end{aligned}$$

$$M_{\text{kap}} = 442020678,9 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= ((h_{\text{pakai}} - P_b - D_{\text{sengkang}} - 0,5D_{\text{pokok}}) \cdot 0,003)/c - 0,003 \\ &= ((700 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 25) \cdot 0,003)/70,357 - 0,003 \\ &= 0,02418 \end{aligned}$$

$$\epsilon_t > 0,005 \text{ maka faktor reduksi } \phi = 0,90$$

$$\begin{aligned} \phi M_{\text{kap}} &= 0,90 \cdot 442020678,9 \\ &= 397818611 \text{ Nmm} \\ &= 397,819 \text{ KNm} \end{aligned}$$

g) Cek Rasio Tulangan

1. Cek rasio tulangan atas

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= 0,364 \cdot \beta_1 \cdot (F_c'/F_y) \\ &= 0,364 \cdot 0,85 \cdot (25/400) \\ &= 0,01934\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{pakai} &= A_s/(b \cdot d) \\ &= 2945,243/(400 \cdot 637,5) \\ &= 0,00856\end{aligned}$$

Cek Syarat 1 ($\rho_{pakai} < \rho_{maks}$)

$$\begin{aligned}\rho_{pakai} &< \rho_{maks} \\ 0,00856 &< 0,01934 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{min_1} &= 1,4/F_y \\ &= 1,4/(400) \\ &= 0,00350\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{min_2} &= \sqrt{F_c'}/(4 \cdot F_y) \\ &= \sqrt{25}/(4 \cdot 400) \\ &= 0,00313\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{min \text{ pakai}} &= \rho_{min_1} \\ &= 0,00350\end{aligned}$$

Cek Syarat 2 ($\rho_{pakai} > \rho_{min \text{ pakai}}$)

$$\begin{aligned}\rho_{pakai} &> \rho_{min \text{ pakai}} \\ 0,00856 &> 0,00350 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

2. Cek rasio tulangan bawah

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= 0,364 \cdot \beta_1 \cdot (F_c'/F_y) \\ &= 0,364 \cdot 0,85 \cdot (25/400) \\ &= 0,01934\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{pakai} &= A_s/(b \cdot d) \\ &= 1472,622/(400 \cdot 637,5) \\ &= 0,00513\end{aligned}$$

Cek Syarat 1 ($\rho_{pakai} < \rho_{maks}$)

$$\rho_{pakai} < \rho_{maks}$$

$$0,00513 < 0,01934 \text{ (OK)}$$

$$\rho_{min_1} = 1,4/F_y$$

$$= 1,4/(420)$$

$$= 0,00350$$

$$\rho_{min_2} = \sqrt{F_c'} / (4 \cdot F_y)$$

$$= \sqrt{25} / (4 \cdot 400)$$

$$= 0,00313$$

$$\rho_{min \text{ pakai}} = \rho_{min_1}$$

$$= 0,00350$$

Cek Syarat 2 ($\rho_{pakai} > \rho_{min \text{ pakai}}$)

$$\rho_{pakai} > \rho_{min \text{ pakai}}$$

$$0,00513 > 0,00350 \text{ (OK)}$$

Tulangan Pakai Bagian Atas = 5D25

Tulangan Pakai Bagian Bawah = 3D25

d. Perhitungan Tulangan Geser

Tulangan geser yang juga dikenal sebagai tulangan sengkang digunakan untuk menahan gaya geser atau gaya lintang yang terjadi pada balok. Pada SNI 2847:2019 tulangan geser diperlukan untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus dari retak yang diakibatkan oleh gaya geser. Berikut merupakan contoh perhitungan tulangan geser pada balok B7.

1) Data Perhitungan

Lebar balok (b) = 400 mm

Tinggi balok (h) = 700 mm

d = 612,5 mm

Panjang balok (L) = 10000 mm

B kolom kanan = 600 mm

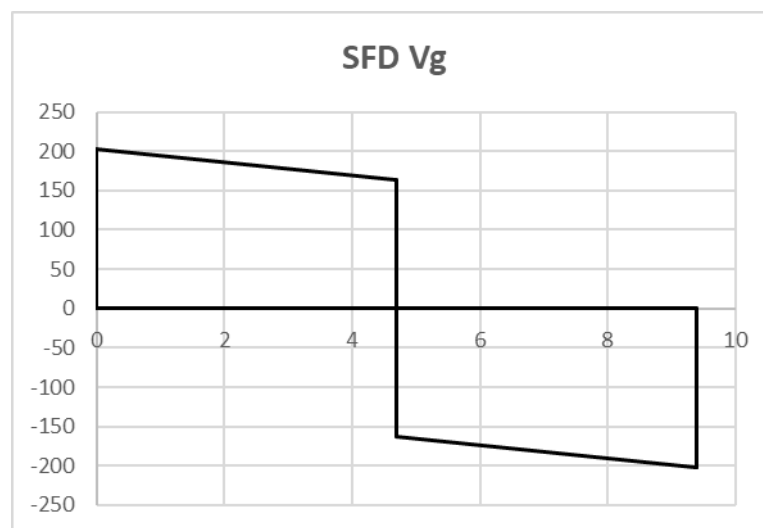
B kolom kiri = 600 mm

F'_c = 25 Mpa

F_y = 400 Mpa

$$\begin{aligned} \varphi &= 0,75 \\ L_h &= L_{\text{balok}} - (B_{\text{kolom kanan}}/2) - (B_{\text{kolom kiri}}/2) \\ &= 10000 - (600/2) - (600/2) \\ &= 9400 \text{ mm} \\ d_{\text{pokok}} &= 25 \text{ mm} \\ d_{\text{senggang}} &= 10 \text{ mm} \\ M_{pr^-} &= 770,241 \text{ kNm} \\ M_{pr^+} &= 397,794 \text{ kNm} \\ V_g \text{ kiri} &= 202,506 \text{ kN} \\ V_g \text{ kanan} &= -202,506 \text{ kN} \\ V_g \text{ tengah kiri} &= 163,269 \text{ kN} \\ V_g \text{ tengah kanan} &= -163,269 \text{ kN} \end{aligned}$$

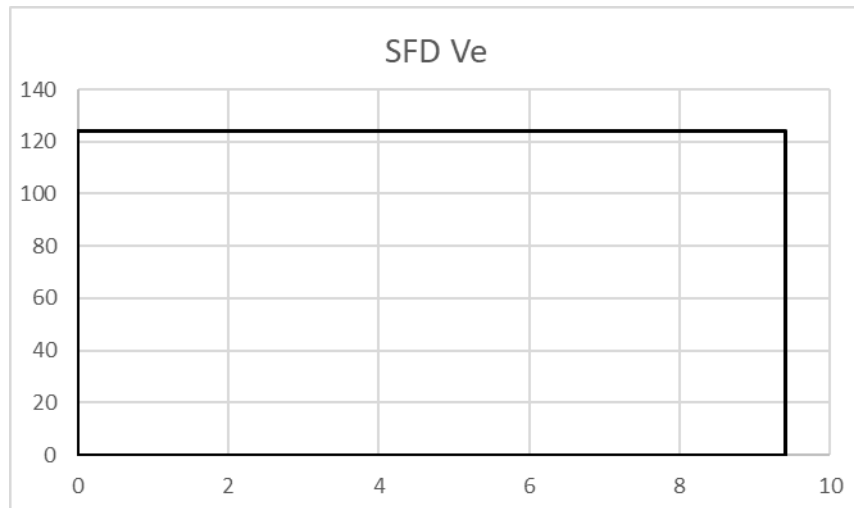
Nilai V_g yang sudah diketahui tersebut, dapat diperoleh diagram gaya geser V_g pada balok yang dapat dilihat pada Gambar 5.75 sebagai berikut.



Gambar 5. 75 Diagram Gaya Geser V_g

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr^-} + M_{pr^+}}{L_h} \\ &= \frac{(770,241 + 397,7939848) \cdot 10^3}{9400} \\ &= 124,259 \text{ KN} \end{aligned}$$

Nilai V_e yang sudah diketahui tersebut, dapat diperoleh diagram gaya geser V_e pada balok yang dapat dilihat pada Gambar 5.76 sebagai berikut.



Gambar 5. 76 Diagram Gaya Geser V_e

$$V_u = V_g + V_e$$

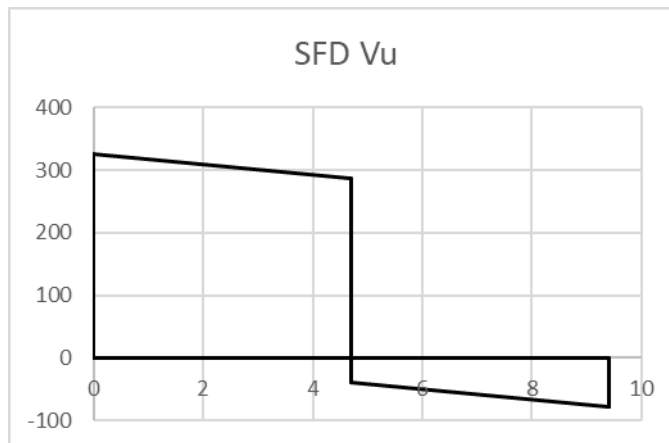
$$\begin{aligned} V_u \text{ kiri} &= 202,506 + 124,259 \\ &= 326,765 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ kanan} &= -202,506 + 124,259 \\ &= -78,247 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ tengah kiri} &= 163,269 + 124,259 \\ &= 287,528 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ tengah kanan} &= -163,269 + 124,259 \\ &= -39,010 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai V_u yang sudah diketahui tersebut, dapat diperoleh diagram gaya geser V_u pada balok yang dapat dilihat pada Gambar 5.77 sebagai berikut.



Gambar 5. 77 Diagram Gaya Geser Vu

a) Menghitung Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 Sh &= 2 \cdot h_{\text{balok}} \\
 &= 2 \cdot (700) \\
 &= 1400 \text{ mm} \\
 V_u &= V_{u_{\text{maks}}} \\
 &= 326,765 \text{ kN} \\
 V_u / \phi &= 326,765 / (0,75) \\
 &= 435,687 \text{ kN} \\
 V_c &= 0 \\
 V_s &= (V_u / \phi) - V_c \\
 &= 435,687 - 0 \\
 &= 435,687 \text{ kN} \\
 A_v &= 1/4 \cdot \pi \cdot d_{\text{senggang}}^2 \\
 &= 1/4 \cdot \pi \cdot 10^2 \\
 &= 78,540 \text{ mm}^2 \\
 \text{Jumlah kaki (n}_{\text{pakai}}) &= 3 \text{ kaki} \\
 S_{\text{perlu}} &= \frac{n_{\text{pakai}} \cdot A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{3 \cdot 78,540 \cdot 400 \cdot 612,5}{435,687 \cdot 10^3} \\
 &= 132,496 \text{ mm} \\
 S_{\text{max 1}} &= d/4
 \end{aligned}$$

$$= 612,5/4$$

$$= 153,125 \text{ mm (Minimum)}$$

$$S_{\text{max } 2} = 6 \cdot d_{\text{pokok}}$$

$$= 6 \cdot 25$$

$$= 150 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max } 3} = 150 \text{ mm}$$

Sehingga diperoleh, jarak maksimum sengkang = 150 mm

S_{pakai} diperoleh dari nilai minimum antara S_{perlu} dengan jarak maksimum sengkang, dari hasil yang sudah dihitung maka nilai S_{pakai} adalah 132,496 mm atau nilai S_{pakai} dapat dibulatkan menjadi 100 mm. Sehingga tulangan geser daerah sendi plastis yang digunakan adalah : P10 - 100 mm.

b) Menghitung Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis

$$\begin{aligned} L_h - 2 \cdot S_h &= 9400 - (2 \cdot 1400) \\ &= 6600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_u = 315,077 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_u / \varphi &= 315,077 / (0,75) \\ &= 420,103 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 1/6 \cdot F'c^{0,5} \cdot b \cdot d \\ &= 1/6 \cdot 25^{0,5} \cdot 400 \cdot 612,5 \cdot 10^{-3} \\ &= 229,688 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= (V_u / \varphi) - V_c \\ &= 420,103 - 229,688 \\ &= 190,416 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 1/4 \cdot \pi \cdot d_{\text{sengkang}}^2 \\ &= 1/4 \cdot \pi \cdot 10^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah kaki (n_{pakai}) = 2 kaki

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{n_{\text{pakai}} \cdot A_v \cdot F_{ys} \cdot d}{V_s} \\ &= \frac{3 \cdot 78,540 \cdot 400 \cdot 612,5}{190,416 \cdot 10^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 202,108 \text{ mm} \\ S_{\text{max 1}} &= d/2 \\ &= 612,5/2 \\ &= 306,25 \text{ mm (Minimum)} \end{aligned}$$

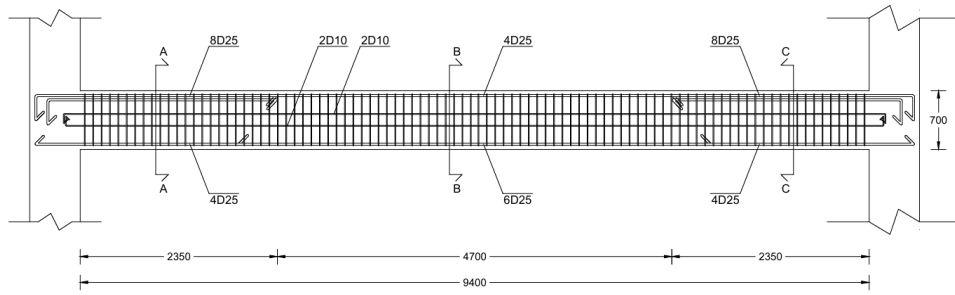
Sehingga diperoleh, jarak maksimum sengkang = 306,25 mm

S_{pakai} diperoleh dari nilai minimum antara S_{perlu} dengan jarak maksimum sengkang, dari hasil yang sudah dihitung maka nilai S_{pakai} adalah 202,108 mm atau nilai S_{pakai} dapat dibulatkan menjadi 200 mm. Sehingga tulangan geser daerah luar sendi plastis yang digunakan adalah : P10 - 200 mm.

Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan desain balok dan gambar penulangan balok yang dapat dilihat pada Tabel 5.73, Gambar 5.78 hingga Gambar 5.84 sebagai berikut.

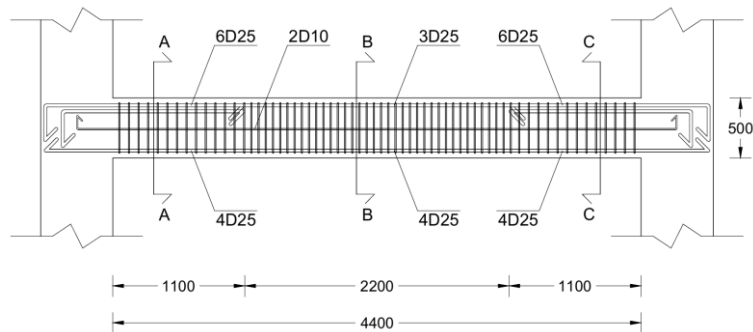
Tabel 5. 73 Rekapitulasi Perhitungan Desain Tulangan Balok

Kode Balok	Dimensi Balok		Tulangan Daerah Tumpuan		Tulangan Daerah Lapangan		Tulangan Geser		Tulangan Pinggang
	B	H	M (-)	M (+)	M (-)	M (+)	Tumpuan	Lapangan	
	mm	mm							
B1	450	700	8 D25	4 D25	4 D25	6 D25	4 D10-100	2 D10-100	4 D10
B2	300	500	6 D25	4 D25	3 D25	4 D25	3 D10-100	2 D10-100	2 D10
B3	300	500	5 D19	2 D19	2 D19	2 D19	2 D10-100	2 D10-150	2 D10
B4	300	400	4 D19	2 D19	2 D19	2 D19	2 D10-100	2 D10-150	2 D10
B5	450	700	5 D25	3 D25	3 D25	4 D25	2 D10-100	2 D10-150	2 D10
B6	300	500	5 D19	3 D19	3 D19	4 D19	2 D10-100	2 D10-100	2 D10
B7	450	700	6 D25	3 D25	3 D25	5 D25	3 D10-100	2 D10-200	4 D10



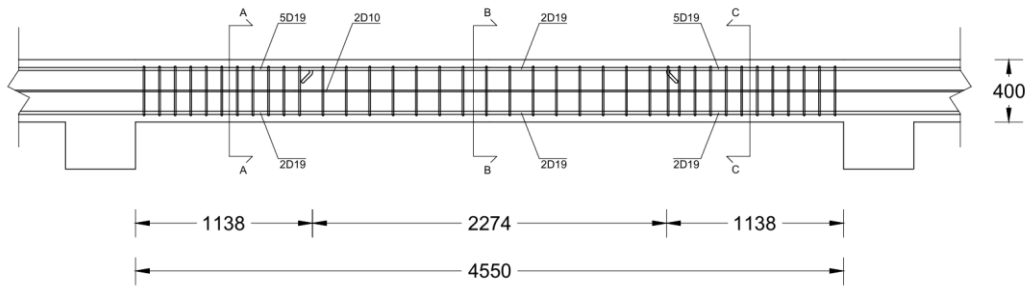
TIPE	B1		
POTONGAN	A - A	B - B	C - C
DETAIL			
TULANGAN ATAS	8 D25	4 D25	8 D25
TULANGAN BAWAH	4 D25	6 D25	4 D25
SENGKANG	4 P10 - 100	2 P10 - 100	4 P10 - 100
TULANGAN SUSUT	4 D10		

Gambar 5. 78 Detail Balok B1



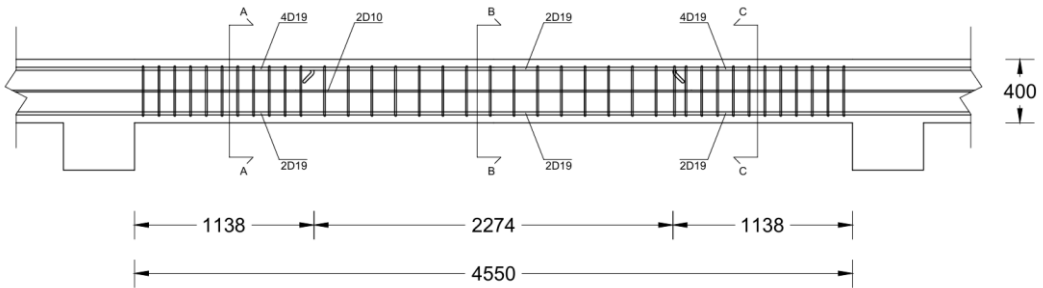
TIPE	B2		
POTONGAN	A - A	B - B	C - C
DETAIL			
TULANGAN ATAS	6 D25	3 D25	6 D25
TULANGAN BAWAH	4 D25	4 D25	4 D25
SENGKANG	3 P10 - 100	2 P10 - 100	3 P10 - 100
TULANGAN SUSUT	2 D10		

Gambar 5. 79 Detail Balok B2



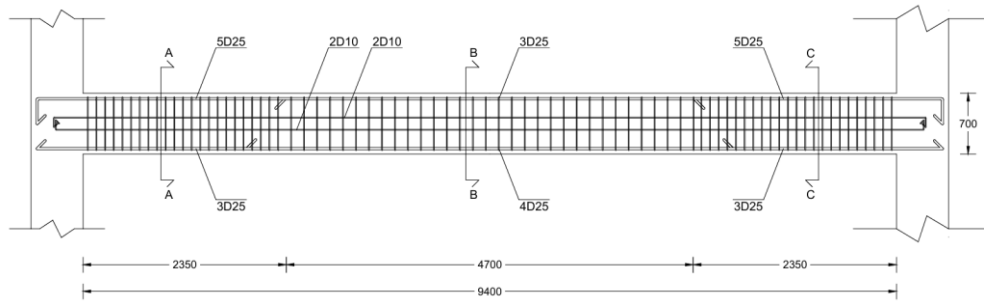
TIPE	B3		
POTONGAN	A - A	B - B	C - C
DETAIL			
TULANGAN ATAS	5 D19	2 D19	5 D19
TULANGAN BAWAH	2 D19	2 D19	2 D19
SENGKANG	2 P10 - 100	2 P10 - 150	2 P10 - 100
TULANGAN SUSUT	2 D10		

Gambar 5. 80 Detail Balok B3



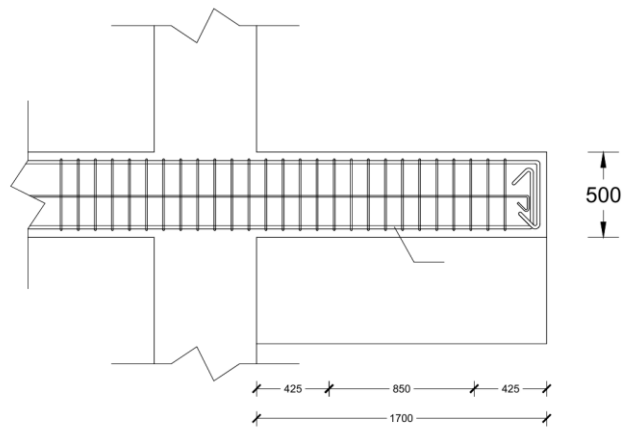
TIPE	B4		
POTONGAN	A - A	B - B	C - C
DETAIL			
TULANGAN ATAS	4 D19	2 D19	4 D19
TULANGAN BAWAH	2 D19	2 D19	2 D19
SENGKANG	2 P10 - 100	2 P10 - 150	2 P10 - 100
TULANGAN SUSUT	2 D10		

Gambar 5. 81 Detail Balok B4



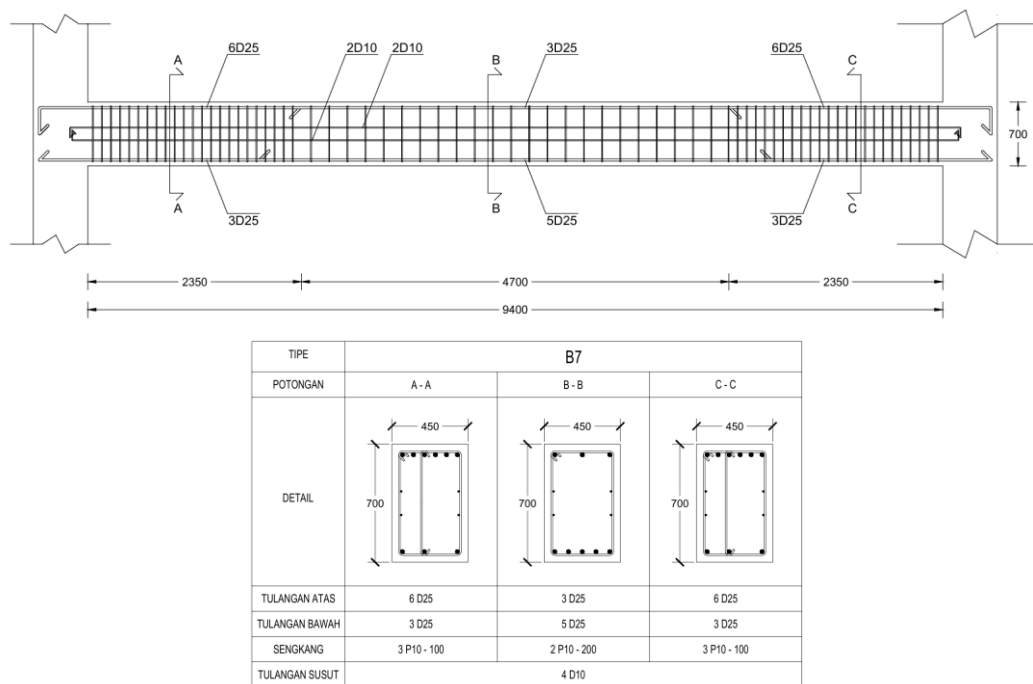
TIPE	B5		
POTONGAN	A - A	B - B	C - C
DETAIL			
TULANGAN ATAS	5 D25	3 D25	5 D25
TULANGAN BAWAH	3 D25	4 D25	3 D25
SENGKANG	2 P10 - 100	2 P10 - 150	2 P10 - 100
TULANGAN SUSUT	4 D10		

Gambar 5. 82 Detail Balok B5



TIPE	B6		
POTONGAN	A - A	B - B	C - C
DETAIL			
TULANGAN ATAS	5 D19	5 D19	5 D19
TULANGAN BAWAH	3 D19	3 D19	3 D19
SENGKANG	2 P10 - 100	2 P10 - 100	2 P10 - 100
TULANGAN SUSUT	2 D10		

Gambar 5. 83 Detail Balok B6



Gambar 5. 84 Detail Balok B7

3. Penulangan desain kolom

Kolom merupakan komponen struktur utama yang memiliki fungsi menyalurkan beban yang berasal dari kolom ke pondasi, kemudian akan disalurkan menuju ke tanah. Kolom yang akan ditinjau untuk didesain adalah kolom 1 (K1). Berikut ini merupakan penjabaran perhitungan desain kolom.

a. Rekapitulasi momen kolom

Momen kolom didapatkan dari hasil analisis SAP2000 dimana besarnya momen pada setiap kolom dapat dilihat pada Tabel 5.74 sebagai berikut.

Tabel 5. 74 Rekapitulasi Momen Kolom

Kolom	Lantai	Mux (kNm)	Pux (kN)	Muy (kNm)	Puy (kN)	Vux (KN)	Vuy (KN)
K1	1-4	603,1134	3041,869	603,1134	3041,869	15,163	15,163
K1'	2-4	308,442	2112,048	308,442	2312,048	41,066	41,066
K2	1-4	488,752	2341,401	488,752	2341,401	50,673	50,673
K2'	2-4	394,1879	1637,197	394,188	1637,197	115,137	115,137
K3	1-5	95,9524	965,079	95,9524	965,079	1,676	1,676

b. Data kolom

$$B = 600 \text{ mm}$$

$$H = 600 \text{ mm}$$

$$F_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$F_y = 400 \text{ MPa}$$

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$\phi_{\text{pokok}} = 25 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{sengkang}} = 10 \text{ mm}$$

$$A_{ds} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi_{\text{pokok}}^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2$$

$$= 490,874 \text{ mm}^2$$

$$P_b = 40 \text{ mm}$$

$$d_s = P_b + \phi_s + \frac{\phi_p}{2}$$

$$= 40 + 10 + \frac{25}{2}$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

$$d_s' = P_b + \phi_s + \frac{\phi_p}{2}$$

$$= 40 + 10 + \frac{25}{2}$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s$$

$$= 600 - 62,5$$

$$= 537,5 \text{ mm}$$

$$A_g = b \times h$$

$$= 600 \times 600$$

$$= 360000 \text{ mm}^2$$

$$\beta_1 = 0,85$$

c. Rasio Tulangan Rencana

Rasio 1 :

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio (satu sisi)} &= 0,3\% \\
 \text{As} = \text{As}' &= \text{Rasio} \times \text{Ag} \\
 &= 0,3\% \times 360000 \\
 &= 3600 \text{ mm}^2 \\
 n_{\text{perlu}} &= \frac{\text{As}}{A_{1d_{\text{pokok}}}} \\
 &= \frac{2000}{660,519} \\
 &= 3,208 \text{ buah} \\
 n_{\text{pakai}} &\geq n_{\text{perlu}} \\
 n_{\text{pakai}} &= 4 \text{ buah} \\
 \text{As}_{\text{pakai}} = \text{As}'_{\text{pakai}} &= n_{\text{pakai}} \cdot A_{1d_{\text{pokok}}} \\
 &= 4 \times (660,519) \\
 &= 2642,079 \text{ mm}^2 \\
 \varepsilon_y &= \frac{f_y}{E} \\
 &= \frac{400}{200000} \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan rencana yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.75 sebagai berikut.

Tabel 5. 75 Rasio Tulangan Rencana Kolom K1

Rasio (satu sisi)	As = As' (mm ²)	n perlu	n pakai	As = As' pakai
0,30%	1080	2,200	3,000	1472,622
0,40%	1440	2,934	3,000	1472,622
0,50%	1800	3,667	4,000	1963,495
0,60%	2160	4,400	5,000	2454,369
0,70%	2520	5,134	6,000	3926,991
0,80%	2880	5,867	6,000	3926,991
0,90%	3240	6,600	7,000	3436,117
1,00%	3600	7,334	8,000	3926,991

d. Perhitungan momen ultimit dan beban ultimit

$$\text{Rasio (satu sisi)} = 1,00\%$$

Kondisi:

1) Desak Sentris

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi \times P_{n_{\text{maks}}} \\ &= \phi \times (0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + (A_{st} \times f_y)) \\ &= 0,65 \times (0,8 \times 0,85 \times 25 \times (360000 - 7853,982) + (400 \times \\ &\quad 7853,982)) \\ &= 9128074,966 \text{ N} \\ &= 9128,075 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0 \text{ kNm}$$

2) *Balance* (Seimbang)

$$\begin{aligned}c_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 573,5 \\ &= 322,500 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \beta_1 \times C_b \\ &= 0,85 \times 322,500 \\ &= 274,125 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s' &= \epsilon_c \times \frac{(c_b - d_s)}{c_b} \\ &= 0,003 \times \frac{(322,5 - 62,5)}{322,5} \\ &= 0,00242 \geq \epsilon_y \text{ (leleh)}\end{aligned}$$

$$F_s' \text{ pakai} = 400 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \epsilon_c \times \frac{(d - c_b)}{c_b} \\ &= 0,003 \times \frac{(537,5 - 322,5)}{322,5} \\ &= 0,00200 \leq \epsilon_y \text{ (Sudah leleh)}\end{aligned}$$

$$F_s \text{ pakai} = 400 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\ &= 0,85 \times 25 \times 274,125 \times 600 \\ &= 3495093,750 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_s &= A_s' \times (F_s' \text{ pakai} - 0,85 \times f_c') \\
&= 3926,991 \times (400 - 0,85 \times 25) \\
&= 1487347,772 \text{ N} \\
T_s &= A_s \times f_y \\
&= 3926,991 \times 400 \\
&= 1570796,327 \text{ N} \\
P_n &= C_c + C_s - T_s \\
&= 3495093,750 + 1487347,772 - 1570796,327 \\
&= 3411645,195 \text{ N} \\
&= 3411,645 \text{ kN} \\
\phi P_n &= \phi \times P_n \\
&= 0,65 \times 3411,645 \\
&= 2217,569 \text{ kN} \\
M_n &= C_c \times \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + C_s \times \left(\frac{h}{2} - d_s\right) + T_s \times \left(\frac{h}{2} - d_s\right) \\
&= 3495093,750 \times \left(\frac{600}{2} - \frac{274,125}{2}\right) + 1115510,829 \times \left(\frac{600}{2} - 62,5\right) + 1570796,327 \times \left(\frac{600}{2} - 62,5\right) \\
&= 1295791061,339 \text{ Nmm} \\
&= 1295,791 \text{ kNm} \\
\phi M_n &= \phi \times M_n \\
&= 0,65 \times 1295,791 \\
&= 842,264 \text{ kN}
\end{aligned}$$

3) Patah desak ($c > c_b$)

Pada kondisi patah desak, perhitungan untuk menentukan nilai Mn-Pn dilakukan dengan menggunakan koefisien nilai c yang lebih besar dari koefisien nilai c pada kondisi seimbang (*balance*). Koefisien nilai c ditentukan mulai dari 1,1 hingga 1,86 kali nilai c pada kondisi seimbang (*balance*). Contoh perhitungan nilai Mn-Pn pada kondisi patah desak digunakan percobaan nilai koefisien 1,5 sebagaimana berikut ini.

$$\text{Koefisien } c_1 = 1,5 \text{ (asumsi belum leleh)}$$

$$\text{Nilai } c = c_1 \times c_b$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,5 \times 322,5 \\
 &= 483,750 \text{ mm} \\
 a &= \beta_1 \times c \\
 &= 0,85 \times 483,750 \\
 &= 411,188 \text{ mm} \\
 \varepsilon_s' &= \varepsilon_c \times \frac{(c-d_s)}{c} \\
 &= 0,003 \times \frac{(483,750-62,5)}{483,750} \\
 &= 0,00261 \\
 \text{Status baja desak} &= \varepsilon_{sd} > \varepsilon_y \\
 &= 0,00261 > 0,00200 \text{ (Sudah leleh)} \\
 F_s' \text{ pakai} &= 400 \text{ MPa} \\
 \phi &= 0,65 \\
 \varepsilon_s &= \varepsilon_c \times \frac{(d-c)}{c} \\
 &= 0,003 \times \frac{(537,5-483,750)}{483,750} \\
 &= 0,000333 < 0,00200 \text{ (Belum leleh)} \\
 F_s \text{ pakai} &= \varepsilon_s \times E_s \\
 &= 0,000333 \times 200000 \\
 &= 66,667 \text{ MPa} \\
 C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\
 &= 0,85 \times 25 \times 411,188 \times 600 \\
 &= 5242640,625 \text{ N} \\
 C_s &= A_s \times (f_s' - 0,85f_c) \\
 &= 3926,991 \times (400 - 0,85 \times 25) \\
 &= 1487347,772 \text{ N} \\
 T_s &= A_s \times F_s \text{ pakai} \\
 &= 3926,991 \times 66,667 \\
 &= 261799,388 \text{ N} \\
 P_n &= C_c + C_s - T_s \\
 &= 5242640,625 + 1487347,772 + 261799,388
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 6468189,009 \text{ N} \\
&= 6468,189 \text{ kN} \\
\phi P_n &= \phi \times P_n \\
&= 0,65 \times 6468,189 \\
&= 4204,323 \text{ kN} \\
M_n &= C_c \times \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + C_s \times \left(\frac{h}{2} - d_s\right) + T_s \times \left(\frac{h}{2} - d_s\right) \\
&= 5242640,625 \times \left(\frac{600}{2} - \frac{411,188}{2}\right) + 1115510,829 \times \left(\frac{600}{2} - 62,5\right) + 261799,388 \times \left(\frac{600}{2} - 62,5\right) \\
&= 910360491,941 \text{ Nmm} \\
&= 910,360 \text{ kNm} \\
\phi M_n &= \phi \times M_n \\
&= 0,65 \times 910,360 \\
&= 591,734 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Untuk perhitungan pada patah desak dengan nilai koefisien c 1,1 sampai 1,86 juga dilakukan perhitungan yang sama seperti perhitungan diatas. Kemudian hasil perhitungan akan direkapitulasi pada Tabel 5.76.

4) Patah Tarik ($c < c_b$)

Pada kondisi patah tarik, perhitungan untuk menentukan nilai M_n - P_n dilakukan dengan menggunakan koefisien nilai c yang lebih kecil dari koefisien nilai c pada kondisi seimbang (*balance*). Koefisien nilai c ditentukan mulai dari 0,9 hingga 0,3 kali nilai c pada kondisi seimbang (*balance*). Contoh perhitungan nilai M_n - P_n pada kondisi patah tarik digunakan percobaan nilai koefisien 0,5 sebagaimana berikut ini.

$$\text{Koefisien } c_1 = 0,5 \text{ (baja tarik belum leleh)}$$

$$\begin{aligned}
\text{Nilai } c &= c_1 \times c_b \\
&= 0,5 \times 322,5 \\
&= 161,25 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a &= \beta_1 \times c \\
&= 0,85 \times 161,25 \\
&= 137,063 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s' &= \varepsilon_c \times \frac{(c-ds)}{c} \\
 &= 0,003 \times \frac{(161,25-62,5)}{161,25} \\
 &= 0,00184 \\
 \text{Status baja desak} &= \varepsilon_{sd} > \varepsilon_y \\
 &= 0,00184 < 0,00200 \text{ (Belum leleh)} \\
 F_s' \text{ pakai} &= \varepsilon_s' \times E_s \\
 &= 0,00184 \times 200000 \\
 &= 367,442 \text{ MPa} \\
 \phi &= 0,65 \\
 \varepsilon_s &= \varepsilon_c \times \frac{(d-c)}{c} \\
 &= 0,003 \times \frac{(537,5-161,25)}{161,25} \\
 &= 0,007 > 0,002 \text{ (Sudah Leleh)} \\
 F_s \text{ pakai} &= 400 \text{ MPa} \\
 C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\
 &= 0,85 \times 25 \times 137,063 \times 600 \\
 &= 1747546,875 \text{ N} \\
 C_s &= A_s \times (F_s' \text{ pakai} - 0,85f_c) \\
 &= 3926,991 \times (367,442 - 0,85 \times 25) \\
 &= 1359492,257 \text{ N} \\
 T_s &= A_s \times F_s \text{ pakai} \\
 &= 3926,991 \times 400 \\
 &= 1570796,327 \text{ N} \\
 P_n &= C_c + C_s - T_s \\
 &= 1747546,875 + 1359492,257 + 1178097,245 \\
 &= 1536242,805 \text{ N} \\
 &= 1536,243 \text{ kN} \\
 \phi P_n &= \phi \times P_n \\
 &= 0,9 \times 1536,243 \\
 &= 1382,619 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_n &= C_c \times \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + C_s \times \left(\frac{h}{2} - ds\right) + T_s \times \left(\frac{h}{2} - ds\right) \\
&= 1747546,875 \times \left(\frac{600}{2} - \frac{137,063}{2}\right) + 1359492,257 \times \left(\frac{600}{2} - 62,5\right) + 1570796,327 \times \left(\frac{600}{2} - 62,5\right) \\
&= 1100446029,365 \text{ Nmm} \\
&= 1100,446 \text{ kNm} \\
\phi M_n &= \phi \times M_n \\
&= 0,65 \times 1100,446 \\
&= 990,401 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Untuk perhitungan pada patah desak dengan nilai koefisien c 0,9 sampai 0,2 juga dilakukan perhitungan yang sama seperti perhitungan diatas. Kemudian hasil perhitungan akan direkapitulasi pada Tabel 5.76.

5) Momen Murni

Baja desak belum leleh

$$\begin{aligned}
A_s \times F_y &= (0,85 \times f_c' \times c \times \beta_1 \times b) + (A_s' \times \frac{c-ds'}{c} \times \epsilon_{cu} \times E_s) \\
3926,991 \times 400 &= (0,85 \times 25 \times c \times 0,85 \times 600) + (3926,991 \times \frac{c-62,5}{c} \times 0,003 \times 200000) \\
c &= 85,835 \text{ mm} \\
a &= \beta_1 \times c \\
&= 0,85 \times 85,835 \\
&= 72,960 \text{ mm} \\
\epsilon_s' &= \epsilon_c \times \frac{(c-ds)}{c} \\
&= 0,003 \times \frac{(85,835-62,5)}{85,835} \\
&= 0,0008 < 0,002 \text{ (Belum leleh)} \\
F_s' \text{ pakai} &= \epsilon_s' \times E_s \\
&= 0,0008 \times 200000 \\
&= 163,116 \text{ Mpa} \\
\epsilon_s &= \epsilon_c \times \frac{(d-c)}{c} \\
&= 0,003 \times \frac{(537,5-85,835)}{85,835}
\end{aligned}$$

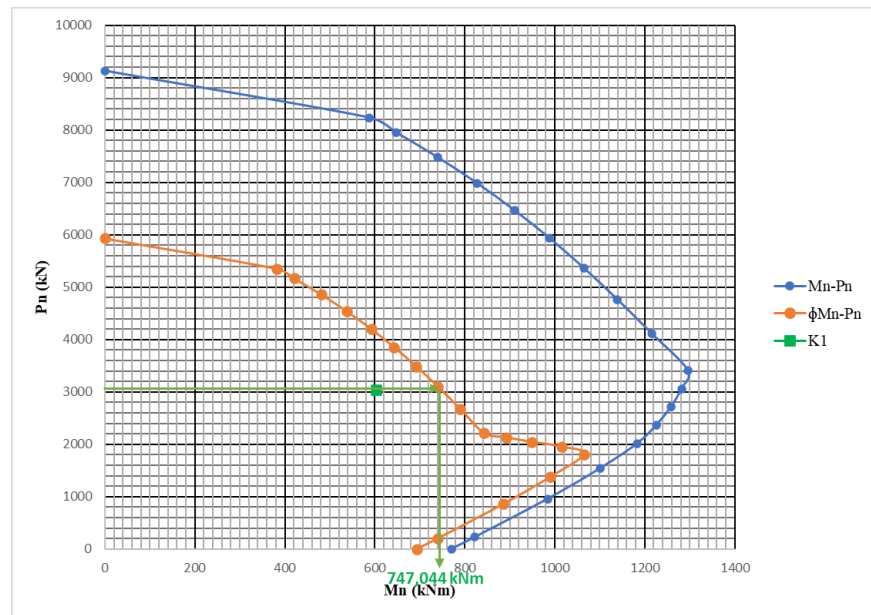
$$\begin{aligned}
&= 0,01579 > 0,002 \text{ (Sudah leleh)} \\
F_s \text{ pakai} &= 400 \text{ MPa} \\
C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\
&= 0,85 \times 25 \times 72,960 \times 600 \\
&= 930239,383 \text{ N} \\
C_s &= A_s' \times F_s' \text{ pakai} \\
&= 3926,991 \times 163,116 \\
&= 640556,944 \text{ N} \\
T_s &= A_s \times F_s \text{ pakai} \\
&= 3926,991 \times 400 \\
&= 1570796,327 \text{ N} \\
P_n &= C_c + C_s - T_s \\
&= 930239,383 + 640556,944 - 1570796,327 \\
&= 0 \text{ N} \\
M_n &= C_c \times \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + C_s \times \left(\frac{h}{2} - d_s\right) + T_s \times \left(\frac{h}{2} - d_s\right) \\
&= 930239,383 \times \left(\frac{600}{2} - \frac{72,960}{2}\right) + 640556,944 \times \left(\frac{600}{2} - 62,5\right) + 1178097,245 \times \left(\frac{600}{2} - 62,5\right) \\
&= 770333106,485 \text{ Nmm} \\
&= 770,333 \text{ kNm} \\
\phi M_n &= \phi \times M_n \\
&= 0,65 \times 770,333 \\
&= 693,300 \text{ kN}
\end{aligned}$$

6) Rekapitulasi Perhitungan Mn-Pn

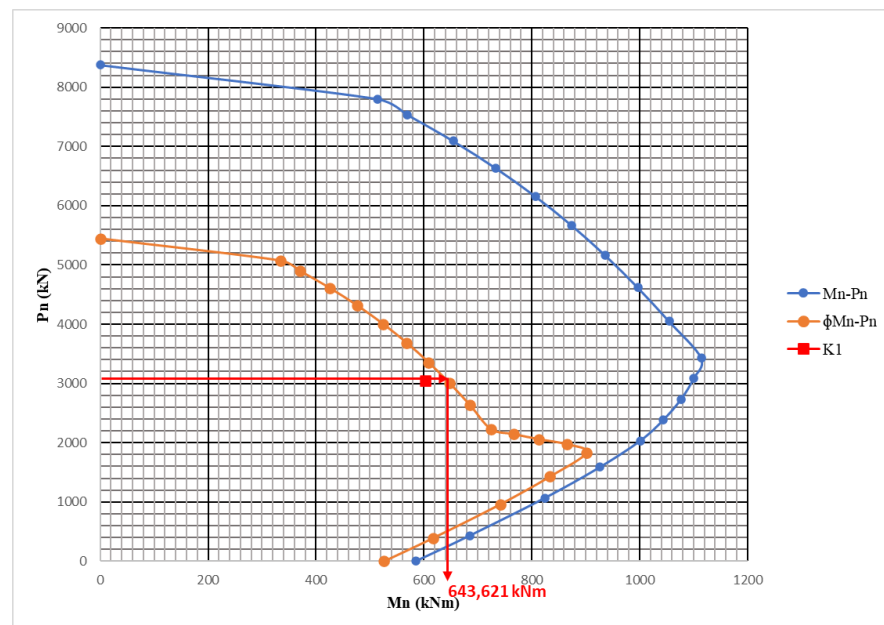
Setelah dilakukan perhitungan Mn-Pn pada sampel kolom K1 untuk setiap kondisi, maka diperoleh nilai Mn-Pn yang dapat dilihat pada Tabel 5.76 dan grafik Mn-Pn yang dapat dilihat pada Gambar 5.85 dan Gambar 5.86 sebagai berikut.

Tabel 5. 76 Rekapitulasi Perhitungan Mn-Pn Kolom K1

Kondisi	Koef c	Mn (kNm)	Pn (kN)
Desak Sentris		0,000	5933,249
Patah Desak	1,86	381,918	5352,935
	1,80	420,572	5169,482
	1,70	481,212	4858,885
	1,60	538,101	4537,860
	1,50	591,734	4204,323
	1,40	642,748	3855,592
	1,30	691,976	3488,161
	1,20	740,527	3097,356
1,10	789,917	2676,800	
Balance	1,00	842,264	2217,569
Patah Tarik	0,90	892,622	2132,154
	0,80	949,151	2045,772
	0,70	1015,453	1958,011
	0,60	1064,672	1812,247
	0,50	990,401	1382,619
	0,40	886,035	862,578
	0,30	740,510	205,549
Momen Murni	0,24	693,300	0,000



Gambar 5. 85 Diagram Mn-Pn Kolom K1 Arah X Rasio 1,0%



Gambar 5. 86 Diagram Mn-Pn Kolom K1 Arah Y Rasio 0,7%

Berdasarkan data rekapitulasi gaya dalam dari Tabel 5.74 pada kolom K1 arah x yaitu $P_{ux} = 3041,869$ kN dan $M_{ux} = 603,113$ kNm. Sedangkan untuk kolom K1 arah y yaitu $P_{uy} = 3041,869$ kN dan $M_{uy} = 603,113$ kNm. Pada Gambar 5.85 dan Gambar 5.86, dibuat garis bantu

untuk mendapatkan nilai Mn dan nilai Pn pada grafik diatas sehingga didapatkan hasil pembacaan untuk kolom K1 arah x nilai Pn = 3041,869 kN dan Mn = 747,044 kNm dan kolom K1 arah y nilai Pn = 3041,869 kN dan Mn = 643,583 kNm.

e. Perencanaan Tulangan Pokok Kolom

1) Arah X

$$\text{Lebar kolom B} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi kolom H} = 600 \text{ mm}$$

Tulangan pakai :

$$\text{Jumlah arah x } (n_x) = 8 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah arah y } (n_y) = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Rasio tulangan total} = \frac{((n_x \times 2) + (n_y \times 2) - 4) \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{pokok}^2\right)}{B_{kolom} \times H_{kolom}} \times$$

$$100\% \leq 6\%$$

$$\text{Rasio tulangan total} = \frac{((8 \times 2) + (6 \times 2) - 4) \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 25^2\right)}{600 \times 600} \times 100\%$$

$$\text{Rasio tulangan total} = 3.27\% \text{ (OKE)}$$

$$P_{nx} = 3041,869 \text{ kN}$$

$$P_{ny} = 3041,869 \text{ kN}$$

$$M_{nx} = 747,044 \text{ kNm}$$

$$M_{ny} = 643,583 \text{ kNm}$$

Setelah dilakukan analisis perhitungan desain lentur pada kolom maka diperoleh dimensi kolom, jumlah tulangan yang digunakan pada kolom, rasio total pada kolom serta momen ultimit dan beban ultimit kapasitas pada kolom. Rekapitulasi desain lentur kolom di setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.77 sebagai berikut.

Tabel 5. 77 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi dan Tulangan Pakai Pada Kolom

Kolom	Lantai	Dimensi		Tulangan Pokok Pakai		Rasio Tulangan Total	Mux Pakai (kNm)	Pux Pakai (kNm)	Muy pakai (kNm)	Puy pakai (kNm)
		B (mm)	H (mm)	Arah x	Arah y					
K1	1-4	600	600	8	6	3,27%	747,044	3041,869	643,583	3041,869
K1'	2-4	600	600	6	6	2,73%	781,500	2112,048	781,500	2112,048
K2	1-4	600	600	5	5	2,18%	656,000	2341,401	656,000	2341,401
K2'	2-4	600	600	5	5	2,18%	785,879	1637,197	785,879	1637,197
K3	1-5	450	300	3	4	1,36%	494,120	965,079	576,685	965,079

4. Pengecekan *Strong Column Weak Beam (SCWB)*

Seluruh kolom yang telah dilakukan analisis perhitungan maka harus dilakukan pengecekan SCWB pada kolom - kolom tersebut di setiap tingkat lantainya. Berikut adalah salah satu contoh pengecekan SCWB pada kolom K1' arah X yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Mux kolom atas} &= 747,044 \text{ kNm} \\ \text{Mux kolom bawah} &= 747,044 \text{ kNm} \\ \Sigma \text{Mu Kolom} &= \text{Mux kolom atas} + \text{Mux kolom bawah} \\ &= 747,044 + 747,044 \\ &= 1494.088 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Balok yang merangka:

$$\begin{aligned} \text{Sebelah kanan} &= \text{B1} \\ \text{Mu- B1 kanan} &= 804,614 \text{ kNm} \\ \text{Sebelah kiri} &= \text{B1} \\ \text{Mu+ B1 kiri} &= 421,584 \text{ kNm} \\ \Sigma \text{Mu Balok} &= \text{Mu- B1 kanan} + \text{Mu+ B1 kiri} \\ &= 804,614 + 421,584 \\ &= 1226,198 \text{ KNm} \\ \frac{6}{5} \Sigma \text{Mu Balok} &= \left(\frac{6}{5}\right) \times 1226,198 \\ &= 1471,438 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Cek SCWB

Syarat :

$$\begin{aligned} \Sigma \text{Mu Kolom} &\geq \frac{6}{5} \Sigma \text{Mu Balok} \\ 1494,088 \text{ KNm} &> 1471,438 \text{ KNm} \text{ (OK syarat terpenuhi)} \end{aligned}$$

Rekapitulasi pengecekan SCWB pada seluruh lantai dan kolom pada arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel 5.78 sebagai berikut.

Tabel 5. 78 Rekapitulasi Pengecekan SCWB Kolom Arah X

Kolom	Mux kolom atas (kNm)	Mux kolom bawah (kNm)	Σ Mu Kolom (kNm)	Balok yang merangka		Mu balok yang merangka (kNm)		Σ Mu Balok (kNm)	6/5 Σ Mu Balok (kNm)	Syarat Σ Muk $\geq (6/5)\Sigma$ Mub
				Kanan	Kiri	Kanan	Kiri			
K1	747,044	747,044	1494,088	B1	B1	804,614	421,584	1226,198	1471,438	OKE
K1'	781,500	781,500	1563,000	B1	B1	804,614	421,584	1226,198	1471,438	OKE
K2	656,000	656,000	1312,000	B1	-	804,614	0	804,614	965,537	OKE
K2'	785,879	785,879	1571,758	B1	-	804,614	0	804,614	965,537	OKE
K3	494,120	494,120	988,240	B4	B4	124,493	65,878	190,371	228,446	OKE

Tabel 5. 79 Rekapitulasi Pengecekan SCWB Kolom Arah Y

Kolom	Mux kolom atas (kNm)	Mux kolom bawah (kNm)	Σ Mu Kolom (kNm)	Balok yang merangka		Mu balok yang merangka (kNm)		Σ Mu Balok (kNm)	6/5 Σ Mu Balok (kNm)	Syarat Σ Muk $\geq (6/5)\Sigma$ Mub
				Kanan	Kiri	Kanan	Kiri			
K1	643,583	643,583	1287,166	B2	B2	387,303	271,269	658,5724	790,287	OKE
K1'	781,500	781,500	1563,000	B2	B2	387,303	271,269	658,5724	790,287	OKE
K2	656,000	656,000	1312,000	B2	B2	387,303	271,269	658,5724	790,287	OKE
K2'	785,879	785,879	1571,758	B2	B2	387,303	271,269	658,5724	790,287	OKE
K3	576,685	576,685	1153,370	B4	B4	124,493	65,878	190,3714	228,446	OKE

5. Desain tulangan geser kolom

Tulangan geser pada kolom didesain pada daerah sendi plastis dan daerah luar sendi plastis, nantinya tulangan geser pada kolom didesain pada seluruh kolom. Contoh analisis desain tulangan geser kolom pada daerah sendi plastis dan daerah luar sendi plastis dilakukan pada kolom K1' yang dapat dilihat sebagai berikut.

B kolom	= 600 mm
H kolom	= 600 mm
L kolom atas	= 4200 mm
L kolom bawah	= 4750 mm
Balok atas arah x :	
B2 dengan H balok	= 700 mm
Balok bawah arah x:	
B2 dengan H balok	= 700 mm
Balok atas arah y:	
B1 dengan H balok	= 500 mm
Balok bawah arah y:	
B1 dengan H balok	= 500 mm
Lnx kolom atas	= L kolom atas - (0,5 x Hx atas) - (0,5 x Hx bawah)
	= 4200 - (0,5 x 700) - (0,5 x 700)
	= 3500 mm
Lnx kolom bawah	= L kolom bawah - (0,5 x Hx atas) - (0,5 x Hx bawah)
	= 4750 - (0,5 x 700) - (0,5 x 700)
	= 4050 mm
Lny kolom atas	= L kolom atas - (0,5 x Hy atas) - (0,5 x Hy bawah)
	= 4200 - (0,5 x 500) - (0,5 x 500)
	= 3700 mm
Lny kolom bawah	= L kolom bawah - (0,5 x Hy atas) - (0,5 x Hy bawah)
	= 4750 - (0,5 x 500) - (0,5 x 500)
	= 4250 mm
Mkap balok atas x	= 990,167 KNm

$$\begin{aligned}
\text{Mkap balok bawah x} &= 990,167 \text{ KNm} \\
\text{Mkap balok atas y} &= 387,303 \text{ KNm} \\
\text{Mkap balok bawah y} &= 387,303 \text{ KNm} \\
\text{Pnx} &= 3041,869 \text{ KN} \\
\text{Pny} &= 3041,869 \text{ KN} \\
\text{Luas Kolom (Ag)} &= \text{Bkolom} \cdot \text{Hkolom} \\
&= 600 \times 600 \\
&= 360000 \text{ mm}^2 \\
\text{Mutu beton (F'c)} &= 25 \text{ Mpa} \\
\text{Fy} &= 400 \text{ Mpa} \\
\text{Fys} &= 240 \text{ Mpa} \\
\text{Selimut beton (Pb)} &= 40 \text{ mm} \\
\text{Dpokok} &= 25 \text{ mm} \\
\text{Dsengkang} &= 10 \text{ mm} \\
\text{ds arah x} &= \text{Pb} + \text{Dsengkang} + (0,5 \cdot \text{Dpokok}) \\
&= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25) \\
&= 62,5 \text{ mm} \\
\text{ds' arah x} &= \text{Pb} + \text{Dsengkang} + (0,5 \cdot \text{Dpokok}) \\
&= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25) \\
&= 62,5 \text{ mm} \\
\text{ds arah y} &= \text{Pb} + \text{Dsengkang} + (0,5 \cdot \text{Dpokok}) \\
&= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25) \\
&= 62,5 \text{ mm} \\
\text{ds' arah y} &= \text{Pb} + \text{Dsengkang} + (0,5 \cdot \text{Dpokok}) \\
&= 40 + 10 + (0,5 \cdot 25) \\
&= 62,5 \text{ mm} \\
\text{d arah x} &= \text{Bkolom} - \text{ds arah y} \\
&= 600 - 62,5 \\
&= 537,5 \text{ mm} \\
\text{d arah y} &= \text{Hkolom} - \text{ds arah x} \\
&= 600 - 62,5
\end{aligned}$$

$$= 537,5 \text{ mm}$$

a. Desain Tulangan lentur Daerah Sendi Plastis

1) Tinjauan Arah X

Panjang daerah sendi plastis (l_o)

Syarat : $l_o \geq B_{kolom}$, $l_o \geq (L_{atas}/6)$, $l_o \geq 550 \text{ mm}$

maka digunakan l_o yaitu :

$$\begin{aligned} l_o &= L_{atas}/6 \\ &= 4200/6 \\ &= 700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pengecekan syarat

$$P_{ux}/(A_g \cdot F'_c) \leq 0,3$$

$$0,337 > 0,3$$

Menghitung parameter properti penampang

$$\begin{aligned} h_c &= H_{kolom} - 2(P_b + (0,5 \times D_{sengkang})) \\ &= 600 - 2(40 + (0,5 \times 10)) \\ &= 510 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$F'_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$A_g = 360000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = (H_{kolom} - (2 \times P_b))^2$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= (600 - (2 \times 40))^2 \\ &= 270400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung $A_{sh/s}$ minimal

Untuk menentukan nilai $A_{sh/s}$ harus sesuai dengan persyaratan yang dapat dilihat pada Gambar 5.87 berikut.

$A_{sh}/s_b c$ untuk senggang pengekang persegi	$P_u \leq 0,3 A_g f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$ (a) $0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}}$ (b)
	$P_u > 0,3 A_g f_c'$ atau $f_c' > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	$0,2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (c)

Gambar 5. 87 Persyaratan Nilai Ash/s

Berdasarkan pengecekan syarat diperoleh :

$$P_u / (A_g \cdot F_c') > 0,3$$

Maka untuk menentukan nilai Ash/s yaitu :

$$k_f = \frac{f_c'}{175} + 0,6 \geq 1,0$$

$$k_f = 1,0$$

$$k_n = \frac{(n_x \text{ pakai} \times n_y \text{ pakai}) - 4}{((n_x \text{ pakai} \times n_y \text{ pakai}) - 4) - 2}$$

$$= \frac{(8 \times 6) - 4}{((8 \times 6) - 4) - 2}$$

$$= 0,957$$

$$\text{Ash/s (a)} = 0,3 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{F_c'}{F_{yt}} \times H_{kolom}$$

$$= 0,3 \times \left(\frac{360000}{270400} - 1 \right) \times \frac{25}{400} \times 600$$

$$= 3,728 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Ash/s (b)} = 0,09 \times \frac{F_c'}{F_{yt}} \times H_{kolom}$$

$$= 0,09 \times \frac{25}{400} \times 600$$

$$= 3,375 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Ash/s (c)} = 0,2 \times k_f \times k_n \times \frac{P_u}{F_{yt} \times A_{ch}} \times H_{kolom}$$

$$= 0,2 \times 1 \times 0,957 \times \frac{3041,869}{400 \times 270400} \times 600$$

$$= 3,228 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jarak Spasi Maks. Senggang Daerah Sendi Plastis

$$h_x = h_c$$

$$\begin{aligned}
 &= 510,000 \text{ mm} \\
 S(a) &= \frac{1}{4} \times H \text{ kolom} \\
 &= \frac{1}{4} \times 600 \\
 &= 150 \text{ mm} \\
 S(b) &= 6 \times D \text{ pokok} \\
 &= 6 \times 25 \\
 &= 150 \text{ mm} \\
 S_o &= 100 + ((350-hx))/3 \\
 &= 100 + ((350-510))/3 \\
 &= 46,667 \text{ mm} \\
 S_o &< 100, \text{ maka} \\
 S(c) &= 100 \text{ mm} \\
 S_{\text{minimum}} &= 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh Spakai :

$$Spakai = 100 \text{ mm}$$

Menghitung Jumlah Kaki Sengkang

$$\begin{aligned}
 Ash(a) &= Ash/h(a) \times Spakai \\
 &= 372,781 \text{ mm}^2 \\
 Ash(b) &= Ash/h(b) \times Spakai \\
 &= 337,500 \text{ mm}^2 \\
 Ash(c) &= Ash/h(c) \times Spakai \\
 &= 322,812 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk nilai Ashpakai dipilih nilai maksimum dari ketiga hasil diatas maka diperoleh:

$$\begin{aligned}
 Ashpakai &= 372,781 \text{ mm}^2 \\
 Ash_{\text{minimum}} &= \frac{1}{3} \times H_{\text{kolom}} \times S/Fyt \\
 &= \frac{1}{3} \times 600 \times (100/400) \\
 &= 50 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk nilai Aspakai dipilih nilai maksimum antara Ashpakai dengan Ashminimum hasil diatas maka diperoleh :

$$Aspakai = 372,781 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A1Dv &= \frac{1}{4} \times \pi \times (Dsengkang)^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\
 &= 78,540 \text{ mm}^2 \\
 n_{perlu} &= \text{Aspakai} / A1Dv \\
 &= 372,781/78,540 \\
 &= 4,746 \text{ kaki}
 \end{aligned}$$

maka untuk npakai diperoleh :

$$n_{pakai} = 5 \text{ kaki}$$

Cek Syarat Jarak Kaki Sengkang

$$\begin{aligned}
 Hx &= \frac{H_{kolom} - 2 \times Pb - n_{pakai} \times D_{sengkang}}{n_{pakai} - 1} \\
 &= \frac{600 - 2 \times 40 - 5 \times 10}{5 - 1} \\
 &= 117,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat : $Hx < 200 \text{ mm}$

maka : $117,5 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$

Sehingga npakai = 5 kaki

Dari hasil analisis diatas maka diperoleh tulangan geser daerah sendi plastis tinjauan arah x yaitu : 5D10-100 mm

2) Tinjauan Arah Y

Panjang daerah sendi plastis (l_o)

Syarat : $l_o \geq B_{kolom}$, $l_o \geq (L_{atas}/6)$, $l_o \geq 550 \text{ mm}$

maka digunakan l_o yaitu :

$$\begin{aligned}
 l_o &= L_{atas}/6 \\
 &= 4200/6 \\
 &= 700 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pengecekan syarat

$$P_{ux}/(A_g \cdot F'_c) \leq 0,3$$

$$0,337 > 0,3$$

Menghitung parameter properti penampang

$$\begin{aligned}
 h_c &= H_{kolom} - 2(Pb + (0,5 \times D_{sengkang})) \\
 &= 600 - 2(40 + (0,5 \times 10))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 510 \text{ mm} \\
 F'_c &= 25 \text{ Mpa} \\
 F_y &= 400 \text{ Mpa} \\
 A_g &= 360000 \text{ mm}^2 \\
 A_{ch} &= (H \text{ kolom} - (2 \times P_b))^2 \\
 A_{ch} &= (600 - (2 \times 40))^2 \\
 &= 270400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung $A_{sh/s}$ minimal

Untuk menentukan nilai $A_{sh/s}$ harus sesuai dengan persyaratan yang dapat dilihat pada Gambar 5.88 berikut.

A_{sh/sb_c} untuk senggang pengekang persegi	$P_u \leq 0,3 A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (a) $0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (b)
	$P_u > 0,3 A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	$0,2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (c)

Gambar 5. 88 Persyaratan Nilai $A_{sh/s}$

Berdasarkan pengecekan syarat diperoleh :

$$P_u / (A_g \cdot F'_c) > 0,3$$

Maka untuk menentukan nilai $A_{sh/s}$ yaitu :

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1,0$$

$$k_f = 1,0$$

$$k_n = \frac{(n_{x_{pakai}} \times n_{y_{pakai}})^{-4}}{((n_{x_{pakai}} \times n_{y_{pakai}})^{-4})^{-2}}$$

$$= \frac{(8 \times 6)^{-4}}{((8 \times 6)^{-4})^{-2}}$$

$$= 0,957$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ash/s (a)} &= 0,3 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{F_{tC}}{F_{yt}} \times H_{kolom} \\
 &= 0,3 \times \left(\frac{360000}{270400} - 1 \right) \times \frac{25}{400} \times 600 \\
 &= 3,728 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ash/s (b)} &= 0,09 \times \frac{F_{tC}}{F_{yt}} \times H_{kolom} \\
 &= 0,09 \times \frac{25}{400} \times 600 \\
 &= 3,375 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ash/s (c)} &= 0,2 \times k_f \times k_n \times \frac{P_u}{F_{yt} \times A_{ch}} \times H_{kolom} \\
 &= 0,2 \times 1 \times 0,957 \times \frac{3041,869}{400 \times 270400} \times 600 \\
 &= 3,228 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Jarak Spasi Maks. Sengkang Daerah Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 h_x &= h_c \\
 &= 510,000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S(a) &= \frac{1}{4} \times H \text{ kolom} \\
 &= \frac{1}{4} \times 600 \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S(b) &= 6 \times D \text{ pokok} \\
 &= 6 \times 25 \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_o &= 100 + ((350 - h_x))/3 \\
 &= 100 + ((350 - 510))/3 \\
 &= 46,667 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_o < 100, \text{ maka}$$

$$S(c) = 100 \text{ mm}$$

$$S_{\text{minimum}} = 100 \text{ mm}$$

Sehingga diperoleh Spakai :

$$\text{Spakai} = 100 \text{ mm}$$

Menghitung Jumlah Kaki Sengkang

$$\begin{aligned}
 \text{Ash (a)} &= \text{Ash/h (a)} \times \text{Spakai} \\
 &= 372,781 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash (b)} &= \text{Ash/h (b)} \times \text{Spakai} \\ &= 337,500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash (c)} &= \text{Ash/h (c)} \times \text{Spakai} \\ &= 322,812 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk nilai Ashpakai dipilih nilai maksimum dari ketiga hasil diatas maka diperoleh:

$$\text{Ashpakai} = 372,781 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Ashminimum} &= \frac{1}{3} \times H_{\text{kolom}} \times S/F_{yt} \\ &= \frac{1}{3} \times 600 \times (100/400) \\ &= 50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk nilai Aspakai dipilih nilai maksimum antara Ashpakai dengan Ashminimum hasil diatas maka diperoleh :

$$\text{Aspakai} = 372,781 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A1Dv &= \frac{1}{4} \times \pi \times (D_{\text{senggang}})^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{perlu}} &= \text{Aspakai} / A1Dv \\ &= 372,781/78,540 \\ &= 4,746 \text{ kaki} \end{aligned}$$

maka untuk npakai diperoleh :

$$n_{\text{pakai}} = 5 \text{ kaki}$$

Cek Syarat Jarak Kaki Senggang

$$\begin{aligned} Hx &= \frac{H_{\text{kolom}} - 2 \times Pb - n_{\text{pakai}} \times D_{\text{senggang}}}{n_{\text{pakai}} - 1} \\ &= \frac{600 - 2 \times 40 - 5 \times 10}{5 - 1} \\ &= 117,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $Hx < 200 \text{ mm}$

maka : $117,5 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$

Sehingga npakai = 5 kaki

Dari hasil analisis diatas maka diperoleh tulangan geser daerah sendi plastis tinjauan arah x yaitu : 5D10-100 mm

Berdasarkan hasil analisis tulangan geser daerah sendi plastis tinjauan arah x dan arah y maka ditetapkan tulangan geser daerah sendi plastis yaitu :

npakai sendi daerah sendi plastis = 5 kaki
 jarak pakai daerah sendi plastis = 100 mm
 Tulangan geser pakai daerah sendi plastis = 5D10-100 mm

b. Desain Tulangan lentur Daerah Luar Sendi Plastis

1) Tinjauan Arah X

Menghitung Vu kolom

$$\begin{aligned} DF \text{ atas} &= \frac{1/L_{atas}}{1/L_{atas}+1/L_{bawah}} \\ &= \frac{1/4200}{1/4200+1/4750} \\ &= 0,531 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DF \text{ bawah} &= \frac{1/L_{bawah}}{1/L_{atas}+1/L_{bawah}} \\ &= \frac{1/4750}{1/4750+1/4200} \\ &= 0,469 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{sway}} &= \frac{M_{pr_{atas}} \times DF_{atas} + M_{pr_{bawah}} \times DF_{bawah}}{L_{n_{atas}}} \\ &= \frac{990,167 \times 0,531 + 990,167 \times 0,469}{3500} \\ &= 282,905 \text{ kN} \\ &= 282904,731 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{\text{ux SAP}} = 15,163 \text{ kN}$$

Untuk nilai Vuxpakai dipilih nilai maksimum antara Vsway dengan VuxSAP hasil diatas maka diperoleh :

$$\begin{aligned} V_{\text{uxpakai}} &= 282,905 \text{ kN} \\ &= 282904,731 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung Vc Kolom

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot 1/6 \cdot \sqrt{F'_c} \cdot b \cdot d_s \\ &= \left(1 + \frac{3041,869}{14 \times 360000}\right) \times 1/6 \times \sqrt{25} \times 600 \times 62,5 \\ &= 50110,795 \text{ N} \end{aligned}$$

Jarak Spasi Maks. Senggang Daerah Luar Sendi Plastis

$$\begin{aligned} S(a) &= 6 \times D_{\text{pokok}} \\ &= 6 \times 25 \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S(b) = 150 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Sehingga diperoleh Spakai :

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis

$$V_u = 282904,731 \text{ N}$$

$$V_c = 50110,795 \text{ N}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$V_u/\Phi = 282904,731 / (0,75)$$

$$= 377206,307 \text{ N}$$

$$V_s = V_u/\Phi - V_c$$

$$= 377206,307 - 50110,795$$

$$= 327095,513 \text{ N}$$

$$A_{\text{perlu}} = \frac{S_{\text{pakai}} \times V_s}{F_y \times d}$$

$$= \frac{150 \times 327095,513}{400 \times 537,5}$$

$$= 228,206 \text{ mm}^2$$

$$A_{1D} = \frac{1}{4} \times \pi \times (D_{\text{senggang}})^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (10)^2$$

$$= 78,540 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{perlu}} = A_{\text{perlu}} / A_{1D}$$

$$= 228,206 / 78,540$$

$$= 2,906 \text{ kaki}$$

maka untuk npakai diperoleh :

$$n_{\text{pakai}} = 3 \text{ kaki}$$

Dari hasil analisis diatas maka diperoleh tulangan geser daerah luar sendi plastis tinjauan arah x yaitu : 3D10-150 mm

2) Tinjauan Arah Y

Menghitung Vu kolom

$$\begin{aligned} DF \text{ atas} &= \frac{1/L_{atas}}{1/L_{atas}+1/L_{bawah}} \\ &= \frac{1/4200}{1/4200+1/4750} \\ &= 0,531 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DF \text{ bawah} &= \frac{1/L_{bawah}}{1/L_{atas}+1/L_{bawah}} \\ &= \frac{1/4750}{1/4750+1/4200} \\ &= 0,469 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{sway}} &= \frac{M_{pr_{atas}} \times DF_{atas} + M_{pr_{bawah}} \times DF_{bawah}}{L_{n_{atas}}} \\ &= \frac{387,303 \times 0,531 + 387,303 \times 0,469}{3500} \\ &= 104,677 \text{ kN} \\ &= 104676,509 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{ux \text{ SAP}} = 15,163 \text{ kN}$$

Untuk nilai V_{ux} dipakai dipilih nilai maksimum antara V_{sway} dengan $V_{ux \text{ SAP}}$ hasil diatas maka diperoleh :

$$\begin{aligned} V_{ux \text{ pakai}} &= 104,677 \text{ kN} \\ &= 104676,509 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung V_c Kolom

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot 1/6 \cdot \sqrt{F'_c} \cdot b \cdot d_s \\ &= \left(1 + \frac{3041,869}{14 \times 360000}\right) \times 1/6 \times \sqrt{25} \times 600 \times 62,5 \\ &= 50110,795 \text{ N} \end{aligned}$$

Jarak Spasi Maks. Senggang Daerah Luar Sendi Plastis

$$\begin{aligned} S(a) &= 6 \times D_{\text{pokok}} \\ &= 6 \times 25 \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S(b) = 150 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Sehingga diperoleh S_{pakai} :

$$S_{pakai} = 150 \text{ mm}$$

Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis

$$V_u = 104676,509 \text{ N}$$

$$V_c = 50110,795 \text{ N}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$V_u/\Phi = 104676,509 / (0,75)$$

$$= 139568,679 \text{ N}$$

$$V_s = V_u/\Phi - V_c$$

$$= 139568,679 - 50110,795$$

$$= 89457,884 \text{ N}$$

$$A_{perlu} = \frac{S_{pakai} \times V_s}{F_y \times d}$$

$$= \frac{150 \times 89457,884}{400 \times 537,5}$$

$$= 62,412 \text{ mm}^2$$

$$A_{1D} = \frac{1}{4} \times \pi \times (D_{sengkang})^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (10)^2$$

$$= 78,540 \text{ mm}^2$$

$$n_{perlu} = A_{perlu} / A_{1D}$$

$$= 62,412 / 78,540$$

$$= 0,795 \text{ kaki}$$

maka untuk npakai diperoleh :

$$n_{pakai} = 2 \text{ kaki}$$

Dari hasil analisis diatas maka diperoleh tulangan geser daerah luar sendi plastis tinjauan arah x yaitu : 2D10-150 mm

Berdasarkan hasil analisis tulangan geser daerah luar sendi plastis tinjauan arah x dan arah y maka ditetapkan tulangan geser daerah luar sendi plastis yaitu :

$$n_{pakai} \text{ sendi daerah sendi plastis} = 2 \text{ kaki}$$

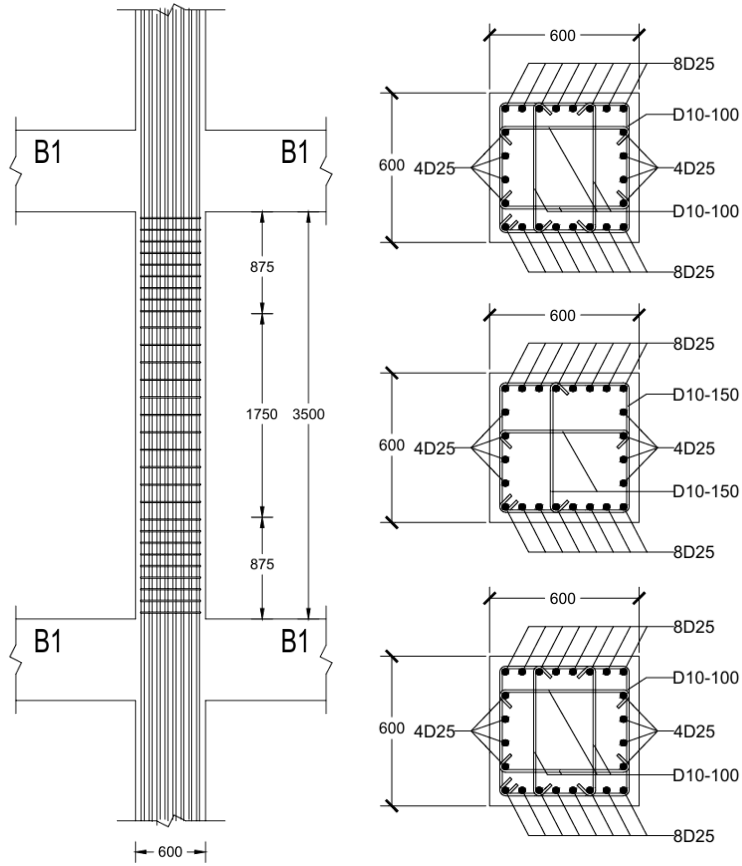
$$\text{jarak pakai daerah sendi plastis} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan geser pakai daerah luar sendi plastis} = 2D10-150 \text{ mm}$$

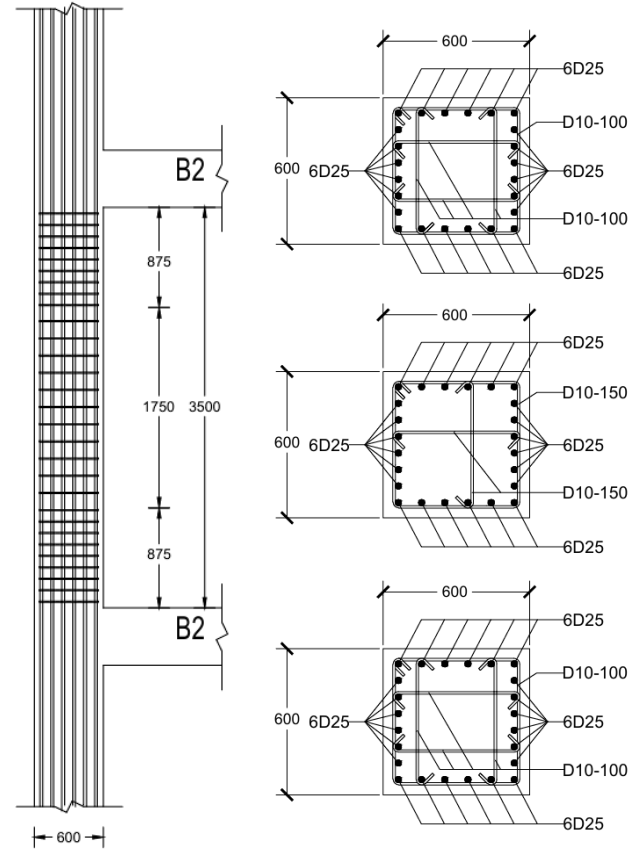
Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh hasil untuk kolom K1 digunakan tulangan geser yaitu 5D10-100 mm pada daerah sendi plastis dan 3D10-150 mm pada daerah luar sendi plastis. Selanjutnya dilakukan perhitungan yang sama untuk tinjauan kolom lainnya secara keseluruhan sehingga diperoleh tulangan geser yang hasilnya direkapitulasi secara keseluruhan pada Tabel 5.80 dan desain penulangan kolom dapat dilihat pada Gambar 5.89 hingga Gambar 5.98 sebagai berikut.

Tabel 5. 80 Rekapitulasi Tulangan Geser Kolom

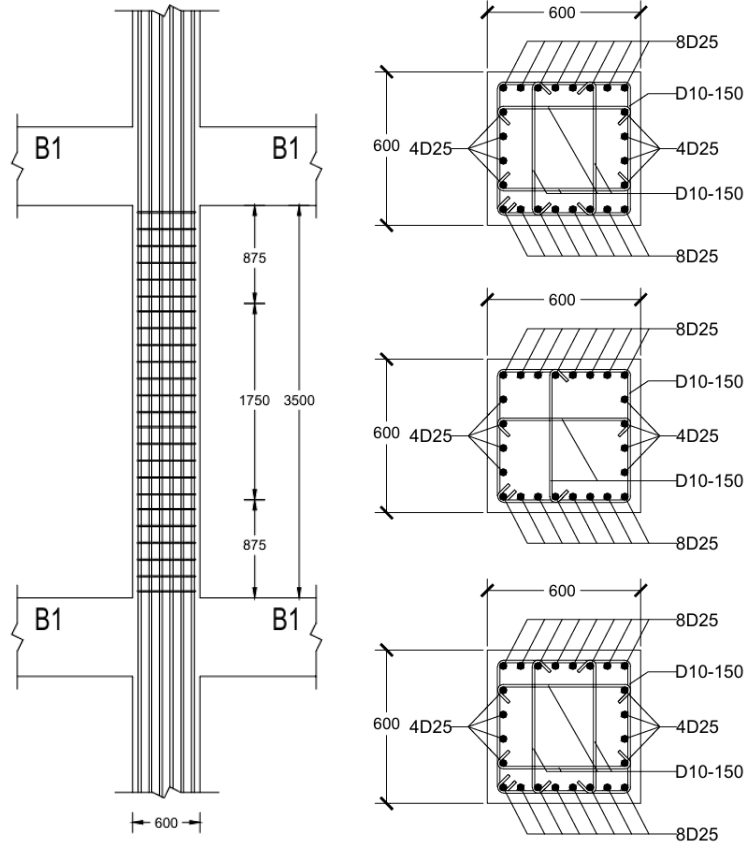
Kolom	Dimensi		Tulangan Geser Pakai	
	B (mm)	H (mm)	Sendi plastis	Luar sendi plastis
K1	600	600	4D10-100	3D10-150
K1'	600	600	4D10-150	3D10-150
K2	600	600	4D10-150	3D10-150
K2'	600	600	4D10-150	3D10-150
K3	300	450	2D10-100	2D10-150



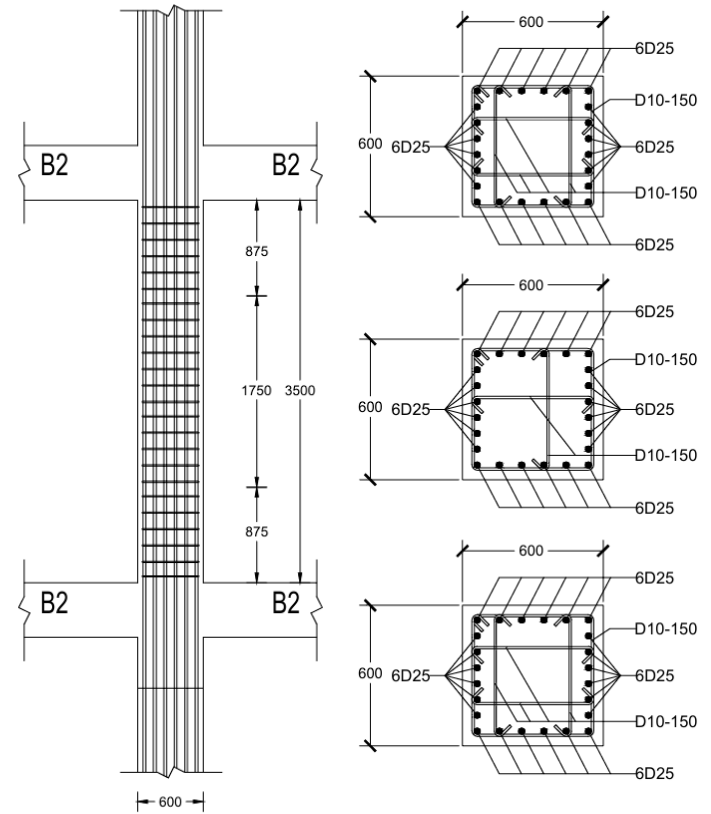
Gambar 5. 89 Detail Kolom K1 Arah X



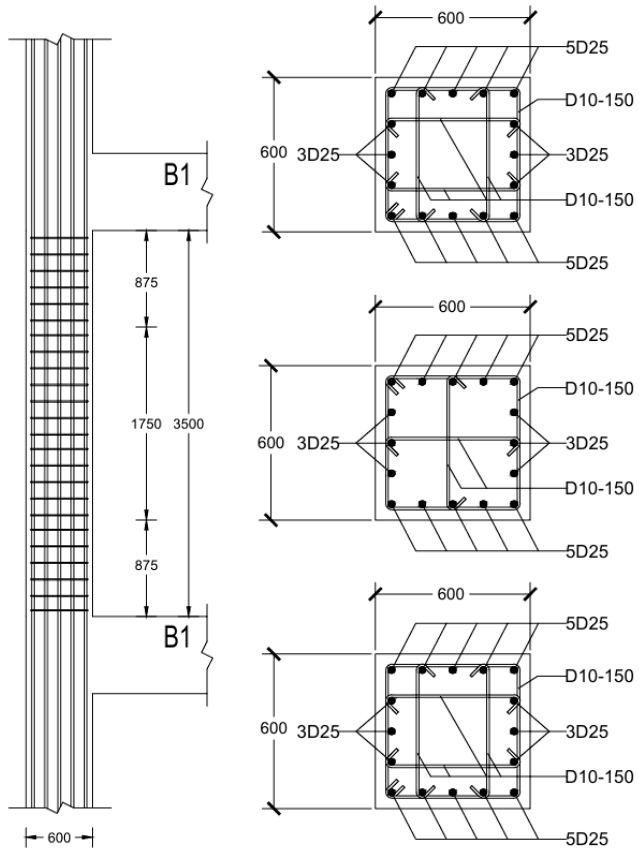
Gambar 5. 90 Detail Kolom K1 Arah Y



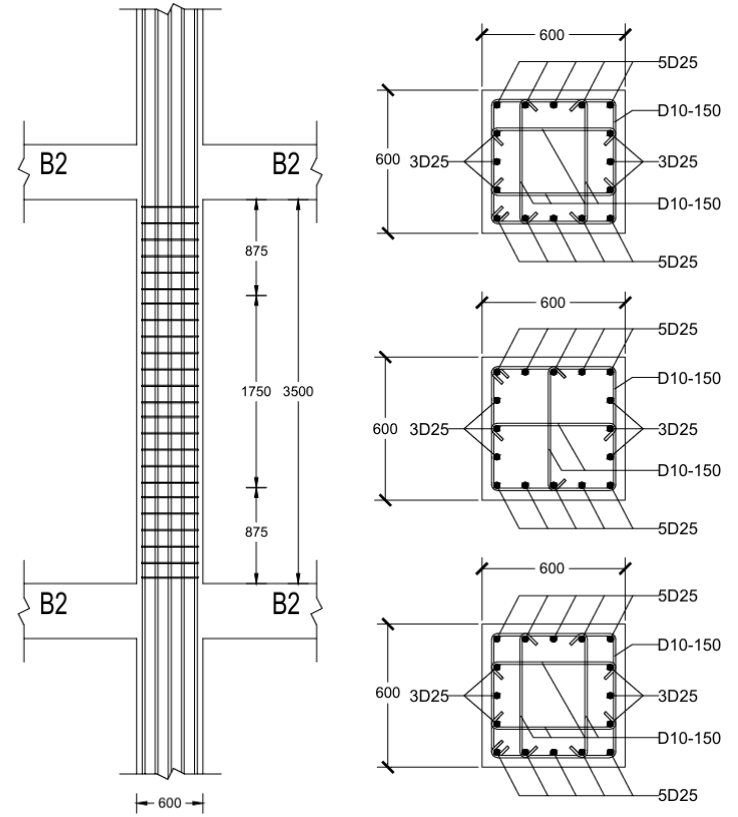
Gambar 5. 91 Detail Kolom K1' Arah X



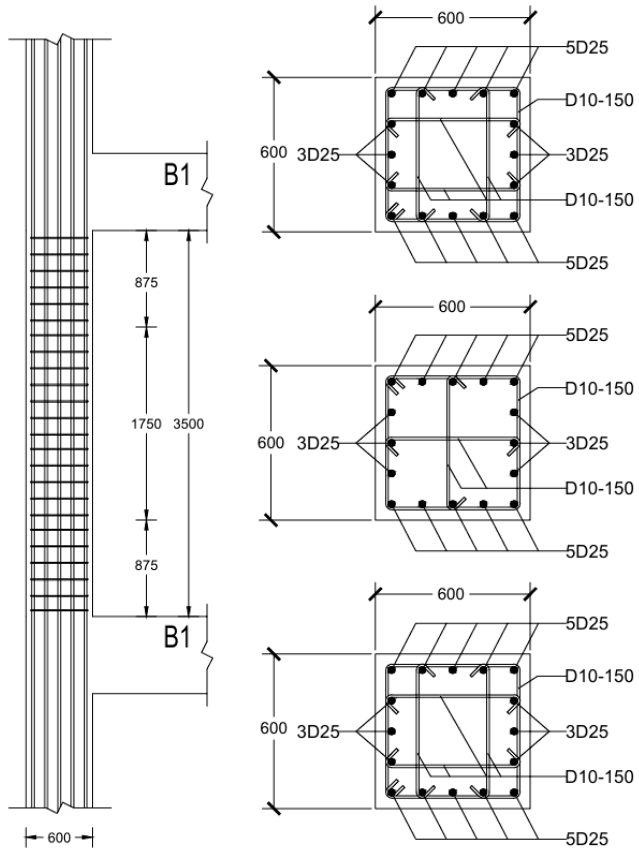
Gambar 5. 92 Detail Kolom K1' Arah Y



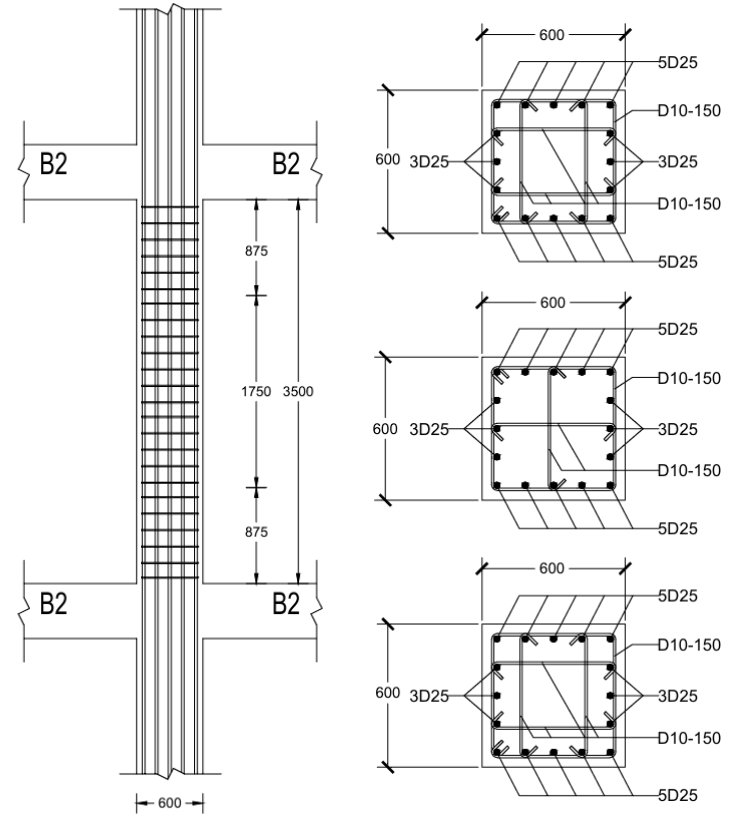
Gambar 5. 93 Detail Kolom K2 Arah X



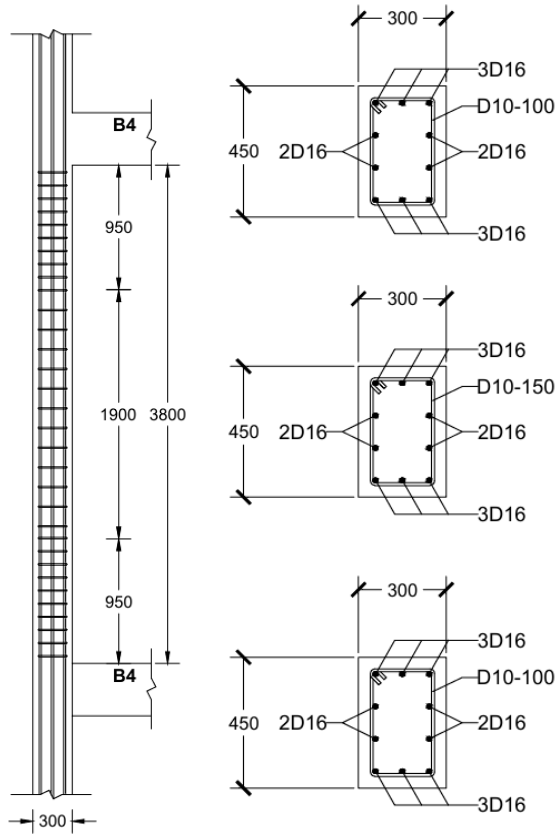
Gambar 5. 94 Detail Kolom K2 Arah Y



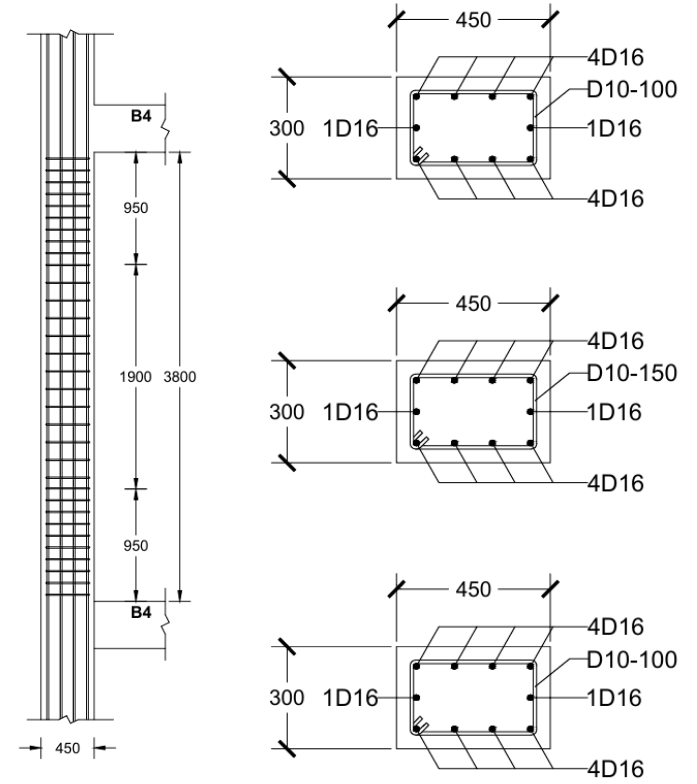
Gambar 5. 95 Detail Kolom K2' Arah X



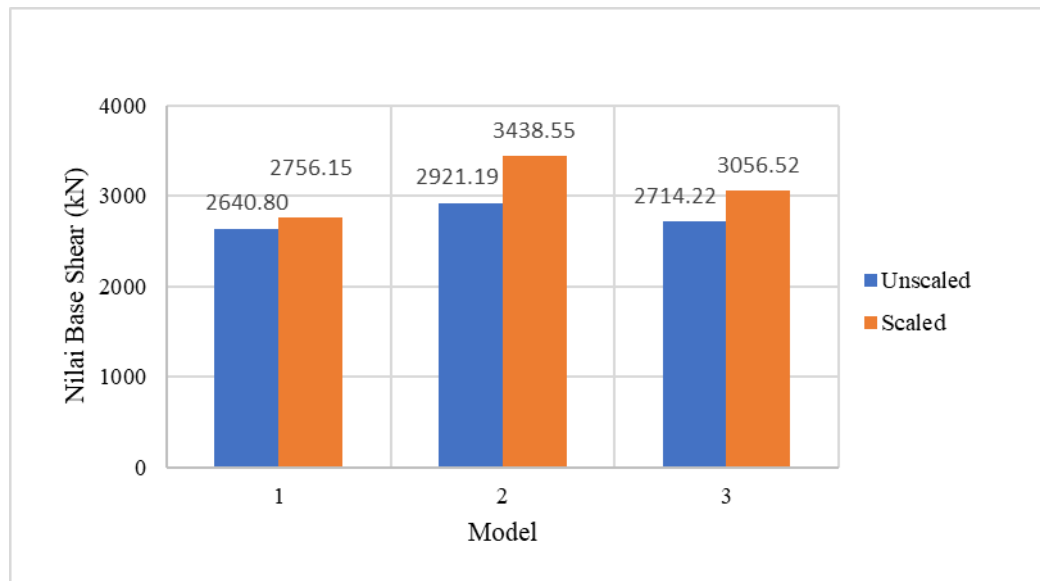
Gambar 5. 96 Detail Kolom K2' Arah Y



Gambar 5. 97 Detail Kolom K3 Arah X



Gambar 5. 98 Detail Kolom K3 Arah Y



Gambar 5. 99 Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

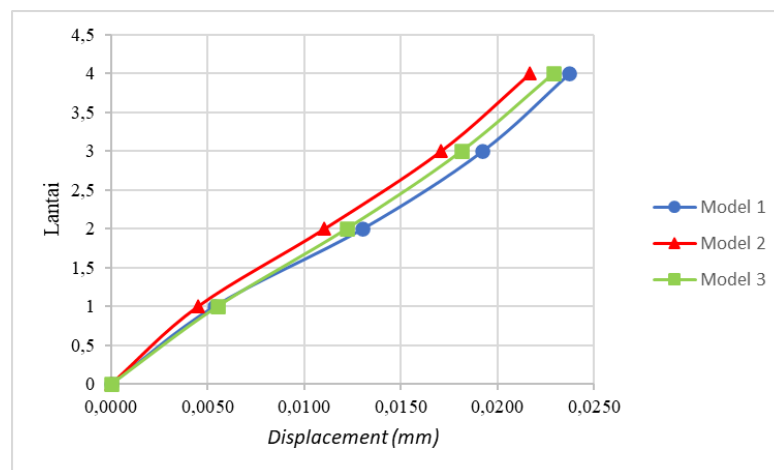
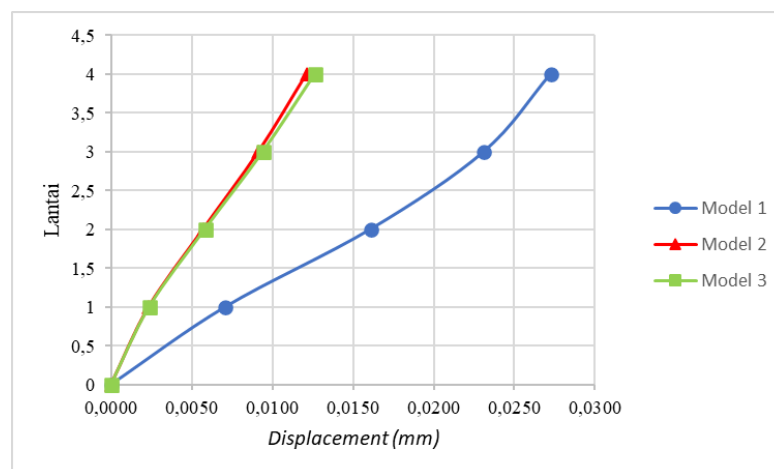
Berdasarkan Tabel 5.81 dan Gambar 5.99 dapat diketahui bahwa model 2 memiliki gaya geser dasar (*base shear*) terbesar. Model 1 memiliki nilai gaya geser dasar terkecil diantara kedua model. Peningkatan nilai gaya geser dasar (*base shear*) antara model 2 dan model 1 adalah sebesar 19,846%. Dalam penelitian ini, suatu struktur apabila diberi struktur pengaku maka gaya geser dasar (*base shear*) yang terjadi akan semakin besar dikarenakan berat bangunan bertambah.

5.6.2 Displacement

Displacement atau perpindahan pada model struktur bangunan yang diakibatkan oleh perbedaan struktur pengaku yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.82 dan Gambar 5.100 untuk arah x serta Gambar 5.101 untuk arah y. sebagai berikut.

Tabel 5. 82 Perbandingan *Displacement*

<i>Displacement</i>						
Lantai	Model 1		Model 2		Model 3	
	U1 (mm)	U2 (mm)	U1 (mm)	U2 (mm)	U1 (mm)	U2 (mm)
4	0,0237	0,0273	0,0217	0,0121	0,0229	0,0126
3	0,0192	0,0231	0,0171	0,0091	0,0181	0,0094
2	0,0130	0,0161	0,0110	0,0057	0,0122	0,0058
1	0,0053	0,0071	0,0045	0,0023	0,0055	0,0024
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Gambar 5. 100 Grafik Perbandingan Nilai *Displacement* Arah XGambar 5. 101 Grafik Perbandingan Nilai *Displacement* Arah Y

Pada Tabel 5.82, Gambar 5.100 dan Gambar 5.101 dapat diketahui nilai *displacement* yang terjadi dari ketiga model tersebut mempunyai perbedaan yang cukup signifikan. Pada model 2 (gedung eksisting dengan menambah dinding geser) dan model 3 (gedung redesain dengan menambah dinding geser) memiliki nilai *displacement* yang lebih kecil dibandingkan dengan model 1 (Gedung eksisting). Penurunan nilai *displacement* antara model 3 dengan model 1 untuk arah x adalah sebesar 6,338% dan untuk arah y adalah sebesar 63,853%. Sedangkan Penurunan nilai *displacement* antara model 2 dengan model 1 untuk arah x adalah sebesar 15,169% dan untuk arah y adalah sebesar 62,562%. Ini membuktikan bahwa model dengan adanya dinding geser, struktur menjadi lebih kaku dan mampu menahan gaya lateral seperti gempa dengan lebih efektif.

5.6.3 Drift Ratio

Drift ratio adalah simpangan antar lantai dibagi dengan tinggi lantai pada gedung tersebut. Perhitungan *drift ratio* pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 5. 83 Drift Ratio Model 1 (Gedung Eksisting)

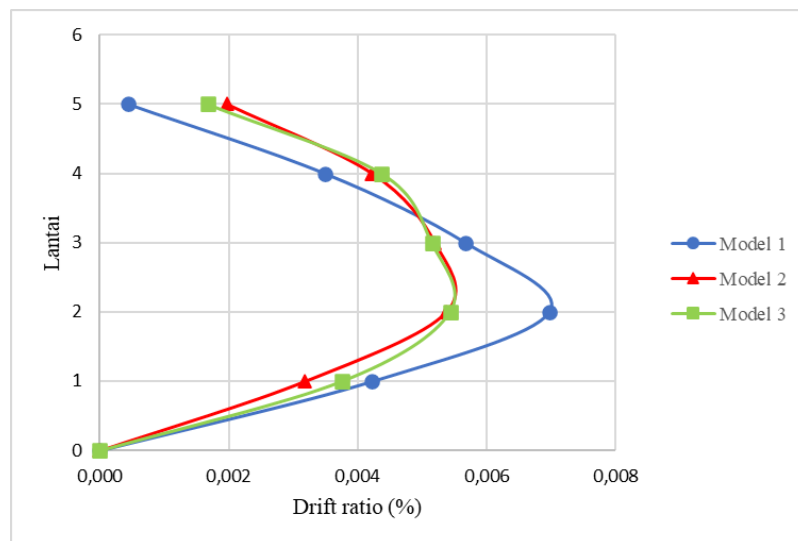
Model 1							
Arah X				Arah Y			
Tingkat	δa (m)	Tinggi lantai (m)	<i>Drift</i> <i>ratio</i> (%)	Tingkat	δa (m)	Tinggi lantai (m)	<i>Drift</i> <i>ratio</i> (%)
4	0,0284	4,2	0,12	4	0,0358	4,2	0,14
3	0,0232	4,2	0,19	3	0,0298	4,2	0,23
2	0,0153	4,2	0,22	2	0,0203	4,2	0,27
1	0,0061	4,75	0,13	1	0,0088	4,75	0,18
0	0,0000	0	0	0	0,0000	0	0

Tabel 5. 84 Drift Ratio Model 2 (Gedung Eksisting dengan Menambah Dinding Geser)

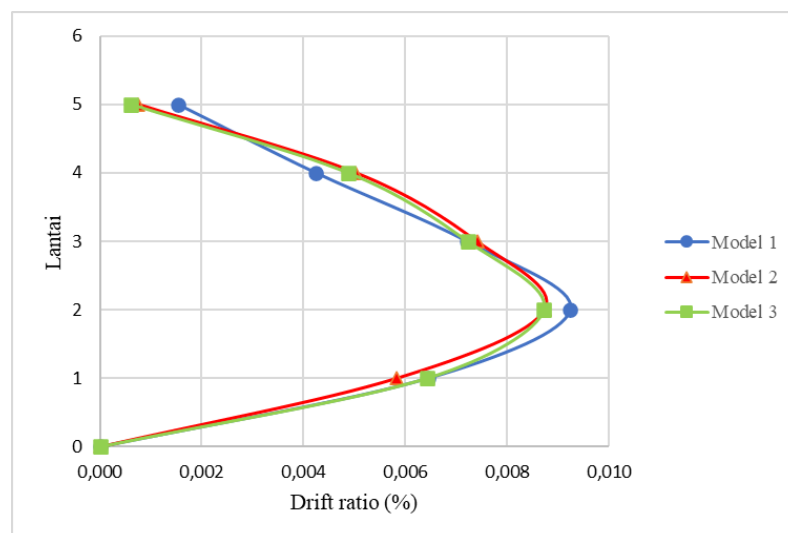
Model 2							
Arah X				Arah Y			
Tingkat	δa (m)	Tinggi lantai (m)	Drift ratio (%)	Tingkat	δa (m)	Tinggi lantai (m)	Drift ratio (%)
4	0,0201	4,2	0,12	4	0,0345	4,2	0,15
3	0,0150	4,2	0,14	3	0,0281	4,2	0,22
2	0,0092	4,2	0,13	2	0,0187	4,2	0,26
1	0,0036	4,75	0,08	1	0,0080	4,75	0,17
0	0,0000	0	0	0	0,0000	0	0

Tabel 5. 85 Drift Ratio Model 3 (Gedung Redesain dengan Menambah Dinding Geser)

Model 3							
Arah X				Arah Y			
Tingkat	δa (m)	Tinggi lantai (m)	Drift ratio (%)	Tingkat	δa (m)	Tinggi lantai (m)	Drift ratio (%)
4	0,0217	4,2	0,13%	4	0,0359	4,2	0,15%
3	0,0162	4,2	0,15%	3	0,0295	4,2	0,23%
2	0,0101	4,2	0,14%	2	0,0199	4,2	0,26%
1	0,0042	4,75	0,09%	1	0,0089	4,75	0,19%
0	0,0000	0	0%	0	0,0000	0	0%



Gambar 5.102 Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Arah X



Gambar 5.103 Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Arah Y

Drift ratio menunjukkan sifat bangunan yang dianalisis kaku atau fleksibel. Semakin kecil nilai *drift ratio* maka semakin kaku bangunan yang didesain. Berdasarkan hasil grafik pada gambar 5.102 dan gambar 5.103, pemberian dinding geser pada bangunan membuat bangunan lebih kaku. Hal ini ditunjukkan dengan hasil *drift ratio* model 1 (Gedung eksisting) lebih besar dibandingkan dengan model 2 (Gedung eksisting dengan menambah dinding geser) dan model 3 (Gedung redesain dengan menambah dinding geser).

5.6.4 Simpangan Antar Lantai

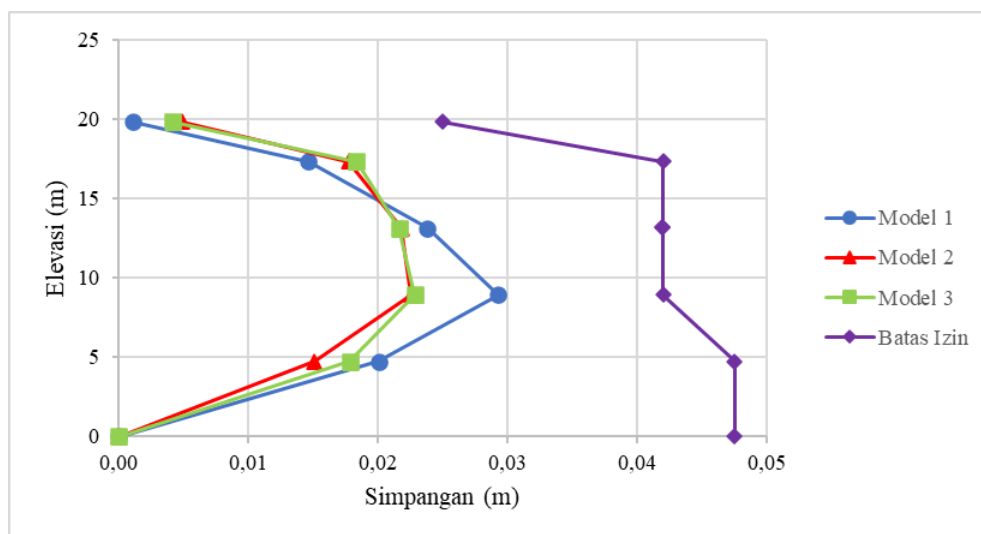
Simpangan antar lantai merupakan respon struktur yang terjadi karena adanya gempa dimana pada saat gempa terjadi simpangan antar tingkat yang diukur dari dasar lantai dibawahnya. Menurut SNI 1726:2019 perhitungan defleksi pada dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat diatasnya dilakukan apabila pusat massa terletak tidak segaris arah vertikal. Berikut ini merupakan grafik perbandingan simpangan antar lantai antara struktur model 1, model 2 dan model 3 yang dapat dilihat pada Tabel 5.86, Tabel 5.87, Gambar 5.104 dan Gambar 5.105 sebagai berikut.

Tabel 5. 86 Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah X

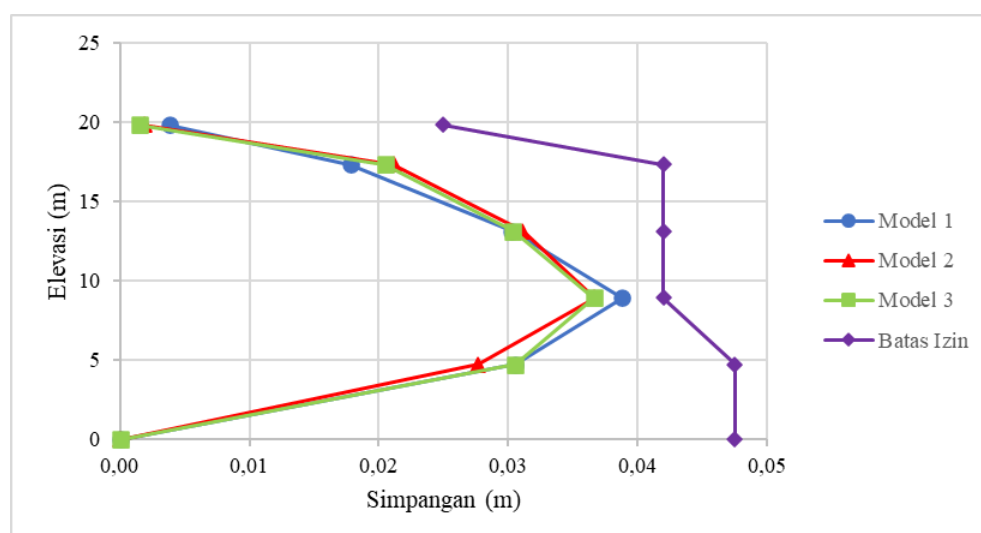
Lantai	Δ Izin (m)	Δ (m)		
		Model 1	Model 2	Model 3
5	0,025	0,0011	0,0049	0,0042
4	0,042	0,0147	0,0177	0,0184
3	0,042	0,0238	0,0218	0,0216
2	0,042	0,0293	0,0226	0,0228
1	0,0475	0,0201	0,0151	0,0178
0	0,0475	0	0	0

Tabel 5. 87 Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	Δ Izin (m)	Δ (m)		
		Model 1	Model 2	Model 3
5	0,025	0,0038	0,0019	0,0015
4	0,042	0,0178	0,0211	0,0205
3	0,042	0,0303	0,0311	0,0304
2	0,042	0,0388	0,0367	0,0367
1	0,0475	0,0306	0,0277	0,0305
0	0	0	0	0



Gambar 5. 104 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah X



Gambar 5. 105 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah Y

Dari Tabel 5.86, Tabel 5.87, Gambar 5.104 dan Gambar 5.105 dapat diketahui bahwa secara umum hasil simpangan antar lantai arah x dan arah y untuk ketiga model masih masuk syarat simpangan izin. Simpangan antar lantai pada model 1 lebih besar daripada model 2 dan model 3. Dari grafik arah x dapat dilihat bahwa penurunan simpangan antar lantai antara model 3 dan model 1 pada elevasi 4,75 m adalah 11,138%. Sedangkan dari grafik arah y dapat dilihat bahwa penurunan simpangan antar lantai antara model 3 dan model 1 pada elevasi 4,75 m adalah

0,128%. Simpangan antar lantai yang lebih kecil disebabkan oleh peningkatan kekakuan struktur yang diberikan oleh dinding geser. Model 3 memiliki nilai simpangan antar lantai yang hampir sama dengan model 2, Hal ini menandakan bahwa perubahan dimensi struktur pada penelitian ini tidak berpengaruh signifikan terhadap simpangan antar lantai.

5.6.5 P-Delta

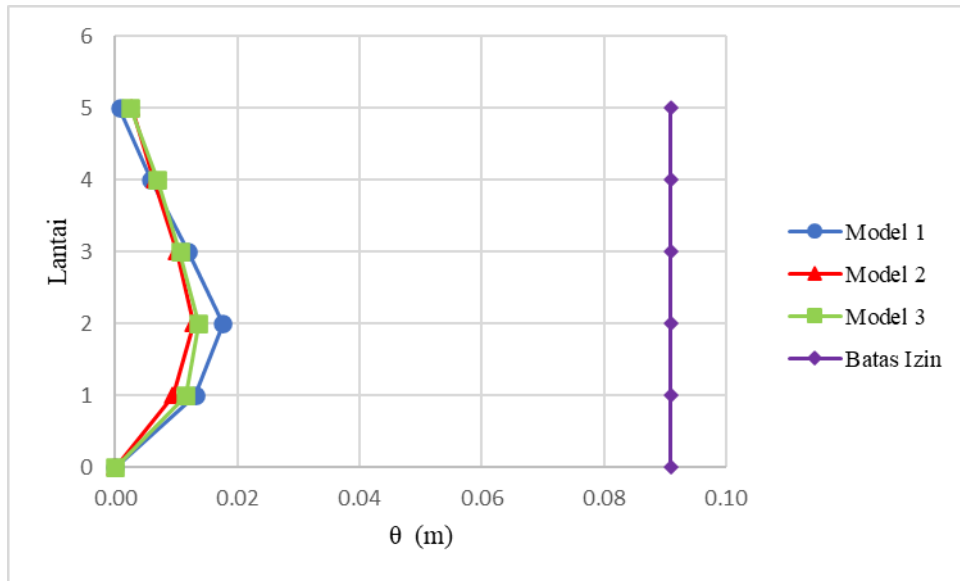
Berikut ini merupakan grafik perbandingan simpangan antar lantai antara struktur model 1, model 2 dan model 3 yang dapat dilihat pada Tabel 5.88 dan Tabel 5.89 serta Gambar 5.106 untuk arah X dan Gambar 5.107 untuk arah Y.

Tabel 5. 88 Perbandingan P-Delta Arah X

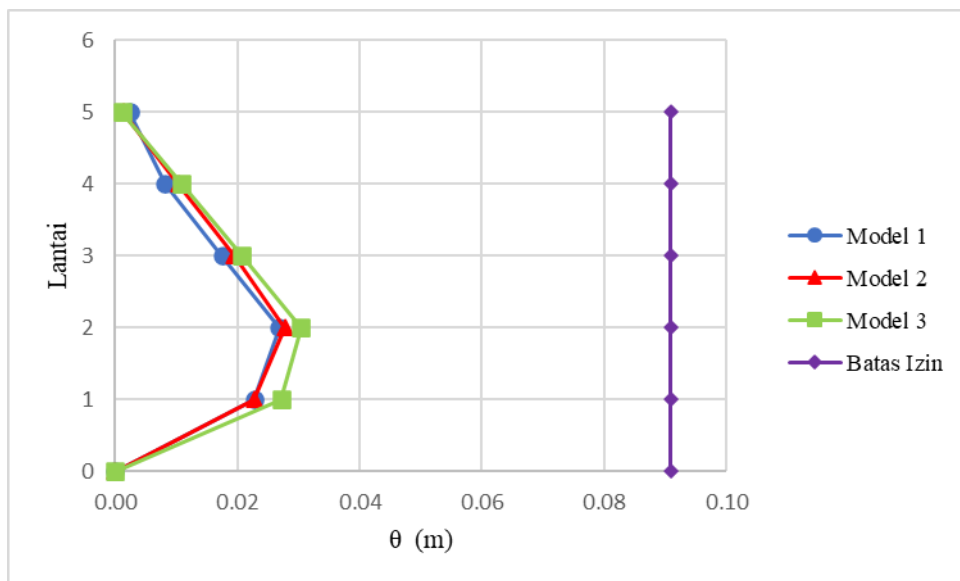
Lantai	P-Delta (m)		
	Model 1	Model 2	Model 3
5	0,0007	0,0028	0,0025
4	0,0059	0,0064	0,0069
3	0,0120	0,0101	0,0106
2	0,0176	0,0128	0,0136
1	0,0132	0,0094	0,0116
0	0,0000	0,0000	0,0000

Tabel 5. 89 Perbandingan P-Delta Arah Y

Lantai	P-Delta (m)		
	Model 1	Model 2	Model 3
5	0,0024	0,0013	0,0011
4	0,0081	0,0103	0,0108
3	0,0175	0,0195	0,0208
2	0,0268	0,0278	0,0303
1	0,0227	0,0227	0,0272
0	0,0000	0,0000	0,0000



Gambar 5. 106 Grafik Perbandingan P-Delta Arah X



Gambar 5. 107 Grafik Perbandingan P-Delta Arah Y

Dari Tabel 5.88, Tabel 5.89, Gambar 5.106 dan Gambar 5.107 dapat diketahui bahwa nilai p-delta pada ketiga model memenuhi syarat tidak melebihi dari batas izin.

5.6.6 Total Volume Gedung

Penambahan dinding geser pada gedung eksisting dapat mengurangi beban lateral yang harus ditanggung oleh elemen struktur lainnya. Oleh karena itu, dimensi balok dan kolom dapat dirancang dengan dimensi yang lebih kecil karena sebagian beban lateral sudah ditanggung oleh dinding geser. Dengan berkurangnya dimensi pada balok dan kolom maka akan berdampak pada volume total gedung eksisting dan gedung redesain. Berikut merupakan perbandingan volume gedung eksisting dan gedung redesain yang tercantum dalam Tabel 5.90 dibawah ini.

Tabel 5. 90 Perbandingan Volume Gedung Eksisting dan Gedung Redesain

Lantai	Volume (m ³)		
	Model 1	Model 2	Model 3
5	8,584	8,584	8,584
4	160,179	161,407	156,069
3	176,068	177,296	174,123
2	176,068	177,296	174,123
1	187,693	189,082	179,076
Total	708,591	713,665	691,975

Tabel 5.90 menunjukkan bahwa model 3 memiliki volume yang lebih kecil dibandingkan dengan model 2 dan model 1. Penurunan volume antara model 3 (gedung redesain dengan menambah dinding geser) dan model 1 (gedung eksisting) adalah sebesar 2,34%. Sedangkan Penurunan volume antara model 3 (gedung redesain dengan menambah dinding geser) dan model 2 (gedung eksisting dengan menambah dinding geser) adalah sebesar 3,04%. Dari perbandingan tersebut, dapat disimpulkan model 3 dibuat lebih ekonomis namun tetap memenuhi kapasitas desain dan standar keselamatan struktur.

5.6.7 Hasil Respons Bangunan Keseluruhan

Berikut merupakan perbandingan hasil respons bangunan keseluruhan yang dapat dilihat pada Tabel 5.91 sebagai berikut.

Tabel 5. 91 Perbandingan Hasil Respons Bangunan Keseluruhan

No	Parameter	Model 1		Model 2		Model 3	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1	Periode (s)	0,866		0,806		0,870	
2	Total Berat bangunan (kN)	25219,493		25626,666		24578,685	
3	Volume Bangunan (m ³)	708,591		713,665		691,975	
4	<i>Base shear</i> (kN)	2756,15	2756,15	3438,55	3438,55	3056,52	3056,52
5	<i>Drift Ratio</i> (%)	0,13	0,18	0,08	0,17	0,09	0,19
6	Simpangan antar lantai (m)	0,0201	0,0306	0,0151	0,0277	0,0178	0,0305
7	<i>Displacement</i> (mm)	0,0053	0,0071	0,0045	0,0023	0,0055	0,0024
8	P-Delta (m)	0,0132	0,0227	0,0094	0,0227	0,0116	0,0272

Catatan:

Nomor 5 hingga nomor 8 parameter yang ditinjau pada elevasi 4,75 m.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan analisis pada penelitian respon struktur pada gedung bertingkat menggunakan dinding geser adalah sebagai berikut.

1. Gaya geser dasar terbesar terjadi pada model 2 (gedung eksisting dengan menambah dinding geser) sebesar 3438,55 kN. Peningkatan yang terjadi dibandingkan dengan model 1 (gedung eksisting) sebesar 19,846%. Adanya pengaku struktur tambahan seperti dinding geser menyebabkan nilai *base shear* menjadi lebih besar karena berat bangunan bertambah.
2. Perbandingan nilai simpangan antar lantai adalah sebagai berikut:
 - a. Nilai simpangan terkecil terdapat pada model 2 (gedung redesain dengan menambah dinding geser) dan model 3 (gedung eksisting dengan menambah dinding geser) dibandingkan dengan model 1 (gedung eksisting). Penurunan nilai simpangan antar lantai antara model 2 (gedung eksisting dengan menambah dinding geser) dan model 1 (gedung eksisting) adalah sebesar 24,753%.
 - b. Model 3 (Gedung redesain dengan menambah dinding geser) memiliki nilai simpangan antar lantai hampir sama dengan model 2 sehingga model 3 merupakan model paling optimum dalam nilai simpangan antar lantai dibandingkan dengan model 1.
 - c. Model 1 (Gedung eksisting tanpa dinding geser) merupakan model dengan nilai simpangan antar lantai terbesar.
3. *Displacement* yang terjadi dengan nilai paling efektif adalah pada model 3, artinya redesain yang dilakukan sudah baik dari segi perletakan dinding geser dan pengurangan dimensi balok dan kolom.
4. Nilai p-delta pada ketiga model tidak ada yang melebihi dari batas izin sehingga ketiga model sudah memenuhi syarat.

5. Setelah dilakukan penambahan dinding geser pada bangunan eksisting, maka dimensi balok dan kolom dapat diperkecil, dan struktur bangunan tetap dalam keadaan aman setelah dilakukan pengecilan dimensi.

6.2 Saran

Berikut merupakan beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan beberapa variasi penempatan dinding geser dengan penyesuaian kondisi bangunan.
2. Struktur bawah seperti pondasi sebaiknya juga dihitung dan dianalisis sehingga parameter perbandingannya lebih luas.
3. Menggunakan atau membandingkan dengan *software* yang berbeda agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.
4. Pada penelitian selanjutnya dapat memodelkan tangga dan lift pada *software*.

DAFTAR PUSTAKA

- Andalas, G. (2016). *Analisis Layout Shear wall Terhadap Perilaku Struktur Gedung*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung., 1(1), 491–502.
- Effendi, Fadlan., Yovi, C., & Said, J.A. (2017). *Studi Penempatan Dinding Geser Terhadap Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung*. Teras Jurnal, 7(2).
- Fauziah L, Sumajouw M. D. J., Dapas, Windah R.S. 2013. *Pengaruh penempatan dan posisi dinding geser terhadap simpangan bangunan beton bertulang bertingkat banyak akibat beban gempa*, Jurnal Sipil Statik, Vol,1 No,7 Juni 2013 (466-472), Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Halindra M. N. I. 2023. *Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Tinggi Terhadap Gempa Dengan Variasi Penempatan Dinding Geser*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hutahaean S.G., Aswandy. . 2016. *Kajian Pemakaian Shearwall dan Bracing pada Gedung Bertingkat*, Jurnal Jurusan Teknik Sipil Itenas Vol.2, No. 4. Bandung.
- Manalip H., Kumaat E. J., Runtu F. I. 2015. *Penempatan Dinding Geser Pada Banguna beton Bertulang Dengan Analisa Pushover*, Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol. 5 No.1, Universitas Sam Ratulagi, Manado.
- PPURG. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Yayasan Badan Penerbit PU. Jakarta.

- Prathama A. H. 2020. *Komparasi Respon Dinamik Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Variasi Bentuk Dan Penempatan Dinding Geser Mengacu SNI 1926-2019. Tugas Akhir.* Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Prischila J., dkk. 2021. *Perbandingan Respons Struktur Pada Portal Bertingkat Berdasarkan SNI 1726-2012 Dengan Variasi Penempatan Dinding Geser. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan.* Universitas Widyagama Malang.
- Rahman M. A. 2023. *Studi Komparasi Respon Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Sistem Dinding Geser Dan Pertambahan. Tugas Akhir.* Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rudiansyah A., dkk. 2018. *Studi Perencanaan Struktur Akibat Penambahan Shear Wall Pada Gedung Asrama Balai Teknik Air Minum dan Sanitasi Wilayah II Provinsi Jawa Timur.* Jurnal Rekayasa Sipil Vol. 6 No. 2 hal. 122-130.
- Sihotang P. B. 2022. *Perencanaan Dinding Geser Gedung Keuangan Negara Banda Aceh Menggunakan SNI Gempa 1726:2019. Tugas Akhir.* Universitas Teuku Umar. Aceh Barat.
- Standar Nasional Indonesia. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.* SNI 1726. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.* SNI 2847. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2013. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain.* SNI 1727. Badan Standardisasi Indonesia. Jakarta.

- Standar Nasional Indonesia. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain*. SNI 1727. Badan Standardisasi Indonesia. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 1983. *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. SNI 1727. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Wibisono, A., Hidayat, A., Aseant, R. 2018. *Analisis Tinggi Efektif Shear wall pada Sistem Ganda Pembangunan Gedung Beton Bertulang Berlantai Banyak Pada Tanah Lunak Lokasi Jakarta Studi Kasus Denah Persegi*. Jurnal Rekayasa No. 1 Oktober 2018 Pp. 8-15 Universitas Mercu Buana. Jakarta.
- Widodo. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar
- Wiryadi, G & I Ketut Sudarsana. (2019). *Analisis Pengaruh Bentuk Dinding Geser Beton Bertulang Terhadap Kapasitas Dan Luas Tulangan*. Jurnal Spektran, 7(2).

LAMPIRAN

Lampiran 1 SNI 1727:2020 Pasal 4

Tabel 4.3-1 - Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat Ib (kN)	Juga Lihat Pasal
Apartemen (lihat rumah tinggal)					
Sistem lantai akses					
Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Ruang komputer	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang pertemuan					
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lantai podium	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	
Koridor					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain				
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Hunian (lihat rumah tinggal)					
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in. x 2 in. [50 mm x 50 mm])		-	-	300 (1,33)	
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm])		-	-	200 (0,89)	

Tabel 4.3-1 (Lanjutan) - Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Jalur penyelamatan saat kebakaran					
Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)		
Tangga permanen		-	-	Lihat Pasal 4.5.4	
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)					
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Tidak (4.7.4)	Ya (4.7.4)	Lihat Pasal 4.10.1	
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	-	-	Lihat Pasal 4.10.2	
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1 Lihat 4.5.2	
Helipad (Lihat Pasal 4.11)					
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Rumah sakit					
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang pasien	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Hotel (lihat rumah tinggal)					
Perpustakaan					
Ruang baca	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	4.13
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Pabrik					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	2.000 (8,90)	
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	3.000 (13,35)	
Gedung perkantoran					
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian					
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Kantor	50 (2,40)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Lembaga hukum					
Blok sel	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Koridor	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tempat rekreasi					
Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	75 (3,59)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang dansa dan ballroom	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Gimnasium	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Tabel 4.3-1 (Lanjutan) - Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Rumah tinggal					
Hunian satu dan dua keluarga					
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.1
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.2
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua hunian rumah tinggal lainnya	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang pribadi dan koridornya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang publik	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Koridor ruang publik	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Atap					
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		4.8.1
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	Ya (4.8.3)	-		
Atap vegetatif dan atap lansekap					
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Awning dan kanopi					
Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Rangka penumpu layar penutup	5 (0,24) berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	Tidak (4.8.2)	-	200 (0,89)	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	Ya (4.8.2)			4.8.1
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja					
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjanya, dan garasi bengkel		-	-	2000 (8,90)	
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan				300 (1,33)	

Tabel 4.3-1 (Lanjutan) - Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Sekolah	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang kelas	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor lantai pertama					
Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses				200 (0,89)	
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	8.000 (35,60)	4.15
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Toko					
Eceran					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Lantai diatasnya	75 (3,59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ys (4.7.3)	1.000 (4,45)	
Penghalang kendaraan				Lihat Pasal 4.5.3	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Lampiran 2 SNI 1726:2019 Pasal 4

Tabel 3 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 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: <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

Tabel 3 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Lampiran 3 SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2

Tabel 12 – Faktor R , C_d , 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, h_m (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
A. Sistem dinding penumpu								
1. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah ^g	4	2½	4	TB	TB	12'	12'	12'
6. Dinding geser pracetak biasa ^g	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¾	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¼	2	3¼	TB	TB	10'	10'	TI'
4. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah ^g	5	2½	4½	TB	TB	12'	12'	12'
9. Dinding geser pracetak biasa ^g	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI

Tabel 12 – Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (lanjutan)

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, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	T1	T1	T1	T1
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¾	TB	T1	T1	T1	T1
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	T1	T1	T1	T1
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	T1
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	T1 ^g	T1 ^g
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	T1 ^f	T1 ^f	T1 ^f
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^h	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	T1	T1	T1
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	T1	T1	T1	T1
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	T1	T1	T1
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	T1	T1
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	T1	T1	T1	T1
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ^h	3½	3 ^g	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^h	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	T1	T1	T1
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	T1	T1	T1
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	T1	T1	T1
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 12 – Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (lanjutan)

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, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^g	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa^g	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^h	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI