

TUGAS AKHIR

ANALISIS DAN EVALUASI STRUKTUR GEDUNG LABORATORIUM TERPADU UNIVERSITAS TIDAR BERDASARKAN PENERAPAN SNI 1726:2012 DAN SNI 1726:2019

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



FAKHRI IKSA

17511247

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

TUGAS AKHIR

ANALISIS DAN EVALUASI STRUKTUR GEDUNG LABORATORIUM TERPADU UNIVERSITAS TIDAR BERDASARKAN PENERAPAN SNI 1726:2012 DAN SNI 1726:2019

Disusun Oleh



FAKHRI IKSA
17511247

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

Diuji pada tanggal 1 Februari 2024

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

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

Penguji I

Jafar, S.T., MURP., M.T.
NIK: 185111305

Penguji II

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

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya dengan tulus menyatakan bahwa laporan tugas akhir yang saya susun sebagai persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana di program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, merupakan hasil karya saya pribadi. Bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan tugas akhir yang saya kutip dari karya orang lain telah disajikan dengan jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila suatu saat ditemukan bahwa seluruh atau sebagian dari laporan tugas akhir ini bukan hasil karya saya sendiri, atau terdapat tindakan plagiasi dalam bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Yogyakarta, 1 Februari 2024



Fakhri iksa
(17511247)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Ta'ala atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menempuh gelar sarjana strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari pihak lain baik dari segi bimbingan, arahan, serta saran dan kritik demi terselesaikannya laporan ini dengan hasil yang baik. Untuk itu, pada kesempatan kali ini penyusun ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orangtua penulis yang tiada hentinya memberikan dukungan dan doa.
2. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing.
3. Teman-teman penulis yang telah memberikan dukungan, kritik dan saran.

Akhirnya penulis berharap agar Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membacanya, walaupun masih masih jauh dari sempurna dan terdapat kekurangan.

Yogyakarta, 1 Februari 2024



Fakhriksa
(17511247)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Perbedaan Penelitian	8
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Elemen Struktur	11
3.1.1 Pelat Lantai	11
3.1.2 Balok	11
3.1.3 kolom	12

3.2 Prinsip Bangunan Tahan Gempa	12
3.3 Pembebanan Struktur	13
3.3.1 Beban gravitasi	13
3.3.2 Beban gempa	13
3.4 Parameter seismik	14
3.4.1 Kategori Risiko	14
3.4.2 Klasifikasi situs	17
3.4.3 Koefisien modifikasi respon	18
3.4.4 Percepatan Gempa	19
3.4.5 Koefisien Risiko Terpetakan	24
3.4.6 Parameter Percepatan Spektrum Desain	26
3.5 Analisis beban gempa	27
3.5.1 Statik ekivalen	27
3.5.2 Respon Spektrum	28
3.6 Kontrol struktur	30
3.6.1 Priode fundamental struktur	30
3.6.2 Partisipasi massa	31
3.6.3 Ketidakberaturan	32
3.6.4 Simpangan antar tingkat	37
3.6.5 Pengaruh p-delta	38
3.6.6 Penskalaan gaya	40
3.7 Desain Elemen Struktur	40
3.7.1 Balok	41
3.7.2 Kolom	52
BAB IV METODE PENELITIAN	62
4.1 Data Objek Penelitian	62
4.2 Tahapan Penelitian	66
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	69
5.1 Pendahuluan	69

5.2	Data Bangunan	69
5.3	Beban Gravitasi	74
5.3.1	Beban Mati	74
5.3.2	Beban Hidup	74
5.4	Permodelan	75
5.4.1.	Model 3D Bangunan	75
5.4.2.	Berat Bangunan	78
5.4.3.	Periode Getar Struktur	78
5.5	Pembebanan Gempa	79
5.5.1.	Parameter Seismik	80
5.5.2.	Statik Ekuivalen	84
5.5.3.	Respon Spektrum SNI 1726:2012	89
5.5.4.	Respon Spektrum SNI 1726:2019	91
5.5.5.	Perbandingan Grafik Respon Spektrum SNI 2012 Dan SNI 2019	92
5.6	Kontrol Struktur	93
5.6.1	Modal Mass Participation Ratio	93
5.6.2	Penskalaan Gaya	94
5.6.3	Konfigurasi Bangunan	96
5.6.4	Simpangan Izin	108
5.6.5	Pengaruh P-Delta	112
5.7	Kombinasi Pembebanan	117
5.7.1.	Kombinasi pembebanan SNI 1726:2012	117
5.7.2.	Kombinasi pembebanan SNI 1726:2019	118
5.8	Analisis Struktur	119
5.8.1.	Balok	119
5.8.2.	Kolom	146
5.9	Redesain	164
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		169
6.1	Kesimpulan	169
6.2	Saran	170

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Penelitian Terdahulu Dan Sekarang	8
Tabel 3.1	Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung	15
Tabel 3.2	Faktor keutamaan Gempa	17
Tabel 3.3	Klasifikasi Situs	17
Tabel 3.4	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode Pendek	18
Tabel 3.5	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode 1 Detik	18
Tabel 3.6	Faktor Sistem Penahan Gempa	19
Tabel 3.7	Koefisien Situs Fa	23
Tabel 3.8	Koefisien Situs Fv	23
Tabel 3.9	Koefisien Situs Fa	24
Tabel 3.10	Koefisien Situs Fv	24
Tabel 3.11	Koefisien Untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	31
Tabel 3.12	Nilai Parameter Periode Pendekatan Ct dan x	31
Tabel 3.13	Simpangan Antar Tingkat Izin	38
Tabel 3.14	Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial	44
Tabel 3.15	Tinggi Minimum Balok	45
Tabel 3.16	Perhitungan Lendutan Izin Maksimum	46
Tabel 5.1	Data Bangunan	70
Tabel 5.2	Dimensi Balok	70
Tabel 5.3	Dimensi Kolom	70
Tabel 5.4	Beban Mati Tambahan Plat Lantai	74
Tabel 5.5	Beban Statik Ekuivalen perlantai berdasarkan	86

Tabel 5.6	Beban Statik Ekuivalen Perlantai Berdasarkan	87
Tabel 5.7	Mass Participation Ratio SNI 1726:2012	93
Tabel 5.8	Mass Participation Ratio SNI 1726:2019	94
Tabel 5.9	Ketidakteraturan 1a Arah X SNI 1726:2019	97
Tabel 5.10	Ketidakteraturan 1a Arah Y SNI 1726:2019	97
Tabel 5.11	Ketidakteraturan 1a Arah X SNI 1726:2012	97
Tabel 5.12	Ketidakteraturan 1a Arah Y SNI 1726:2012	98
Tabel 5.13	Ketidakteraturan 1b Arah X SNI 1726:2019	99
Tabel 5.14	Ketidakteraturan 1b Arah Y SNI 1726:2019	99
Tabel 5.15	Ketidakteraturan 1b Arah X SNI 1726:2012	99
Tabel 5.16	Ketidakteraturan 1b Arah Y SNI 1726:2012	100
Tabel 5.17	Ketidakteraturan Massa	101
Tabel 5.18	Ketidakteraturan Geometri Vertikal	101
Tabel 5.19	Ketidakteraturan Tingkat Lemah	104
Tabel 5.20	Ketidakteraturan Torsi Arah X SNI 1726:2019	105
Tabel 5.21	Ketidakteraturan Torsi Arah Y SNI 1726:2019	106
Tabel 5.22	Ketidakteraturan Torsi Arah X SNI 1726:2012	106
Tabel 5.23	Ketidakteraturan Torsi Arah Y SNI 1726:2012	106
Tabel 5.24	Simpangan Antar Tingkat Arah X SNI 1726:2019	110
Tabel 5.25	Simpangan Antar Tingkat Arah Y SNI 1726:2019	110
Tabel 5.26	Simpangan Antar Tingkat Arah X SNI 1726:2012	110
Tabel 5.27	Simpangan Antar Tingkat Arah Y SNI 1726:2012	111
Tabel 5.28	Pengaruh P-Delta Arah X SNI 1726:2012	114
Tabel 5.29	Pengaruh P-Delta Arah Y SNI 1726:2012	114
Tabel 5.30	Pengaruh P-Delta Arah X SNI 1726:2019	115
Tabel 5.31	Pengaruh P-Delta Arah Y SNI 1726:2019	115
Tabel 5.32	Rekap Momen Balok Output ETABS SNI 1726:2012	119
Tabel 5.33	Rekap Momen Balok Output ETABS SNI 1726:2019	120
Tabel 5.34	Rekap Momen nominal Eksisting Balok	130

Tabel 5.35	Rekap Gaya Geser Balok Output ETABS	141
Tabel 5.36	Rekap Hasil Analisis Tulangan Geser Balok	146
Tabel 5.37	Rekap Beban Dan Momen Kolom K1 Berdasarkan SNI 1726:2019	147
Tabel 5.38	Rekap Beban Dan Momen Kolom K2 berdasarkan SNI 1726:2019	147
Tabel 5.39	Rekap Beban Dan Momen Kolom K1 berdasarkan SNI 1726:2012	147
Tabel 5.40	Rekap Beban Dan Momen Kolom K2 berdasarkan SNI 1726:2012	148
Tabel 5.41	Rekap Strong Column Weak Beam Kolom K1 SNI 1726:2019	154
Tabel 5.42	Rekap Strong Column Weak Beam Kolom K2 SNI 1726:2019	154
Tabel 5.43	Rekap Strong Column Weak Beam Kolom K1 SNI 1726:2012	155
Tabel 5.44	Rekap Strong Column Weak Beam Kolom K2 SNI 1726:2012	155
Tabel 5.45	Rekap Gaya Geser Kolom	156
Tabel 5.46	Rekap Tulangan Geser Kolom	161
Tabel 5.47	Rekap Beam Column Joint	164
Tabel 5.48	Redesain Tulangan Geser Balok	168

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Parameter Percepatan Spektrum Respon Periode 0,2 Detik (S _s) SNI 1726:2019	20
Gambar 3.2	Parameter Percepatan Spektrum Respon Periode 0,2 Detik (S _s) SNI 1726:2012	20
Gambar 3.3	Parameter Percepatan Spektrum Respon Periode 1 Detik (S ₁) SNI 1726:2019	21
Gambar 3.4	Parameter Percepatan Spektrum Respon Periode 1 Detik (S ₁) SNI 1726:2012	21
Gambar 3.5	Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Rerata Geometrik (MCEG) SNI 1726:2019	22
Gambar 3.6	Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Rerata Geometrik (MCEG) SNI 1726:2012	22
Gambar 3.7	Nilai Risiko Situs Terpetakan CRS pada Periode 0,2 Detik SNI 1726:2019	25
Gambar 3.8	Nilai Risiko Situs Terpetakan CRS Pada Periode 0,2 Detik SNI 1726:2012	25
Gambar 3.9	Nilai Risiko Situs Terpetakan CR1 Periode 1 Detik SNI 1726:2019	26
Gambar 3.10	Nilai Risiko Situs Terpetakan CR1 Periode 1 Detik SNI 1726:2012	26
Gambar 3.11	Desain Respon Spektrum SNI 1726:2012	29
Gambar 3.12	Desain Respon Spektrum SNI 1726:2019	30
Gambar 3.13	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak (1a dan 1b)	33
Gambar 3.14	Ketidakteraturan Berat	33
Gambar 3.15	ketidakteraturan geometri vertikal	34
Gambar 3.16	Diskontinuitas Arah Bidang Dalam Ketidakteraturan Elemen Penahan Gaya Lateral	34

Gambar 3.17	Ketidakteraturan Torsi	35
Gambar 3.18	Ketidakteraturan Sudut Dalam	35
Gambar 3.19	Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma	36
Gambar 3.20	Ketidakteraturan Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang	36
Gambar 3.21	Ketidakteraturan Sistem Non Paralel	37
Gambar 3.22	Simpangan Antar Tingkat	37
Gambar 3.23	Distribusi Tegangan- Regangan Balok	41
Gambar 3.24	Distribusi Tegangan-Regangan Balok Kondisi Elastis	42
Gambar 3.25	Distribusi Tegangan-Regangan Balok Kondisi Strain Hardening	43
Gambar 3.26	Kondisi Regangan Berimbang pada Balok	43
Gambar 3.27	Pola Keretakan pada Balok	47
Gambar 3.28	Desain Balok Tulangan Rangkap	49
Gambar 3.29	Struktur Kolom Bergoyang dan Tak Bergoyang	53
Gambar 3.30	Aksial Tekan Sentris pada Kolom	53
Gambar 3.31	Kondisi Regangan Berimbang	54
Gambar 3.32	Kondisi Keruntuhan Tekan	56
Gambar 3.33	Kondisi Keruntuhan Tarik	57
Gambar 3.34	Diagram Interaksi Mn-Pn	59
Gambar 4.1	Potongan Melebar Gedung Laboratorium Universitas Tidar	64
Gambar 4.2	Potongan Memanjang Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar	64
Gambar 4.3	Detail Tulangan Kolom	65
Gambar 4.4	Detail Tulangan Balok	65
Gambar 4.6	Bagan Alir Tahapan Penelitian	68
Gambar 5.1	Denah Struktur Balok Kolom	71
Gambar 5.2	Potongan Tampak Samping	72
Gambar 5.3	Potongan Tampak Depan	73
Gambar 5.4	Permodelan ETABS tampak atas	75
Gambar 5.5	Permodelan ETABS Tampak Samping	76

Gambar 5.6	Permodelan ETABS Tampak Depan	76
Gambar 5.7	Permodelan 3D ETABS	77
Gambar 5.8	Berat Bangunan Output ETABS	78
Gambar 5.9	Perbandingan Gaya Statik Ekuivalen Arah X	88
Gambar 5.10	Perbandingan Gaya Statik Ekuivalen Arah Y	88
Gambar 5.11	Grafik Respon Spektrum SNI 2012	90
Gambar 5.12	Grafik Respon Spektrum SNI 2019	92
Gambar 5.13	Grafik Respon Spektrum Perbandingan SNI 2012 dan SNI 2019	92
Gambar 5.14	Pengecekan Diskontinuitas Diafragma	107
Gambar 5.15	Grafik Simpangan Antar Lantai Berdasarkan SNI 1726:2019	111
Gambar 5.16	Grafik Simpangan Antar Lantai Berdasarkan SNI 1726:2012	112
Gambar 5.17	Grafik Efek P-Delta Berdasarkan SNI 1726-2012	115
Gambar 5.18	Grafik Efek P-Delta Berdasarkan SNI 1726-2012	116
Gambar 5.19	Grafik Perbandingan nilai Mn- eksisting dan Mu- Daerah Tumpuan	131
Gambar 5.20	Grafik Perbandingan nilai Mn+ eksisting dan Mu+ Daerah Tumpuan	132
Gambar 5.21	Grafik Perbandingan nilai Mn- eksisting dan Mu- Daerah Lapangan	132
Gambar 5.22	Grafik Perbandingan nilai Mn+ eksisting dan Mu+ Daerah Lapangan	133
Gambar 5.23	Grafik Mn-Pn Kolom K1 arah X berdasarkan SNI 1726:2019	149
Gambar 5.24	Grafik Mn-Pn Kolom K1 arah Y berdasarkan SNI 1726:2019	150
Gambar 5.25	Grafik Mn-Pn Kolom K1 arah X berdasarkan SNI 1726:2012	150
Gambar 5.26	Grafik Mn-Pn Kolom K1 arah Y berdasarkan SNI 1726:2012	151
Gambar 5.27	Grafik Mn-Pn Kolom K2 arah X berdasarkan SNI 1726:2019	152
Gambar 5.28	Grafik Mn-Pn Kolom K2 arah Y berdasarkan SNI 1726:2019	152
Gambar 5.29	Grafik Mn-Pn Kolom K2 arah X berdasarkan SNI 1726:2012	153
Gambar 5.30	Grafik Mn-Pn Kolom K2 arah Y berdasarkan SNI 1726:2012	153

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Shop Drawing*

168

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Luas (m^2)
A_{st}	= Luas total tulangan pokok daerah desak
$A_{s'}$	= Luas total tulangan pokok daerah tarik
b_w	= Lebar penampang balok (mm)
C_c	= Resultan Tegangan Desak Beton
C_d	= Faktor defleksi
C_s	= Koefisien Respons Seismik
C_t & x	= Faktor Periode Pendekatan
C_u	= Koefisien batas pada priode yang ditinjau
d	= Tinggi efektif balok (mm)
E	= Modulus Elastisitas (Mpa)
F_a	= Periode 0,2 detik
F_c'	= Kuat tekan beton (Mpa)
F_v	= Periode 1 detik
h_n	= Tinggi struktur bangunan,(m)
H_{sx}	= Tinggi tingkat di bawah tingkat x
I_e	= Faktor Keutamaan Gempa
K	= Kekakuan (mm)
Kg	= Kilogram
Kg/m^2	= Kilogram Permeter Persegi
Kg/m^3	= Kilogram Permeter Kubik
kN	= Kilonewton
L	= Panjang (m)
m	= Meter

mm	= Milimeter
Mn	= Momen Nominal
Mpa	= MegaPascal
M _u	= Momen <i>ultimate</i> (Nmm)
P _x	= Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x
R	= Koefisien modifikasi respon
S	= Spasi Tulangan
S _a	= Respon Spektrum Desain
S ₁	= Parameter respon spektral percepatan gempa terpetakan
S _{DS}	= Parameter percepatan desain respons spektral pada rentang periode pendek
S _{D1}	= Parameter percepatan desain respons spektral pada periode 1,0 detik
T	= Periode fundamental struktur, dalam detik
T _a	= Periode fundamental pendekatan (detik)
T _s	= Gaya tarik baja
V	= Gaya dasar seismik
V _u	= Gaya geser <i>ultimate</i> (N)
V _x	= Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1
W	= Berat seismik efektif
λ	= Faktor modifikasi
ρ _w	= Rasio tulangan tarik
Δ	= Simpangan antar tingkat desain
ε _s	= Regangan baja
ε _t	= Regangan tarik
φ	= Faktor reduksi

ABSTRAK

Dalam mendesain dan merancang sebuah struktur di Indonesia harus mengacu pada standar yang berlaku yaitu SNI 1726:2012 yang kemudian dikembangkan menjadi SNI 1726:2019, dengan diterbitkannya peraturan terbaru maka perlu dilakukan peninjauan berdasarkan peraturan yang terbaru. Pada penelitian ini akan melihat perbandingan antara besar perubahan nilai periode, ketidakberaturan struktur, efek P-delta, simpangan antar lantai dan nilai momen penampang struktur eksisting yang akan dibandingkan dengan momen struktur berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode dinamik respon spektrum, proses penelitian akan dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi ETABS, penelitian ini akan melihat dan membandingkan apakah nilai momen nominal struktur eksisting masih lebih besar dari pada nilai momen ultimit berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019.

Dari analisis yang dilakukan didapatkan bahwa pada analisis ketidakberaturan struktur baik arah vertikal maupun arah horizontal masih memenuhi syarat ketidakberaturan, pada analisis simpangan antar lantai dengan menggunakan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 dengan meninjau arah X dan arah Y masih memenuhi syarat simpangan antar lantai, pada analisis efek P-delta berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 masih memenuhi syarat, pada analisis nilai momen penampang balok didapatkan bahwa nilai momen kapasitas eksisting masih aman dengan berdasarkan pada SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019, pada analisis penampang kolom telah memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 1726:2019.

Kata kunci: Dinamik respon spektrum, ketidakberaturan, efek P-delta

ABSTRACT

To construct and designing structure in Indonesia it must refer to applicable standard SNI 1726:2012 which was later developed into SNI 1726:2019 is applicable standard and regulation that must be referenced when designing and planning a structure. Following the release of the most recent regulation a review based on its latest recent rule is required. This study compares the magnitude of structural irregularities, P-delta effects, deviations between floors and structural moment value based on SNI 1726:2012 and SNI 1726:2019.

This study use the dynamic response spectrum methode, ETABS application will be used in the research process, this study will examine and compare whether the structural based on existing data still meets the requirements based on SNI 1726:2012 and SNI 1726:2019.

The analysis found that the requirement for irregularity were still met in the analysis of structural irregularities in both vertical and horizontal directions, in the analysis of deviation between floor using SNI 1726:2012 and SNI 1726:2019 by reviewing the X and Y directions, and analysis of P-delta effect based on SNI 1726:2012 and SNI 1726:2019 still meets the requirements.

Keywords: *dynamic response spectrum, irregularities, P-delta effect*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi adalah suatu kejadian terjadinya getaran pada permukaan bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba didalam bumi akibat patahnya lapis batuan kerak bumi. Energi yang ditimbulkan tersebut kemudian merambat ke segala arah dalam bentuk gelombang gempa bumi yang dapat dirasakan hingga permukaan bumi (BMKG). Sedangkan menurut (Pawirodikrom, 2012) gempa bumi adalah suatu kejadian bergetarnya permukaan tanah yang disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba karena terjadi longsor massa batuan di lapisan kerak bumi.

Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan yang masuk ke dalam wilayah cincin api pasifik atau yang sering disebut dengan *Ring of Fire*, cincin api pasifik adalah sebuah wilayah yang terbentuk karena aktivitas lempeng tektonik yang ada di lapisan bumi, Letak geografi Indonesia juga berada di antara 3 lempeng tektonik yang bergerak aktif yaitu lempeng pasifik di bagian timur, lempeng Eurasia di bagian utara dan lempeng indo-Australia di bagian selatan. Hal ini membuat Indonesia menjadi negara yang sangat rawan akan terjadinya gempa bumi.

Gempa bumi yang terjadi di indonesia tidak jarang menimbulkan jumlah kerusakan dan korban jiwa yang besar, seperti gempa yang terjadi di Palu pada tahun 2018, menurut BNPB gempa yang berkekuatan magnitudo 7,4 ini menelan sebanyak 4.340 korban jiwa serta kerugian material sebesar 18,48 triliun rupiah, gempa ini juga menjadi pemicu terjadinya bencana lain seperti tsunami dan likuifaksi.

Bangunan yang didirikan di indonesia harus didesain dengan memperhitungkan ancaman gempa dengan menerapkan konsep bangunan tahan gempa. Menurut Pawirodikromo (2012) desain dan konsep dasar dari bangunan tahan gempa adalah apabila terjadi gempa kecil maka tidak terjadi kerusakan pada bangunan dan masih

berfungsi dengan baik, apabila terjadi gempa menengah maka boleh terdapat kerusakan kecil atau ringan pada struktur bangunan dan dapat diperbaiki dengan biaya yang kecil serta ekonomis, dan apabila terjadi gempa besar maka pada struktur bangunan boleh terdapat kerusakan tetapi tidak boleh terjadi runtuh total.

Peraturan yang menjadi acuan dan pedoman dalam mendesain atau merancang bangunan tahan gempa di Indonesia diatur dalam SNI 1726, 2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung, peraturan ini merupakan pembaharuan dari peraturan sebelumnya yaitu SNI 1726,2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung, pembaharuan ini merupakan output dari penelitian yang dilakukan serta melihat perkembangan dari kejadian gempa di Indonesia yang terus berubah seiring berjalannya waktu

Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar merupakan sebuah fasilitas pendidikan yang didirikan untuk proses belajar mengajar dan penelitian dibidang ilmu pengetahuan. Bangunan Gedung ini didesain dengan menggunakan pedoman perencanaan SNI sebelum diterbitkannya SNI 1726:2019, Oleh karena itu, peneliti akan melakukan analisis struktur eksisting berdasarkan SNI 1726:2019 dan apabila ditemukan elemen yang belum memenuhi persyaratan maka akan dilakukan tahapan redesain.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian diatas maka masalah dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana perbandingan Respon Seismik yang terjadi pada gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 ?
2. Bagaimana perbandingan gaya dalam elemen struktur eksisting pada gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 ?
3. Apakah terdapat element struktur yang perlu dilakukan redesain berdasarkan SNI 1726:2019?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui perbandingan respon seismik yang terjadi pada gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019.
2. Mengetahui perbandingan gaya dalam elemen struktur eksisting gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019.
3. Mengetahui apakah terdapat elemen struktur yang perlu dilakukan redesain.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan pemahaman pada penulis tentang tata cara mendesain bangunan tahan gempa dengan berlandaskan pada SNI 1726:2019.
2. Menambah kemampuan dan pemahaman penulis dalam pengoperasian *Software* ETABS untuk keperluan desain maupun analisis.
3. Hasil penelitian diharapkan dapat menambah wawasan dan ilmu pengetahuan serta nantinya dapat menjadi acuan penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian ini dibuat agar tidak menyimpang dari tujuan dilakukannya penelitian, batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Gedung yang digunakan adalah gedung laboratorium terpadu universitas tadar yang terdiri dari 5 lantai.
2. Bagian struktur yang ditinjau pada penelitian ini hanyalah bagian atas dari bangunan (*upper structure*) sehingga peninjauan tidak dilakukan hingga bagian bawah dari struktur (*lower structure*) seperti bagian pondasi diasumsikan dengan menggunakan tumpuan jepit.
3. Struktur gedung yang menjadi objek penelitian berlokasi di Kota Magelang.
4. Struktur menggunakan sistem SRPMK (struktur rangka pemikul momen khusus)
5. Beban gempa yang diperhitungkan adalah beban gempa dinamik respon spektrum.
6. Peraturan dan pedoman yang digunakan adalah.
 - a. SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung.
 - b. SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung.
7. *Software* yang digunakan adalah ETABS versi 18, microsoft excel dan spColumn.
8. Beban angin pada kombinasi pembebanan diabaikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian kali ini penulis mengambil tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian serupa yang telah banyak dilakukan sebelumnya, adapun penelitian sebelumnya yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Perencanaan struktur beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen khusus.

Karisoh (2018) melakukan penelitian dengan latar belakang indonesia merupakan negara dengan risiko gempa bumi yang tinggi dan dengan banyaknya wilayah di indonesia yang memiliki klasifikasi kategori desain seismik D, E atau F. hal ini tentunya berpengaruh pada perilaku struktur gedung. Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk merencanakan komponen-komponen struktur agar struktur memiliki perilaku yang daktail agar dapat bertahan pada gaya gempa yang terjadi, struktur gedung yang menjadi objek pada penelitian ini adalah struktur gedung laboratorium terdiri dari 4 lantai yang berlokasi di kota manado provinsi sulawesi utara. Hal-hal yang ditinjau pada penelitian ini adalah periode fundamental struktur, kontrol partisipasi massa, kontrol base shear, kontrol simpangan antar tingkat dan perhitungan tulangan lentur balok. Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini adalah telah terpenuhinya persyaratan *strong column weak beam* dilihat dengan kondisi tulangan tekan sudah mengalami leleh yang berarti material tulangan mampu mengembangkan regangannya dari awal leleh hingga mengalami putus. Mekanisme penulangan yang

diterapkan pada struktur ini sudah dapat menahan gaya geser akibat gempa dimana didapat nilai kapasitas geser nominal (V_n) lebih besar nilai kapasitas ultimit (V_u).

2. Perhitungan respon spektral percepatan gempa kota Palembang berdasarkan SNI 1726:2019 sebagai revisi terhadap SNI 1726:2012

Farlianti (2020) melakukan penelitian untuk meninjau ulang respon spektral percepatan gempa dengan menggunakan SNI 1726:2019 yang merupakan pembaharuan dari SNI 1726:2012. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa hasil analisis terhadap respon spektral percepatan gempa $S_a(g)$ pada daerah Palembang yang dihitung dengan menggunakan SNI 1726:2019 mendapatkan hasil respon spektral desain periode pendek (S_{DS}) pada tanah keras, lunak maupun sedang adalah sebesar 23%, 12% dan 5% sedangkan pada respon spektral desain periode 1 detik (S_{D1}) adalah sebesar 39%, 49%, dan 40%.

3. Perbandingan respon seismik dan analisis kinerja struktur berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 serta perancangan ulang elemen struktural struktur atas gedung kuliah bersama politeknik negeri Cilacap

Imanullah (2022) melakukan penelitian untuk meninjau ulang struktur yang telah jadi dengan menggunakan peraturan terbaru yaitu SNI 1726:2019, permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini ialah melihat besaran perubahan respon seismik yang terjadi pada struktur atas gedung seperti periode, gaya geser dasar, ketidakberaturan, P-delta apabila digunakan beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa pada analisis ketidakberaturan vertikal maupun horizontal gedung masih memenuhi syarat, begitu juga pada analisis simpangan antar lantai dan P-delta gedung tersebut masih memenuhi syarat, pada analisis penampang balok dan kolom didapatkan kesimpulan bahwa gedung masih memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 1726:2019.

4. Evaluasi kinerja struktur beton bertulang menggunakan analisis dinamik metode respon spektrum

Fajri (2022) melakukan penelitian untuk melihat besaran nilai simpangan antar lantai, gaya geser dasar bangunan serta berat bangunan perhitungan manual dengan SAP2000, penelitian ini dilakukan dengan memodelkan gedung kantor 3 lantai pada SAP2000 dan beban gempa berpedoman pada SNI 1726:2019, dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil nilai simpangan antar lantai pada arah X dan Y memenuhi persyaratan, nilai simpangan terbesar pada arah X didapatkan sebesar 0,0388 m dan arah Y sebesar 0,0423 m dengan simpangan izin sebesar 0,08 m.

2.2 Perbedaan Penelitian

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dan Sekarang

Aspek	Penelitian Terdahulu				Penelitian Yang Dilakukan
Penulis	Parisko Herel Karisoh (2018)	Sari Farlianti (2020)	Fahmi Zuhail imanillah (2022)	Zainal Fajri (2022)	Fakhri Ikhsa (2024)
Judul	Perencanaan struktur beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen khusus.	Perhitungan respon spektral percepatan gempa kota pelembang berdasarkan SNI 1726:2019 sebagai revisi terhadap SNI 1726:2012	Perbandingan respon seismik dan analisis kinerja struktur berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 serta perancangan ulang elemen struktural struktur atas gedung kuliah bersama politeknik negeri cilacap	Evaluasi kinerja struktur beton bertulang menggunakan analisis dinamik metode respon spektrum	Analisis Dan Evaluasi Struktur Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar Berdasarkan Penerapan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019
Metode penelitian	struktur yang menjadi objek penelitian ini adalah struktur gedung laboratorium 4 lantai yang berlokasi di manado.	Pada penelitian ini dilakukan perbandingan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 serta meninjau perubahan yang terjadi penelitian ini berlokasi di kota palembang	Pada penelitian ini digunakan bangunan eksisting yang dimodelkan dengan menggunakan SAP2000 dengan asumsi struktur yang digunakan SRPMK,	Pada penelitian ini digunakan gedung perkantoran 3 lantai yang dimodelkan dengan bantuan software SAP2000 dengan berpedoman pada SNI 1726:2019	Pada penelitian ini akan menggunakan metode dinamik respon spektrum yang kemudian akan dibandingkan dengan gaya dalam yang bekerja pada elemen struktur

Lanjutan Tabel 2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dan Sekarang

Aspek	Penelitian Terdahulu				Penelitian Yang Dilakukan
Penulis	Parisko Herel Karisoh dkk (2018)	Sari Farlianti (2020)	Fahmi Zuhail imanillah (2022)	Zainal Fajri (2022)	Fakhri Ikhsa (2024)
Metode penelitian	Hal yang ditinjau pada penelitian ini adalah periode fundamental struktur, kontrol partisipasi massa, kontrol base shear, kontrol simpangan antar tingkat dan perhitungan tulangan lentur balok		penelitian ini berlandaskan pada SNI 1726:2019 dengan lokasi penelitian di cilacap		penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi ETABS dan akan melihat serta membandingkan apakah struktur dengan menggunakan data eksisting masih memenuhi syarat berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019
Peraturan yang digunakan	SNI 1726:2012	SNI 1726: 2019 SNI 1726: 2012	SNI 1726: 2019 SNI 1726: 2012	SNI 1726:2019	SNI 1726: 2019 SNI 1726: 2012

Lanjutan Tabel 2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dan Sekarang

Aspek	Penelitian Terdahulu				Penelitian Yang Dilakukan
Penulis	Parisko Herel Karisoh dkk (2018)	Sari Farlianti (2020)	Fahmi Zuhail imanillah (2022)	Zainal Fajri (2022)	Fakhri Ikhsa (2024)
Hasil	telah terpenuhinya persyaratan <i>strong column weak beam</i> dilihat dengan kondisi tulangan tekan sudah mengalami leleh yang berarti material tulangan mampu mengembangkan regangannya dari awal leleh hingga mengalami putus. Mekanisme penulangan yang diterapkan pada struktur ini sudah dapat menahan gaya geser akibat gempa dimana didapat nilai kapasitas geser nominal (V_n) lebih besar nilai kapasitas ultimit (V_u).	hasil analisis terhadap respon spektral percepatan gempa $S_a(g)$ pada daerah Palembang yang dihitung dengan menggunakan SNI 1726:2019 mendapatkan hasil respon spektral desain periode pendek (S_{DS}) pada tanah keras, lunak maupun sedang adalah sebesar 23%, 12% dan 5% sedangkan pada respon spektral desain periode 1 detik (S_{D1}) adalah sebesar 39%, 49%, dan 40%.	nilai simpangan antar lantai pada arah X dan Y memenuhi persyaratan, nilai simpangan terbesar pada arah X didapatkan sebesar 0,0388 m dan arah Y sebesar 0,0423 m dengan simpangan izin sebesar 0,08 m.	nilai simpangan antar lantai pada arah X dan Y memenuhi persyaratan, nilai simpangan terbesar pada arah X didapatkan sebesar 0,0388 m dan arah Y sebesar 0,0423 m dengan simpangan izin sebesar 0,08 m.	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Elemen Struktur

Pada bangunan struktur terdapat beberapa elemen seperti balok dan kolom yang menjadi satu kesatuan sehingga dapat memberikan keamanan dan kenyamanan pada bangunan tersebut. Dalam melakukan perancangan harus sesuai dengan syarat dan kriteria yang sudah ditetapkan, syarat dan kriteria yang dimaksud adalah kemampuan layak struktur, mutu, efisiensi, biaya dan lain-lain.

3.1.1 Pelat Lantai

Pelat lantai adalah struktur bidang yang tegak lurus dengan bidang struktur utama dan berfungsi khusus menahan beban gravitasi. Beban gravitasi yang ditahan seterusnya diteruskan ke struktur utama bangunan yaitu portal-portal atau struktur dinding. Cara meneruskan beban gravitasi dari lantai ke balok akan dipengaruhi oleh sistem plat lantai yang dipakai. Pelat lantai juga dimaksudkan untuk membantu sistem penahan beban horizontal. Kemudahan dalam pelaksanaan bangunan serta kebutuhan luasan ruangan juga akan berpengaruh terhadap sistem pelat lantai yang digunakan. Terdapat beberapa sistem pelat lantai yang paling umum digunakan baik untuk struktur beton maupun baja.

3.1.2 Balok

Balok ialah elemen utama pada struktur bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban gravitasi dari pelat lantai, beban yang diterima dari pelat lantai kemudian akan disalurkan ke elemen kolom berupa gaya dan momen. Balok juga berfungsi sebagai elemen penahan gempa karena berperan aktif dalam menjaga kestabilan struktur dengan menyerap energi gempa melalui sendi plastis pada ujung-ujungnya. Balok merupakan elemen struktur yang memikul beban tegak lurus dengan

sumbu batangnya, baik berupa beban terpusat ataupun beban merata, akibat beban yang dipikul, balok mengalami gaya dalam, berupa momen lentur dan gaya geser.

Karena adanya momen lentur, maka balok membutuhkan tulangan yang berfungsi untuk memikul momen lentur yang bekerja sepanjang balok, yang dikenal sebagai tulangan lentur. Sedangkan gaya geser, menggunakan tulangan sengkang yang dipasang sepanjang balok dengan jarak tertentu sesuai dengan besaran gaya geser yang diterima. Momen torsi terjadi pada kondisi dimana momen pada poros memanjang balok terpuntir, sehingga balok memerlukan tulangan torsi.

3.1.3 kolom

Kolom merupakan elemen struktur yang memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen lentur, Kolom berfungsi untuk menahan gaya yang berasal dari balok yang kemudian gaya tersebut akan disalurkan menuju pondasi. pada Struktur kolom terdapat dua jenis tulangan yaitu tulangan longitudinal dan tulangan geser. Tulangan longitudinal dapat ditentukan dengan melakukan analisis perhitungan dengan memperhatikan diagram interaksi Mn-Pn sedangkan tulangan geser dapat ditentukan dengan menggunakan analisis kebutuhan luasan tulangan geser.

3.2 Prinsip Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa merupakan struktur bangunan yang apabila terjadi gempa tidak langsung ambruk. konstruksi bangunan tahan gempa pada umumnya sangatlah mahal. Menurut pawirodikromo (2012) prinsip bangunan tahan gempa atau *earthquake resistant building* adalah bangunan yang kuat terhadap bahaya gempa dengan biaya yang murah. Dengan demikian tujuan dari dilakukannya perancangan gedung tahan gempa dapat dicapai yaitu dapat meminimalisir biaya pembangunan, perbaikan serta mengurangi risiko jatuhnya korban jiwa.

Prinsip-prinsip bangunan tahan gempa menurut pawirodikromo (2012) adalah:

1. gempa kecil (*light atau minor earthquake*), maka struktur bangunan tidak boleh rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan yang diperbolehkan adalah kerusakan kecil pada bagian non struktural.

2. Gempa menengah (*moderate earthquake*), maka struktur bangunan boleh mengalami rusak atau retak ringan namun masih dapat diperbaiki. Pada bagian non struktur boleh mengalami kerusakan namun masih dapat diganti.
3. Gempa kuat (*strong earthquake*), maka bangunan boleh rusak namun tidak boleh rusak total atau ambruk (*totally collapse*).

3.3 Pembebanan Struktur

Terdapat beberapa jenis pembebanan yang bekerja pada struktur bangunan. Untuk mendesain sebuah bangunan disyaratkan dapat menahan beban maksimum yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Adapun jenis-jenis pembebanan struktur adalah sebagai berikut.

3.3.1 Beban gravitasi

Beban gravitasi adalah beban yang bekerja pada arah vertikal akibat gravitasi bumi. Beban gravitasi terbagi menjadi dua yaitu sebagai berikut.

1. Beban mati

Berdasarkan SNI 1727:2020 beban mati adalah berat seluruh komponen yang ada atau terpasang pada bangunan, seperti, dinding, atap, lantai, tangga, plafon, komponen struktural dan arsitektural, serta komponen-komponen yang terpasang lainnya.

2. Beban hidup

Berdasarkan SNI 1727:2020, beban hidup adalah beban yang disebabkan oleh orang yang memakai atau tinggal pada bangunan tersebut, beban ini tidak termasuk beban lingkungan seperti beban hujan, gempa, angin, atau beban mati.

3.3.2 Beban gempa

Beban gempa adalah beban yang disebabkan oleh gempa yang mempengaruhi bangunan. Adapun beban gempa sendiri dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut.

1. Statik ekuivalen

Statik ekuivalen adalah metode perhitungan statik dengan menggunakan getaran gempa yang dimodelkan sebagai beban statik horizontal yang bekerja pada pusat gravitasi bangunan. Analisis ini didasarkan pada prinsip bahwa apabila sebuah sistem struktur mengalami getar, maka seluruh ragam getar dapat terjadi bersamaan hingga menyebabkan terjadinya interference antar pengaruh dari semua ragam getar. Pada keadaan tertentu, pengaruh yang dominan terhadap struktur diberikan oleh ragam getar pertama, sehingga pengaruh ragam getar lain dapat diabaikan. Di kondisi tersebut pengaruh terhadap ragam getar dapat diwakili dengan serangkaian beban horizontal statik yang disebut dengan beban statik ekuivalen yang menyebabkan terjadinya respons (simpangan dan gaya dalam) yang sama dengan respons yang disebabkan dari getaran ragam pertama.

2. Respon spektrum

Respon spektrum adalah spektrum berupa grafik antara periode getaran struktur, T , dengan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Analisis respon spektrum memberikan pembagian gaya geser tingkat yang lebih teliti disepanjang tinggi gedung dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen.

3.4 Parameter seismik

Parameter seismik adalah parameter parameter yang dibutuhkan dalam mengidentifikasi beban kegempaan, adapun parameter seismik yang digunakan adalah sebagai berikut.

3.4.1 Kategori Risiko

Berdasarkan SNI 1726:2019 dan 1726:2012 terdapat beberapa kategori risiko pada struktur bangunan gedung dan non gedung, kategori ini dikelompokkan berdasarkan jenis dan pemanfaatan gedung. Adapun kategori risiko bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan ● Fasilitas sementara ● Gedung penyimpanan ● Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Perumahan ● Rumah toko dan rumah kantor ● Pasar ● Gedung perkantoran ● Gedung apartemen / rumah susun ● Pusat perbelanjaan / mall ● Bangunan industri ● Fasilitas manufaktur ● Pabrik 	II

Lanjutan Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung

<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Bioskop ● Gedung pertemuan ● Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki bedah dan unit gawat darurat ● Fasilitas penitipan anak ● Penjara ● Bangunan orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan masalah terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Pusat pembangkit listrik biasa ● Fasilitas penanganan air ● Fasilitas penanganan limbah ● Pusat telekomunikasi 	III
<p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Bangunan-bangunan monumental ● Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan ● Rumah ibadah ● Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat ● Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat ● Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya ● Fasilitas kesiapan darurat , komunikasi, dan fasilitas tanggap darurat lainnya ● Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang termasuk kedalam kategori IV.</p>	IV

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726:2019

3.4.2 Klasifikasi situs

Untuk perumusan standar desain seismik bangunan pada permukaan tanah maupun dalam menentukan amplifikasi besar percepatan gempa tertinggi yang berasal dari dalam lapisan batuan dasar bumi ke muka tanah maka harus dilakukan pengklasifikasian terlebih dahulu. Berdasarkan SNI 1726:2019 dan 1726:2012 kelas situs dikategorikan berdasarkan beberapa jenis tanah, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Klasifikasi Situs

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

Sumber: SNI 1726:2019

4. Kategori desain seismik

Dalam mendirikan bangunan struktural harus memperhatikan kategori desain seismik kategori risiko bangunan serta nilai S_{DI} dan S_{DS} , berikut dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan 3.5 berikut.

Tabel 3.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode Pendek

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

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 3.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode 1 Detik

Nilai S_{DI}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

3.4.3 Koefisien modifikasi respon

Pada koefisien modifikasi respon ini terdapat beberapa nilai parameter yang berfungsi untuk penahan gaya seismik diantaranya yaitu faktor simpangan lateral (C_d), faktor kekuatan berlebih pada sistem seismik (Ω_0), dan koefisien modifikasi respon (R). hal ini berfungsi untuk menghitung dan merencanakan desain respon spektrum.

Tabel 3.6 Faktor Sistem Penahan Gempa

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
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	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

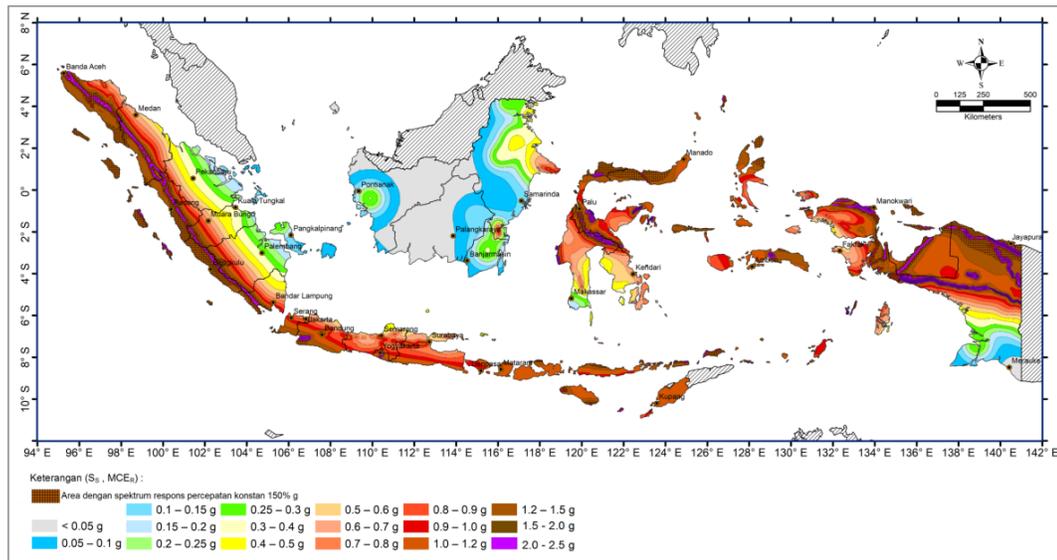
Sumber: SNI 1726:2019

Keterangan:

TB: tidak dibatasi dan TI: tidak diizinkan

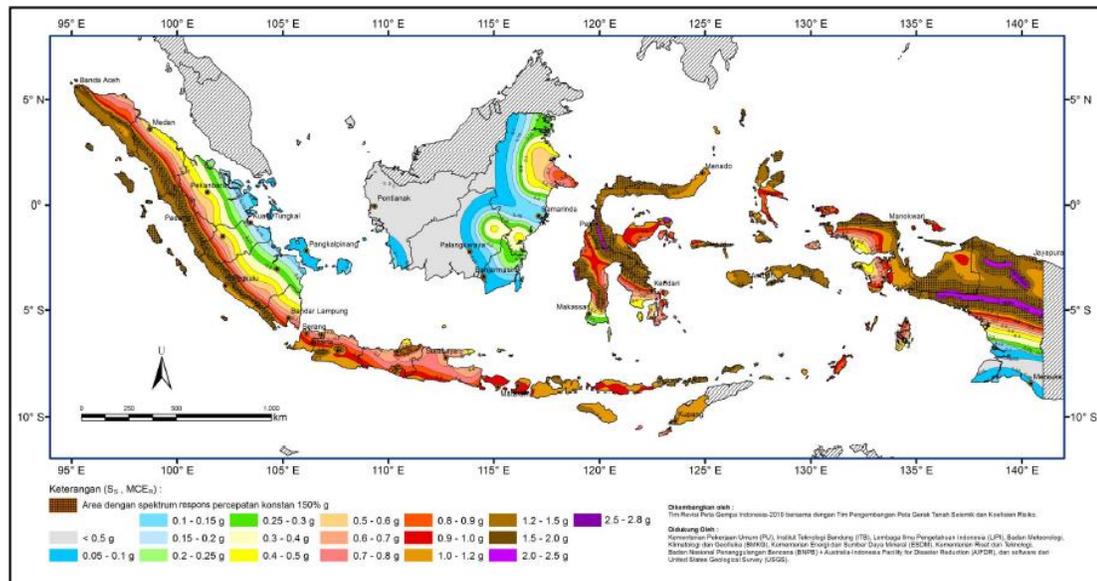
3.4.4 Percepatan Gempa

Indonesia merupakan satuan wilayah yang memiliki tingkat risiko gempa yang sangat tinggi, walaupun demikian risiko terjadinya gempa di setiap wilayah Indonesia memiliki tingkat yang berbeda-beda, maka dari itu nilai respon spektrum pada setiap daerah di Indonesia memiliki nilai yang berbeda pula. Untuk mendesain bangunan terdapat beberapa hal yang harus ditentukan seperti nilai respon spektrum percepatan periode pendek 0,2 detik (S_s) dan nilai respon spektrum percepatan 1 detik (S_1). Penentuan nilai tersebut merujuk pada SNI 1726:2019 dan 1726:2012 seperti pada gambar berikut.



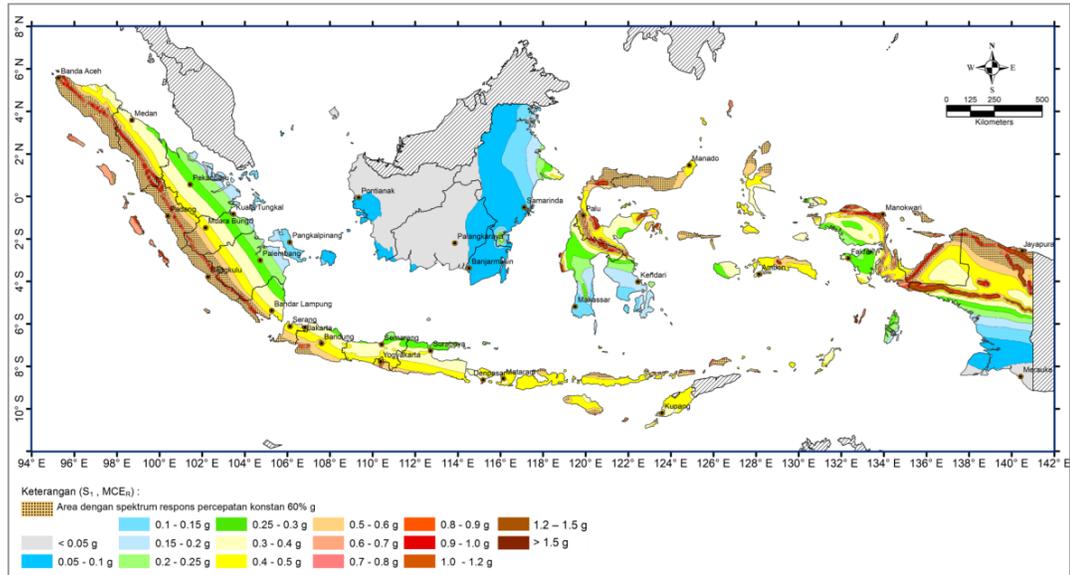
Gambar 3.1 Parameter Percepatan Spektrum Respon Periode 0,2 Detik (S_s) SNI 1726:2019

Sumber: SNI 1726:2019



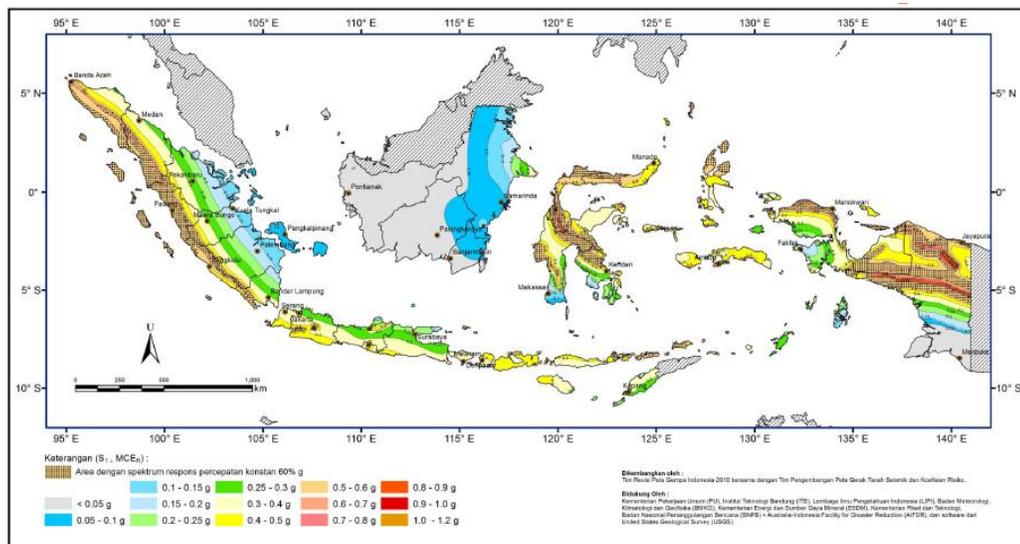
Gambar 3.2 Parameter Percepatan Spektrum Respon Periode 0,2 Detik (S_s) SNI 1726:2012

Sumber: SNI 1726:2012



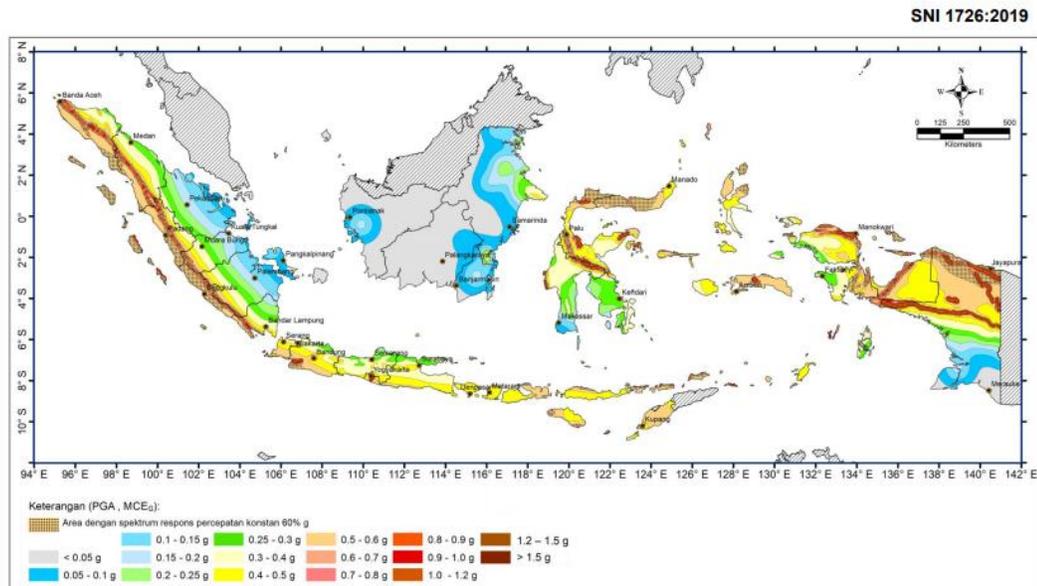
Gambar 3.3 Parameter Percepatan Spektrum Respon Periode 1 Detik (S_1) SNI 1726:2019

(Sumber: SNI 1726:2019)

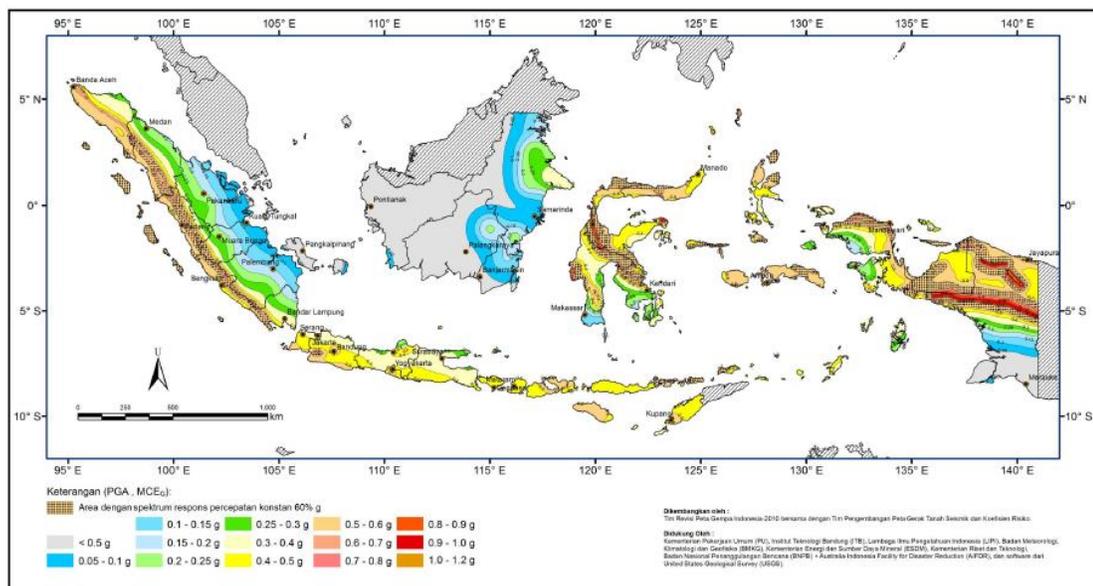


Gambar 3.4 Parameter Percepatan Spektrum Respon Periode 1 Detik (S_1) SNI 1726:2012

(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 3.5 Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Rerata Geometrik (MCEG) SNI 1726:2019
(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 3.6 Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Rerata Geometrik (MCEG) SNI 1726:2012
(Sumber: SNI 1726:2019)

Pada penentuan nilai parameter respon spektrum percepatan gempa pada muka tanah dibutuhkan faktor amplifikasi seismik untuk periode 0,2 detik (F_a) dan periode 1 detik (F_v). Nilai ini dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan 3.8 berikut.

Tabel 3.7 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$SS \leq 0,25$	$SS = 0,5$	$SS = 0,75$	$SS = 1,0$	$SS = 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS(b)				

Sumber: SNI 1726:2012

Catatan:

- Untuk mendapatkan nilai yang tidak diketahui dapat dilakukan interpolasi,
- $SS^{(a)}$ = membutuhkan investigasi geoteknik serta respon analisis secara spesifik.

Tabel 3.8 Koefisien Situs F_v

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

Sumber: SNI 1726:2012

Catatan:

- Untuk mendapatkan nilai yang tidak diketahui dapat dilakukan interpolasi,
- $SS^{(a)}$ = membutuhkan investigasi geoteknik serta respon analisis secara spesifik.

Untuk faktor koefisien F_a dan F_v SNI 1726:2019 dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3.9 Koefisien Situs Fa

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

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 3.10 Koefisien Situs Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$SI \leq 0,25$	$SI = 0,5$	$SI = 0,75$	$SI = 1,0$	$SI = 1,25$	$SI \geq 0,5$
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)					

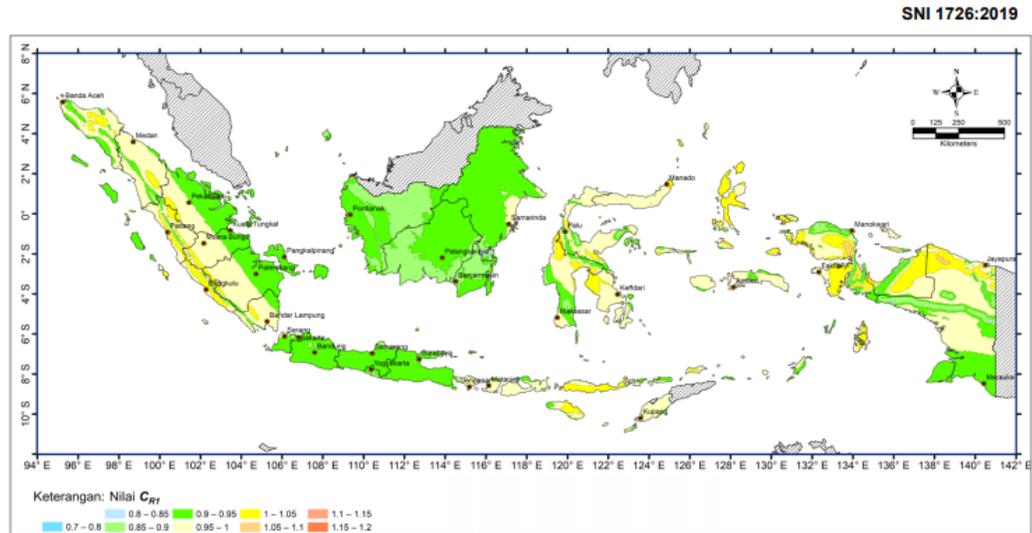
Sumber: SNI 1726:2019

Catatan:

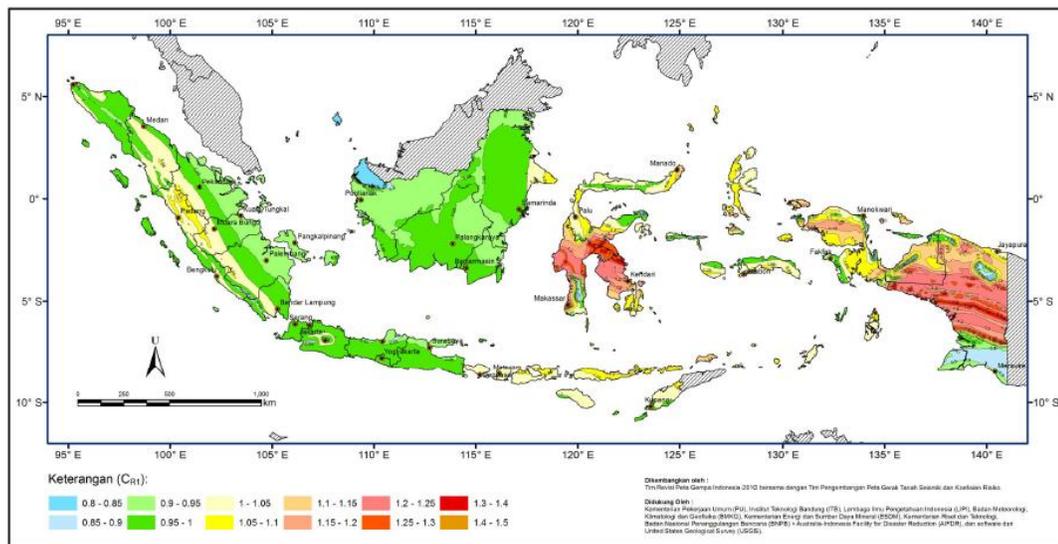
- Untuk mendapatkan nilai yang tidak diketahui dapat dilakukan interpolasi,
- $SS^{(a)}$ = membutuhkan investigasi geoteknik serta respon analisis secara spesifik.

3.4.5 Koefisien Risiko Terpetakan

pada peta koefisien ini didapatkan nilai C_{RS} dan C_{R1} . C_{RS} adalah nilai risiko situs terpetakan pada periode pendek. C_{R1} adalah nilai risiko situs terpetakan periode 1 detik.



Gambar 3.9 Nilai Risiko Situs Terpetakan CR1 Periode 1 Detik SNI 1726:2019
(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 3.10 Nilai Risiko Situs Terpetakan CR1 Periode 1 Detik SNI 1726:2012
(Sumber: SNI 1726:2019)

3.4.6 Parameter Percepatan Spektrum Desain

Parameter percepatan untuk periode pendek, pada periode 1 detik dan S_{DS} , S_{D1} ditentukan dengan menggunakan rumus berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \tag{3.1}$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (3.2)$$

3.5 Analisis beban gempa

Dalam melakukan analisis beban gempa yang mempengaruhi struktur bangunan pada umumnya terdapat 2 jenis analisis yaitu sebagai berikut.

3.5.1 Statik ekuivalen

Analisis metode statik ekuivalen merupakan sebuah analisis kegempaan yang dilakukan dengan menggunakan perhitungan secara manual dengan menggunakan rumus baku yang sudah ditetapkan dalam peraturan gempa. Analisis metode ini biasa digunakan untuk bangunan dengan tipe beraturan.

Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 gaya dasar seismik V , dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$V = C_s \cdot W \quad (3.3)$$

Keterangan:

V = gaya dasar seismik

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

Nilai C_s dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (3.4)$$

Keterangan:

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

R = koefisien modifikasi respon

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s tidak boleh lebih dari:

Pada $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.3)$$

Pada $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.4)$$

C_s tidak boleh kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.5)$$

Pada struktur yang berlokasi di daerah yang nilai S_1 sama dengan atau lebih dari 0,6g, maka C_s tidak boleh kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\frac{R}{I_e}} \quad (3.6)$$

Keterangan:

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

T = periode fundamental struktur, dalam detik

S_1 = parameter percepatan respon spektral maksimum yang dipetakan

3.5.2 Respon Spektrum

Pada analisis respon spektrum terdapat sedikit perbedaan, pada SNI 1726:2012 terdapat tiga bagian prioda waktu getar fundamental Struktur yang terjadi pada grafik respon spektrum, sedangkan pada SNI 1726:2019 terdapat empat bagian prioda waktu getar fundamental struktur yang terjadi pada grafik respon spektrum, pada grafik tersebut terdapat tambahan waktu priode panjang T_L (*long period*).

Pada periode yang memiliki nilai yang lebih kecil dari T_0 , S_a atau spektrum desain percepatan maka diambil persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0}\right) \quad (3.7)$$

Pada periode yang memiliki nilai lebih besar atau sama dengan T_0 serta lebih kecil atau sama dengan T_s , maka nilai spektrum respon desain percepatan S_a , sama dengan S_{DS} , pada periode yang memiliki nilai yang lebih besar dari T_s , S_a atau spektrum desain percepatan, didapatkan dengan menggunakan persamaan:

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

Pada periode yang lebih besar dari T_L , S_a atau spektrum respon desain percepatan, didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$S_a = \frac{SD1 \cdot T_L}{T^2} \quad (3.9)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} \quad (3.10)$$

$$T_1 = \frac{SD1}{SDS} \quad (3.11)$$

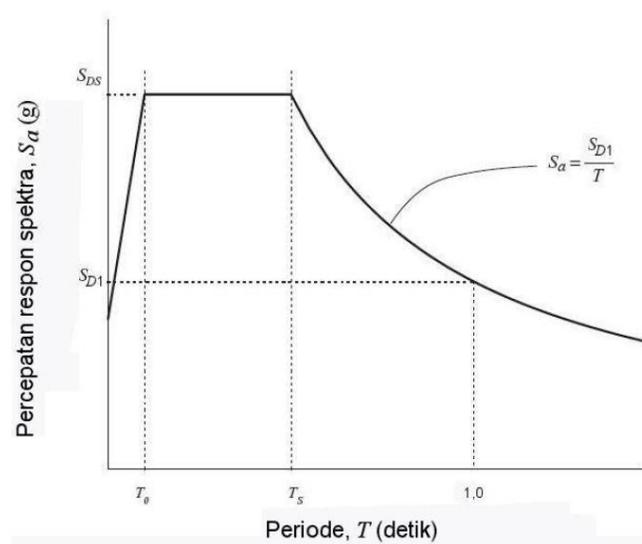
T_L = Peta transisi periode panjang

Keterangan:

$SD1$ = parameter respon spektrum desain percepatan pada periode 1 detik

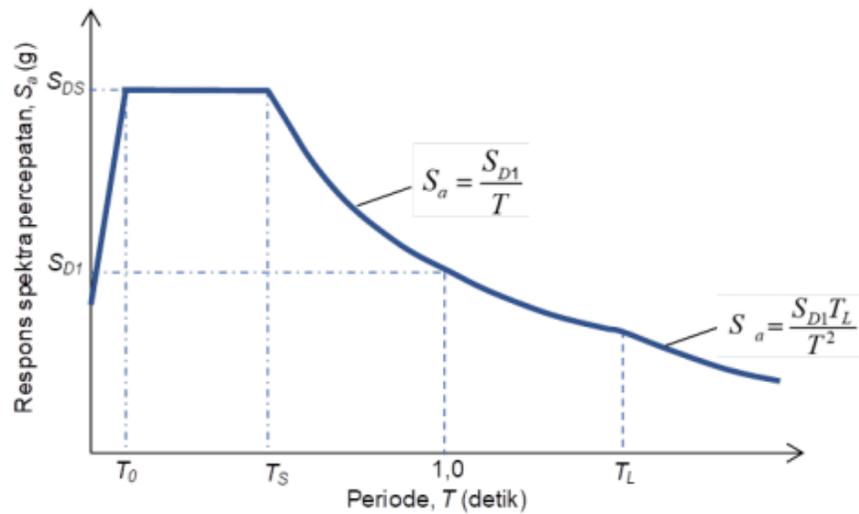
SDS = parameter respon spektrum desain percepatan pada periode pendek

T = periode getar fundamental struktur



Gambar 3.11 Desain Respon Spektrum SNI 1726:2012

Sumber: SNI 1726:2012



Gambar 3.12 Desain Respon Spektrum SNI 1726:2019

Sumber: SNI 1726:2019

3.6 Kontrol struktur

Dalam melakukan analisis sistem struktur diperlukan Kontrol, adapun kontrol bangunan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

3.6.1 Priode fundamental struktur

Priode fundamental T , didapatkan dari hasil analisis struktur. Tetapi pada SNI SNI 1726:2012 dan 1726:2019 telah diatur persyaratan bahwa periode fundamental yang pakai pada perhitungan tidak boleh lebih dari batas atas periode fundamental pendekatan yang didapatkan dari perkalian antar koefisien periode batas atas (C_u) dengan pendekatan (T_a). untuk mempermudah pelaksanaan periode fundamental T dapat digunakan pendekatan T_a . periode pendekatan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (3.12)$$

$$T_{\max} = C_U \times T_a \quad (3.13)$$

Keterangan:

T_a = periode fundamental pendekatan (detik)

C_t & x = faktor periode pendekatan

h_n = tinggi struktur bangunan, (meter)

nilai C_U , C_t dan x dapat ditentukan dengan berlandaskan pada tabel 3.11 dan 3.12 berikut.

Tabel 3.11 Koefisien Untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

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

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 3.12 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 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

3.6.2 Partisipasi massa

Berdasarkan SNI 1726:2012, nilai partisipasi masa ragam yang berlaku harus didapatkan nilai lebih besar atau sama dengan 90%, namun Berdasarkan SNI 1726:2019, untuk menentukan ragam getar alami struktur harus dilakukan analisis.

Partisipasi massa ragam yang dilakukan harus didapatkan sebesar 100% dari massa struktur dalam hal ini analisis harus mengikutsertakan jumlah ragam yang cukup namun masih diizinkan sebesar 90%. Demi tercapainya ketentuan tersebut maka ragam satu badan kaku (*single rigid body*) periode 0,5 detik, diperbolehkan mengambil semua ragam pada periode dibawah 0,05 detik.

3.6.3 Ketidakberaturan

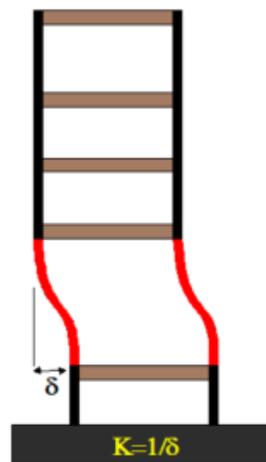
Dalam sistem struktur bangunan, bangunan tersebut harus diklasifikasikan kedalam bentuk ketidakberaturan. Ketidakberaturan sendiri terdiri dari dua jenis yaitu ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal.

1. ketidakberaturan vertikal

Jika suatu struktur memiliki satu atau lebih ketidakberaturan maka struktur tersebut dinyatakan memiliki ketidakberaturan struktur, adapun jenis ketidakberaturan vertikal adalah sebagai berikut.

a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

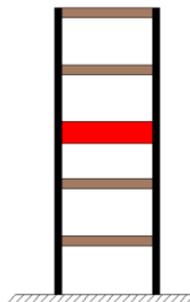
Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak dibagi menjadi dua yaitu 1a dan 1b. ketidakberaturan 1a adalah ketidakberaturan yang apabila terdapat tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan tingkat yang ada di atasnya dengan kata lain kurang dari 80% kekakuan rata-rata tingkat di atasnya. Ketidakberaturan tingkat 1b ialah kekakuan tingkat lunak berlebih.



Gambar 3.13 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (1a dan 1b)

b. Ketidakberaturan Berat

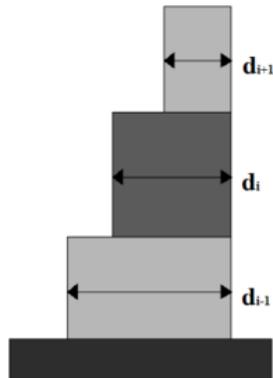
Ketidakberaturan berat adalah apabila massa efektif pada tingkat sebarang lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya.



Gambar 3.14 Ketidakberaturan Berat

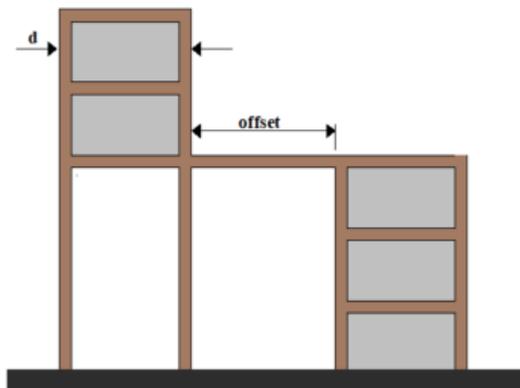
c. Ketidakberaturan geometri vertikal

Ketidakberaturan geometri vertikal adalah ketidakberaturan yang terjadi apabila dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik lebih dari 130 % dari dimensi sistem penahan gempa pada tingkat terdekatnya.



Gambar 3.15 ketidakberaturan geometri vertikal

- d. diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral
ketidakberaturan ini disebabkan karena pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen tersebut ataupun karena adanya reduksi kekakuan elemen penahan pada tingkat dibawahnya.



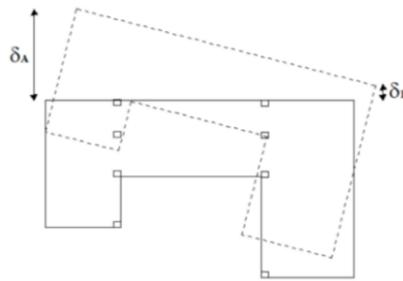
Gambar 3.16 Diskontinuitas Arah Bidang Dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral

2. Ketidakberaturan horizontal

Jika suatu struktur memiliki satu atau lebih ketidakberaturan maka struktur tersebut dinyatakan memiliki ketidakberaturan struktur, adapun jenis ketidakberaturan horizontal adalah sebagai berikut.

a. Ketidakberaturan Torsi

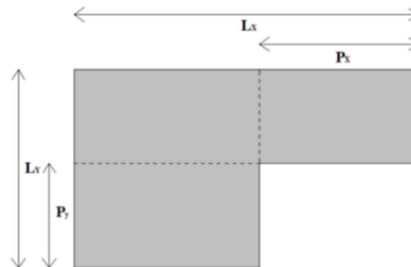
Ketidakberaturan torsi ialah ketidakberaturan yang terjadi jika simpangan antar lantai maksimum, dihitung termasuk torsi tak terduga, pada sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih besar dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rerata pada kedua ujung struktur. Ketidakberaturan torsi berlebih terjadi apabila simpangan maksimum lebih dari 1,4 simpangan rerata.



Gambar 3.17 Ketidakberaturan Torsi

b. Ketidakberaturan Sudut Dalam

ketidakberaturan sudut dalam terjadi apabila kedua proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.



Gambar 3.18 Ketidakberaturan Sudut Dalam

c. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

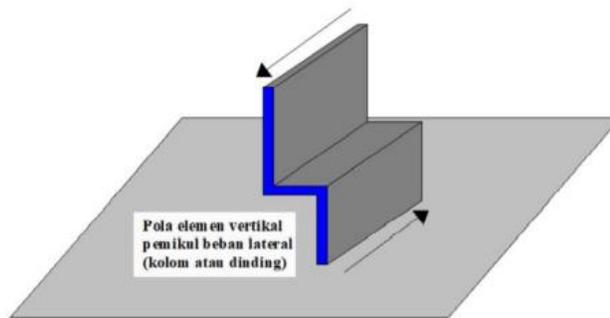
ketidakberaturan diskontinuitas diafragma terjadi apabila suatu diafragma memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang memiliki daerah terpotong ataupun terbuka lebih dari 50% daerah diafragma

bruto yang tertutup, ataupun perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.



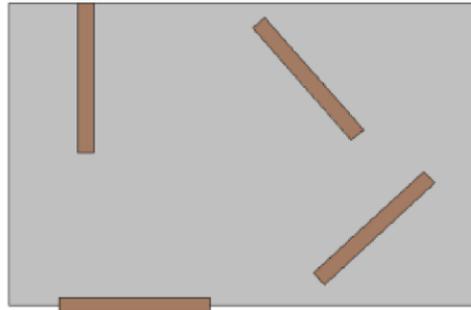
Gambar 3.19 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

- d. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang
 Pada SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019, ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang terjadi apabila terdapat pergeseran tegak lurus pada bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, berupa pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada minimal satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.



Gambar 3.20 Ketidakberaturan Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

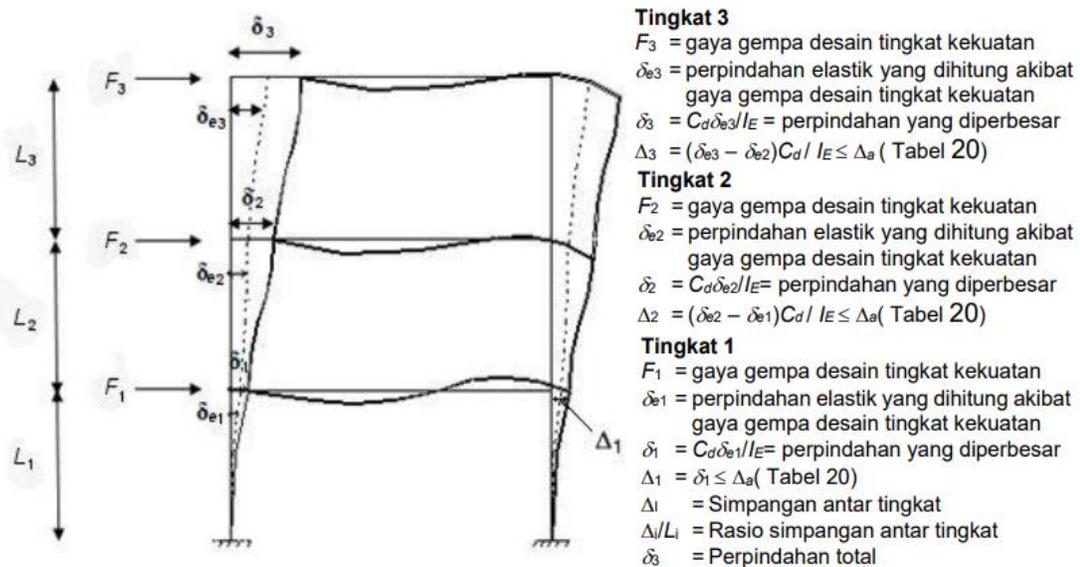
- e. Ketidakberaturan Sistem Non Paralel
 Pada SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019, ketidakberaturan sistem non paralel terjadi apabila terdapat elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.



Gambar 3.21 Ketidakberaturan Sistem Non Paralel

3.6.4 Simpangan antar tingkat

Simpangan antar tingkat desain (Δ) ditentukan dengan menghitung perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Jika pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, maka diperbolehkan untuk menghitung simpangan pada dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Apabila tegangan izin desain digunakan, Δ harus dihitung dengan menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.



Gambar 3.22 Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar lantai (Δ) harus diberi batasan agar tidak lebih dari simpangan antar lantai ijin Δ_a , yang telah ditentukan berdasarkan Tabel berikut.

Tabel 3.13 Simpangan Antar Tingkat Izin

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

Sumber: SNI 1726:2019

3.6.5 Pengaruh P-delta

Pengaruh P-delta terjadi pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan tidak perlu memperhitungkan simpangan antar tingkat yang timbul oleh pengaruh ini apabila koefisien stabilitas (θ) kurang dari 0,10 yang didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$$\theta = \frac{P_x I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3.14)$$

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh lebih dari θ_{max} yang didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (3.15)$$

Keterangan:

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat- x

Δ = simpangan antar tingkat desain

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1

H_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x

3.6.6 Gaya dasar seismik

gaya dasar seismik V , dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$V = C_s \cdot W \quad (3.16)$$

Keterangan:

V = gaya dasar seismik

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

Nilai C_s dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (3.17)$$

Keterangan:

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

R = koefisien modifikasi respon

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s tidak boleh lebih dari:

Pada $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.18)$$

Pada $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.19)$$

C_s tidak boleh kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.20)$$

Pada struktur yang berlokasi di daerah yang nilai S_1 sama dengan atau lebih dari 0,6g, maka C_s tidak boleh kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\frac{R}{I_e}} \quad (3.21)$$

Keterangan:

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

T = periode fundamental struktur, dalam detik

S_1 = parameter percepatan respon spektral maksimum yang dipetakan

3.6.7 Penskalaan gaya

Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019, jika nilai periode fundamental hasil analisis lebih besar dari $C_u T_a$ pada suatu arah tertentu, maka nilai periode struktur T diambil sebesar $C_u T_a$. berdasarkan SNI 1726:2019 jika nilai kombinasi respons pada gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100% gaya geser (V) yang didapatkan dengan perhitungan metode statik ekuivalen, maka nilai gaya tersebut harus dilakukan perkalian dengan menggunakan V/V_t . Namun berdasarkan SNI 1726:2012 nilai analisis ragam (V_t) kurang dari 85% gaya geser (V), V adalah nilai gaya geser statik ekuivalen, sedangkan V_t adalah gaya geser dasar yang diperoleh dari hasil analisis kombinasi ragam.

3.7 Desain Elemen Struktur

Pada bangunan struktur terdapat beberapa elemen yang menjadi satu kesatuan sehingga dapat memberikan keamanan dan kenyamanan pada bangunan tersebut. Dalam melakukan perancangan harus sesuai dengan syarat dan kriteria yang sudah ditetapkan, syarat dan kriteria yang dimaksud adalah kemampuan layan struktur, mutu, efisiensi, biaya dan lain- lain.

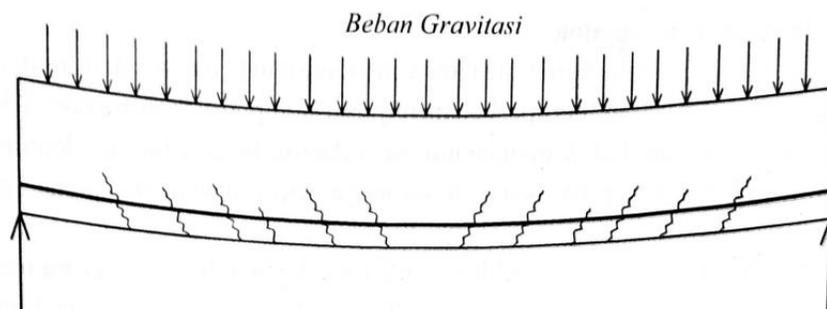
3.7.1 Balok

Balok ialah elemen utama pada struktur bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban gravitasi dari pelat lantai, beban yang diterima dari pelat lantai kemudian akan disalurkan ke elemen kolom berupa gaya dan momen. Balok juga berfungsi sebagai elemen penahan gempa karena berperan aktif dalam menjaga kestabilan struktur dengan menyerap energi gempa melalui sendi plastis pada ujung-ujungnya. Balok merupakan elemen struktur yang memikul beban tegak lurus dengan sumbu batangnya, baik berupa beban terpusat ataupun beban merata, akibat beban yang dipikul, balok mengalami gaya dalam, berupa momen lentur dan gaya geser.

Karena adanya momen lentur, maka balok membutuhkan tulangan yang berfungsi untuk memikul momen lentur yang bekerja sepanjang balok, yang dikenal sebagai tulangan lentur. Sedangkan gaya geser, menggunakan tulangan sengkang yang dipasang sepanjang balok dengan jarak tertentu sesuai dengan besaran gaya geser yang diterima. Momen torsi terjadi pada kondisi dimana momen pada poros memanjang balok terpuntir, sehingga balok memerlukan tulangan torsi.

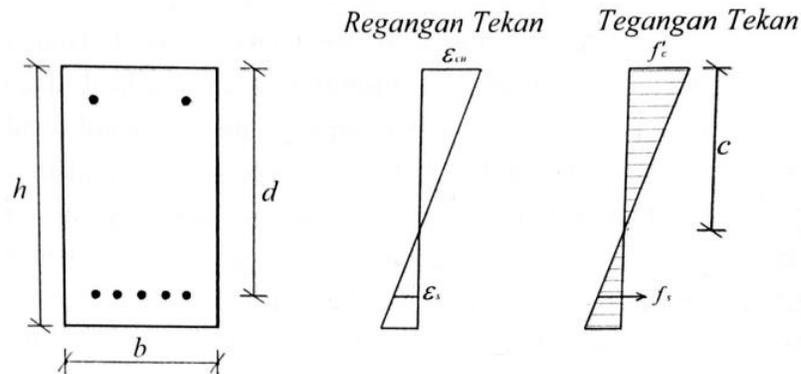
1. Kuat lentur balok

Balok yang memikul beban gravitasi akan mengalami fenomena lentur yang menyebabkan terjadinya tegangan tarik dan tekan pada penampang balok, pada bagian atas balok akan terjadi tegangan tekan dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik, sebagaimana dapat dilihat seperti pada gambar berikut.



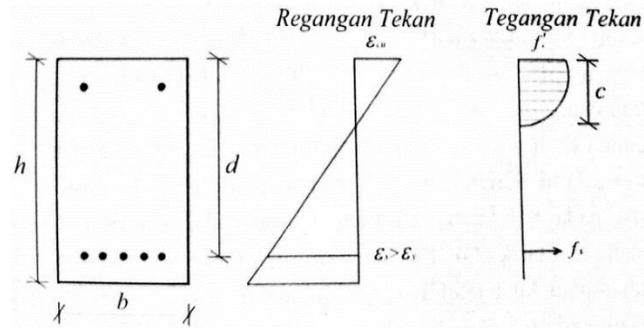
Gambar 3.23 Distribusi Tegangan- Regangan Balok

saat balok memikul beban gravitasi yang relatif kecil, distribusi tegangan-regangan masih dalam kondisi berupa garis lurus (garis linier) dengan kata lain balok masih dalam keadaan elastis yang artinya saat beban dihilangkan maka kondisi balok akan kembali pada posisi semula tanpa adanya lendutan dan kerusakan.



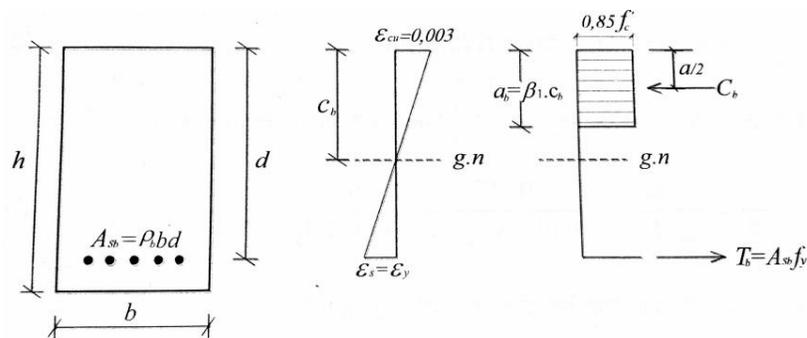
Gambar 3.24 Distribusi Tegangan-Regangan Balok Kondisi Elastis

Pada saat beban ditambahkan, maka distribusi tegangan akan berubah sesuai besaran beban yang diberikan yang diikuti dengan bertambahnya tegangan-regangan tekan dan tarik. Pada kondisi ini tegangan pada baja tulangan telah mencapai batas lelehnya (f_y). Distribusi tegangan pada daerah tekan berubah menjadi non linier. Tegangan tarik telah melampaui kekuatan beton sehingga terjadi keretakan (*crack*) pada serat tarik. Dengan terjadinya leleh pada tulangan tarik beton, maka baja akan mengalami regangan yang diikuti dengan bertambahnya deformasi pada balok. Kondisi retak pada permukaan serat tarik pun akan semakin membesar dikarenakan tulangan baja telah melampaui kuat lelehnya dan mengalami *strain hardening*, seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.25 Distribusi Tegangan-Regangan Balok Kondisi *Strain Hardening*

Kondisi regangan berimbang adalah suatu kondisi dimana serat tekan terluar dari penampang balok dan tulangan tarik baja mencapai regangan maksimumnya. Sehingga mengalami kehancuran secara bersamaan.



Gambar 3.26 Kondisi Regangan Berimbang pada Balok

Bila nilai luasan tarik aktual (A_s) lebih kecil dari nilai luasan tarik dalam kondisi berimbang (A_{sb}) tinggi blok tegangan tekan (a) akan berkurang dan menyebabkan regangan tulangan tarik (ϵ_s) lebih besar dari regangan lelehnya (ϵ_y) disaat beton mengalami retak pada serat tekan terluar ($\epsilon_{cu} = 0,003$). Pada kondisi ini, pola keruntuhan balok akan bersifat daktail dengan menunjukkan deformasi yang relatif besar sebelum terjadi keruntuhan. Persamaan yang digunakan dalam konsep ini yakni sebagai berikut.

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}; \rho = \text{rasio tulangan} \quad (3.22)$$

$$\frac{c_b}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} = \frac{0,003}{0,003 + f_y/E} = \frac{600}{600 + f_y} \quad (3.23)$$

Gaya tekan (C_b) dalam kondisi berimbang yaitu:

$$C_b = 0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot c_b \quad (3.24)$$

Gaya tarik (T_b) dalam kondisi berimbang pada tulangan baja:

$$T_b = A_{sb} \cdot f_y = \rho_b \cdot b \cdot d \cdot f_y \quad (3.25)$$

Pada balok berlaku nilai $C_b = T_b$ sehingga rasio rulangan dalam kondisi berimbang:

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \left(\frac{C_b}{d}\right)}{f_y} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)}{f_y} \quad (3.26)$$

Dari persamaan 3.12 ini, dapat disimpulkan bahwa besaran rasio tulangan sangat dipengaruhi oleh material dari beton dan baja. Nilai ρ_b akan meningkat apabila nilai mutu beton (f_c') meningkat, akan menurun bila mutu baja (f_y) ditingkatkan. Ukuran penampang balok tidak memiliki pengaruh dalam menentukan persentase tulangan yang akan digunakan.

Pengelompokkan penampang beton bertulang kaitannya dengan perilaku keruntuhan. Bila penampang tergolong *tension controlled* maka balok cenderung bersifat daktail (*ductile*). Sedangkan bila tergolong *compression controlled* maka balok cenderung bersifat getas. Dengan adanya fenomena seperti ini, maka berpengaruh terhadap nilai faktor reduksi (*safety factor*) yang digunakan selama proses desain.

Tabel 3.14 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial

Regangan tarik netto (ε_t)	Klasifikasi	ϕ			
		Jenis tulangan transversal			
		Spiral sesuai 25.7.3		Tulangan lainnya	
$\varepsilon_t \leq \varepsilon_{ty}$	Tekanan terkontrol	0,75	a)	0,65	b)
$\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0,005$	Transisi ¹⁾	$0,75 + 0,15 \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})}$	c)	$0,65 + 0,25 \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})}$	d)
$\varepsilon_t \geq 0,005$	Tegangan terkontrol	0,90	e)	0,90	f)

Sumber: SNI 2847:2019

Untuk nilai faktor reduksi disesuaikan dengan penggunaan sengkang apakah spiral atau tidak. Untuk penampang balok yang tidak menggunakan sengkang spiral pada saat *tension controlled* maka nilai faktor reduksi yang digunakan 0,9. Bila balok tergolong *compression controlled* maka nilai reduksi yang digunakan 0,65. Namun bila dalam keadaan transisi, menggunakan rumus yang terdapat pada Tabel 3.14.

Dalam perencanaan lentur balok, terdapat ketentuan-ketentuan yang harus diperhatikan agar sesuai dengan peraturan SNI 2847:2019. Adapun poin-poin penting yang harus diperhatikan yakni sebagai berikut.

a. Tinggi balok minimum

Pembatasan tinggi balok ini untuk menjamin lendutan yang terjadi pada balok masih dalam batas yang diijinkan. Untuk $f_y \geq 420$ harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$. Tabel 3.15 ini guna dalam proses *preliminary design* untuk mempermudah dalam perencanaan dimensi balok.

Tabel 3.15 Tinggi Minimum Balok

Kondisi perlekatan	Minimum $h^{[1]}$
Perlekatan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

Sumber: SNI 2847:2019

b. Batas lendutan

Untuk batas lendutan pada balok perlu diatur agar memiliki izin lendutan maksimum dalam memikul beban layan. Batas lendutan dapat dilihat pada Tabel 3.16 berikut:

Tabel 3.16 Perhitungan Lendutan Izin Maksimum

Jenis komponen struktur	Kondisi		Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar		Lendutan seketika akibat L_r dan R maksimum	$l/180^{[1]}$
Lantai			Lendutan seketika akibat L	$l/360$
Atap atau lantai	Memikul atau disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup ^[2]	$l/480^{[3]}$
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar		$l/240^{[4]}$

Sumber: SNI 2847:2019

c. Batasan regangan pada tulangan tarik balok

Untuk balok non prategang dengan $P_u < 0,10 f_c' A_g$, batas regangan pada tulangan tarik adalah sekurang-kurangnya 0,004. Pengaruh pembatasan ini adalah untuk membatasi rasio tulangan dalam balok untuk mengurangi perilaku getas lentur jika terjadi kelebihan beban.

d. Batasan tulangan lentur

Batasan tulangan lentur bertujuan untuk mengatur luasan tulangan minimal yang harus dimiliki elemen lentur balok. Adapun besaran nilainya yakni:

$$A_{s,min} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b \cdot d \quad (3.27)$$

atau

$$A_{s,min} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \quad (3.28)$$

Dari nilai $A_{s,min}$ diambil nilai terbesar untuk dijadikan acuan nilai minimal luasan tulangan lentur. Bila dinyatakan dalam bentuk rasio tulangan (ρ) maka:

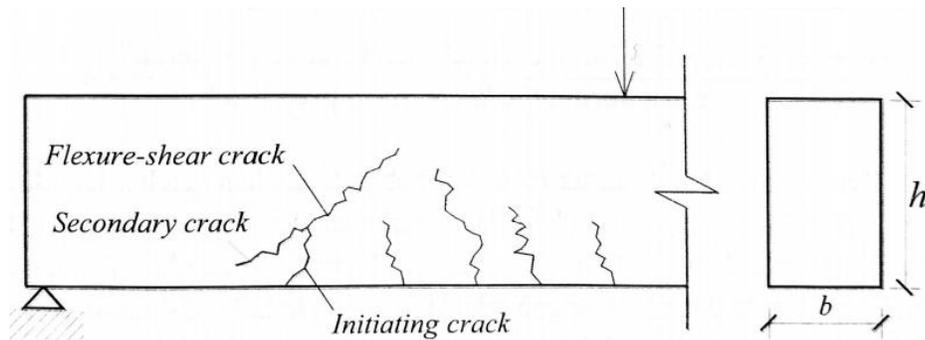
$$\rho_{min} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y} \quad (3.29)$$

atau

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3.30)$$

2. Kuat Geser Balok

Prinsip dasar dari desain geser balok yaitu resultan tegangan geser vertikal pada penampang balok harus sama besar dengan gaya geser yang bekerja pada balok (V_u). Bila kondisi tidak tercapai maka akan terjadi keruntuhan yang disebut *shear failures* (kegagalan geser). Prinsip dasar dari munculnya retak (*crack*) pada penampang balok adalah fenomena *diagonal tension* yang diakibatkan tegangan geser yang terjadi pada balok. Retak ini bisa dikontrol dengan tulangan geser (*shear reinforcement*) yang dipasang tegak lurus terhadap tulangan lentur balok.



Gambar 3.27 Pola Keretakan pada Balok

Pada Gambar 3.27, retak yang muncul didahului dengan munculnya retak akibat lentur disebut dengan *flexure shear crack*. Jenis keretakan ini dikenal dengan istilah *initiating crack* yang sering muncul pada balok. Peran tulangan geser pada balok sangatlah penting guna mencegah terjadinya kegagalan akibat *shear failure*.

Berdasarkan SNI 2847:2019, perhitungan untuk kuat geser nominal (V_n) merupakan penjumlahan dari kuat geser yang disumbang oleh beton (V_c) dan kuat geser disumbang oleh tulangan geser (V_s) memiliki persamaan:

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.31)$$

Untuk persyaratan gaya geser nominal yakni:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3.32)$$

Dengan faktor reduksi $\phi = 0,75$ untuk geser balok. Untuk ukuran dimensi desain penampang harus dipastikan mampu memikul beban geser:

$$V_u \leq \phi (V_c + 0,66 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) \quad (3.33)$$

$$V_{s,max} = 0,66 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (3.34)$$

Untuk nilai V_c diambil nilai terkecil dari ketiga rumus berikut.

$$V_c = (0,16\lambda \cdot \sqrt{f_c'} + 17\rho_w \frac{V_u d}{M_u}) b_w \cdot d \quad (3.35)$$

$$V_c = (0,16\lambda \cdot \sqrt{f_c'} + 17\rho_w) b_w \cdot d \quad (3.36)$$

$$V_c = 0,29\lambda \cdot \sqrt{f_c'} b_w \cdot d \quad (3.37)$$

Keterangan:

λ = Faktor modifikasi

ρ_w = Rasio tulangan tarik

V_u = Gaya geser *ultimate* (N)

M_u = Momen *ultimate* (Nmm)

b_w = Lebar penampang balok (mm)

d = Tinggi efektif balok (mm)

Untuk mengatur jumlah luasan minimum untuk tulangan geser, nilai A_v yang diambil adalah nilai terbesar dari dua persamaan berikut.

$$A_{v,min} = 0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (3.38)$$

$$A_{v,min} = \frac{(0,35 b_w s)}{f_{yt}} \quad (3.39)$$

Dengan diperoleh nilai $A_{v,min}$ maka nilai $V_{s,min}$ dapat ditentukan dari nilai terbesar kedua persamaan berikut.

$$V_{s,min} = 0,35 b_w d \quad (3.40)$$

$$V_{s,min} = 0,062\sqrt{f'c'}b_wd \quad (3.41)$$

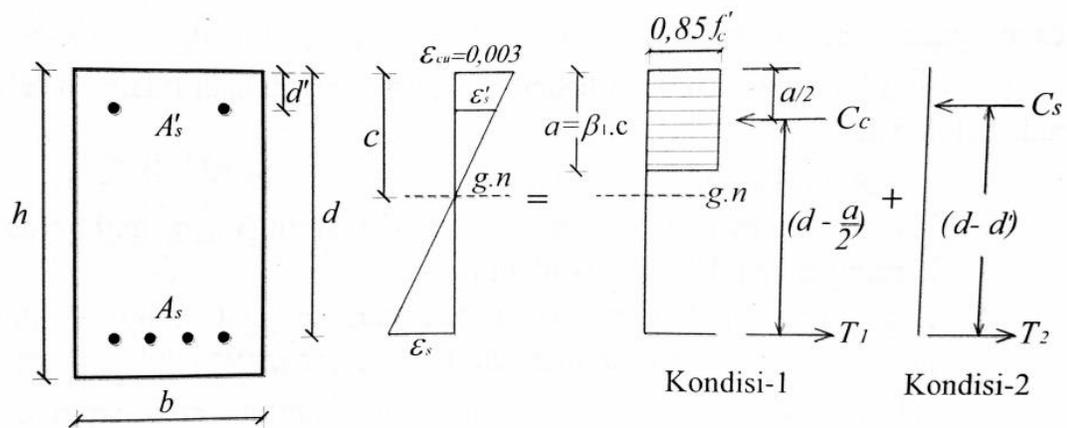
3. Tulangan Torsi

Tulangan Torsi adalah tulangan pada balok yang berfungsi untuk menahan gaya puntir yang terjadi pada balok, tulangan ini dipasang pada arah longitudinal pada balok. Berdasarkan SNI 2847:2019 luas tulangan torsi minimum harus disediakan di seluruh daerah dimana.

$$Tu \geq \phi Tth \quad (3.41)$$

4. Analisis Balok Tulangan Rangkap

Balok tulangan rangkap merupakan balok yang memiliki tulangan tarik (A_s) dan tulangan tekan (A'_s) pada penampangnya. Pada dasarnya, beton memiliki kuat tekan yang tinggi sehingga peran utama dari tulangan tekan yaitu untuk mengontrol deformasi, mengurangi pengaruh rangkak (*creep*) dan susut (*shrinkage*) pada balok, serta meningkatkan daktilitas struktur balok. Dalam desain tulangan rangkap sama halnya dengan desain tulangan tunggal, yang menjadi perbedaan yaitu adanya sumbangan kekuatan dari tulangan tekan pada daerah tekan balok yang diberi notasi C_s (*compression of steel*). Sedangkan untuk kuat tekan balok berawal dari C menjadi C_c (*compression of concrete*) agar menyesuaikan dengan variabel tulangan tekan.



Gambar 3.28 Desain Balok Tulangan Rangkap

Dapat dilihat pada Gambar 3.28 balok tulangan rangkap memiliki tulangan tarik (A_s) pada daerah tegangan tarik dan tulangan tekan (A'_s) pada sisi tegangan tekan. Jarak titik berat tulangan tekan (A'_s) terhadap serat tekan terluar dari penampang balok diberi notasi d' . Dengan adanya tulangan tekan maka regangan tulangan tekan juga diperhitungkan dengan notasi ϵ'_s . Adapun untuk mempermudah analisa tulangan rangkap, berikut mekanisme tegangan-regangan balok tulangan rangkap.

a. Kondisi 1

Pada kondisi ini belum memperhitungkan tulangan tekan dalam kontribusi kekuatan. Pada kondisi ini gaya tarik diubah menjadi T_1 yang menandakan gaya tarik pada kondisi 1. Penggunaan simbol T_1 dikarenakan gaya tarik dibagi menjadi dua yaitu T_1 dan T_2 . Sehingga dapat ditulis $T = T_1 + T_2$. Berikut penjelasan dari persamaan kondisi 1. Untuk gaya tulangan tarik (A_{s1}):

$$T_1 = A_{s1} \cdot f_y \quad (3.42)$$

Gaya tekan beton (C_c)

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \quad (3.43)$$

dimana $T_1 = C_c$ sehingga dapat ditulis:

$$\begin{aligned} M_{n1} &= T_1 \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ M_{n1} &= A_{s1} \cdot f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \end{aligned} \quad (3.44)$$

sehingga tulangan tarik dapat ditulis:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

b. Kondisi 2

Pada kondisi 2, parameter yang digunakan yaitu gaya tekan (C_s) yang disumbang oleh tulangan tekan (A'_s) dan gaya tarik (T_1) yang disumbang oleh tulangan tarik (A_{s1}). Posisi gaya C_s sejarak d' dengan serat terluar penampang balok sehingga lengan momen antara gaya tekan (C_s) dan gaya tarik (T_1) dari kondisi 2 ($d - d'$). Berikut penjelasan dari persamaan kondisi 2. Gaya tulangan tarik (A_{s2}):

$$T_2 = A_{s2} \cdot f_y \quad (3.45)$$

Gaya tekan dari tulangan tekan (C_s):

$$C_s = A'_s \cdot f'_s \quad (3.46)$$

Dengan $T_2 = C_s$, dan f'_s adalah tegangan leleh pada tulangan tekan (A'_s). Sehingga momen nominal pada kondisi 2:

$$\begin{aligned} M_{n2} &= T_2 \times (d - d') \\ M_{n2} &= A_{s2} \cdot f_y \times (d - d') \end{aligned} \quad (3.47)$$

dengan tulangan tekan dapat ditulis:

$$A'_s = A_{s2}$$

Berdasarkan penjelasan kondisi 1 dan kondisi 2 maka dapat diperoleh nilai momen nominal (M_n) untuk balok tulangan rangkap:

$$\begin{aligned} M_n &= M_{n1} + M_{n2} \\ M_n &= C_c \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s (d - d') \end{aligned}$$

dengan nilai C_c :

$$\begin{aligned} T &= C_c + C_s \\ C_c &= C_s - T = (A'_s \cdot f'_s) - (A_s \cdot f_y) \end{aligned}$$

sehingga momen nominal menjadi:

$$M_n = (A'_s \cdot f'_s) - (A_s \cdot f_y) \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + (A'_s \cdot f'_s) \cdot (d - d') \quad (3.48)$$

dengan persyaratan:

$$\phi M_n > M_u ; \text{ dengan } \phi=0,9 \text{ sebagai kontrol tarik} \quad (3.49)$$

5. Ketentuan Balok SRPMK

Suatu balok harus didesain sesuai dengan syarat SRPMK untuk balok, sebagaimana syarat SRPMK suatu komponen struktur adalah memiliki tingkat daktilitas yang tinggi. Adapun syarat SRPMK pada balok berdasarkan SNI 2847:2019 adalah sebagai berikut.

- a. Pada komponen struktur gaya tekan aksial terfaktor tidak boleh lebih dari

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} \quad (3.50)$$

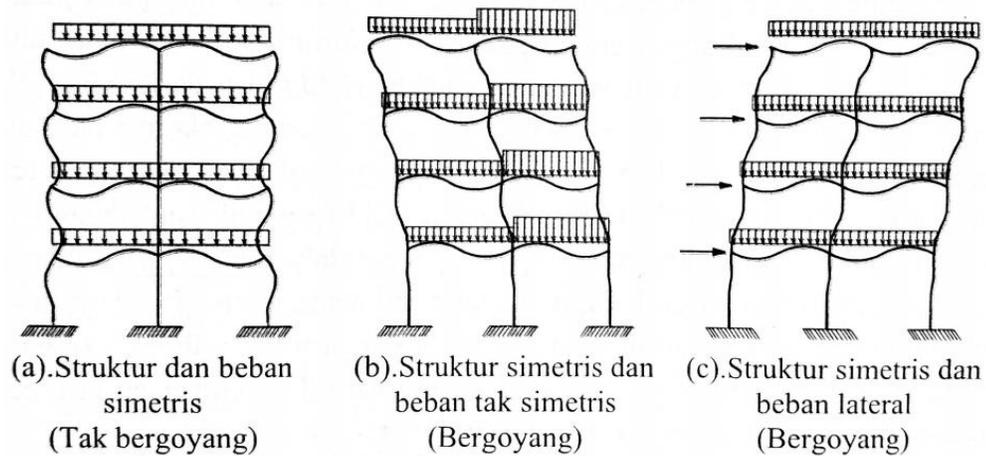
- b. Pada komponen struktur panjang bersihnya tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
- c. Untuk lebar komponen tidak boleh lebih kecil dari 0,3 h dan 250 mm.
- d. Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh lebih dari nilai terkecil c_2 dan $0,75 c_1$ pada masing masing kolom.

3.7.2 Kolom

Kolom merupakan elemen struktur yang memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen lentur. Menurut Wang & Salmon (1986), elemen kolom sangat jarang ditemukan memikul murni gaya tekan. Semua kolom dibebani dengan momen, yang dapat ditimbulkan oleh kekangan ujung kolom akibat pengecoran yang monolit dari balok dan kolom. Umumnya kolom memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen.

Bila ditinjau dari kelangsingan, kolom dibagi menjadi dua jenis yaitu kolom pendek (*short reinforced concrete column*) dan kolom langsing (*slender reinforced concrete column*). Perbedaan mendasar dari pengelompokkan ini terletak pada jenis keruntuhannya. Pada kolom pendek tergolong keruntuhan material karena beban yang dipikul melebihi kekuatan dari material penyusunnya. Pada kolom langsing tergolong keruntuhan tekuk karena penampang kolom terlalu langsing sehingga pada saat menerima beban aksial tekan mengalami tekuk meskipun belum mencapai batas kekuatan materialnya.

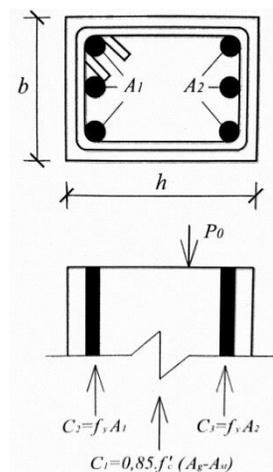
Bila ditinjau akibat sistem struktur dan tipe pembebanan, kolom dibagi menjadi dua jenis yaitu kolom tak bergoyang (*non-sway column*) dan kolom bergoyang (*sway column*). Kolom tak bergoyang terjadi pada struktur yang mengalami beban gravitasi dan formasi beban simetris, sehingga kolom murni menerima aksial tekan tanpa adanya perpindahan secara lateral. Sedangkan kolom bergoyang terjadi karena adanya beban gravitasi yang tidak simetris dan pengaruh beban lateral. Dengan adanya fenomena seperti itu kolom mengalami perpindahan dan bergoyang.



Gambar 3.29 Struktur Kolom Bergoyang dan Tak Bergoyang

1. Kondisi Aksial Tekan Sentris

Fenomena yang terjadi pada kolom pendek yang menerima beban tekan sentris (*centrically loaded short column*) seperti yang terlihat pada Gambar 3.30 yang dibebani secara sentris P_0 .



Gambar 3.30 Aksial Tekan Sentris pada Kolom

Pada Gambar 3.30, terlihat penampang dibebani oleh P_0 secara sentris. Maka kolom akan memberikan perlawanan berlawanan dengan P_0 dengan bantuan kekuatan dari beton dan baja. Dapat dituliskan dengan persamaan berikut.

$$P_0 = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \quad (3.65)$$

dengan luasan penampang kolom dinyatakan $A_g = bh$ dan $A_{st} = (A_1 + A_2)$. Sedangkan 0,85 merupakan perbandingan antara kuat tekan kolom dengan kuat tekan tes silinder. Sehingga persamaan dapat dituliskan:

$$P_0 = A_g (0,85 f_c' (1 - \rho_g) + \rho_g f_y) \quad (3.66)$$

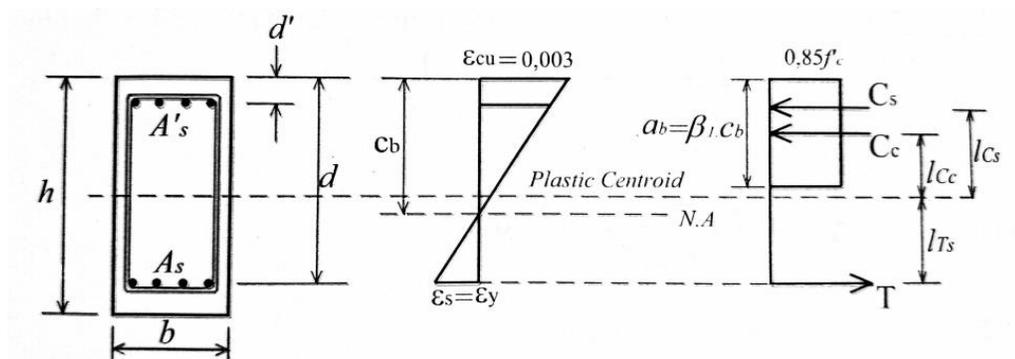
dengan $\rho_g = A_{st}/A_g$ maka menjadi:

$$P_0 = A_g (0,85 f_c' + \rho_g (f_y - 0,85 f_c')) \quad (3.67)$$

Kuat nominal yang digunakan untuk desain kolom dengan sengkang persegi tidak boleh melebihi dari $0,80P_0$.

2. Kondisi Regangan Berimbang

Kondisi regangan berimbang (*balanced strain condition*) merupakan pembatas antara *compression controlled* dan *transition zone* pada diagram interaksi kolom. Kondisi ini serat tekan beton dan serat tarik tulangan baja terluar mencapai keadaan batasnya yaitu $\epsilon_c = 0,003$ dan $\epsilon_s = f_y/E_s$.



Gambar 3.31 Kondisi Regangan Berimbang

Kondisi regangan berimbang dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,003}{\frac{f_y}{E_s} + 0,003} = \frac{0,003}{\frac{f_y}{200000} + 0,003} d = \frac{600d}{600 + f_y} \quad (3.68)$$

Gaya-gaya yang terlibat dalam kondisi ini memiliki persamaan:

$$P_b = C_c + C_s - T \quad (3.69)$$

dengan:

$$C_c = 0,85 f_c' \beta_1 c_b b \quad (3.70)$$

$$C_s = A_s' (f_y - 0,85 f_c') \quad (3.71)$$

$$T = A_s f_y \quad (3.72)$$

sehingga penjabaran dari persamaan (3.72) yakni sebagai berikut:

$$P_b = 0,85 f_c' \beta_1 c_b b + A_s' (f_y - 0,85 f_c') - A_s f_y \quad (3.73)$$

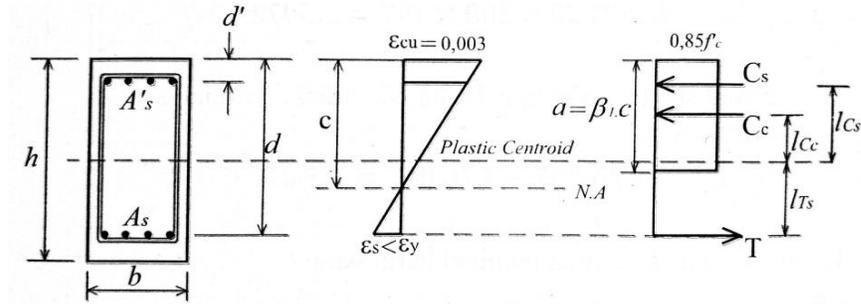
Persamaan momen dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$M_b = P_b e_b$$

$$M_b = C_c \left(d - \frac{a}{2} - d'' \right) + C_s (d - d' - d'') - T d'' \quad (3.74)$$

3. Kondisi Keruntuhan Tekan

Dalam kondisi keruntuhan tekan, nilai gaya tekan (P_n) melebihi dari kondisi seimbang (P_b). Eksentrisitas (e) lebih kecil dibandingkan dengan eksentrisitas kondisi seimbang (e_b), $e < e_b$. Tegangan pada tulangan tarik (f_s) lebih kecil daripada tulangan leleh (f_y), ($f_s < f_y$). Tipe keruntuhan tekan ini terjadi pada saat beton hancur sedangkan tulangan baja tarik belum leleh. Sumbu netral bergerak mendekati tulangan tarik yang akan menambah luas daerah tekan beton sehingga jarak ke serat tekan beton akan melebihi jarak pada kondisi *balance* ($c > c_b$).



Gambar 3.32 Kondisi Keruntuhan Tekan

Pada kondisi ini, persamaan tegangan-regangan tulangan tarik adalah:

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d-c}{c} \right) \times \varepsilon_{cu} \quad (3.75)$$

Jika nilai $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ maka tulangan tidak leleh dan sesuai dengan kondisi *compression controlled*. Maka tegangan pada tulangan tarik menjadi:

$$f_s = \varepsilon_s \times E_s \quad (3.76)$$

Persamaan regangan tulangan tekan adalah:

$$\varepsilon'_s = \left(\frac{c-d'}{c} \right) \times \varepsilon_{cu} \quad (3.77)$$

Jika nilai $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$ maka tulangan leleh dan sesuai dengan kondisi *compression controlled*.

Maka tegangan pada tulangan tekan menjadi:

$$f_s' = f_y \quad (3.78)$$

Gaya tekan dari tulangan tekan:

$$A'_s = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (3.79)$$

$$C_s = A'_s \times f_s' \quad (3.80)$$

Gaya tarik dari tulangan tarik:

$$T = A_s f_y \quad (3.81)$$

Gaya tekan dari beton:

$$C_c = 0,85 f_c' \beta_1 c B \quad (3.82)$$

Kapasitas aksial tekan nominal dalam kondisi *compression controlled*:

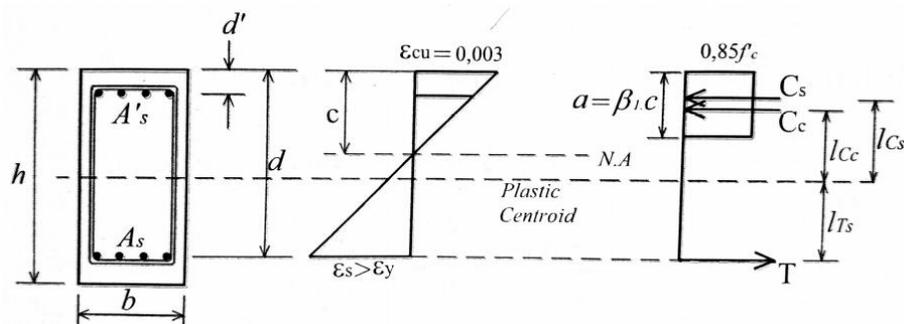
$$P_n = C_c + C_s - T \quad (3.83)$$

Kapasitas momen nominal *compression controlled*:

$$M_n = C_s \left(\frac{h}{2} - d'\right) + C_c \left(\frac{h-a}{2}\right) + T \left(\frac{h}{2} - d'\right) \quad (3.84)$$

4. Kondisi Keruntuhan Tarik

Dalam kondisi keruntuhan tarik, penampang kolom diberi beban tekan dengan eksentrisitas yang besar maka terjadi keruntuhan tarik. Kondisi ini terjadi karena hancurnya beton sedangkan baja tulangan telah mencapai leleh, $\varepsilon_s > \varepsilon_y$. Dalam kondisi ini juga nilai kuat tekan nominal penampang akan lebih kecil daripada kondisi seimbang, $P_n < P_b$. Untuk eksentrisitas lebih besar dari eksentrisitas kondisi seimbang, $e > e_b$. Pada kondisi keruntuhan tarik nilai $c < c_b$.



Gambar 3.33 Kondisi Keruntuhan Tarik

Pada kondisi ini, persamaan tegangan-regangan tulangan tarik adalah:

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d-c}{c}\right) \times \varepsilon_{cu}$$

Jika nilai $\varepsilon_s > \varepsilon_y$ maka tulangan leleh dan sesuai dengan kondisi *tension controlled*.

Maka tegangan pada tulangan tarik menjadi:

$$f_s = f_y \quad (3.85)$$

Persamaan regangan tulangan tekan adalah:

$$\varepsilon'_s = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \times \varepsilon_{cu}$$

Jika nilai $\varepsilon'_s < \varepsilon_y$ maka tulangan tidak leleh dan sesuai dengan kondisi *tension controlled*.

Maka tegangan pada tulangan tekan menjadi:

$$f_s' = \varepsilon'_s \times E_s \quad (3.86)$$

Gaya tekan dari tulangan tekan:

$$A_s = n \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$C_s = A_s \times f_s'$$

Gaya tarik dari tulangan tarik:

$$T = A_s f_y$$

Gaya tekan dari beton:

$$C_c = 0,85 f_c' \beta_1 c B$$

Kapasitas aksial tekan nominal dalam kondisi *tension controlled*:

$$P_n = C_c + C_s - T$$

Kapasitas momen nominal *tension controlled*:

$$M_n = C_s \left(\frac{h}{2} - d'\right) + C_c \left(\frac{h-a}{2}\right) + T \left(\frac{h}{2} - d'\right)$$

5. Kondisi Lentur Murni

Dalam kondisi lentur murni perilakunya persis seperti dengan balok, tidak terjadi gaya aksial. Kolom hanya menerima momen lentur tanpa adanya gaya aksial yang bekerja maka dari itu $P_n = 0$. Untuk persamaan tinggi blok tegangan tekan:

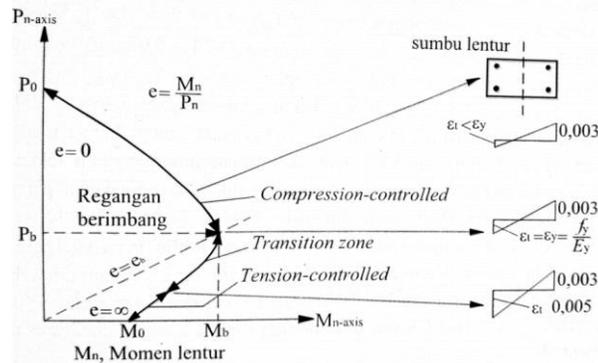
$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \quad (3.87)$$

Untuk persamaan momen nominal kondisi lentur yakni:

$$M_n = A_s f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.88)$$

6. Diagram Interaksi Kekuatan Elemen Kolom

Elemen kolom menerima kombinasi beban berupa momen dan aksial tekan. Dua parameter ini yakni momen (M_n) dan aksial tekan (P_n) terdapat sejumlah kombinasi kekuatan yang tidak terhitung jumlahnya. Interaksi dari momen dan aksial tekan ini diwujudkan dalam sebuah bentuk kurva yang dikenal dengan diagram interaksi M_n - P_n seperti yang terlihat pada Gambar 3.32.



Gambar 3.34 Diagram Interaksi Mn-Pn

Diagram interaksi dibagi menjadi dua bagian yakni *compression* dan *tension*. Pada kondisi *compression* (tekan) hampir seluruh penampang kolom terjadi regangan maksimum yakni $\epsilon_c = 0,003$ sedangkan tulangan baja belum leleh $\epsilon_y = f_y/E_s$. Pada kondisi *tension* (tarik) hampir seluruh tulangan baja mencapai regangan lelehnya (ϵ_y) dan secara bersamaan material beton mencapai regangan tekannya ($\epsilon_c = 0,003$). Istilah dari dua kondisi ini disebut dengan kondisi regangan berimbang.

Pada daerah *compression controlled* untuk nilai faktor reduksi kolom adalah 0,75 untuk kolom bulat dan 0,65 untuk kolom persegi. Pada daerah *tension controlled*, elemen struktur menerima beban hanya berupa momen lentur tanpa adanya gaya aksial tekan. Untuk daerah *tension controlled*, nilai faktor reduksi kekuatan yakni mencapai 0,9. Untuk daerah *transition zone*, faktor reduksi yakni 0,75-0,9 untuk kolom bulat dan 0,65-0,9 untuk kolom persegi. Untuk perbandingan M_n-P_n dinyatakan dalam bentuk eksentrisitas (e). Pada saat kolom menerima beban tekan eksentris maka kolom akan menerima tekan dan momen. Momen muncul dikarenakan adanya beban eksentris tersebut. Maka dari itu, sumbu vertikal diagram menyatakan $e = 0$ dan sumbu horizontal menyatakan $e = \infty$.

7. Desain Geser Kolom

Konsep desain geser kolom ini hampir sama dengan konsep desain geser balok. Yang menjadi perbedaan yaitu besaran nilai kuat geser yang berasal dari material beton (V_c). Elemen kolom memikul kombinasi beban aksial tekan dan momen lentur maka

dari itu nilai dari V_c berbeda dengan desain geser balok yang hanya berfokus pada momen lentur. Adapun persamaan geser kolom sebagai berikut.

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \quad (3.89)$$

Untuk mendapatkan nilai V_c lebih detail maka bisa mengambil nilai terkecil dari dua persamaan berikut ini.

$$V_c = \left[0,16 \lambda \sqrt{f_c'} + 17 \rho_w \frac{V_u d}{M_u - N_u \frac{(4h-d)}{8}} \right] b_w d \quad (3.90)$$

Persamaan 3.90 tidak perlu digunakan bila $M_u - N_u \frac{(4h-d)}{8} \leq 0$

$$V_c = 0,29 \sqrt{f_c'} b_w d \sqrt{1 + \frac{0,29 N_u}{A_g}} \quad (3.91)$$

Terkait kebutuhan tulangan geser kolom ditandai bila:

$$V_s \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3.92)$$

Keterangan:

V_c = Gaya geser kolom beton

V_u = Gaya geser terfaktor

N_u = Gaya aksial terfaktor

A_g = Luasan penampang kolom

λ = 1,0 (beton normal)

d = 0,8h

M_u = Momen terfaktor

ρ_w = Rasio A_s terhadap $b_w d$

8. Ketentuan Kolom SRPMK

Dalam mendesain dan merencanakan sebuah kolom harus memperhatikan dan sesuai dengan prinsip SRPMK, berdasarkan SNI 2847:2019 kolom yang di desain dengan prinsip SRPMK harus memenuhi:

- a. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak lebih kecil dari 300mm.
- b. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak lebih kecil dari 0,4.

Untuk kuat lentur kolom maka harus didesain dengan memenuhi.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (3,94)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = jumlah kuat lentur nominal kolom- kolom yang merangka ke dalam join

$\sum M_{nb}$ = jumlah kuat lentur nominal balok yang merangka ke dalam join

Pada tulangan longitudinal kolom luas tulangan A_{st} tidak boleh lebih kecil dari $0,01A_g$ dan tidak boleh lebih besar dari $0,06A_g$.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan mengenai landasan teori yang digunakan pada penelitian ini sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian ini. Pada bab IV ini selanjutnya akan membahas tentang metode yang akan digunakan demi mencapai tujuan dari dilakukannya penelitian ini.

Tahap yang dilakukan dalam penelitian dimulai dari melakukan studi literatur terhadap penelitian-penelitian terdahulu dan melihat jurnal yang memiliki kesamaan dengan penelitian ini, selanjutnya dilakukan dengan mengumpulkan data atau informasi mengenai objek yang akan diteliti berupa data primer maupun data sekunder. Data yang terkumpul kemudian dilakukan pemodelan tiga dimensi (3D) dengan menggunakan bantuan *software* ETABS. Setelah dilakukan pemodelan maka tahap selanjutnya ialah melakukan perhitungan dengan mengacu pada pedoman- pedoman yang telah ditetapkan sebelumnya seperti SNI 1726:2019 dan lain-lain.

4.1 Data Objek Penelitian

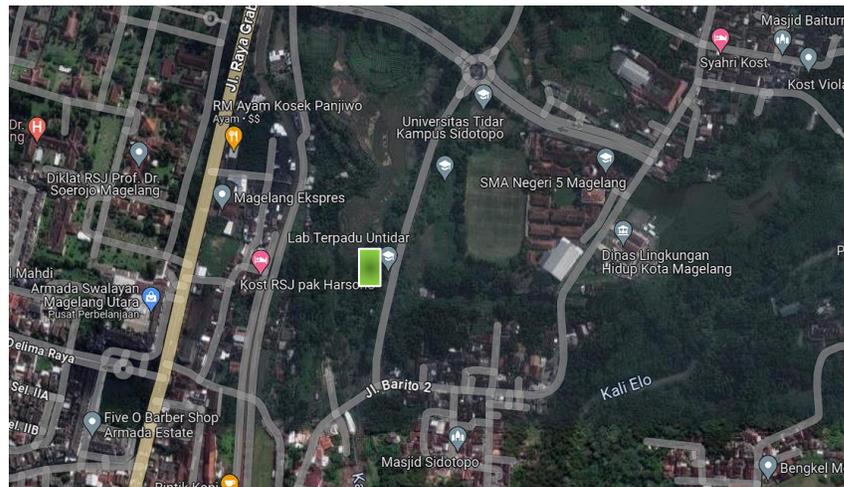
Dalam melakukan sebuah penelitian data dari objek yang diteliti merupakan hal yang sangat penting untuk dimiliki, semakin lengkap atau detail data yang dimiliki maka akan sangat membantu kelancaran dari penelitian tersebut, data yang digunakan dapat berupa beberapa hal seperti lokasi objek, *shop drawing* atau gambar kerja, data teknis bangunan, dan lain-lain. adapun data yang dimiliki pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data bangunan

Bangunan yang menjadi objek pada penelitian ini sebagai berikut:

Nama	: Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar
Lokasi	: Jl. Kapten Suparman, no.39, Potrobangsans, Magelang, Jawa Tengah.
Fungsi bangunan	: Fasilitas pendidikan
Jumlah lantai	: 5 lantai
Tinggi bangunan	: + 26 meter

Adapun untuk lokasi bangunan dapat dilihat pada gambar peta berikut.

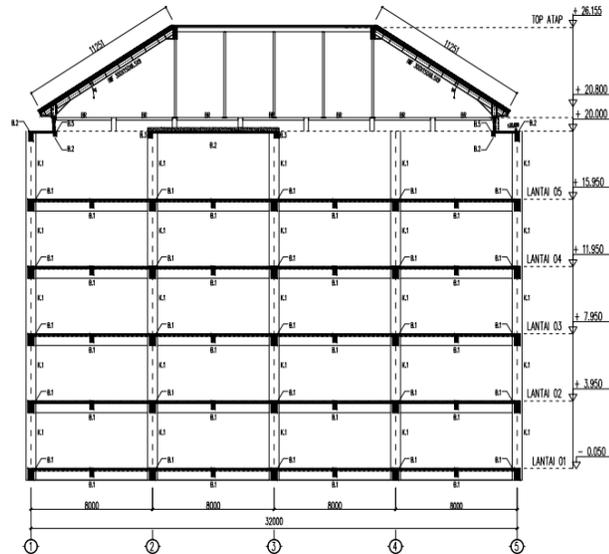


Gambar 4.1 Peta Lokasi Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar
(sumber: Google maps)

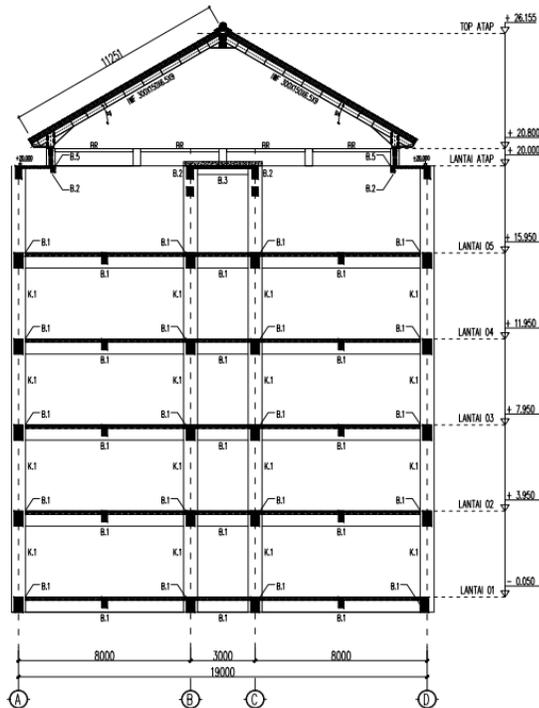
2. Gambar struktur

Gambar bangunan ini digunakan untuk memudahkan proses pemodelan dan tahapan-tahapan analisis yang selanjutnya akan dilakukan. Adapun gambar struktur yang digunakan pada penelitian ini ialah sebagai berikut.

a. Potongan Bangunan



Gambar 4.2 Potongan Melebar Gedung Laboratorium Universitas Tidar
(sumber: data proyek *Soft draw*,2021)



Gambar 4.3 Potongan Memanjang Gedung Laboratorium Universitas Tidar
(sumber: data proyek *Soft draw*,2021)

b. Detail Struktur

K.1	Kolom Beton - 650x650 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN KOLOM		
Jumlah Tulangan	36 D25	36 D25
Senggang/Begel	D10 - 100	D10 - 100
Selimit beton	4 CM	
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

K.2	Kolom Beton - 350x350 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN KOLOM		
Jumlah Tulangan	12 D22	12 D22
Senggang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	4 CM	
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

Gambar 4.4 Detail Tulangan Kolom

(sumber: data proyek *Soft draw*,2021)

B.1	Balok Beton - 400x700 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK		
Tulangan atas	9 D22	5 D22
Tulangan bawah	5 D22	5 D22
Tulangan pinggang	2 D13	2 D13
Senggang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	5 CM	5 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

B.2	Balok Beton - 300x600 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK		
Tulangan atas	7 D19	4 D19
Tulangan bawah	3 D19	4 D19
Tulangan pinggang	2 D13	2 D13
Senggang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	4 CM	4 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

B.3	Balok Beton - 300x400 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK		
Tulangan atas	3 D19	3 D19
Tulangan bawah	3 D19	3 D19
Tulangan pinggang	2 D13	2 D13
Senggang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	4 CM	4 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

B.4	Balok Beton - 250x500 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK		
Tulangan atas	5 D19	3 D19
Tulangan bawah	3 D19	3 D19
Tulangan pinggang	2 D13	2 D13
Senggang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	5 CM	5 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

B.5	Balok Beton - 200x300 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK		
Tulangan atas	3 D13	3 D13
Tulangan bawah	3 D13	3 D13
Tulangan pinggang		
Senggang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	4 CM	4 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

B.6	Balok Beton - 250x400 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK		
Tulangan atas	5 D16	3 D16
Tulangan bawah	3 D16	3 D16
Tulangan pinggang		
Senggang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	4 CM	4 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

Gambar 4.5 Detail Tulangan Balok

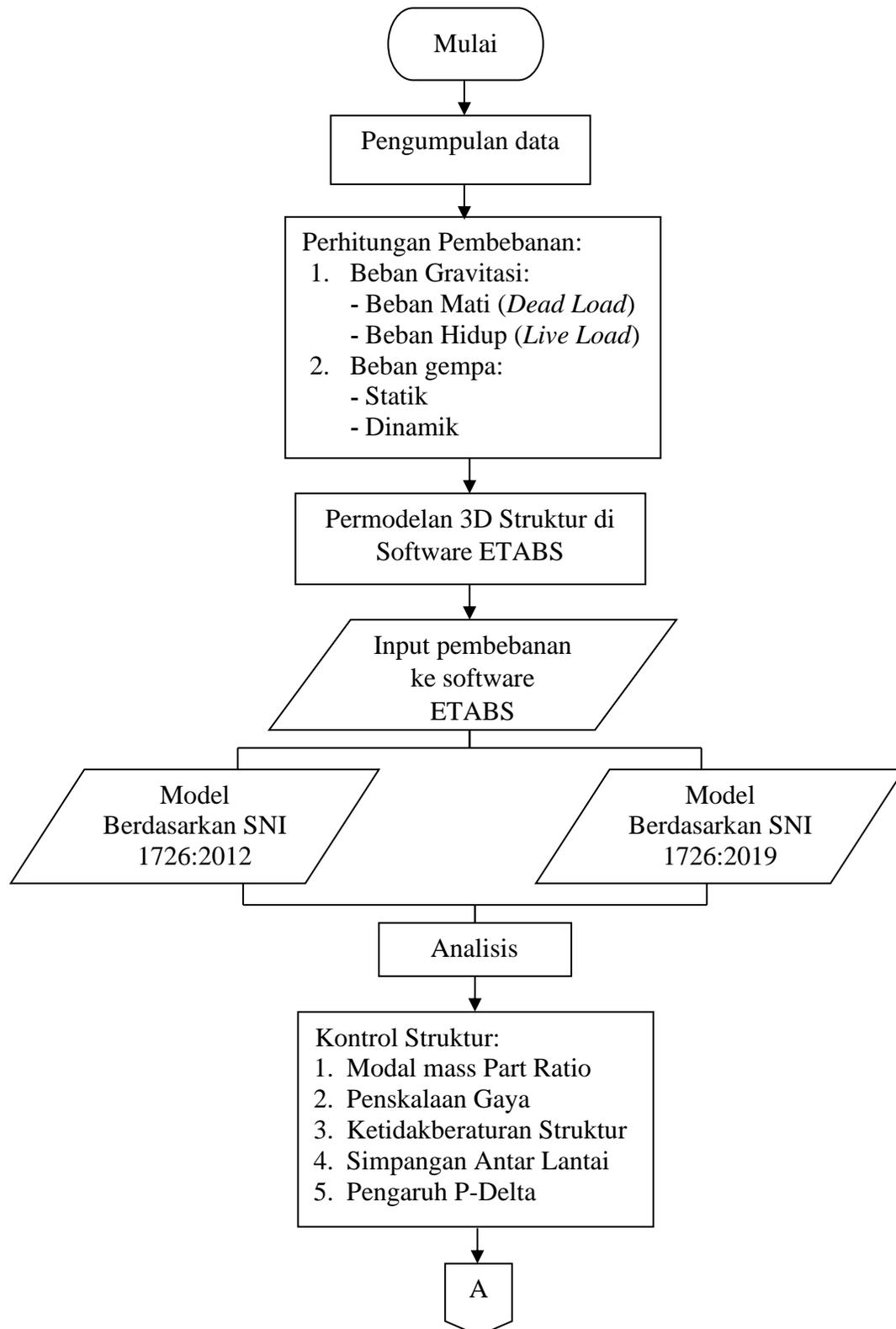
(sumber: data proyek *Soft draw*,2021)

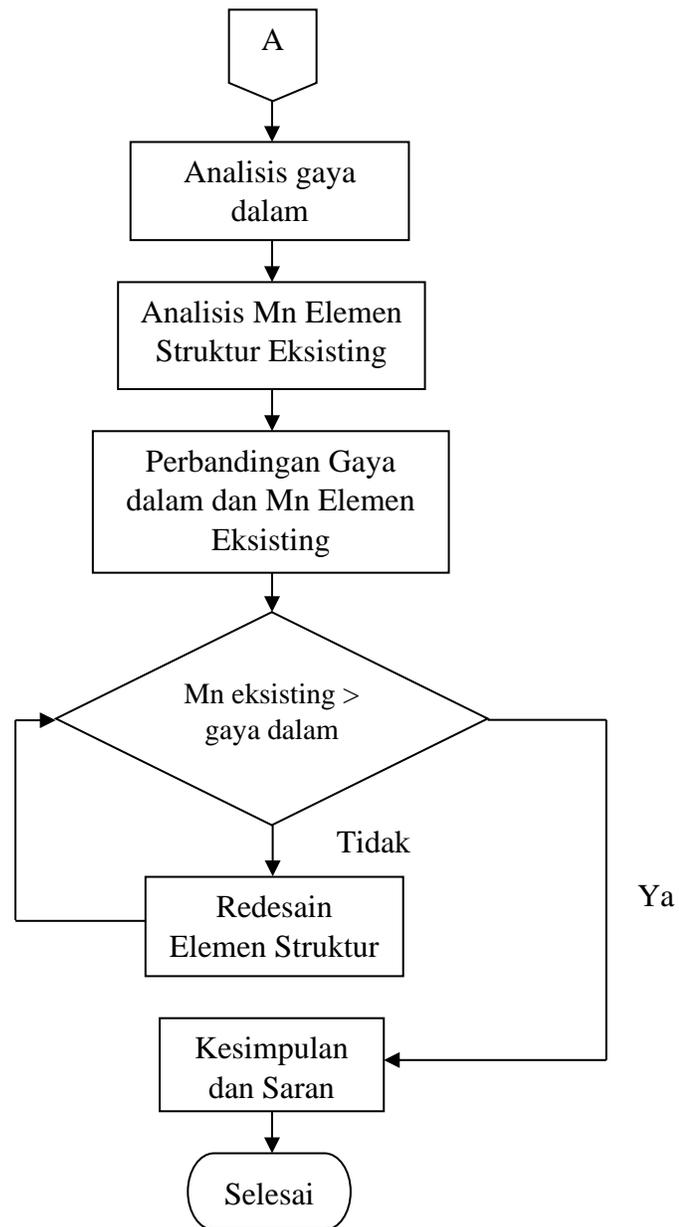
4.2 Tahapan Penelitian

Tahapan yang akan ditempuh dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk penelitian.
2. pengolahan data berupa beban gravitasi, pembebanan dan gaya gempa.
3. Melakukan permodelan struktur dengan menggunakan software ETABS serta menginput data yang telah dihitung.
4. Melakukan analisis pada ETABS dan EXCEL untuk melihat syarat terpenuhi atau tidak.
5. Melakukan analisis perhitungan gaya dalam.
6. Membahas perbandingan desain dan eksisting
7. Kesimpulan

Adapun bagan alir dari penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:





Gambar 4.6 Bagan Alir Tahapan Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan menjelaskan secara rinci proses analisis serta hasil yang didapatkan, dimulai dari data struktur yang menjadi objek penelitian, pembebanan struktur, analisis beban gempa, kontrol struktur, pengolahan output yang didapatkan dari *software*, hingga analisis eksisting penampang struktur.

Proses analisis akan dilakukan dengan melakukan permodelan menggunakan bantuan aplikasi ETABS yang kemudian dimasukkan data gedung serta parameter-parameter kegempaan yang sesuai dengan lokasi gedung tersebut, dari permodelan tersebut dapat dilakukan pengecekan struktur seperti ketidakberaturan, simpangan antar lantai dan p-delta.

Setelah permodelan tersebut sesuai dengan syarat yang telah ditetapkan kemudian dilakukan analisis pada struktur gedung seperti analisis balok dan kolom dengan menggunakan hasil output dari permodelan yang sebelumnya telah dilakukan dan berdasarkan dari data struktur gedung eksisting yang didapatkan dilapangan.

Hasil analisis yang dilakukan berdasarkan permodelan aplikasi dan hitungan eksisting kemudian dibandingkan, apabila hasil dari analisis eksisting data lapangan didapatkan lebih rendah dari permodelan dan belum sesuai dengan persyaratan maka dilakukan desain ulang pada struktur gedung tersebut.

5.2 Data Bangunan

Struktur gedung yang menjadi objek pada penelitian ini adalah Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar yang terdiri dari 5 lantai dengan panjang 32 meter, lebar 19 meter, dan tinggi total bangunan 20,8 meter, informasi lebih rinci dapat dilihat pada tabel 5.1 hingga 5.3 berikut ini.

Tabel 5.1 Data Bangunan

NO	Data Bangunan		Satuan
1	Fungsi Bangunan	Laboratorium	
2	Lokasi Bangunan	Magelang	
3	Jenis Tanah	Sedang (Asumsi)	
4	Jumlah Lantai	5	
5	Tinggi Total Bangunan	20,8	m
6	Mutu Beton	26,4	MPa
7	Tulangan Baja Ulir	420	MPa
8	Tulangan Sengkang	240	MPa

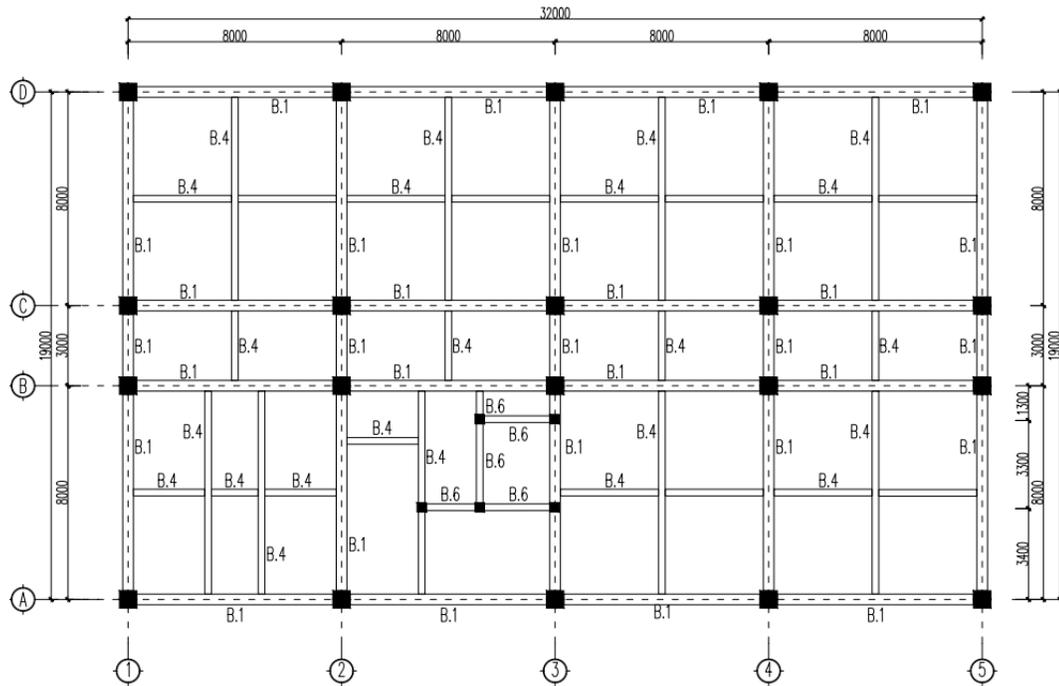
Tabel 5.2 Dimensi Balok

NO	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1	B1	400 x 400
2	B2	300 x 600
3	B3	300 x 400
4	B4	250 x 500
5	B5	200 x 300
6	B6	250 x 400
7	BR	150 x 150

Tabel 5.3 Dimensi Kolom

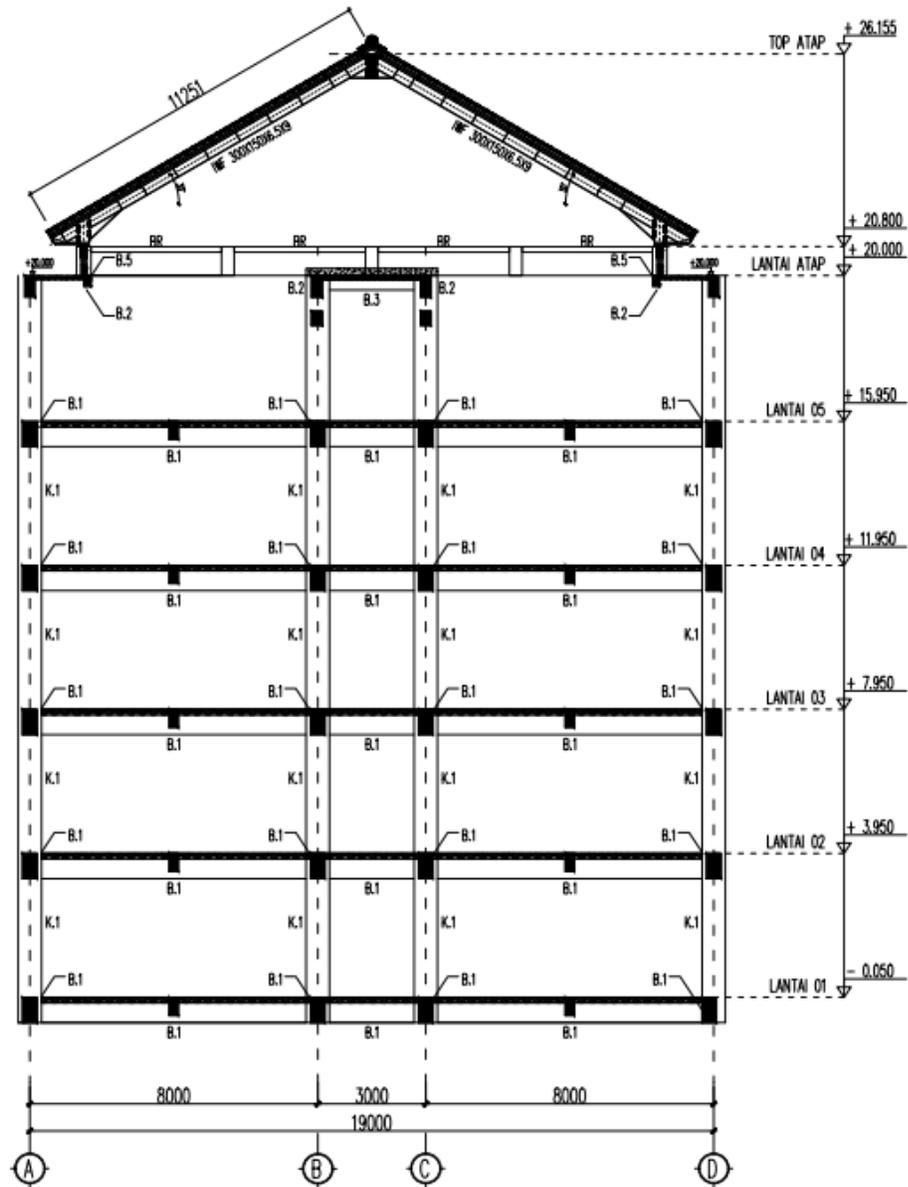
NO	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1	K1	650 x 650
2	K2	350 x 350

Adapun denah struktur, tampak depan arah x dan tampak samping arah dapat dilihat pada gambar berikut ini.



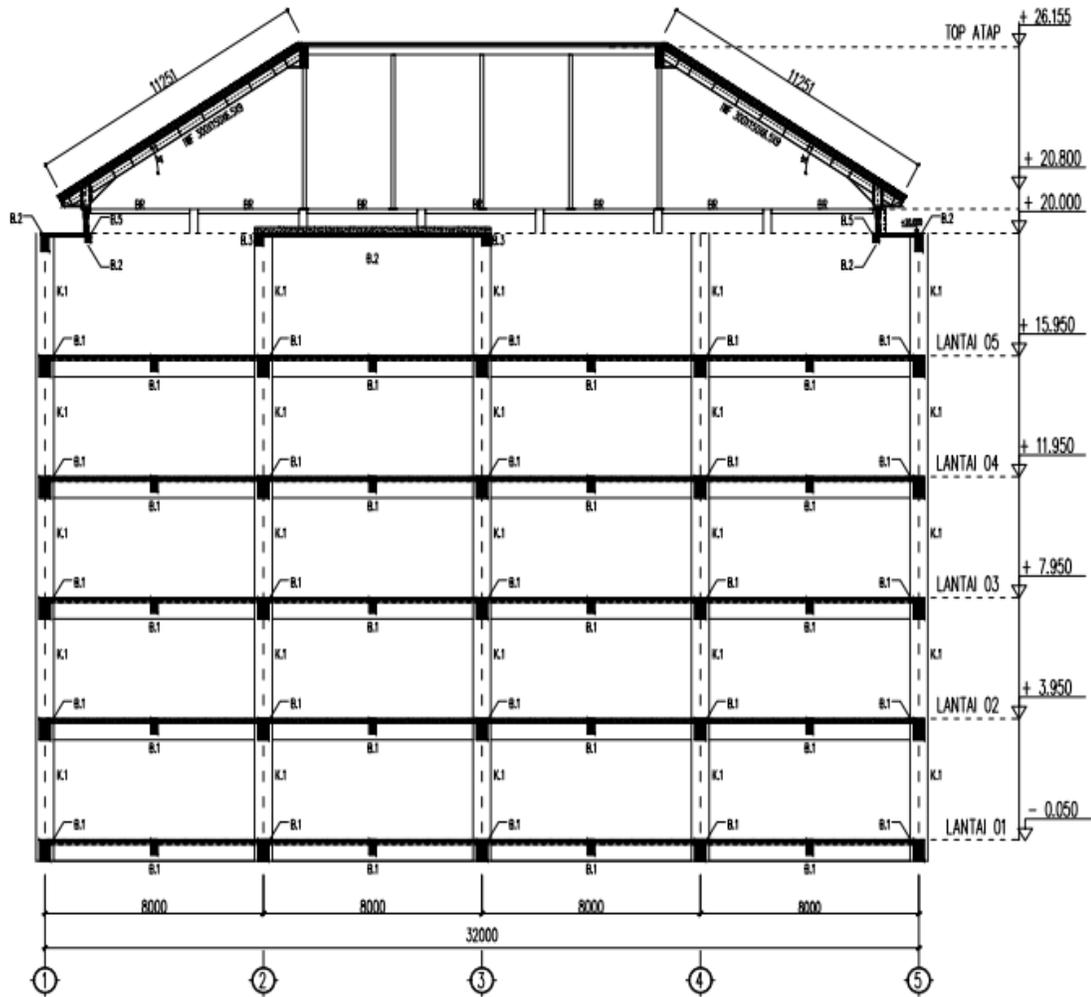
Gambar 5.1 Denah Struktur Balok Kolom

(sumber: data proyek *Soft draw*,2021)



Gambar 5.2 Potongan Tampak Samping

(sumber: data proyek *Soft draw*,2021)



Gambar 5.3 Potongan Tampak Depan

(sumber: data proyek *Soft draw*, 2021)

5.3 Beban Gravitasi

Dalam proses analisis dan perancangan bangunan, terdapat beberapa beban yang harus dipertimbangkan, yaitu beban hidup dan beban mati yang terdistribusi pada struktur bangunan.

5.3.1 Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat struktur itu sendiri berupa berat plat, kolom dan balok, serta beban mati tambahan yang diterima oleh struktur. Satuan berat beban mati tambahan merujuk pada SNI 1727:2020 dan PBI 1971.

1. Plat Lantai

Beban mati tambahan yang terdapat pada plat lantai dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Beban Mati Tambahan Plat Lantai

NO	Pelat Lantai				
	Komponen	Berat Volume		Tebal (m)	Q(Kn/m ²)
		Nilai	Satuan		
1	Pasir	1800	kg/m ³	0,05	0,8829
2	Spesi	21	kg/m ²	0,03	0,00618
3	Keramik	24	kg/m ²		0,23544
4	Waterproofing	26,503568	kg/m ²		0,26
5	partisi	48,929664	kg/m ²		0,48
6	Plafon	11	kg/m ²		0,10791
7	Penggantung Plafon	7	kg/m ²		0,06867
8	Mechanical Electrical	20	kg/m ²		0,1962
Jumlah Beban mati tambahan (Qdl)					2,2373

5.3.2 Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan dalam penelitian ini berlandaskan pada SNI 1727:2020, beban hidup yang bekerja pada suatu bangunan struktur memiliki besaran yang berbeda sesuai dengan fungsi ruangan.

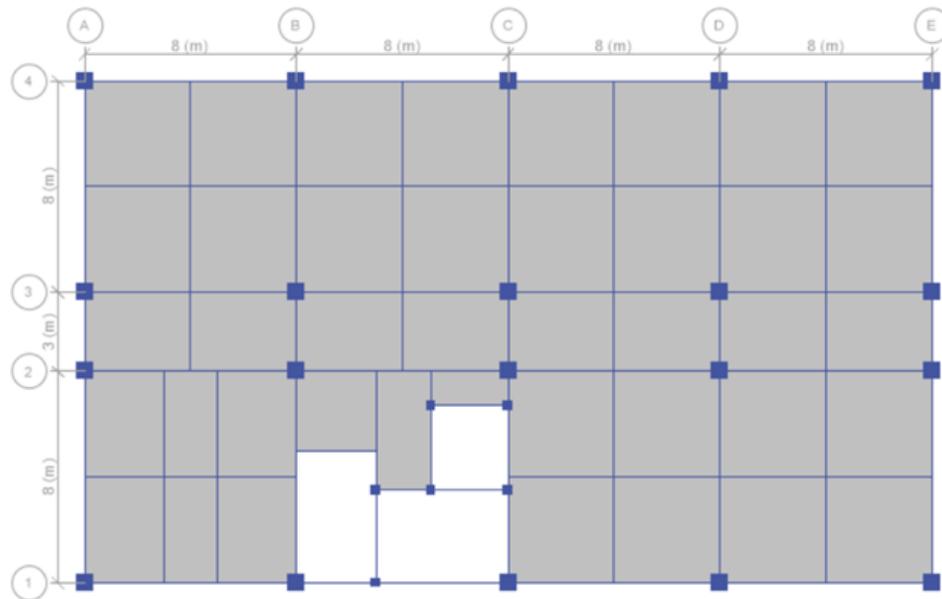
Laboratorium	= 4,79 kN/m ²
Koridor	= 4,79 kN/m ²
Ruang kelas	= 3,83 kN/m ²
Ruang rapat	= 4,79 kN/m ²
Kantor staf	= 2,40 kN/m ²
Toilet	= 2,87 kN/m ²

5.4 Permodelan

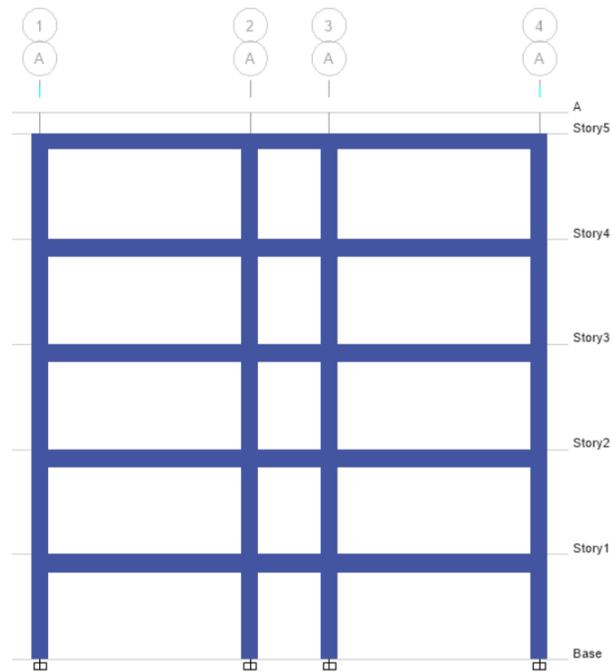
Proses penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi analisis dan desain struktur yang bernama ETABS. Dengan menggunakan aplikasi ini dapat memudahkan proses analisis dan desain, karena peneliti dapat dengan mudah melihat perilaku struktur tersebut.

5.4.1. Model 3D Bangunan

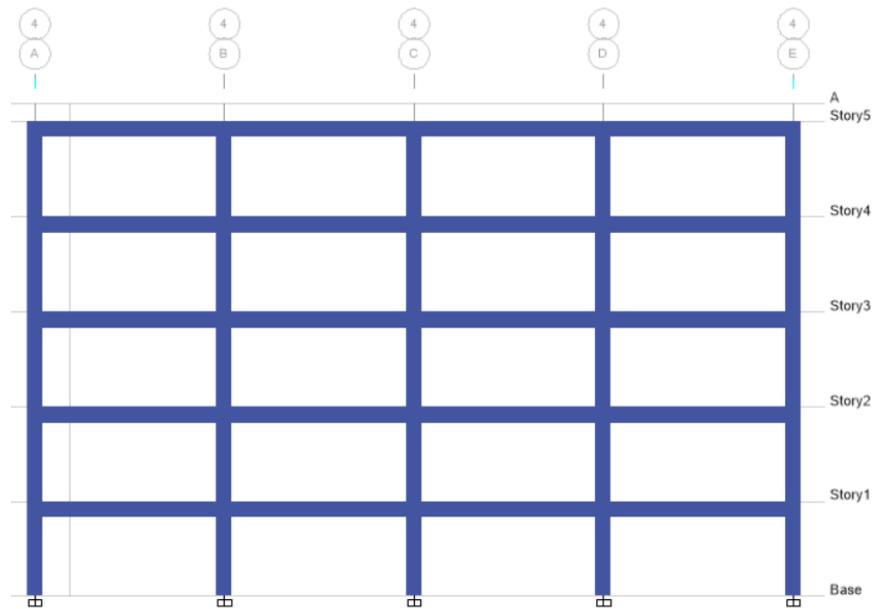
Permodelan ETABS gedung yang menjadi objek penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.4 Permodelan ETABS tampak atas



Gambar 5.5 Permodelan ETABS Tampak Samping



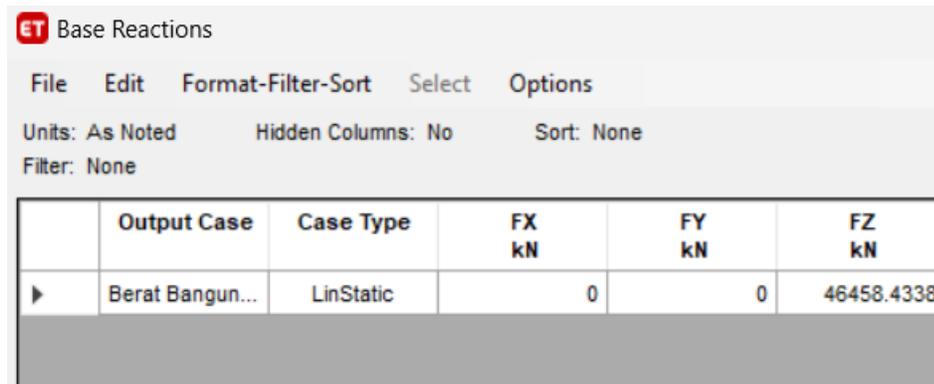
Gambar 5.6 Permodelan ETABS Tampak Depan



Gambar 5.7 Permodelan 3D ETABS

5.4.2. Berat Bangunan

Berat bangunan merupakan berat struktur yang terdiri dari berat plat lantai, balok, kolom serta berat beban tambahan yang bekerja pada struktur tersebut. Adapun berat bangunan penelitian ini didapatkan dari output ETABS adalah sebesar 46458,433 kN, berat bangunan output aplikasi ETABS dapat dilihat pada gambar berikut.



	Output Case	Case Type	FX kN	FY kN	FZ kN
▶	Berat Bangun...	LinStatic	0	0	46458.4338

Gambar 5.8 Berat Bangunan Output ETABS

(sumber: ETABS)

5.4.3. Periode Getar Struktur

1. Penentuan periode fundamental struktur

Dalam menentukan periode fundamental struktur digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t h_n^x \\
 &= 0,0466 \times 20,8^{0,9} \\
 &= 0,716 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Diketahui:

C_t = nilai koefisien berdasarkan tabel 18 SNI 1726:2019 atau tabel 15 SNI 1726:2012.

h_n = tinggi total struktur

x = nilai koefisien berdasarkan tabel 18 SNI 1726:2019 atau tabel 15 SNI 1726:2012.

2. Menentukan nilai periode maksimum

Dalam menentukan nilai periode maksimum diperlukan nilai C_u yang dapat dilihat pada tabel 3.11, dari tabel tersebut didapatkan nilai C_u sebesar 1,4 maka nilai periode maksimum dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} T_{\max} &= C_U \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,716 \\ &= 1,0018 \text{ detik} \end{aligned}$$

3. Nilai periode dari permodelan ETABS

Dari permodelan ETABS yang dilakukan didapatkan nilai periode pada permodelan berdasarkan SNI 1726:2019 didapatkan nilai modal sebesar sebesar 1,007 detik untuk arah X dan 0,987 untuk arah Y, sedangkan pada permodelan berdasarkan SNI 1726:2012 nilai modal didapatkan 0,995 untuk arah X dan 0,975 untuk arah Y. Dari nilai yang didapatkan pada perhitungan diatas maka nilai periode fundamental struktur yang digunakan dapat ditentukan dengan melihat pada syarat-syarat berikut.

- a. Apabila nilai $T_c < T_a$ maka $T = T_a$
- b. Apabila nilai $T_a < T_c < T_{\max}$ maka $T = T_c$
- c. Apabila nilai $T_c > T_{\max}$ maka $T = T_{\max}$

berdasarkan hasil hitungan yang didapatkan serta persyaratan diatas karena nilai periode yang didapatkan dari permodelan lebih besar dari T_a maka nilai periode yang digunakan adalah $T_c = 0,9$ detik.

5.5 Pembebanan Gempa

Dalam melakukan identifikasi beban gempa yang akan diterima oleh struktur maka perlu memperhitungkan parameter seismik, berikut nilai parameter seismik yang berlandaskan pada SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 yang dapat dilihat dibawah ini.

5.5.1. Parameter Seismik

1. Parameter seismik SNI 1726:2012

a. Parameter Percepatan Gempa

Pada penelitian kali ini jenis tanah pada lokasi objek penelitian diasumsikan berjenis tanah sedang (SD), berdasarkan pada SNI 1726:2012 nilai parameter percepatan periode 0,2 detik (S_s) pada lokasi objek penelitian diambil nilai 0,699 sedangkan nilai parameter percepatan periode 1 detik (S_1) diambil nilai sebesar 0,29 g.

b. Koefisien Situs Dan Parameter Percepatan Respon Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan.

Setelah nilai S_s dan S_1 ditentukan maka selanjutnya adalah mencari nilai faktor amplifikasi getaran pada periode pendek (F_a) serta faktor amplifikasi getaran periode 1 detik (F_v), nilai ini didapatkan berdasarkan pada Tabel 4 dan Tabel 5 pada SNI 1726:2012, adapun nilai F_a dan F_v yang didapatkan setelah dilakukan proses interpolasi linear adalah 1,24 dan nilai F_v sebesar 1,81.

c. Menentukan Nilai S_M s dan S_{M1}

Dalam menentukan Nilai S_M s dan S_{M1} dapat dilihat pada SNI 1726:2012 dalam pasal 6.2. dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

1) Percepatan periode pendek (S_{MS})

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,24 \times 0,7 \\ &= 0,867 \end{aligned}$$

2) Percepatan periode 1 detik (S_{M1})

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1,81 \times 0,29 \\ &= 0,532 \end{aligned}$$

d. Menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1}

Dalam menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1} dalam dilihat pada SNI 1726:2012 pasal 6.3, dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

1) Spektra priode pendek (S_{DS})

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,867 \\ &= 0,578 \end{aligned}$$

2) Spektra priode 1 detik (S_{D1})

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,531 \\ &= 0,354 \end{aligned}$$

e. Menentukan nilai C_{RS} dan C_{R1}

Dalam menentukan nilai koefisien risiko terpetakan C_{RS} dan C_{R1} dapat melihat pada SNI 1726:2012 gambar 12 dan gambar 13, untuk lokasi objek penelitian diambil nilai C_{RS} dan C_{R1} sebesar 1 dan 0,95.

f. Menentukan nilai S_{DSR} dan S_{D1R}

Nilai S_{DSR} dan S_{D1R} didapatkan dengan cara mengalikan nilai S_{DS} dan S_{D1} dengan C_{RS} dan C_{R1} . Dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

1) Perhitungan S_{DSR}

$$\begin{aligned} S_{DSR} &= S_{DS} \times C_{RS} \\ &= 0,578 \times 1 \\ &= 0,578 \end{aligned}$$

2) Perhitungan S_{D1R}

$$\begin{aligned} S_{D1R} &= S_{D1} \times C_{R1} \\ &= 0,354 \times 0,95 \\ &= 0,337 \end{aligned}$$

Adapun untuk rekapitulasi parameter seismik berdasarkan SNI 1729:2012 dapat dilihat pada tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Parameter Seismik SNI 1726:2012

JENIS	NILAI
Parameter Gerak Tanah,Ss	0,699
Parameter Gerak Tanah,S1	0,293
Koefisien situs,Fa	1,241
Koefisien situs,Fv	1,814
Parameter respon periode pendek,SMs	0,867
Parameter respon periode pendek, SM1	0,532
Parameter percepatan desain periode pendek, SDs	0,578
Parameter percepatan desain periode 1 detik,SD1	0,354
Parameter percepatan SDsr	0,578
Parameter percepatan SD1r	0,337

2. Parameter seismik SNI 1726:2019

a. Parameter Percepatan Gempa

Pada penelitian kali ini jenis tanah pada lokasi objek penelitian diasumsikan berjenis tanah sedang (SD), berdasarkan pada SNI 1726:2019 nilai parameter percepatan periode 0,2 detik (Ss) pada lokasi objek penelitian antara 0,7 – 0,8 g, sehingga diambil nilai 0,77, sedangkan nilai parameter percepatan periode 1 detik (S1) berkisar antara 0,3 – 0,4 g dan diambil nilai sebesar 0,38 g.

b. Koefisien Situs Dan Parameter Percepatan Respon Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan.

Setelah nilai Ss dan S1 ditentukan maka selanjutnya adalah mencari nilai faktor amplifikasi getaran pada periode pendek (Fa) serta faktor amplifikasi getaran periode 1 detik (Fv), nilai ini didapatkan berdasarkan pada Tabel 6 dan Tabel 7 pada SNI 1726:2019, adapun nilai Fa dan Fv yang didapatkan setelah dilakukan proses interpolasi linear adalah 1,192 dan nilai Fv sebesar 1,92.

c. Menentukan Nilai S_{MS} dan S_{M1}

Dalam menentukan Nilai S_{MS} dan S_{M1} dapat dilihat pada SNI 1726:2019 dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

1) Percepatan periode pendek (S_{MS})

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,192 \times 0,77 \\ &= 0,917 \end{aligned}$$

2) Percepatan periode 1 detik (S_{M1})

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1,92 \times 0,38 \\ &= 0,729 \end{aligned}$$

d. Menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1}

Dalam menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1} dalam dilihat pada SNI 1726:2019, dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

1) Spektra priode pendek (S_{DS})

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,917 \\ &= 0,611 \end{aligned}$$

2) Spektra priode 1 detik (S_{D1})

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,729 \\ &= 0,486 \end{aligned}$$

e. Menentukan nilai C_{RS} dan C_{R1}

Dalam menentukan nilai koefisien risiko terpetakan C_{RS} dan C_{R1} dapat melihat pada SNI 1726:2019 gambar 18 dan gambar 19, untuk lokasi objek penelitian diambil nilai C_{RS} dan C_{R1} sebesar 0,95 dan 0,95.

f. Menentukan nilai S_{DSR} dan S_{DIR}

Nilai S_{DSR} dan S_{DIR} didapatkan dengan cara mengalikan nilai S_{DS} dan S_{D1} dengan C_{RS} dan C_{R1} . Dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

1) Perhitungan S_{DSR}

$$\begin{aligned} S_{DSR} &= S_{DS} \times C_{RS} \\ &= 0,611 \times 0,95 \\ &= 0,581 \end{aligned}$$

2) Perhitungan S_{DIR}

$$\begin{aligned} S_{DIR} &= S_{D1} \times C_{R1} \\ &= 0,486 \times 0,95 \\ &= 0,462 \end{aligned}$$

Adapun untuk rekapitulasi parameter seismik berdasarkan SNI 1726:2019 dapat dilihat pada tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Parameter Seismik SNI 1726:2019

JENIS	NILAI
Parameter Gerak Tanah, S_s	0,770
Parameter Gerak Tanah, S_1	0,380
Koefisien situs, F_a	1,192
Koefisien situs, F_v	1,920
Parameter respon periode pendek, S_Ms	0,918
Parameter respon periode pendek, S_{M1}	0,730
Parameter percepatan desain periode pendek, S_{Ds}	0,612
Parameter percepatan desain periode 1 detik, S_{D1}	0,486
Parameter percepatan S_{Dsr}	0,581
Parameter percepatan S_{D1r}	0,462

5.5.2. Statik Ekuivalen

Dalam menentukan nilai Gaya Gempa Statik digunakan persamaan-persamaan dan koefisien seperti yang telah didapatkan sebelumnya, namun dibutuhkan persamaan tambahan seperti yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Menurut SNI 1726:2012

a. Menentukan nilai C_s

Berdasarkan SNI 1726:2012 nilai C_s yang digunakan tidak diperbolehkan lebih besar dari C_{smax} dan tidak diperbolehkan lebih kecil dari C_{smin} , nilai C_s didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{SD_s}{I_e} \\ &= \frac{0,578}{1,5} \\ &= 0,108 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Smax} &= \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,354}{1,0018 \times \left(\frac{8}{1,5}\right)} \\ &= 0,067 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Smin} &= 0,044SD_s I_e > 0,01 \\ &= 0,044 \times 0,577 \times 1,5 > 0,01 \\ &= 0,038 \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai yang telah didapatkan dari persamaan diatas maka didapatkan C_s pakai adalah 0,067.

b. Nilai Statik Ekuivalen ETABS

Setelah semua koefisien yang didapatkan dari SNI 1726:2012 diinput ke aplikasi ETABS maka didapatkan nilai Statik Ekuivalen sebesar 1697,7 arah x dan 1731,746 arah y kN, beban statik ekuivalen yang bekerja pada setiap lantainya dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 5.7 Beban Statik Ekuivalen perantai berdasarkan
SNI 1726:2012**

Lantai	Arah X (kN)	Arah Y (kN)
5	281,608	285,965
4	613,398	624,279
3	432,235	441,141
2	260,662	267,089
1	109,798	113,271
Total	1697,701	1731,745

(sumber: ETABS)

2. Menurut SNI 1726:2019

a. Menentukan nilai C_s

Berdasarkan SNI 1726:2019 nilai C_s yang digunakan tidak boleh lebih besar dari C_{smax} dan tidak boleh lebih kecil dari C_{smin}

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{SD_s}{R} \\
 &= \frac{0,615}{\frac{8}{1,5}} \\
 &= 0,115
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{smax} &= \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,486}{1,0018 \times \left(\frac{8}{1,5}\right)} \\
 &= 0,091
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{smin} &= 0,044SD_s I_e > 0,01 \\
 &= 0,044 \times 0,615 \times 1,5 > 0,01 \\
 &= 0,041
 \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai yang telah didapatkan dari persamaan diatas maka didapatkan C_s pakai adalah 0,091.

b. Nilai Statik Ekuivalen ETABS

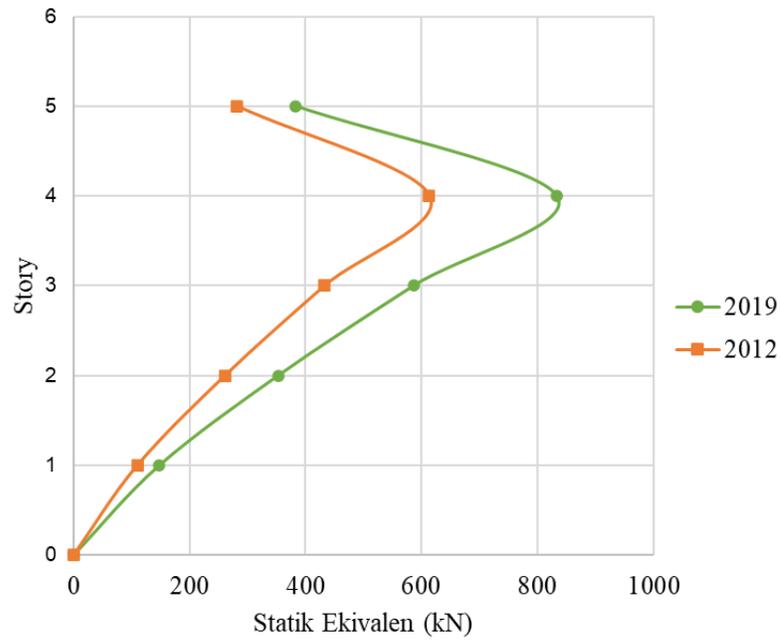
Setelah semua koefisien yang didapatkan dari SNI 1726:2019 diinput ke aplikasi ETABS maka didapatkan nilai Statik Ekuivalen sebesar 2302,677 kN arah x dan 2347,363 kN arah y, beban statik ekuivalen pada setiap lantainya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.8 Beban Statik Ekuivalen Perlantai Berdasarkan SNI 1726:2019

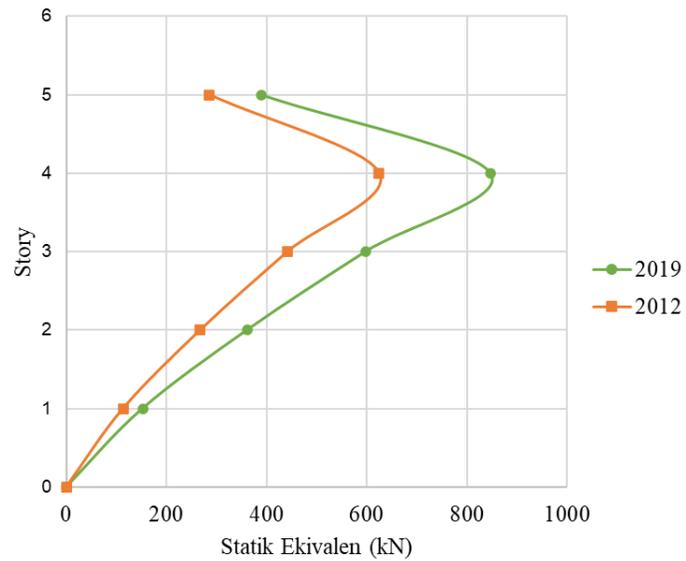
Lantai	Arah X (kN)	Arah Y (kN)
5	383,011	388,73
4	833,135	847,423
3	586,062	597,758
2	352,569	361,005
1	147,896	152,444
Total	2302,673	2347,36

(sumber: ETABS)

Dari kedua nilai statik ekuivalen diatas maka dapat dilakukan perbandingan seperti yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.9 Perbandingan Gaya Statik Ekuivalen Arah X



Gambar 5.10 Perbandingan Gaya Statik Ekuivalen Arah Y

Dari kedua grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai gaya statik ekivalen didapatkan lebih besar pada SNI 1726:2019 dibandingkan dengan SNI 1726:2012 baik pada arah x maupun arah y, besar perubahan yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{EV}_x \text{ 2019} &= 2302,673 \text{ kN} \\ \text{EV}_x \text{ 2012} &= 1697,701 \text{ kN} \\ \text{Perbandingan} &= \frac{\text{EV 2019} - \text{EV 2012}}{\text{EV 2012}} \\ &= \frac{2302,673 - 1697,701}{1697,701} \\ &= 36 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EV}_y \text{ 2019} &= 2347,360 \text{ kN} \\ \text{EV}_y \text{ 2012} &= 1731,745 \text{ kN} \\ \text{Perbandingan} &= \frac{\text{EV 2019} - \text{EV 2012}}{\text{EV 2012}} \\ &= \frac{2347,360 - 1731,745}{1731,745} \\ &= 36 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan sebesar 36% pada gaya statik ekivalen SNI 1726:2019 dibandingkan dengan SNI 1726:2012 baik arah x maupun arah y.

5.5.3. Respon Spektrum SNI 1726:2012

Setelah didapatkan nilai parameter-parameter seismik pada perhitungan sebelumnya, dalam menentukan dan membuat grafik respon spektrum diperlukan nilai T_0 , T_s dan S_a yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \frac{S_{D1R}}{S_{DSR}} \\ &= 0,2 \frac{0,336}{0,578} \\ &= 0,116 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$T_s = \frac{S_{D1R}}{S_{DSR}}$$

$$= \frac{0,336}{0,578}$$

$$= 0,612 \text{ detik}$$

Pada $T < T_0$, maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

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

$$= 0,578 \left(0,4 + 0,6 \frac{0}{0,129} \right)$$

$$= 0,244$$

Pada $T_0 < T < T_s$, maka digunakan persamaan sebagai berikut.

$$S_a = S_{DS}$$

$$= 0,578$$

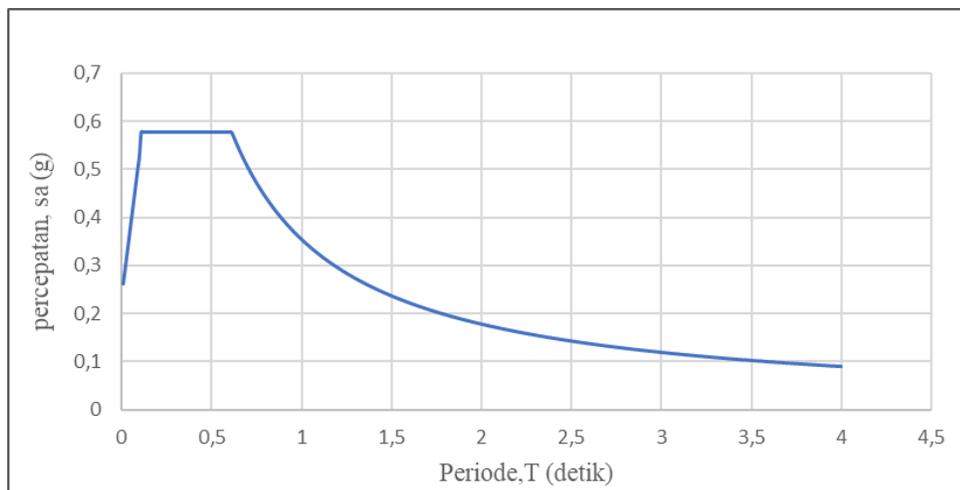
Pada $T_s < T$, maka digunakan persamaan sebagai berikut.

$$S_a = \frac{SD1}{T}$$

$$= \frac{0,354}{0,612}$$

$$= 0,5808$$

Dari perhitungan berdasarkan parameter diatas maka, dapat dibuat grafik respon spektrum yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.11 Grafik Respon Spektrum SNI 2012

5.5.4. Respon Spektrum SNI 1726:2019

Setelah didapatkan nilai parameter-parameter seismik pada perhitungan sebelumnya, dalam menentukan dan membuat grafik respon spektrum diperlukan nilai T_0 , T_s , T_L dan S_a yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \frac{0,394}{0,611} \\ &= 0,158 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{S_{D1R}}{S_{DSR}} \\ &= \frac{0,462}{0,581} \\ &= 0,794 \text{ detik} \end{aligned}$$

Nilai T_L didapatkan dari peta gempa priode panjang pada SNI 1726:2019

$$T_L = 20 \text{ detik}$$

Pada $T < T_0$, maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \\ &= S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{0}{0,158} \right) \\ &= 0,244 \end{aligned}$$

Pada $T_0 < T < T_s$, maka digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \\ &= 0,611 \end{aligned}$$

Pada $T_s < T < T_L$, maka digunakan persamaan sebagai berikut.

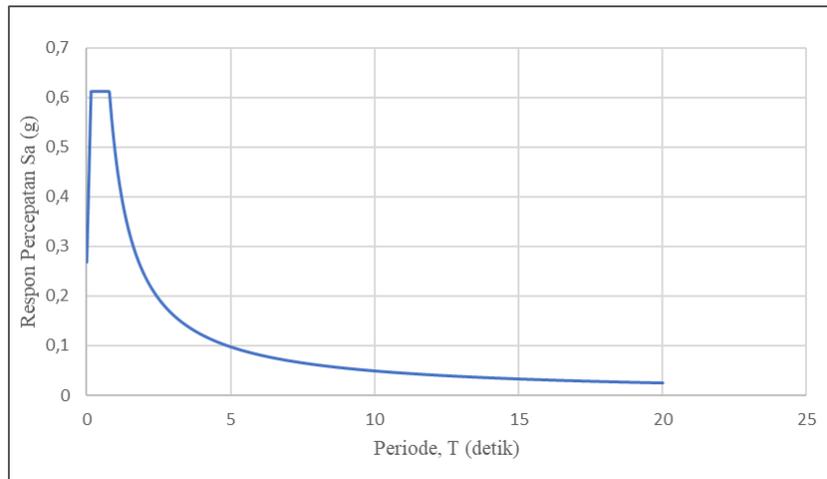
$$\begin{aligned} S_a &= \frac{SD1}{T} \\ &= \frac{0,486}{0,8} \\ &= 0,608 \end{aligned}$$

Pada $T > T_L$, maka digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_a &= \frac{S_{D1TL}}{T^2} \\ &= \frac{0,486 \times 20}{21^2} \end{aligned}$$

$$= 0,022$$

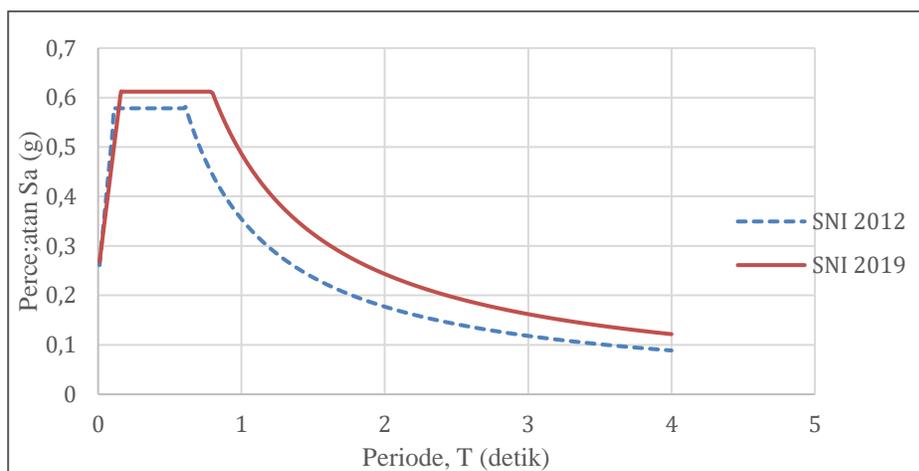
Dari perhitungan berdasarkan parameter diatas maka, dapat dibuat grafik respon spektrum yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.12 Grafik Respon Spektrum SNI 2019

5.5.5. Perbandingan Grafik Respon Spektrum SNI 2012 Dan SNI 2019

Berikut merupakan perbandingan antara grafik respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 pada lokasi objek penelitian.



Gambar 5.13 Grafik Respon Spektrum Perbandingan SNI 2012 dan SNI 2019

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa grafik Respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2019 lebih besar dari pada SNI 1726:2012, hal ini terjadi karena terjadi peningkatan respon spektral pada SNI 1726:2019.

5.6 Kontrol Struktur

5.6.1 Modal Mass Participation Ratio

1. Pengecekan Modal Mass berdasarkan SNI 1726:2012

Berdasarkan SNI 1726:2012 jumlah ragam yang berkontribusi pada suatu struktur harus memenuhi syarat minimal yaitu sebesar 90% pada setiap arah, pada penelitian ini modal mass participation yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Mass Participation Ratio SNI 1726:2012

Modal Participating Mass Ratios				
Case	Mode	Period	SumUX	SumUY
Modal	1	0,995	0,7564	0,0112
Modal	2	0,975	0,7689	0,8056
Modal	3	0,897	0,8073	0,807
Modal	4	0,315	0,9112	0,8095
Modal	5	0,312	0,9138	0,9154
Modal	6	0,282	0,9158	0,9156
Modal	7	0,18	0,9164	0,9582
Modal	8	0,178	0,961	0,9588
Modal	9	0,155	0,9613	0,9593
Modal	10	0,144	0,9613	0,9593
Modal	11	0,141	0,9613	0,9595
Modal	12	0,141	0,9614	0,9596
Modal	13	0,14	0,9614	0,9596
Modal	14	0,139	0,9615	0,9596
Modal	15	0,138	0,9616	0,9596

Dari analisis ETABS yang dilakukan didapat jumlah ragam syarat minimal 90% pada pada modal ke-4 untuk arah x dan pada arah y didapatkan pada modal ke-5.

2. Pengecekan Modal Mass berdasarkan SNI 1726:2019

Berdasarkan SNI 1726:2019 jumlah ragam yang terdistribusi pada struktur harus memenuhi syarat yaitu 100% namun masih diizinkan minimal lebih besar dari 90%

pada setiap arahnya, nilai mass participation ratio yang didapatkan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Mass Participation Ratio SNI 1726:2019

Modal Participating Mass Ratios				
Case	Mode	Period	SumUX	SumUY
Modal	1	1,007	0,7607	0,0111
Modal	2	0,987	0,773	0,8079
Modal	3	0,908	0,8095	0,8092
Modal	4	0,32	0,9125	0,8118
Modal	5	0,317	0,9152	0,9167
Modal	6	0,286	0,9171	0,9169
Modal	7	0,184	0,9177	0,959
Modal	8	0,182	0,9617	0,9596
Modal	9	0,159	0,9619	0,9599
Modal	10	0,144	0,9619	0,96
Modal	11	0,142	0,9619	0,9602
Modal	12	0,142	0,9621	0,9603
Modal	13	0,141	0,9621	0,9603
Modal	14	0,139	0,9622	0,9603
Modal	15	0,139	0,9623	0,9603

Dari analisis ETABS yang dilakukan didapatkan jumlah ragam yang memenuhi syarat didapatkan pada modal 4 untuk arah X dan modal 5 untuk arah Y.

5.6.2 Penskalaan Gaya

Setelah sebelumnya dilakukan perhitungan dan didapatkan nilai Cs yang dipakai, maka tahap selanjutnya yang dapat dilakukan adalah melakukan penskalaan gaya adapun perhitungan penskalaan gaya yang dilakukan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Penskalaan Gaya Berdasarkan SNI 1726:2012

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1 Apabila nilai V_t kurang dari nilai 85% Gaya Statik Ekuivalen (V) maka nilai V_t harus diskalakan dengan menggunakan persamaan persamaan berikut.

$$V_x = 1697,7 \text{ kN}$$

$$V_y = 1731,7 \text{ kN}$$

$$85\% V_x = 85\% \times 1697,7$$

$$= 1443,048 \text{ kN}$$

$$85\% V_y = 85\% \times 1731,7$$

$$= 1471,984 \text{ kN}$$

$$V_{tx} = 1443,048 \text{ kN}$$

$$V_{ty} = 1471,984 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor Skala} = 0,85 \times \frac{V}{V_t}$$

$$\text{Faktor Skala } x = 0,85 \times \frac{1697,7}{1443,048}$$

$$= 1,0420$$

$$\text{Faktor Skala } y = 0,85 \times \frac{1731,7}{1471,984}$$

$$= 1,0203$$

Setelah nilai penskalaan diinputkan kedalam aplikasi ETABS nilai V_{tx} dan V_{ty} yang baru didapatkan sebesar 1443,397 dan 1472,282 Nilai tersebut sudah lebih besar dari 85% V yaitu 1443,048 dan 1471,987.

2. Penskalaan gaya berdasarkan SNI 1726:2019

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1 nilai V_t tidak boleh kurang dari 100% Gaya Statik Ekuivalen (V), apabila kurang maka dilakukan penskalaan dengan persamaan berikut.

$$V_x = 2302,677 \text{ kN}$$

$$V_y = 2347,363 \text{ kN}$$

$$V_{tx} = 1864,924 \text{ kN}$$

$$V_{ty} = 1937,492 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor Skala} = \frac{V}{V_t}$$

$$\text{Faktor Skala } x = \frac{2302,677}{1864,924}$$

$$= 1,234$$

$$\text{Faktor Skala } y = \frac{2347,363}{1937,492}$$

$$= 1,211$$

Setelah nilai penskalaan diatas diinput ke aplikasi ETABS maka didapatkan nilai V_{tx} dan V_{ty} sebesar 2302,638 dan 2347,47. Nilai tersebut sudah tersebut sudah sesuai dengan syarat SNI yaitu $V_t = 100\% V$.

5.6.3 Konfigurasi Bangunan

Berdasarkan SNI 1726:2012 dan 2019 suatu bangunan struktur harus dilakukan pengecekan terhadap ketidakberaturan, peninjauan dilakukan pada dua arah yaitu ketidakberaturan arah vertikal dan ketidakberaturan horizontal.

1. Ketidakberaturan Vertikal

a. Ketidakberaturan Tipe 1a

Ketidakberaturan 1 adalah ketidakberaturan tingkat lunak, ketidakberaturan 1a terjadi apabila pada suatu lantai nilai kekakuan lateralnya lebih rendah dari kekakuan lateral 70% lantai diatasnya atau 80% kekakuan 3 lantai diatasnya. Nilai kekakuan setiap lantainya diambil dari output ETABS dengan cara *display – show table – analysis result – structure output – other output – story stiffness*, Untuk perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

$$K1 = 348010,69 \text{ kN/mm}$$

$$K2 = 196974,554 \text{ kN/mm}$$

Syarat 1, kekakuan tingkat > 70% kekakuan tingkat diatas

$$\begin{aligned} \text{Cek syarat 1} &= K1 > 70 \% K2 \\ &= 348010,69 > 70\% \times 196974,554 \\ &= 348010,69 > 137882 \\ &= \text{Reguler} \end{aligned}$$

Syarat 2, kekakuan tingkat > 80% rata-rata 3 tingkat diatas

$$\begin{aligned} \text{Cek Syarat 2} &= K1 > 80\% \times \frac{(K2+K3+K4)}{3} \\ &= 348010,69 > 80\% \times \frac{(196974,134 + 178456,554 + 163752,528)}{3} \\ &= 348010,69 > 143782 \end{aligned}$$

= Reguler

Hasil dari perhitungan ketidakberaturan 1a dapat dilihat pada tabel 5.11 sampai 5.14 berikut.

Tabel 5.11 Ketidakberaturan 1a Arah X SNI 1726:2019

Lantai	K	Cek	Status	Cek	Status
	(kN/mm)	70%		80%	
5	73531,361	0	Regular	0	Regular
4	163752,528	51472	Regular	0	Regular
3	178456,554	114627	Regular	0	Regular
2	196974,134	124920	Regular	110864	Regular
1	348010,69	137882	Regular	143782	Regular

Tabel 5.12 Ketidakberaturan 1a Arah Y SNI 1726:2019

Lantai	K	Cek	Status	Cek	Status
	(kN/mm)	70%		80%	
5	73676,749	0	Regular	0	Regular
4	167686,35	51574	Regular	0	Regular
3	184226,61	117380	Regular	0	Regular
2	203775,33	128959	Regular	113491	Regular
1	357539,84	142643	Regular	148184	Regular

Tabel 5.13 Ketidakberaturan 1a Arah X SNI 1726:2012

Lantai	K	Cek		Cek	
	(kN/mm)	70%	Status	80%	Status
5	73792,813	0	Regular	0	Regular
4	166226,739	51655	Regular	0	Regular
3	182359,602	116359	Regular	0	Regular
2	202482,984	127652	Regular	112634	Regular
1	361567,475	141738	Regular	146952	Regular

Tabel 5.14 Ketidakberaturan 1a Arah Y SNI 1726:2012

Lantai	K	Cek		Cek	
	(kN/mm)	70%	Status	80%	Status
5	74200,243	0	Regular	0	Regular
4	170222,19	51940	Regular	0	Regular
3	188140,41	119156	Regular	0	Regular
2	209324,86	131698	Regular	115350	Regular
1	371312,47	146527	Regular	151383	Regular

Dari hasil perhitungan didapatkan kesimpulan bahwa pada struktur Gedung Laboratorium Universitas Tidar tidak terjadi ketidakberaturan 1a.

b. Ketidakberaturan Tipe 1b

Sedangkan ketidakberaturan 1b terjadi apabila nilai kekakuan lateralnya lebih rendah dari kekakuan lateral 60% lantai di atasnya atau 70% kekakuan 3 lantai di atasnya. Perhitungan yang dilakukan pada ketidakberaturan 1b dilakukan dengan cara Nilai kekakuan setiap lantainya diambil dari output ETABS, *display – show table – analysis result – structure output – other output – strory stiffness*, Untuk perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

$$K1 = 348010,69 \text{ kN/mm}$$

$$K2 = 196974,554 \text{ kN/mm}$$

Syarat 1, kekakuan tingkat > 60% kekakuan tingkat di atas

$$\begin{aligned} \text{Cek syarat 1} &= K1 > 60 \% K2 \\ &= 348010,69 > 60\% \times 196974,554 \\ &= 348010,69 > 1181884 \\ &= \text{Reguler} \end{aligned}$$

Syarat 2, kekakuan tingkat > 70% rata-rata 3 tingkat di atas

$$\begin{aligned} \text{Cek Syarat 2} &= K1 > 70\% \times \frac{(K2+K3+K4)}{3} \\ &= 348010,69 > 80\% \times \frac{(196974,134 + 178456,554 + 163752,528)}{3} \\ &= 348010,69 > 125809 \end{aligned}$$

= Regular

maka dari itu hasil dari perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.15 sampai 5.18 berikut.

Tabel 5.15 Ketidakberaturan 1b Arah X SNI 1726:2019

Lantai	K	Cek	Status	Cek	Status
	(kN/mm)	60%		70%	
5	73531,36	0	Regular	0	Regular
4	163752,5	44119	Regular	0	Regular
3	178456,6	98252	Regular	0	Regular
2	196974,1	107074	Regular	97006	Regular
1	348010,7	118184	Regular	125809	Regular

Tabel 5.16 Ketidakberaturan 1b Arah Y SNI 1726:2019

Lantai	K	Cek	Status	Cek	Status
	(kN/mm)	60%		70%	
5	73676,75	0	Regular	0	Regular
4	167686,4	44206	Regular	0	Regular
3	184226,6	100612	Regular	0	Regular
2	203775,3	110536	Regular	99304	Regular
1	357539,8	122265	Regular	129661	Regular

Tabel 5.17 Ketidakberaturan 1b Arah X SNI 1726:2012

Lantai	K	Cek		Cek	
	(kN/mm)	60%	Status	70%	Status
5	73792,81	0	Regular	0	Regular
4	166226,7	44276	Regular	0	Regular
3	182359,6	99736	Regular	0	Regular
2	202483	109416	Regular	98555	Regular
1	361567,5	121490	Regular	128583	Regular

Tabel 5.18 Ketidakberaturan 1b Arah Y SNI 1726:2012

Lantai	K	Cek		Cek	
	(kN/mm)	60%	Status	70%	Status
5	74200,24	0	Regular	0	Regular
4	170222,2	44520	Regular	0	Regular
3	188140,4	102133	Regular	0	Regular
2	209324,9	112884	Regular	100931	Regular
1	371312,5	125595	Regular	132460	Regular

Dari hasil perhitungan didapatkan kesimpulan bahwa pada struktur Gedung Laboratorium Universitas Tidar tidak terjadi ketidakberaturan 1b.

c. Ketidakberaturan massa

Ketidakberaturan massa terjadi apabila massa suatu tingkat lebih dari 150% massa yang ada diatas atau dibawahnya, apabila ketidakberaturan ini terjadi pada struktur dengan koefisien dasar seismik DEF maka struktur tersebut tidak dibolehkan dianalisis dengan menggunakan metode statik ekuivalen. Proses perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

$$W1 = 4737,712 \text{ kN}$$

$$W2 = 4737,712 \text{ kN}$$

Cek syarat

$$= W1 < 150\% \times W2$$

$$= 4737,712 < 150\% \times 4737,712$$

$$= 4737,712 < 7106,6$$

$$= \text{Regular}$$

hasil dari perhitungan ketidakberaturan massa dapat dilihat pada Tabel 5.19 sebagai berikut.

Tabel 5.19 Ketidakberaturan Massa

Lantai	W (kN)	Cek	Status
5	1899,4089	0	Regular
4	4737,712	2849,11	Regular
3	4737,712	7106,57	Regular
2	4737,712	7106,57	Regular
1	4737,712	7106,57	Regular

Dari hasil perhitungan didapatkan kesimpulan bahwa pada struktur Gedung Laboratorium Universitas Tidar tidak ditemukan ketidakberaturan massa.

d. Ketidakberaturan geometri vertikal

Ketidakberaturan ini dapat terjadi apabila pada suatu struktur terdapat dimensi horizontal pemikul gaya seismik (d_i) pada suatu tingkat lebih besar 130% dari dimensi pemikul gaya seismik didekatnya. Proses perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

$$d_i 1 = 32 \text{ m}$$

$$d_i 2 = 32 \text{ m}$$

$$\text{cek syarat} = d_i 1 < 130\% \times d_i 2$$

$$= 32 < 130\% \times 32$$

$$= 32 < 41,6$$

$$= \text{Regular}$$

Untuk rekap perhitungan ketidakberaturan geometri vertikal dapat dilihat pada tabel 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5.20 Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Lantai	d_i (m)	d_i/d_{i+1}	Status
5	32	41,6	Regular
4	32	41,6	Regular
3	32	41,6	Regular
2	32	41,6	Regular
1	32	41,6	Regular

Dari tabel diatas dapat dilihat dimensi struktur pemikul gaya seismik tidak mengalami perubahan dan simetris, oleh karena itu tidak ditemukan ketidakberaturan geometri vertikal pada gedung ini.

e. Ketidakberaturan diskontinuitas bidang vertikal

Ketidakberaturan ini terjadi apabila ditemukan pergeseran arah bidang pemikul gaya lateral lebih panjang dari elemen pada struktur tersebut.

Pada gedung laboratorium terpadu universitas tidar tidak ditemukan diskontinuitas portal kolom, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat ketidakberaturan diskontinuitas pada struktur ini.

f. Ketidakberaturan tingkat lemah

Ketidakberaturan ini dapat terjadi apabila kuat lateral pada suatu tingkat lebih rendah 80% dari tingkat yang ada di atasnya (ketidakberaturan 5a), ketidakberaturan tingkat lemah berlebih terjadi apabila kuat lateral pada suatu tingkat lebih rendah 65% dari tingkat yang ada di atasnya (ketidakberaturan 5b). perhitungan yang dilakukan untuk ketidakberaturan tingkat lemah dapat dilihat seperti berikut ini.

Untuk mendapatkan kuat tingkat dilakukan pendekatan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_n = \frac{V_n}{\phi}$$

Persamaan tersebut dapat diartikan bahwa kekuatan tingkat tersebut berbanding lurus dengan gaya geser tingkat, untuk mendapatkan gaya geser tingkat dilakukan dengan akumulasi gaya gempa pada setiap tingkatnya, namun pada tahap ini gaya gempa masih belum ditentukan, oleh karena itu dilakukan pendekatan dengan menggunakan metode statik ekuivalen tanpa harus mengetahui nilai dari gaya gempunya. Penggunaan pendekatan ini berlandaskan pada pasal 7.8.3 SNI 1726:2019 disebutkan bahwa, nilai gaya lateral F_x harus menggunakan persamaan berikut ini.

$$F_x = C_{vx}V$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i k}$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain

W_i dan W_x = bagian berat seismik efektif total struktur (kN)

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat

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

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

untuk struktur $0,5 < T < 2,5$ detik, dilakukan interpolasi

dari persamaan diatas maka perhitungan ketidakberturan tingkat lemah dapat dihitung sebagai berikut.

$$W_i = 4737,71 \text{ kN}$$

$$H = 4 \text{ m}$$

$$K = 1,25$$

$$W \cdot h^k = 4737,71 \times 4^{1,25}$$

$$= 26672,26$$

$$C_v = \frac{W \cdot h^k}{\sum W h^k}$$

$$= \frac{4737,71}{424531,67}$$

$$= 0,06$$

$$V_1 = C_{v1} + V_2$$

$$= 0,06 + 0,94$$

$$= 1,00$$

$$W_i = 4737,71 \text{ kN}$$

$$H = 8 \text{ m}$$

$$K = 1,25$$

$$W.h^k = 4737,71 \times 8^{1,25}$$

$$= 63285,67$$

$$C_v = \frac{W.h^k}{\sum W.h^k}$$

$$= \frac{63285,67}{424531,67}$$

$$= 0,15$$

$$V_2 = C_{v2} + V_3$$

$$= 0,15 + 0,79$$

$$= 0,94$$

$$V_1/V_2 = 1,00 / 0,94$$

$$= 1,07$$

$$V_1/V_2 > 80\% V_2$$

$$1,07 > 80\% 0,94$$

$$1,07 > 0,749, \text{ Regular}$$

Keterangan:

F_x = gaya lateral lantai, kN

H = Tinggi lantai, m

Hasil perhitungan ketidakberaturan struktur tingkat lemah dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut ini.

Tabel 5.21 Ketidakberaturan Tingkat Lemah

Lantai	Wi (kN)	h	k	w.h ^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
5	1899,41	20	1,25	79506,54	0,19	0,19	0,00	
4	4737,71	16	1,25	150158,86	0,35	0,54	2,89	Regular
3	4737,71	12	1,25	104908,33	0,25	0,79	1,46	Regular
2	4737,71	8	1,25	63285,67	0,15	0,94	1,19	Regular
1	4737,71	4	1,25	26672,26	0,06	1,00	1,07	Regular

2. Ketidakberaturan Horizontal

a. Ketidakberaturan torsi

Ketidakberaturan ini dapat terjadi apabila ditemukan simpangan antar lantai maksimum atau pada ujung struktur tegak lurus sumbu yang ditinjau terdapat simpangan lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rerata, serta torsi yang diperhitungkan termasuk torsi tak terduga dimana pada ujung struktur tegak lurus sumbu yang ditinjau terdapat simpangan lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rerata. nilai yang digunakan dalam analisis ini didapatkan dari output ETABS dengan cara *display – show table – analysis output – joint output – displacement – diaphragm max over avg drifts*, dari sini didapatkan nilai rasio simpangan pada setiap lantainya. untuk perhitungan ketidakberaturan torsi yang terjadi pada struktur Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar dapat dilihat sebagai berikut.

$$\Delta \text{ max} = 1,783 \text{ mm}$$

$$\Delta \text{ average} = 1,654 \text{ mm}$$

$$\text{Ratio} = \Delta \text{ max} / \Delta \text{ average}$$

$$= 1,783 / 1,654$$

$$= 1,078$$

$$\text{Cek Syarat} = \text{ratio} < 1,2 \ \& \ 1,4$$

$$= 1,078 < 1,2 \ \& \ 1,4$$

$$= \text{regular}$$

Rekap hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.22 sampai 5.25 berikut.

Tabel 5.22 Ketidakberaturan Torsi Arah X SNI 1726:2019

Lantai	Δ_{max} (mm)	Δ_{avg} (mm)	Ratio	Status
5	1,384	1,302	1,063	Regular
4	2,005	1,857	1,080	Regular
3	2,735	2,525	1,083	Regular
2	2,959	2,735	1,082	Regular
1	1,783	1,654	1,078	Regular

Tabel 5.23 Ketidakberaturan Torsi Arah Y SNI 1726:2019

Lantai	Δ_{max} (mm)	Δ_{avg} (mm)	Ratio	Status
5	1,496	1,319	1,134	Regular
4	2,109	1,843	1,144	Regular
3	2,872	2,489	1,154	Regular
2	3,116	2,693	1,157	Regular
1	1,897	1,641	1,156	Regular

Tabel 5.24 Ketidakberaturan Torsi Arah X SNI 1726:2012

Lantai	Δ_{max} (mm)	Δ_{avg} (mm)	Ratio	Status
5	0,975	0,954	1,022	Regular
4	1,389	1,346	1,032	Regular
3	1,881	1,82	1,034	Regular
2	2,024	1,961	1,032	Regular
1	1,207	1,174	1,028	Regular

Tabel 5.25 Ketidakberaturan Torsi Arah Y SNI 1726:2012

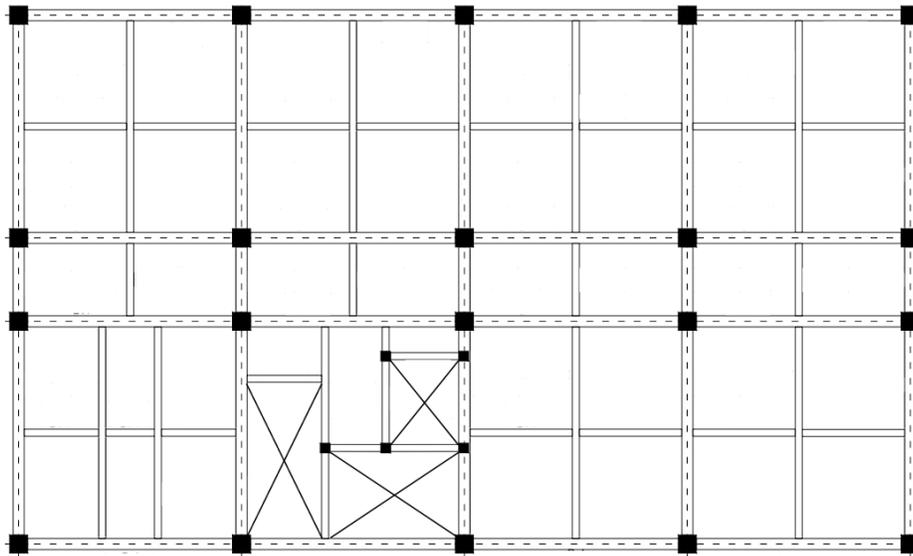
Lantai	Δ_{max} (mm)	Δ_{avg} (mm)	Ratio	Status
5	0,977	0,963	1,015	Regular
4	1,34	1,337	1,002	Regular
3	1,809	1,796	1,007	Regular
2	1,951	1,933	1,009	Regular
1	1,178	1,166	1,010	Regular

b. Ketidakberaturan sudut dalam

Ketidakberaturan tipe ini dapat terjadi apabila struktur memiliki denah yang tidak simetris atau pada dua arah proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah pada arah yang ditinjau. Namun dikarenakan denah struktur yang ditinjau pada penelitian ini simetris maka tidak ditemukan ketidakberaturan tipe ini.

c. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Ketidakberaturan tipe ini terjadi apabila pada suatu diafragma memiliki variasi kekakuan mendadak atau terdapat diskontinuitas, termasuk juga apabila diafragma tersebut memiliki daerah terbuka lebih dari 50% daerah yang tertutup.



Gambar 5.14 Pengecekan Diskontinuitas Diafragma

Dari gambar 5.14 di atas, didapatkan luas daerah yang tertutup adalah sebesar 567,33 m². sedangkan luas daerah bukaan sebesar 29,33 m². Ketidakberaturan diafragma dinyatakan ada apabila terdapat luas bukaan lebih besar 50% dari luar daerah yang tertutup. Dari nilai yang didapatkan maka dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi ketidakberaturan diafragma karena luas bukaan kurang dari 50% luas tertutup.

d. Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang

Ketidakberaturan ini terjadi apabila ditemukan diskontinuitas pada lintasan tahanan gaya lateral, atau dapat berupa pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral. Pada struktur laboratorium terpadu universitas tidak ditemukan tipe struktur seperti yang disebutkan

sebelumnya oleh karena itu pada struktur ini tidak ditemukan ketidakberaturan tipe ini.

e. Ketidakberaturan sistem nonparalel

Ketidakberaturan ini terjadi apabila ditemukan elemen vertikal pemikul gaya lateral yang tidak paralel pada sumbu utama arah ortogonal, hal ini tidak ditemukan pada struktur yang menjadi objek yang ditinjau, oleh karena itu pada struktur laboratorium terpadu universitas tidak ditemukan ketidakberaturan tipe ini.

5.6.4 Simpangan Izin

Dalam melakukan analisis simpangan antar tingkat nilai yang digunakan merupakan displacement yang didapat dari program ETABS, nilai simpangan yang digunakan hanya diambil satu baris kolom saja yang dianggap mewakili dalam hal ini diambil nilai *displacement* pada titik pusat masa atau *center of mass*.

Parameter yang dibutuhkan dalam melakukan analisis simpangan antar tingkat adalah tinggi perlantai (h), besar perpindahan (δ), faktor pembesaran defleksi (C_d), dan faktor keutamaan struktur (I_e).

Persamaan yang digunakan dalam menentukan simpangan adalah sebagai berikut.

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

Untuk perhitungan simpangan dapat dilihat sebagai berikut.

$$h = 4000 \text{ mm}$$

$$I_e = 1,5$$

$$C_d = 5,5$$

$$\delta_e \text{ lantai 1} = 4,688 \text{ mm}$$

$$\delta_x \text{ lantai 1} = \frac{C_d \delta_x}{I_e}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5,5 \times 4,688}{1,5} \\
 &= 17,189 \\
 \delta_e \text{ lantai 2} &= 11,621 \text{ mm} \\
 \delta_x \text{ lantai 2} &= \frac{C_d \delta_x}{I_e} \\
 &= \frac{5,5 \times 11,621}{1,5} \\
 &= 42,610 \\
 \Delta x &= \delta_x \text{ lantai 2} - \delta_x \text{ lantai 1} \\
 &= 42,610 - 17,189 \\
 &= 25,421
 \end{aligned}$$

Simpangan antar tingkat tidak boleh melebihi nilai simpangan izin (Δa), batas ini dilihat berdasarkan kategori risiko bangunan, karena bangunan termasuk dalam kategori risiko bangunan tipe IV maka nilai simpangan izin didapatkan dengan persamaan $0,010h_{sx}$.

$$\begin{aligned}
 \Delta a &= 0,010 \times 4000 \text{ mm} \\
 &= 40 \text{ mm} \\
 \text{Status} &= \Delta x < \Delta a \\
 &= 25,421 < 40 \\
 &= \text{aman}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapatkan bahwa pada lantai tersebut simpangan antar tingkat masih dibawah simpangan izin, dikarenakan perhitungan simpangan dilakukan dengan cara yang sama dan tidak ada perbedaan antara SNI 1726:2012 dan 1726:2019 maka rekap perhitungan simpangan antar lantai dapat dilihat pada tabel 5.26 sampai 5.29 berikut ini.

Tabel 5.26 Simpangan Antar Tingkat Arah X SNI 1726:2019

Lantai	h	δx_e	Cd	Ie	δx	Δ	Δa	Status
	mm	mm				mm	mm	
5	4000	24,277	5,5	1,5	89,016	9,141	40	OK
4	4000	21,784	5,5	1,5	79,875	15,184	40	OK
3	4000	17,643	5,5	1,5	64,691	22,081	40	OK
2	4000	11,621	5,5	1,5	42,610	25,421	40	OK
1	4000	4,688	5,5	1,5	17,189	17,189	40	OK

Tabel 5.27 Simpangan Antar Tingkat Arah Y SNI 1726:2019

Lantai	h	δx_e	Cd	Ie	δx	Δ	Δa	Status
	mm	mm				mm	mm	
5	4000	24,96	5,5	1,5	91,502	9,900	40	OK
4	4000	22,26	5,5	1,5	81,602	15,880	40	OK
3	4000	17,92	5,5	1,5	65,721	22,616	40	OK
2	4000	11,76	5,5	1,5	43,105	25,799	40	OK
1	4000	4,72	5,5	1,5	17,307	17,307	40	OK

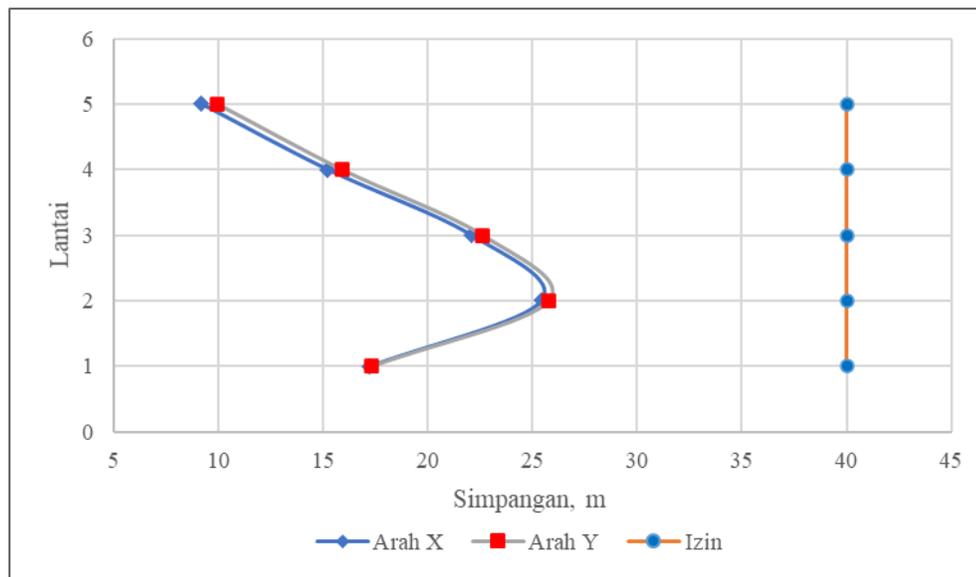
Tabel 5.28 Simpangan Antar Tingkat Arah X SNI 1726:2012

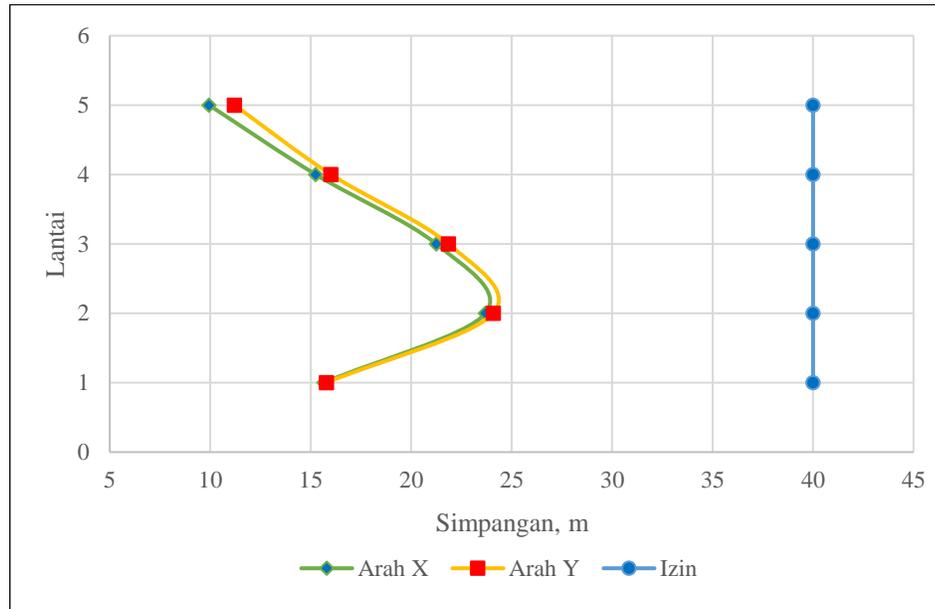
Lantai	h	δx_e	Cd	Ie	δx	Δ	Δa	Status
	mm	mm				mm	mm	
5	4000	23,392	5,5	1,5	85,771	9,937	40	OK
4	4000	20,682	5,5	1,5	75,834	15,246	40	OK
3	4000	16,524	5,5	1,5	60,588	21,241	40	OK
2	4000	10,731	5,5	1,5	39,347	23,690	40	OK
1	4000	4,27	5,5	1,5	15,657	15,657	40	OK

Tabel 5.29 Simpangan Antar Tingkat Arah Y SNI 1726:2012

Lantai	h	δ_{xe}	Cd	Ie	δ_x	Δ	Δa	Status
	mm	mm				mm	mm	
5	4000	24,25	5,5	1,5	88,909	11,198	40	OK
4	4000	21,19	5,5	1,5	77,711	16,005	40	OK
3	4000	16,83	5,5	1,5	61,706	21,850	40	OK
2	4000	10,87	5,5	1,5	39,857	24,079	40	OK
1	4000	4,303	5,5	1,5	15,778	15,778	40	OK

Berdasarkan tabel diatas didapatkan grafik simpangan yang dapat dilihat pada gambar 5.15 Dan gambar 5.16 Berikut.

**Gambar 5.15 Grafik Simpangan Antar Lantai Berdasarkan SNI 1726:2019**



Gambar 5.16 Grafik Simpangan Antar Lantai Berdasarkan SNI 1726:2012

Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa pada struktur Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar yang menjadi objek penelitian ini nilai simpangan izin yang didapatkan masih memenuhi syarat.

Berdasarkan nilai simpangan diatas maka dapat dilakukan perbandingan antara SNI 2012 dan 2019 untuk melihat seberapa besar perubahan yang terjadi, perhitungan perbandingan nilai simpangan dapat dilihat sebagai berikut.

$$\Delta_x 2012 = 23,690 \text{ mm}$$

$$\Delta_x 2019 = 25,421 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan} &= \frac{\Delta_x 2019 - \Delta_x 2012}{\Delta_x 2012} \\ &= \frac{25,421 - 23,690}{23,690} \\ &= 7\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan sebesar 7% pada simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726:2019 dibandingkan dengan SNI 1726:2012.

5.6.5 Pengaruh P-Delta

1. P-Delta berdasarkan SNI 1726:2012

Pada perhitungan P-delta diperlukan nilai P_x yang merupakan kombinasi dari beban hidup dan beban mati yang bekerja pada struktur, serta nilai V_x dan V_x yang merupakan gaya yang timbul akibat beban gempa. Ketiga nilai tersebut bisa didapatkan dari output ETABS dengan cara, *show table – other output – story force*.

Perhitungan dan persamaan-persamaan yang digunakan dalam menentukan pengaruh P-delta dapat dilihat sebagai berikut.

$$P_x = 29430,44 \text{ kN}$$

$$V_x = 1644,81 \text{ kN}$$

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1,5$$

$$h = 4000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \\ &= \frac{29430,44 \times 15,78 \times 1,5}{1644,81 \times 4000 \times 5,5} \\ &= 0,019 \\ &= 0,019 < 0,1, \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta C_d} \\ &= \frac{0,5}{1 \times 5,5} \\ &= 0,091 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \theta < \theta_{\max} \\ &= 0,019 < 0,091 \\ &= \text{Pengaruh P-delta diabaikan} \end{aligned}$$

Keterangan:

P_x = beban desain vertikal total

Δ = simpangan antar tingkat desain

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat

h = tinggi tingkat

untuk rekapitulasi perhitungan pengaruh P-delta berdasarkan SNI 1726:2012 dapat dilihat pada tabel 5.30 dan 5.31 berikut ini.

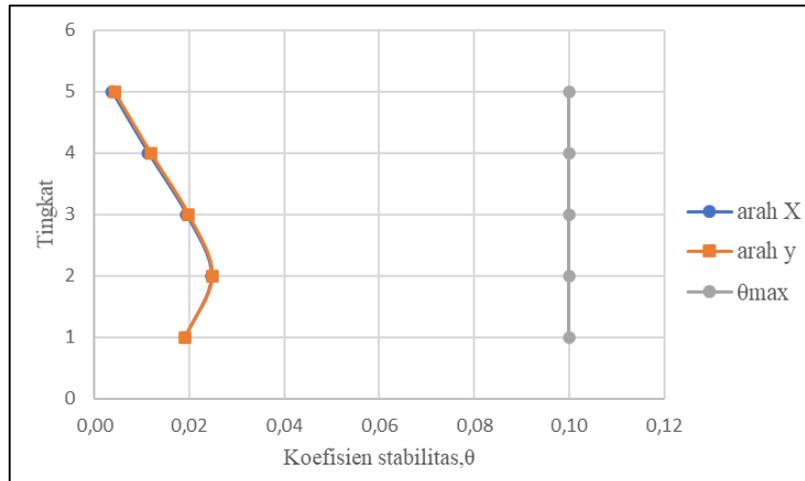
Tabel 5.30 Pengaruh P-Delta Arah X SNI 1726:2012

Lantai	Px	Vx	Δ	h	β	Ie	Cd	θ	Syarat	θ_{max}	Status	Status
	kN	kN	mm	mm								
5	1627,41	294,04	9,94	4000	1	1,5	5,5	0,004	0,1	0,091	OK	No P-Delta
4	9008,28	824,07	15,25	4000	1	1,5	5,5	0,011	0,1	0,091	OK	No P-Delta
3	16341,4	1221,98	21,24	4000	1	1,5	5,5	0,019	0,1	0,091	OK	No P-Delta
2	22885,9	1502,25	23,69	4000	1	1,5	5,5	0,025	0,1	0,091	OK	No P-Delta
1	29430,4	1644,81	15,66	4000	1	1,5	5,5	0,019	0,1	0,091	OK	No P-Delta

Tabel 5.31 Pengaruh P-Delta Arah Y SNI 1726:2012

Lantai	Px	Vy	Δ	h	β	Ie	Cd	θ	Syarat	θ_{max}	Status	Status
	kN	kN	mm	mm								
5	1627,41	291,47	11,20	4000	1	1,5	5,5	0,004	0,1	0,091	OK	No P-Delta
4	9008,28	827,35	16,01	4000	1	1,5	5,5	0,012	0,1	0,091	OK	No P-Delta
3	16341,4	1230,44	21,85	4000	1	1,5	5,5	0,020	0,1	0,091	OK	No P-Delta
2	22885,9	1513,77	24,08	4000	1	1,5	5,5	0,025	0,1	0,091	OK	No P-Delta
1	29430,4	1654,81	15,78	4000	1	1,5	5,5	0,019	0,1	0,091	OK	No P-Delta

Berdasarkan tabel diatas maka dapat dilihat dalam bentuk grafik seperti pada gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Grafik Efek P-Delta Berdasarkan SNI 1726-2012

2. P-delta berdasarkan SNI 1726:2019

Proses perhitungan pengaruh P-delta berdasarkan SNI 1726:2019 tidak ditemukan perbedaan baik dari segi persamaan maupun tahapan perhitungan dari SNI 1726:2012. Oleh karena itu hasil perhitungan pengaruh P-delta berdasarkan SNI 1726:2019 dapat dilihat pada tabel 5.32 dan 5.33 berikut.

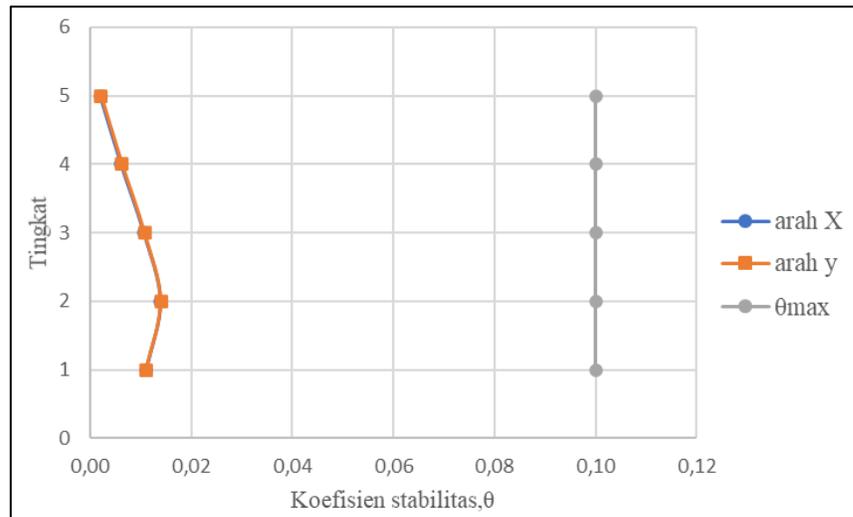
Tabel 5.32 Pengaruh P-Delta Arah X SNI 1726:2019

Lantai	Px	Vx	Δ	h	β	Ie	Cd	θ	Syarat	θmax	Status	Status
	kN	kN	mm	mm								
5	1627,41	507,45	9,14	4000	1	1,5	5,5	0,002	0,1	0,091	OK	No P-Delta
4	9008,28	1531,68	15,18	4000	1	1,5	5,5	0,006	0,1	0,091	OK	No P-Delta
3	16341,4	2323,12	22,08	4000	1	1,5	5,5	0,011	0,1	0,091	OK	No P-Delta
2	22885,9	2863,88	25,42	4000	1	1,5	5,5	0,014	0,1	0,091	OK	No P-Delta
1	29430,4	3113,07	17,19	4000	1	1,5	5,5	0,011	0,1	0,091	OK	No P-Delta

Tabel 5.33 Pengaruh P-Delta Arah Y SNI 1726:2019

Lantai	Px	Vy	Δ	h	β	Ie	Cd	θ	Syarat	θmax	Status	Status
	kN	kN	mm	mm								
5	1627,41	503,60	9,90	4000	1	1,5	5,5	0,002	0,1	0,091	OK	No P-Delta
4	9008,28	1533,57	15,88	4000	1	1,5	5,5	0,006	0,1	0,091	OK	No P-Delta
3	16341,4	2329,41	22,62	4000	1	1,5	5,5	0,011	0,1	0,091	OK	No P-Delta
2	22885,9	2872,06	25,80	4000	1	1,5	5,5	0,014	0,1	0,091	OK	No P-Delta
1	29430,4	3119,60	17,31	4000	1	1,5	5,5	0,011	0,1	0,091	OK	No P-Delta

Berdasarkan tabel diatas maka dapat dilihat dalam bentuk grafik seperti pada gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 Grafik Efek P-Delta Berdasarkan SNI 1726-2012

Berdasarkan kedua nilai pengaruh P-delta diatas dapat dilakukan perbandingan untuk melihat besaran nilai perbandingan antara kedua SNI adapun proses perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

$$\Theta_{\max 2012} = 0,016 \text{ mm}$$

$$\Theta_{\max 2019} = 0,009 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan} &= \frac{\Theta_{\max 2019} - \Theta_{\max 2012}}{\Theta_{\max 2012}} \\ &= \frac{0,009 - 0,016}{0,016} \\ &= 44 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan pengaruh P-delta sebesar 44%.

5.7 Kombinasi Pembebanan

Faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan kombinasi pembebanan antara lain adalah beban mati (D), beban hidup (L), beban gempa (E), faktor redudansi dan nilai SDs. Dikarenakan beban hujan dan beban angin tidak dipertimbangkan pada penelitian ini maka Kombinasi pembebanan dibuat dan berdasarkan pada persamaan yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L$
3. $1,2 D + 1 L + 1E$
4. $0,9 D - 1E$

5.7.1. Kombinasi pembebanan SNI 1726:2012

Berdasarkan SNI 1726:2012 nilai SDs yang didapatkan adalah sebesar 0,578 dan faktor redudansi yang digunakan adalah sebesar 1,3, dengan memasukan beban arah ortogonal pada kombinasi, maka didapatkan kombinasi pembebanan sebagai berikut.

1. Kombinasi 1: $1,4 D$
2. Kombinasi 2: $1,2 D + 1,6 L$
3. Kombinasi 3: $1,2 D + 1,6 Lr$
4. Kombinasi 4: $1,315D + 1,3 Ex + 0,39 Ey + L$
5. Kombinasi 5: $1,315D + 1,3 Ex - 0,39 Ey + L$
6. Kombinasi 6: $1,315D - 1,3 Ex + 0,39 Ey + L$
7. Kombinasi 7: $1,315D - 1,3 Ex - 0,39 Ey + L$
8. Kombinasi 8: $1,315D + 0,39 Ex + 1,3 Ey + L$
9. Kombinasi 9: $1,315D - 0,39 Ex + 1,3 Ey + L$
10. Kombinasi 10: $1,315D + 0,39 Ex - 1,3 Ey + L$
11. Kombinasi 11: $1,315D - 0,39 Ex - 1,3 Ey + L$
12. Kombinasi 12: $0,784D + 1,3 Ex + 0,39 Ey$
13. Kombinasi 13: $0,784D + 1,3 Ex - 0,39 Ey$
14. Kombinasi 14: $0,784D - 1,3 Ex + 0,39 Ey$
15. Kombinasi 15: $0,784D - 1,3 Ex - 0,39 Ey$

16. Kombinasi 16: $0,784D + 0,39 Ex + 1,3 Ey$
17. Kombinasi 17: $0,784D - 0,39 Ex + 1,3 Ey$
18. Kombinasi 18: $0,784D + 0,39 Ex - 1,3 Ey$
19. Kombinasi 19: $0,784D - 0,39 Ex - 1,3 Ey$

5.7.2. Kombinasi pembebanan SNI 1726:2019

Berdasarkan SNI 1726:2019 nilai SDs yang didapatkan adalah sebesar 0,61 dan faktor reduksi yang digunakan adalah sebesar 1,3, dengan memasukan beban arah ortogonal pada kombinasi, maka didapatkan kombinasi pembebanan sebagai berikut.

1. Kombinasi 1: $1,4 D$
2. Kombinasi 2: $1,2 D$
3. Kombinasi 3: $1,2 D + 1,6 L$
4. Kombinasi 4: $1,323D + 1,3 Ex + 0,39 Ey + L$
5. Kombinasi 5: $1,323D + 1,3 Ex - 0,39 Ey + L$
6. Kombinasi 6: $1,323D - 1,3 Ex + 0,39 Ey + L$
7. Kombinasi 7: $1,323D - 1,3 Ex - 0,39 Ey + L$
8. Kombinasi 8: $1,323D + 0,39 Ex + Ey + L$
9. Kombinasi 9: $1,323D - 0,39 Ex + 1,3 Ey + L$
10. Kombinasi 10: $1,323D + 0,39 Ex - 1,3 Ey + L$
11. Kombinasi 11: $1,323D - 0,39 Ex - 1,3 Ey + L$
12. Kombinasi 12: $0,776D + 1,3 Ex + 0,39 Ey$
13. Kombinasi 13: $0,776D + 1,3 Ex - 0,39 Ey$
14. Kombinasi 14: $0,776D - 1,3 Ex + 0,39 Ey$
15. Kombinasi 15: $0,776D - 1,3 Ex - 0,39 Ey$
16. Kombinasi 16: $0,776D + 0,39 Ex + 1,3 Ey$
17. Kombinasi 17: $0,776D - 0,39 Ex + 1,3 Ey$
18. Kombinasi 18: $0,776D + 0,39 Ex - 1,3 Ey$
19. Kombinasi 19: $0,776D - 0,39 Ex - 1,3 Ey$

5.8 Analisis Struktur

5.8.1. Balok

Proses analisis dan perhitungan balok dapat dilihat sebagai berikut.

1. Momen ultimit balok

Nilai momen balok didapatkan dari hasil output permodelan ETABS yang telah dilakukan, nilai output didapatkan dengan cara *display – show table – element output – frame output – element force – beam*. adapun untuk momen balok didapatkan nilai sebagai berikut.

a. Momen berdasarkan SNI 1726:2012

Adapun untuk momen yang didapatkan berdasarkan SNI 1726:2012 dapat dilihat dalam Tabel 5.34 berikut.

Tabel 5.34 Rekap Momen Balok Output ETABS SNI 1726:2012

Balok	Tumpuan (kNm)		Lapangan (kNm)	
	Mu-	Mu+	Mu-	Mu+
B1	-344,895	132,8083	-77,7702	232,6168
B2	-119,146	39,9243	-91,9032	45,4844
B3	-28,4068	31,7211	-20,9127	18,099
B4	-69,5412	41,3729	-22,5257	48,4323
B5	-24,8315	21,7468	-4,3003	23,4315
B6	-32,7802	23,3512	-24,7267	20,4997
BR	-1,6295	0,6023	-0,3122	0,6914

b. Momen berdasarkan SNI 1726:2019

Adapun untuk momen yang didapatkan berdasarkan SNI 1726:2019 dapat dilihat dalam Tabel 5.35 berikut.

Tabel 5.35 Rekap Momen Balok Output ETABS SNI 1726:2019

Balok	Tumpuan (kNm)		Lapangan (kNm)	
	Mu-	Mu+	Mu-	Mu+
B1	-677,297	212,5188	-83,3815	543,3433
B2	-227,026	62,3629	-126,127	121,6229
B3	-54,031	48,5197	-37,1022	50,8913
B4	-154,175	75,7727	-49,9424	94,3992
B5	-52,1517	40,6521	-7,4434	47,6
B6	-66,4179	42,0519	-26,3083	43,8786
BR	-1,5033	2,1864	-5,1284	1,3477

2. Momen balok penampang eksisting

Nilai momen balok penampang eksisting didapatkan berdasarkan data elemen struktur balok yang ada dilapangan, nilai momen ini didapatkan dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut.

a. Data penampang eksisting

Tipe balok = B1

Tulangan tumpuan

Atas = 9D22

Bawah = 5D22

Tulangan lapangan

Atas = 5D22

Bawah = 5D22

f_c' = 26,4

f_y = 450

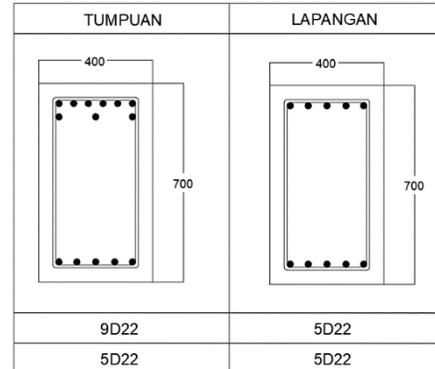
\emptyset pokok = 22

\emptyset sengkang = 10

β_1 = 0,85

ϕ = 0,9

ϕ_0 = 1,25



$$\begin{aligned}
 E &= 200.000 \text{ Mpa} \\
 \epsilon_y &= \frac{f_y}{E} \\
 &= \frac{450}{200000} \\
 &= 0,002 \\
 \epsilon_{cu} &= 0,003 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\
 &= \frac{450}{0,85 \times 26,4} \\
 &= 20,053 \\
 \rho_b &= \left(\frac{\beta_1}{m}\right) \times \left(\frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y}\right) \\
 &= \left(\frac{0,85}{20,053}\right) \times \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,002}\right) \\
 &= 0,0242 \\
 \rho_m &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,0242 \\
 R_b &= (\rho_b \times f_y) (1 - (0,5 \times \rho_b \times m)) \\
 &= (0,0242 \times 420) (1 - (0,5 \times 0,0242 \times 20,053)) \\
 &= 8,2524 \\
 R_m &= 0,75 \times R_b \\
 &= 0,75 \times 8,2524 \\
 &= 6,1893
 \end{aligned}$$

Keterangan:

$$\begin{aligned}
 F_c' &= \text{mutu beton (Mpa)} \\
 F_y &= \text{mutu baja (Mpa)} \\
 \beta_1 &= \text{faktor penghubung tinggi blok tegangan tekan} \\
 &\quad \text{dengan tinggi sumbu netral} \\
 \phi &= \text{faktor reduksi} \\
 E &= \text{nilai modulus elastisitas, Mpa}
 \end{aligned}$$

ϵ_y = regangan leleh baja

ϵ_{cu} = regangan beton

b. Dimensi penampang

B = 400 mm

H = 700 mm

Sb = 50 mm

Jarak tulangan = 25

$$\begin{aligned} ds &= sb + \emptyset \text{ sengkang} + \emptyset \text{ pokok} + \frac{\text{jarak tulangan}}{2} \\ &= 50 + 10 + 22 + \frac{25}{2} \\ &= 94,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ds' &= sb + \emptyset \text{ sengkang} + \emptyset \text{ pokok} + \frac{\text{jarak tulangan}}{2} \\ &= 50 + 10 + 22 + 25 + \frac{22}{2} \\ &= 118 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - ds \\ &= 700 - 94,5 \\ &= 605,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= h - ds' \\ &= 700 - 118 \\ &= 582 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Daerah Tumpuan

1) Momen Negatif tersedia

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \times \text{jumlah atas} \\ &= \frac{1}{4} \pi 22^2 \times 9 \\ &= 380,132 \times 9 \\ &= 3421,194 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s'} = \frac{1}{4} \pi d^2 \times \text{jumlah bawah}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{4} \pi 22^2 \times 5 \\
&= 1900 \text{ mm}^2 \\
A &= 0,85 \times f c' \times b \\
&= 0,85 \times 26,4 \times 400 \\
&= 8976 \\
B &= (A s' \times \varepsilon_{cu} \times E) - (A_{st} \times f_y) \\
&= (1900 \times 0,003 \times 200000) - (3421,194 \times 450) \\
&= -399139,35 \\
C &= A s' \times \varepsilon_{cu} \times E - d' \times \beta_1 \\
&= 1900 \times 0,003 \times 200000 - 118 \times 0,85 \\
&= -114381933 \\
a &= \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \\
&= \frac{-(-399139,35) + \sqrt{(-399139,35)^2 - 4 \times 8976 \times (-114381933)}}{2 \times 8976} \\
&= 137,287 \text{ mm} \\
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{137,287}{0,85} \\
&= 161,514 \\
\varepsilon_{s'} &= \frac{c - d_{s'}}{c} \times \varepsilon_{cu} \\
&= \frac{161,514 - 118}{161,514} \times 0,003 \\
&= 0,000808 < \varepsilon_y, \text{ belum leleh} \\
f_y/f_s &= E s' \times E \\
&= 0,000808 \times 200000 \\
&= 161,650 \text{ N/mm}^2 \\
\varepsilon_t &= \frac{h - c}{c} \times \varepsilon_{cu}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{605,5 - 161,514}{161,514} \times 0,003 \\
&= 0,00824 > \epsilon_y \\
\text{Cek } \varphi &= 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t > 0,005) \\
M1 &= (0,85 \times f_c' \times a \times b) \times (h - \frac{a}{2}) \\
&= (0,85 \times 26,4 \times 137,287 \times 400) \times (605,5 - \frac{137,287}{2}) \\
&= 661564809 \text{ Nmm} \\
M2 &= A_s' \times f_y / f_s \times (d - d_s) \\
&= 1900 \times 161,650 \times (650,5 - 118) \\
&= 149781020 \text{ Nmm} \\
M \text{ total} &= M1 + M2 \\
&= 661564809 + 149781020 \\
&= 811345829 \text{ Nmm} \\
\varphi M_n &= \frac{\varphi \times M \text{ total}}{10^6} \\
&= \frac{0,9 \times 811345829}{10^6} \\
&= 730,2112 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

2) Momen positif tersedia

$$\begin{aligned}
A_{st} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \times \text{jumlah atas} \\
&= \frac{1}{4} \pi 22^2 \times 9 \\
&= 380,132 \times 9 \\
&= 3421,194 \text{ mm}^2 \\
A_{s'} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \times \text{jumlah bawah} \\
&= \frac{1}{4} \pi 22^2 \times 5 \\
&= 1900 \text{ mm}^2 \\
A &= 0,85 \times f_c' \times b \\
&= 0,85 \times 26,4 \times 400
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 8976 \\
 \text{B} &= (A_s t \times \varepsilon_{cu} \times E) - (A_s' \times f_y) \\
 &= (3421,194 \times 0,003 \times 200000) - (1900 \times 450) \\
 &= 1197418,04 \\
 \text{C} &= A_s t \times \varepsilon_{cu} \times E - d' \times \beta_1 \\
 &= 3421,194 \times 0,003 \times 200000 - 118 \times 0,85 \\
 &= -193981722 \\
 \text{a} &= \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \\
 &= \frac{-1197418,04 + \sqrt{1197418,04^2 - 4 \times 8976 \times -193981722}}{2 \times 8976} \\
 &= 94,730 \text{ mm} \\
 \text{c} &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{94,730}{0,85} \\
 &= 111,447 \text{ mm} \\
 \varepsilon_s' &= \frac{c - d_s}{c} \times \varepsilon_{cu} \\
 &= \frac{111,447 - 94,5}{111,447} \times 0,003 \\
 &= 0,0004561 < \varepsilon_y, \text{ belum leleh} \\
 f_y/f_s &= E_s' \times E \\
 &= 0,0004561 \times 200000 \\
 &= 91,241 \text{ N/mm}^2 \\
 \varepsilon_t &= \frac{h - c}{c} \times \varepsilon_{cu} \\
 &= \frac{605,5 - 111,447}{111,447} \times 0,003 \\
 &= 0,00996 > \varepsilon_y \\
 \text{Cek } \varphi &= 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t > 0,005)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M1 &= (0,85 \times f_c' \times a \times b) \times (d' - \frac{a}{2}) \\
 &= (0,85 \times 26,4 \times 94,730 \times 400) \times (582 - \frac{94,730}{2}) \\
 &= 454600863 \text{ Nmm} \\
 M2 &= A_{st} \times f_y / f_s \times (d - d_s) \\
 &= 3421 \times 91,241 \times (582 - 94,5) \\
 &= 152175442 \text{ Nmm} \\
 M \text{ total} &= M1 + M2 \\
 &= 454600863 + 152175442 \\
 &= 606776306 \text{ Nmm} \\
 \phi M_{n+} &= \frac{\phi \times M \text{ total}}{10^6} \\
 &= \frac{0,9 \times 606776306}{10^6} \\
 &= 546,098 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

d. Daerah Lapangan

1) Momen negatif tersedia

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \times \text{jumlah atas} \\
 &= \frac{1}{4} \pi 22^2 \times 5 \\
 &= 380,132 \times 5 \\
 &= 1900 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s'} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \times \text{jumlah bawah} \\
 &= \frac{1}{4} \pi 22^2 \times 5 \\
 &= 1900 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 0,85 \times f_c' \times b \\
 &= 0,85 \times 26,4 \times 400 \\
 &= 8976
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= (A_{s'} \times \epsilon_{cu} \times E) - (A_{st} \times f_y) \\
 &= (1900 \times 0,003 \times 200000) - (1900 \times 450)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 285099,533 \\
C &= As' \times \varepsilon_{cu} \times E - d' \times \beta_1 \\
&= 1900 \times 0,003 \times 200000 - 118 \times 0,85 \\
&= -91602480,05 \\
a &= \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \\
&= \frac{-285099,533 + \sqrt{-285099,533^2 - 4 \times 8976 \times -91602480,05}}{2 \times 8976} \\
&= 86,380 \text{ mm} \\
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{86,380}{0,85} \\
&= 101,624 \text{ mm} \\
\varepsilon_s' &= \frac{c - ds}{c} \times \varepsilon_{cu} \\
&= \frac{101,624 - 94,5}{101,624} \times 0,003 \\
&= 0,0002109 < \varepsilon_y, \text{ belum leleh} \\
f_y/f_s &= Es' \times E \\
&= 0,0002109 \times 200000 \\
&= 42,0622 \text{ N/mm}^2 \\
\varepsilon_t &= \frac{h - c}{c} \times \varepsilon_{cu} \\
&= \frac{605,5 - 101,624}{101,624} \times 0,003 \\
&= 0,0148 > \varepsilon_y \\
\text{Cek } \varphi &= 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t > 0,005) \\
M1 &= (0,85 \times f_c' \times a \times b) \times (h - \frac{a}{2}) \\
&= (0,85 \times 26,4 \times 86,380 \times 400) \times (605,5 - \frac{86,380}{2}) \\
&= 417767363 \text{ Nmm} \\
M2 &= As' \times f_y/f_s \times (d - ds') \\
&= 1900 \times 42,0622 \times (650,5 - 118)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 38973796 \text{ Nmm} \\
 M \text{ total} &= M1 + M2 \\
 &= 417767363 + 38973796 \\
 &= 456741160 \text{ Nmm} \\
 \phi M_n &= \frac{\phi \times M \text{ total}}{10^6} \\
 &= \frac{0,9 \times 456741160}{10^6} \\
 &= 411,067 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

2) Momen Positif Tersedia

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \times \text{jumlah atas} \\
 &= \frac{1}{4} \pi 22^2 \times 5 \\
 &= 380,132 \times 5 \\
 &= 1900 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s'} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \times \text{jumlah bawah} \\
 &= \frac{1}{4} \pi 22^2 \times 5 \\
 &= 1900 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 0,85 \times f_c' \times b \\
 &= 0,85 \times 26,4 \times 400 \\
 &= 8976
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= (A_{s'} \times \epsilon_{cu} \times E) - (A_{st} \times f_y) \\
 &= (1900 \times 0,003 \times 200000) - (1900 \times 450) \\
 &= -285099,533
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C &= A_{s'} \times \epsilon_{cu} \times E - d' \times \beta_1 \\
 &= 1900 \times 0,003 \times 200000 - 118 \times 0,85 \\
 &= -114381932
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{-285099,533 + \sqrt{-285099,533^2 - 4 \times 8976 \times -114381932}}{2 \times 8976} \\
&= 129,878 \text{ mm} \\
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{129,878}{0,85} \\
&= 152,797 \text{ mm} \\
\epsilon_s' &= \frac{c - ds'}{c} \times \epsilon_{cu} \\
&= \frac{152,797 - 118}{152,797} \times 0,003 \\
&= 0,0006832 < \epsilon_y, \text{ belum leleh} \\
f_y/f_s &= E s' \times E \\
&= 0,0006832 \times 200000 \\
&= 136,642 \text{ N/mm}^2 \\
\epsilon_t &= \frac{h - c}{c} \times \epsilon_{cu} \\
&= \frac{605,5 - 152,797}{152,797} \times 0,003 \\
&= 0,00888 > \epsilon_y \\
\text{Cek } \phi &= 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t > 0,005) \\
M_1 &= (0,85 \times f_c' \times a \times b) \times \left(h - \frac{a}{2}\right) \\
&= (0,85 \times 26,4 \times 129,878 \times 400) \times \left(605,5 - \frac{129,878}{2}\right) \\
&= 630178440 \text{ Nmm} \\
M_2 &= A_s' \times f_y/f_s \times (d - ds') \\
&= 1900 \times 136,642 \times (650,5 - 118) \\
&= 126609371 \text{ Nmm} \\
M_{\text{total}} &= M_1 + M_2 \\
&= 630178440 + 126609371 \\
&= 756787812 \text{ Nmm} \\
\phi M_{n+} &= \frac{\phi \times M_{\text{total}}}{10^6}
\end{aligned}$$

$$= \frac{0,9 \times 756787812}{10^6}$$

$$= 681,109 \text{ kNm}$$

Keterangan:

Cc	= resultan tegangan desak beton
Ts	= gaya tarik baja
a dan c	= garis netral pada zona desak (tepi atas)
ϵ_s	= regangan baja
ϵ_t	= regangan tarik
Mn	= momen nominal
Ast	= luas total tulangan pokok daerah desak
As'	= luas total tulangan pokok daerah tarik
S	= spasi tulangan
ϕ	= faktor reduksi

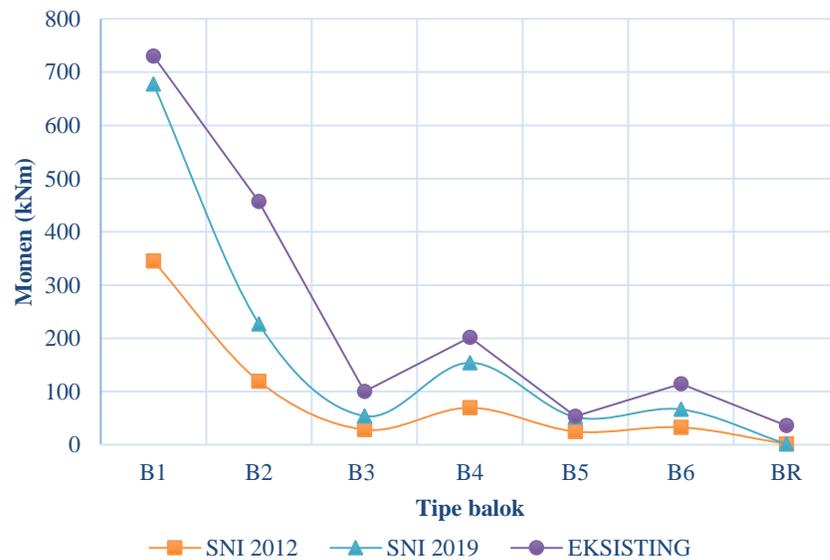
Proses perhitungan momen eksisting pada penampang balok memiliki cara yang sama seperti yang dapat dilihat diatas, oleh karena itu maka dapat dilihat rekap hasil perhitungan momen balok pada tabel 5.36 berikut.

Tabel 5.36 Rekap Momen nominal Eksisting Balok

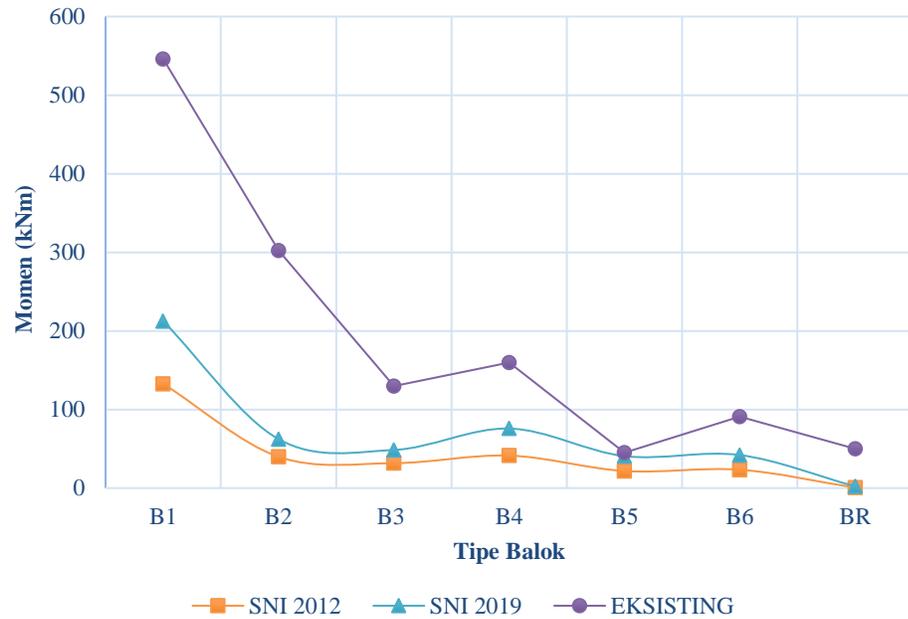
Tipe	Dimensi (mm)		Tumpuan		Lapangan	
	B	H	Mn-	Mn+	Mn-	Mn+
B1	400	700	730,2112	546,0987	411,067	681,109
B2	300	600	456,9491	302,3361	262,0846	436,9523
B3	300	400	99,82548	129,7887	108,3747	158,9463
B4	250	500	201,7423	159,8187	121,9424	201,7423
B5	200	300	53,1942	45,08701	37,50655	51,59991
B6	250	400	114,6197	90,81983	68,85427	114,6197
BR	150	150	35,94662	50,19564	39,6152	57,65191

3. Perbandingan nilai momen

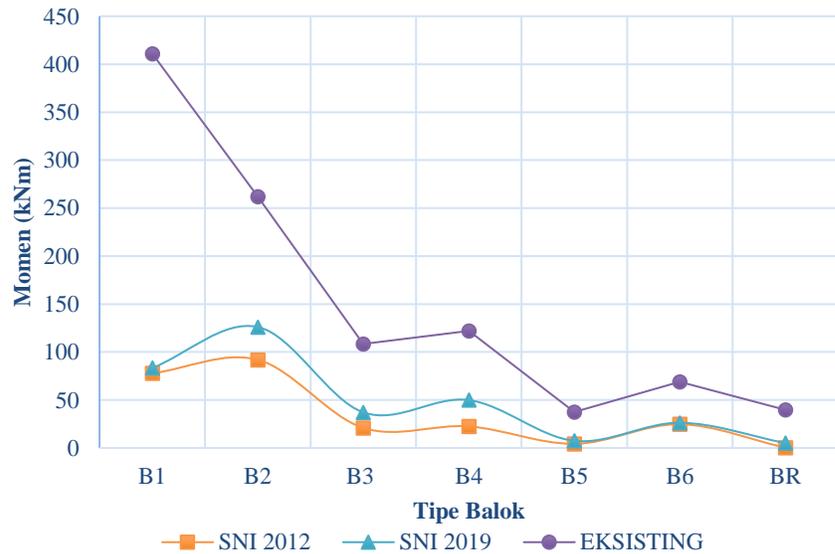
Nilai momen yang telah didapatkan baik dari hasil output permodelan ETABS berdasarkan SNI 1726:2012, SNI 1726:2019 dan yang didapatkan dari perhitungan manual kemudian dibandingkan guna melihat apakah perlu dilakukan desain ulang elemen balok, grafik perbandingan nilai momen dapat dilihat pada gambar 5.19 sampai 5.22 berikut.



Gambar 5.19 Grafik Perbandingan nilai Mn- eksisting dan Mu- Daerah Tumpuan



Gambar 5.20 Grafik Perbandingan nilai M_{n+} eksisting dan M_{u+} Daerah Tumpuan



Gambar 5.21 Grafik Perbandingan nilai M_{n-} eksisting dan M_{u-} Daerah Lapangan



Gambar 5.22 Grafik Perbandingan nilai Mn+ eksisting dan Mu+ Daerah Lapangan

Dari empat grafik perbandingan diatas dapat dilihat bahwa nilai momen pada penampang eksisting masih lebih besar dibandingkan dengan momen yang didapat dari hasil permodelan berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019, Oleh karena itu pada penampang balok tidak diperlukan desain ulang.

4. Momen kapasitas balok

Untuk mendapatkan nilai momen kapasitas balok dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan seperti yang dapat dilihat sebagai berikut.

a. Daerah Tumpuan

1) Momen kapasitas negatif

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{(A_s t \times f_y \times \varphi) - (A_s' \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{(3421 \times 450 \times 1,25) - (1900 \times 450)}{0,85 \times 26,4 \times 400}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 119,109 \\
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{119,109}{0,85} \\
&= 140,128 \\
\epsilon s' &= \frac{c-ds}{c} \times \epsilon cu \\
&= \frac{140,128-118}{140,128} \times 0,003 \\
&= 0,000473 \\
A &= 0,85 \times f c' \times b \\
&= 0,85 \times 26,4 \times 400 \\
&= 8976 \\
B &= (As' \times \epsilon cu \times E) - (1,25 \times Ast \times fy) \\
&= (1900 \times 0,003 \times 200000) - (1,25 \times 3421 \times 450) \\
&= -784023,71 \\
C &= As' \times \epsilon cu \times E - d' \times \beta_1 \\
&= 1900 \times 0,003 \times 200000 - 118 \times 0,85 \\
&= -114381933 \\
a &= \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \\
&= \frac{-784023,71 + \sqrt{-784023,71^2 - 48976 \times -114381933}}{2 \times 8976} \\
&= 164,712 \\
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{164,712}{0,85} \\
&= 193,779 \\
\epsilon s' &= \frac{c-ds'}{c} \times \epsilon cu \\
&= \frac{193,779-118}{193,779} \times 0,003 \\
&= 0,0001173 < \epsilon y, \text{ belum leleh}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_y/f_s &= E s' \times E \\
 &= 0,0001173 \times 200000 \\
 &= 234,635 \text{ N/mm}^2 \\
 M1 &= (0,85 \times f c' \times a \times b) \times (h - \frac{a}{2}) \\
 &= (0,85 \times 26,4 \times 164,712 \times 400) \times (605,5 - \frac{164,712}{2}) \\
 &= 773446239 \text{ Nmm} \\
 M2 &= A s' \times f_y/f_s \times (d - d s') \\
 &= 1900 \times 234,635 \times (650,5 - 118) \\
 &= 217407308 \text{ Nmm} \\
 M \text{ total} &= M1 + M2 \\
 &= 773446239 + 217407308 \\
 &= 990853547 \text{ Nmm} \\
 M_{\text{kap-}} &= \frac{M \text{ total}}{10^6} \\
 &= \frac{990853547}{10^6} \\
 &= 990,853 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

2) Momen Kapasitas Positif

$$\begin{aligned}
 A &= 0,85 \times f c' \times b \\
 &= 0,85 \times 26,4 \times 400 \\
 &= 8976 \\
 B &= (A s' \times \epsilon_{cu} \times E) - (1,25 \times A s t \times f_y) \\
 &= (3421 \times 0,003 \times 200000) - (1,25 \times 1900 \times 450) \\
 &= 983593,389 \\
 C &= A s' \times \epsilon_{cu} \times E - d' \times \beta_1 \\
 &= 3421 \times 0,003 \times 200000 - 94,5 \times 0,85 \\
 &= -164884464 \\
 a &= \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{-983593,389 + \sqrt{983593,389^2 - 4 \times 8976 \times -164884464}}{2 \times 8976} \\
&= 91,3995 \\
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{91,3995}{0,85} \\
&= 107,528 \\
\epsilon_s' &= \frac{c - ds'}{c} \times \epsilon_{cu} \\
&= \frac{107,528 - 94,5}{107,528} \times 0,003 \\
&= 0,0003635 < \epsilon_y, \text{ belum leleh} \\
f_y/f_s &= E_s' \times E \\
&= 0,0003635 \times 200000 \\
&= 72,699 \text{ N/mm}^2 \\
M_1 &= (0,85 \times f_c' \times a \times b) \times (h - \frac{a}{2}) \\
&= (0,85 \times 26,4 \times 91,3995 \times 400) \times (582 - \frac{91,3995}{2}) \\
&= 439982078 \text{ Nmm} \\
M_2 &= A_s' \times f_y/f_s \times (d - ds') \\
&= 1900 \times 234,635 \times (582 - 94,5) \\
&= 121251326 \text{ Nmm} \\
M_{\text{total}} &= M_1 + M_2 \\
&= 439982078 + 121251326 \\
&= 561233404 \text{ Nmm} \\
M_{\text{kap+}} &= \frac{M_{\text{total}}}{10^6} \\
&= \frac{561233404}{10^6} \\
&= 561,233 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

b. Daerah Lapangan

1) Momen Kapasitas Negatif

$$a = \frac{(Ast \times fy \times \phi) - (As' \times fy)}{0,85 \times fc' \times b}$$

$$= \frac{(1900 \times 450 \times 1,25) - (1900 \times 450)}{0,85 \times 26,4 \times 400}$$

$$= 214,396$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{214,396}{0,85}$$

$$= 252,231$$

$$\epsilon_s' = \frac{c-ds}{c} \times \epsilon_{cu}$$

$$= \frac{252,231-118}{252,231} \times 0,003$$

$$= 0,0001876$$

$$A = 0,85 \times fc' \times b$$

$$= 0,85 \times 26,4 \times 400$$

$$= 8976$$

$$B = (As' \times \epsilon_{cu} \times E) - (1,25 \times Ast \times fy)$$

$$= (1900 \times 0,003 \times 200000) - (1,25 \times 1900 \times 450)$$

$$= -71274,883$$

$$C = As' \times \epsilon_{cu} \times E - d' \times \beta_1$$

$$= 1900 \times 0,003 \times 200000 - 118 \times 0,85$$

$$= -91602480,1$$

$$a = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$= \frac{-(-71274,883) + \sqrt{(-71274,883)^2 - 4 \times 8976 \times -114381933}}{2 \times 8976}$$

$$= 97,128$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{97,128}{0,85} \\
&= 114,269 \\
\varepsilon_s' &= \frac{c-ds'}{c} \times \varepsilon_{cu} \\
&= \frac{114,269-118}{114,269} \times 0,003 \\
&= 0,0005190 < \varepsilon_y, \text{ belum leleh} \\
f_y/f_s &= E_s' \times E \\
&= 0,0005190 \times 200000 \\
&= 103,803 \text{ N/mm}^2 \\
M_1 &= (0,85 \times f_c' \times a \times b) \times (h - \frac{a}{2}) \\
&= (0,85 \times 26,4 \times 114,269 \times 400) \times (582 - \frac{114,269}{2}) \\
&= 465064193 \text{ Nmm} \\
M_2 &= A_s' \times f_y/f_s \times (d - ds') \\
&= 1900 \times 103,803 \times (582 - 118) \\
&= 96181337 \text{ Nmm} \\
M_{\text{total}} &= M_1 + M_2 \\
&= 465064193 + 96181337 \\
&= 561245531 \text{ Nmm} \\
M_{\text{kap-}} &= \frac{M_{\text{total}}}{10^6} \\
&= \frac{561245531}{10^6} \\
&= 561,245 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

2) Momen Kapasitas Positif

$$\begin{aligned}
A &= 0,85 \times f_c' \times b \\
&= 0,85 \times 26,4 \times 400 \\
&= 8976 \\
B &= (A_s' \times \varepsilon_{cu} \times E) - (1,25 \times A_{st} \times f_y) \\
&= (1900 \times 0,003 \times 200000) - (1,25 \times 1900 \times 450)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 71274,883 \\
C &= As' \times \varepsilon_{cu} \times E - d' \times \beta_1 \\
&= 1900 \times 0,003 \times 200000 - 118 \times 0,85 \\
&= -11438193 \\
a &= \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \\
&= \frac{-71274,883 + \sqrt{71274,883^2 - 4 \times 8976 \times -11438193}}{2 \times 8976} \\
&= 108,984 \\
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{108,984}{0,85} \\
&= 128,217 \\
\varepsilon_s' &= \frac{c - ds'}{c} \times \varepsilon_{cu} \\
&= \frac{128,217 - 118}{128,217} \times 0,003 \\
&= 0,0002390 < \varepsilon_y, \text{ belum leleh} \\
f_y/f_s &= Es' \times E \\
&= 0,0002390 \times 200000 \\
&= 47,812 \text{ N/mm}^2 \\
M_1 &= (0,85 \times fc' \times a \times b) \times (h - \frac{a}{2}) \\
&= (0,85 \times 26,4 \times 108,984 \times 400) \times (582 - \frac{108,984}{2}) \\
&= 539021708 \text{ Nmm} \\
M_2 &= As' \times f_y/f_s \times (d - ds') \\
&= 1900 \times 47,812 \times (605,5 - 118) \\
&= 44302028 \text{ Nmm} \\
M_{\text{total}} &= M_1 + M_2 \\
&= 539021708 + 44302028 \\
&= 583323736 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}+} &= \frac{M_{\text{total}}}{10^6} \\
 &= \frac{583323736}{10^6} \\
 &= 583,323 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Nilai momen kapasitas pada penampang balok yang lain juga dihitung dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti yang dapat dilihat diatas, oleh karena itu rekap nilai momen kapasitas dapat dilihat pada tabel 5.37 berikut.

Tabel 5.37 Rekap Momen Kapasitas Balok

Tipe	Dimensi (mm)		Tumpuan		Lapangan	
	B	H	M _{Kap-}	M _{Kap+}	M _{Kap-}	M _{Kap+}
B1	400	700	990,8535	561,2334	561,2455	583,3237
B2	300	600	622,6856	274,8517	357,77	373,994
B3	300	400	135,8362	145,8431	145,8431	135,8362
B4	250	500	271,1376	164,2813	164,3376	175,8441
B5	200	300	44,66431	49,63707	49,63707	44,66431
B6	250	400	153,2432	92,21881	92,15685	100,8924
BR	150	150	49,00659	53,26012	53,26012	49,00659

5. Analisis tulangan geser balok

Perhitungan analisis tulangan geser balok dapat dilakukan dengan cara berikut ini.

a. nilai gaya geser

Nilai yang dibutuhkan dalam melakukan analisis geser balok selain momen kapasitas adalah nilai V_g atau nilai geser yang bekerja pada balok akibat gravitasi, berdasarkan SNI 2847:2019 gaya geser yang ditinjau didapat dengan persamaan 1,2D + L. nilai tersebut didapatkan dari output ETABS dengan cara run dead dan *live – show table – frame output – element forces beam*.

Adapun nilai gaya geser yang didapatkan dari output ETABS dapat dilihat pada tabel 5.37 berikut.

Tabel 5.37 Rekap Gaya Geser Balok Output ETABS

Balok	Tumpuan		Lapangan	
	Vg- (kN)	Vg+ (kN)	Vg- (kN)	Vg+ (kN)
B1	-235,749	248,288	-117,875	124,144
B2	-87,695	94,274	-43,847	47,137
B3	-26,136	3,813	-8,331	1,215
B4	-47,667	40,808	-23,834	20,404
B5	-20,150	16,824	-10,075	8,412
B6	-46,160	17,512	-9,232	3,502
BR	-3,367	2,119	-0,842	0,530

b. Data penampang

Balok yang digunakan dalam contoh perhitungan geser balok ini merupakan balok B1 yang datanya dapat dilihat sebagai berikut.

$$B \text{ balok} = 400 \text{ mm}$$

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

$$ds = sb + \emptyset \text{ sengkang} + \emptyset \text{ pokok} + spasi + \frac{\emptyset \text{ pokok}}{2}$$

$$= 50 + 10 + 22 + 25 + \frac{22}{2}$$

$$= 118$$

$$d = h - ds$$

$$= 700 - 118$$

$$= 582 \text{ mm}$$

$$L \text{ balok} = 8000 \text{ mm}$$

$$B \text{ kolom sisi kanan} = 650 \text{ mm}$$

$$B \text{ kolom sisi kiri} = 650 \text{ mm}$$

$$L \text{ netto} = L - \left(\frac{B \text{ kolom kanan}}{2} + \frac{B \text{ kolom kiri}}{2} \right)$$

$$= 8000 - \left(\frac{650}{2} + \frac{650}{2} \right)$$

$$= 735 \text{ mm}$$

$$M_{kap-} \text{ tumpuan} = 990,85 \text{ kNm}$$

$$M_{kap+} \text{ tumpuan} = 561,23 \text{ kNm}$$

$$M_{kap-} \text{ lapangan} = 561,25 \text{ kNm}$$

$$M_{kap+} \text{ lapangan} = 583,32 \text{ kNm}$$

$$F_c' = 26,4 \text{ Mpa}$$

$$F_y \text{ tulangan sengkang} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$\emptyset \text{ pokok} = 22 \text{ mm}$$

$$\emptyset \text{ sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan tumpuan} = 3D10 -100 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan lapangan} = 3D10 -150 \text{ mm}$$

c. Daerah tumpuan

$$V_g - = -235,75$$

$$V_g + = 248,29$$

$$V_E = \frac{M_{kap-} + M_{kap+}}{l_n}$$

$$= \frac{990,85 + 561,23}{735}$$

$$= 211,17$$

$$V_u = V_E + V_g$$

$$= 211,17 + 248,29$$

$$= 459,46$$

$$0,5 V_u = 0,5 \times V_u$$

$$= 0,5 \times 459,46$$

$$= 229,73 < V_u \text{ (nilai } V_c \text{ dihitung)}$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{24,6} \times 400 \times 582$$

$$= 203,345$$

Syarat jarak sengkang

$$S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat 1} = \frac{d}{4}$$

$$= \frac{582}{4}$$

$$= 145,5 \text{ mm, (Oke)}$$

$$\text{Syarat 2} = 6 \times \emptyset \text{ pokok}$$

$$= 6 \times 22$$

$$= 132 \text{ mm, (Oke)}$$

$$\text{Syarat 3} = 150 \text{ mm, (Oke)}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 3 \text{ kaki}$$

$$\text{Asv} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 3$$

$$\begin{aligned}
 &= 235,62 \\
 V_s &= \frac{A_s v \times f_y \times d}{s} \\
 &= \frac{235,62 \times 240 \times 582}{100} \\
 &= 329113,25 \text{ N} \\
 &= 329,11 \text{ kN} \\
 V_n &= \Phi (V_c + V_s) \\
 &= 0,75 (203,345 + 329,11) \\
 &= 399,34 \text{ kN} \\
 \text{Syarat} &= V_n > V_u \\
 &= 399,34 > 459,46 \\
 &= V_n < V_u, \text{ tidak memenuhi} \\
 \text{d. Daerah lapangan} \\
 V_{g-} &= -117,87 \\
 V_{g+} &= 124,14 \\
 V_E &= \frac{M_{kap-} + M_{kap+}}{l_n} \\
 &= \frac{561,25 + 583,32}{735} \\
 &= 286,14 \\
 V_u &= V_E + V_g \\
 &= 286,14 + 124,14 \\
 &= 410,29
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{24,6} \times 400 \times 582 \\
 &= 203,345
 \end{aligned}$$

Syarat jarak sengkang

$$S \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 3 \text{ kaki}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sv} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 3 \\
 &= 235,62
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_{sv} \times f_y \times d}{s} \\
 &= \frac{235,62 \times 240 \times 582}{150} \\
 &= 219408,83 \text{ N} \\
 &= 219,408 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= \Phi (V_c + V_s) \\
 &= 0,75 (203,345 + 219,408) \\
 &= 317,066 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= V_n > V_u \\
 &= 317,066 > 410,29 \\
 &= V_n < V_u, \text{ tidak memenuhi}
 \end{aligned}$$

Proses perhitungan analisis tulangan geser balok pada penampang yang lain dilakukan dengan cara yang sama seperti yang ada diatas, untuk hasil analisis perhitungan tulangan geser dapat dilihat pada tabel 5.38 berikut.

Tabel 5.38 Rekap Hasil Analisis Tulangan Geser Balok

Balok	Dimensi (mm)		Tumpuan					Lapangan			
	b	h	Tulangan	Vn	Vu	Vn>Vu	Syarat S	Tulangan	Vn	Vu	Vn>Vu
B1	400	700	3D10-100	399,34	459,46	NOT OK	memenuhi	3D10-150	317,066	410,29	NOT OK
B2	300	600	3D10-100	305,36	216,39	OK	memenuhi	3D10-150	235,803	230,08	OK
B3	300	400	2D10-100	162,47	198,07	NOT OK	$d/4 < s$	2D10-100	162,474	195,48	NOT OK
B4	250	500	3D10-100	162,01	98,10	OK	memenuhi	3D10-150	170,571	105,45	OK
B5	200	300	2D10-100	98,89	29,07	OK	$d/4 < s$	2D10-100	98,890	20,66	OK
B6	250	400	2D10-100	82,56	105,18	NOT OK	$d/4 < s$	2D10-150	102,864	124,16	NOT OK
BR	150	150	2D10-100	39,62	29,76	OK	$d/4 < s$	2D10-100	39,625	28,17	OK

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pada beberapa penampang terdapat syarat yang tidak terpenuhi maka dibutuhkan evaluasi agar syarat dapat terpenuhi.

5.8.2. Kolom

1. Beban dan momen ultimit

Bedan dan momen ultimit pada analisis balok diperhitungkan dalam enam kondisi, nilai beban dan momen pada kolom tersebut didapatkan dari output permodelan ETABS, proses pengambilan data output dilakukan dengan *display – show table – analysis output – element output – frame output – element force columns*. Berdasarkan permodelan SNI 1726:2019 didapatkan beban dan momen yang dapat dilihat pada Tabel 5.39 dan 5.40 sebagai berikut.

Tabel 5.39 Rekap Beban Dan Momen Kolom K1 Berdasarkan SNI 1726:2019

Kondisi	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
P min	-3038,48	-458,6859	-114,6469
P max	1,4229	21,4922	-13,2822
M2 min	-2158,64	-501,5695	-86,6982
M2 max	-1198,7	491,8303	160,7022
M3 min	-1485,46	-153,0397	-425,2035
M3 max	-1099,79	260,409	424,284

Tabel 5.40 Rekap Beban Dan Momen Kolom K2 berdasarkan SNI 1726:2019

Kondisi	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
P min	-841,802	-45,9762	-16,0558
P max	189,6461	34,4478	9,0147
M2 min	-285,053	-84,5892	-29,719
M2 max	-412,822	82,7343	-21,9295
M3 min	-193,801	-11,9607	-86,2288
M3 max	-58,6399	6,8938	86,5322

Berdasarkan permodelan SNI 1726:2012 didapatkan beban dan momen yang dapat dilihat pada Tabel 5.41 dan 5.42 sebagai berikut.

Tabel 5.41 Rekap Beban Dan Momen Kolom K1 berdasarkan SNI 1726:2012

Kondisi	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
P min	-2935,94	-361,6083	-84,4428
P max	-5,7384	14,4881	-17,1816
M2 min	-2091,31	-421,6082	-63,4229
M2 max	-1710,63	409,5388	49,0689
M3 min	-1425,56	-104,786	-330,7452
M3 max	-1154,25	210,0042	329,6506

Tabel 5.42 Rekap Beban Dan Momen Kolom K2 berdasarkan SNI 1726:2012

Kondisi	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
P min	-725,236	-34,3443	-13,5017
P max	73,9315	25,6029	8,1763
M2 min	-275,683	-64,5568	-27,6679
M2 max	-280,589	-40,554	-4,4574
M3 min	-170,596	-9,4423	-65,0748
M3 max	-86,398	4,4764	65,3808

2. Analisis tulangan lentur kolom

Proses analisis struktur kolom pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi spColumn, proses penggunaan spColumn dilakukan dengan input data kolom – input beban dan momen – *solve – execute*.

a. Data kolom

Kolom K1

B	= 650 mm
H	= 650 mm
Fc'	= 26,4 Mpa
Fy	= 420 Mpa
E	= 200000 Mpa
Ø tulangan lentur	= 25 mm
Ø tulangan geser	= 10 mm
Sb	= 40 mm

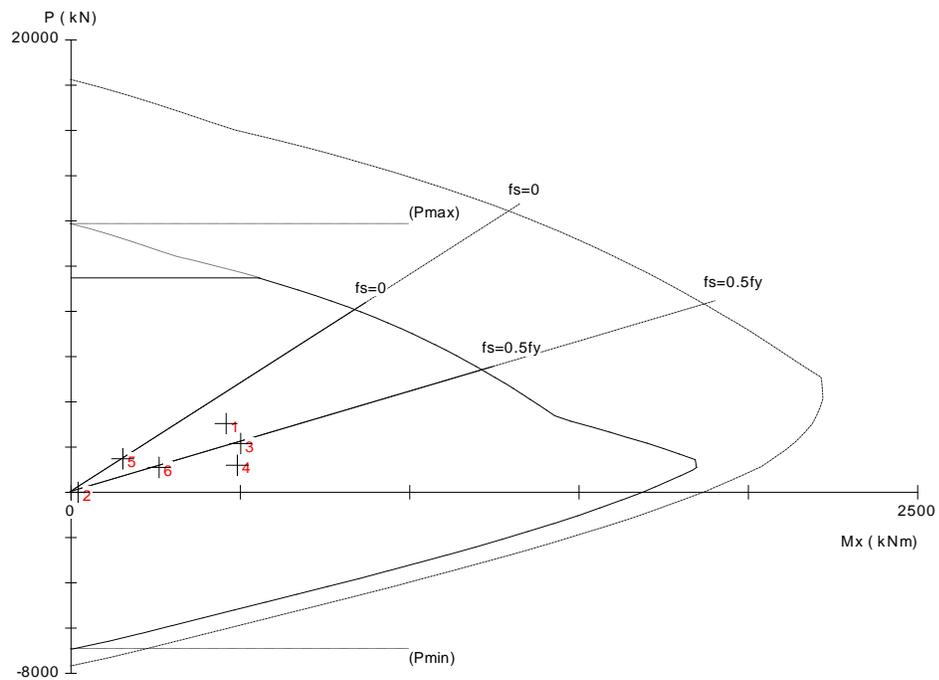
Kolom K2

B	= 350 mm
H	= 350 mm

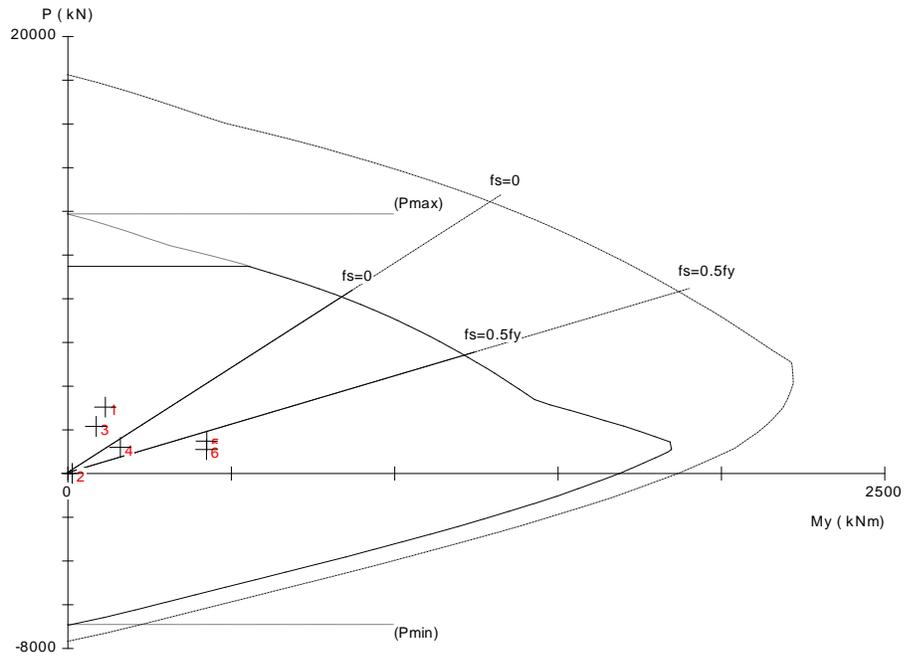
F_c'	= 26,4 Mpa
F_y	= 420 Mpa
E	= 200000 Mpa
\emptyset tulangan lentur	= 22 mm
\emptyset tulangan geser	= 10 mm
S_b	= 40 mm

b. Grafik Mn-Pn Kolom K1

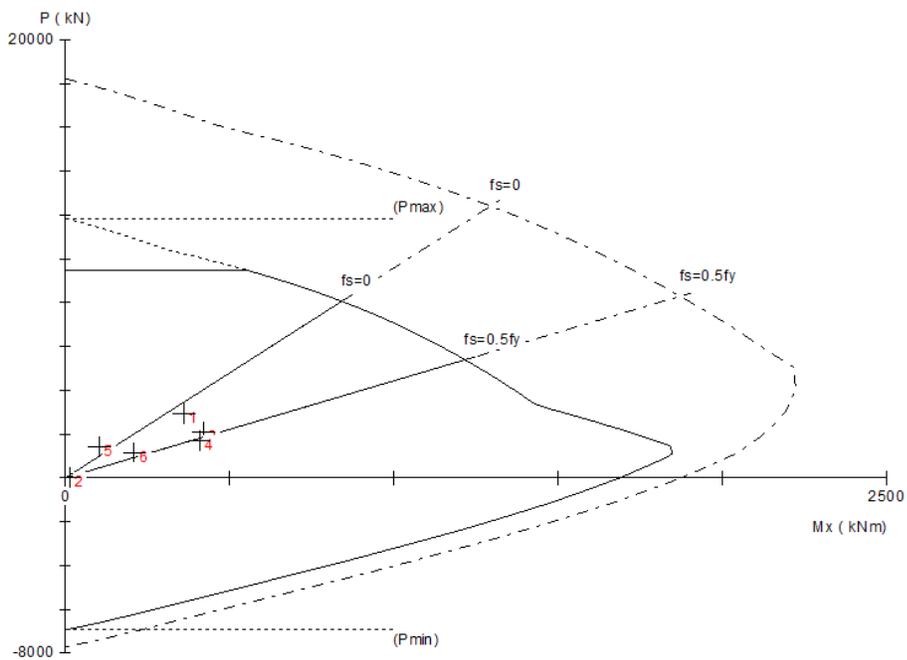
Dari analisis dengan menggunakan spColumn didapatkan grafik Mn-Pn yang dapat dilihat sebagai berikut.



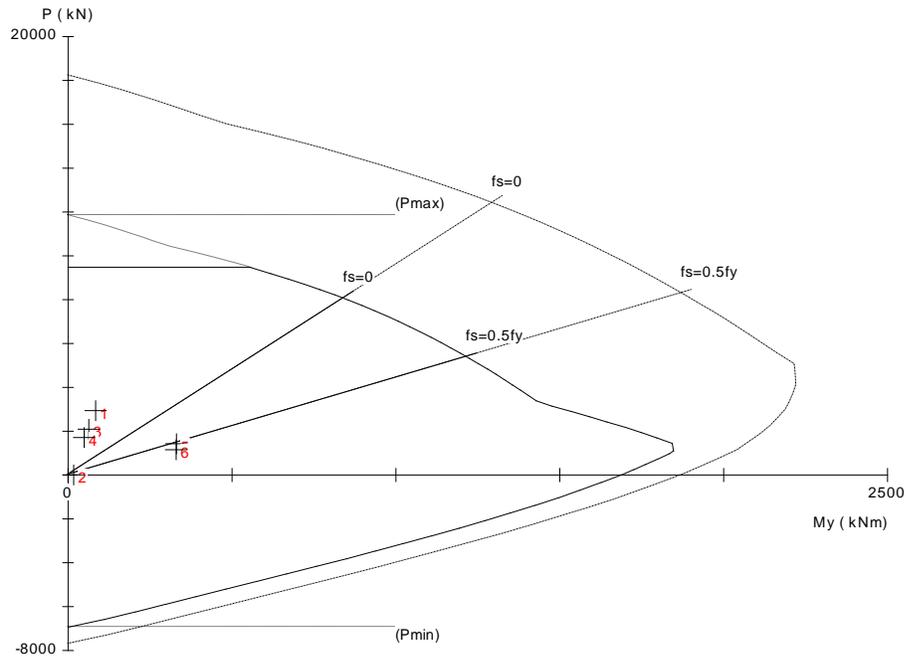
Gambar 5.23 Grafik Mn-Pn Kolom K1 arah X berdasarkan SNI 1726:2019



Gambar 5.24 Grafik Mn-Pn Kolom K1 arah Y berdasarkan SNI 1726:2019



Gambar 5.25 Grafik Mn-Pn Kolom K1 arah X berdasarkan SNI 1726:2012

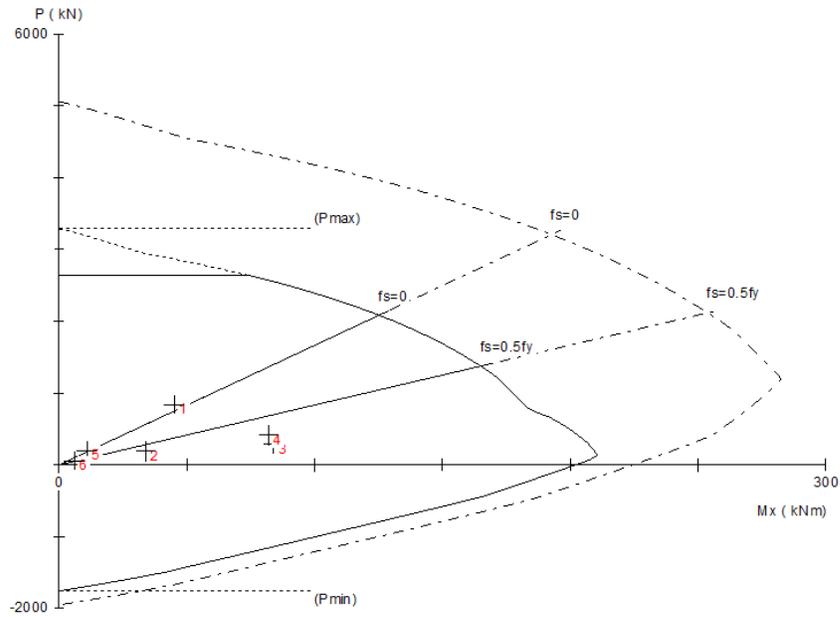


Gambar 5.26 Grafik Mn-Pn Kolom K1 arah Y berdasarkan SNI 1726:2012

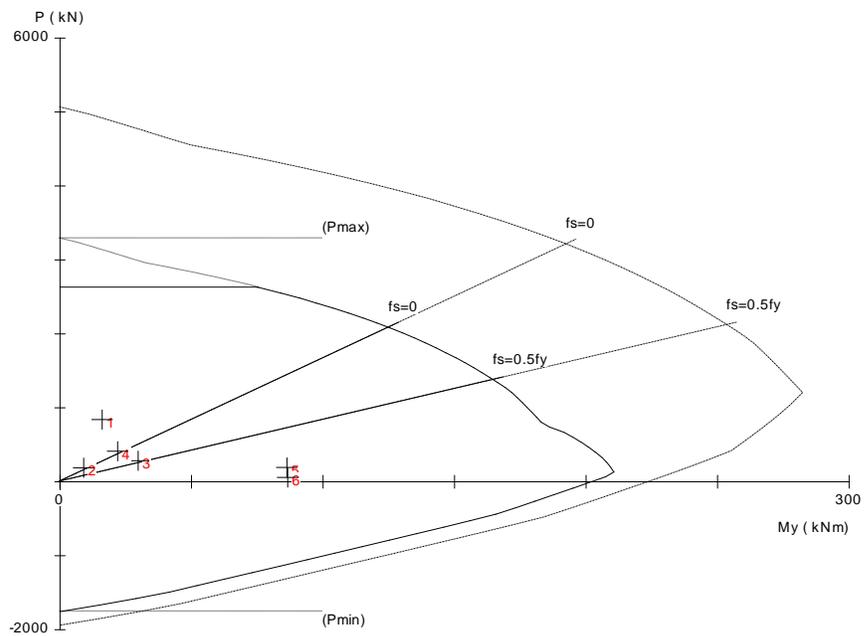
Dari grafik-grafik diatas dapat dilihat baik berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 titik beban dan momen kolom K1 yang dipertimbangkan dalam enam kondisi masih terdapat didalam grafik yang berarti kolom masih aman.

c. Grafik Mn-Pn Kolom K2

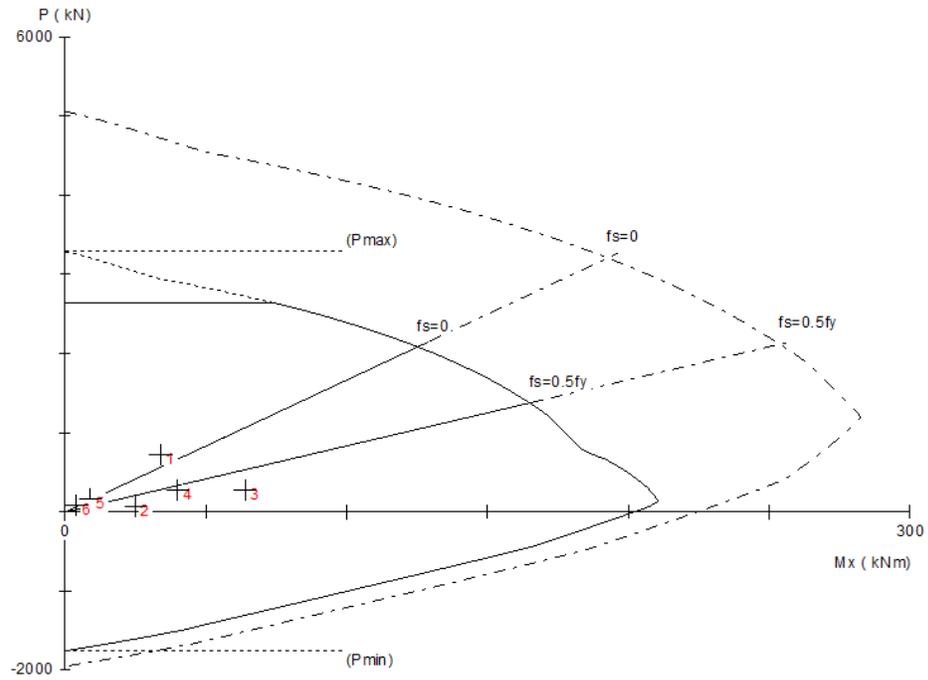
Dari analisis dengan menggunakan spColumn didapatkan grafik Mn-Pn yang dapat dilihat sebagai berikut.



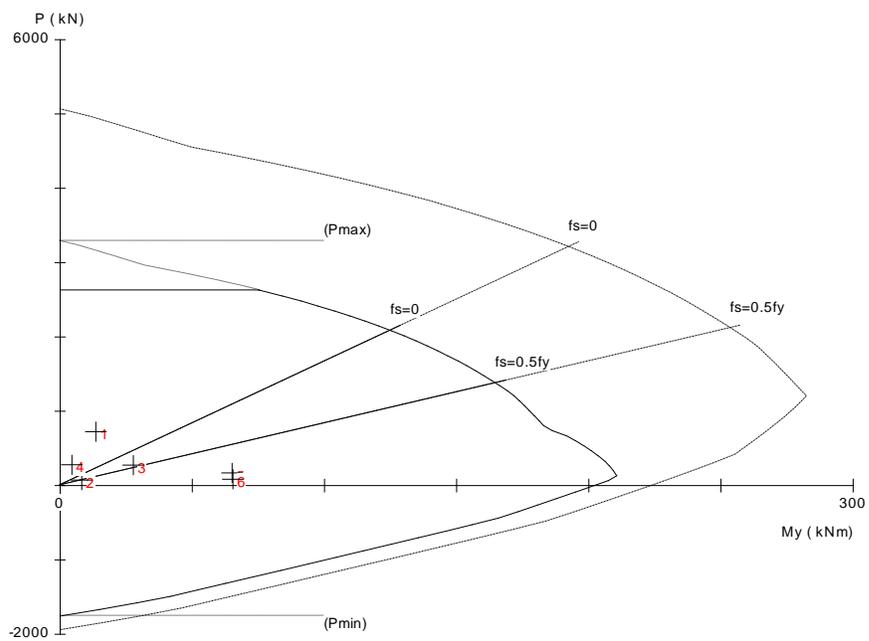
Gambar 5.27 Grafik Mn-Pn Kolom K2 arah X berdasarkan SNI 1726:2019



Gambar 5.28 Grafik Mn-Pn Kolom K2 arah Y berdasarkan SNI 1726:2019



Gambar 5.29 Grafik Mn-Pn Kolom K2 arah X berdasarkan SNI 1726:2012



Gambar 5.30 Grafik Mn-Pn Kolom K2 arah Y berdasarkan SNI 1726:2012

Dari grafik-grafik diatas dapat dilihat baik berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 titik beban dan momen kolom K2 yang dipertimbangkan dalam enam kondisi masih terdapat didalam grafik yang berarti kolom masih aman.

3. *Strong column weak beam (SCWB)*

Dalam merancang struktur rangka pemikul momen khusus terdapat persyaratan yang harus terpenuhi dimana kekuatan kolom harus lebih besar dari pada kuat balok, adapun syarat kuatnya dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Berdasarkan persamaan tersebut didapatkan bahwa kuat kolom harus lebih besar 1,2 kali dari kuat balok, pada penelitian ini nilai momen nominal kolom didapatkan dari output SpColumn, adapun hasil pengecekan SCWB dapat dilihat pada tabel 5.43 sampai 5.46 berikut ini.

Tabel 5.43 Rekap *Strong Column Weak Beam* Kolom K1 SNI 1726:2019

Lantai	M _{nc}	ΣM _b	ΣM _c	1,2 ΣM _b	Ket
5	1955,494	1276,31	3910,988	1531,572	OK
4	1955,494	1276,31	3910,988	1531,572	OK
3	1955,494	1276,31	3910,988	1531,572	OK
2	1955,494	1276,31	3910,988	1531,572	OK
1	1955,494	1276,31	3910,988	1531,572	OK

Tabel 5.44 Rekap *Strong Column Weak Beam* Kolom K2 SNI 1726:2019

Lantai	M _{nc}	ΣM _b	ΣM _c	1,2 ΣM _b	Ket
5	225,8769	205,4395	451,7538	246,5274	OK
4	225,8769	205,4395	451,7538	246,5274	OK
3	225,8769	205,4395	451,7538	246,5274	OK
2	225,8769	205,4395	451,7538	246,5274	OK
1	225,8769	205,4395	451,7538	246,5274	OK

Tabel 5.45 Rekap Strong Column Weak Beam Kolom K1 SNI 1726:2012

Lantai	Mnc	ΣMb	ΣMc	1,2 ΣMb	Ket
5	1938,086	1276,31	3876	1531,57	OK
4	1938,086	1276,31	3876	1531,57	OK
3	1938,086	1276,31	3876	1531,57	OK
2	1938,086	1276,31	3876	1531,57	OK
1	1938,086	1276,31	3876	1531,57	OK

Tabel 5.46 Rekap Strong Column Weak Beam Kolom K2 SNI 1726:2012

Lantai	Mnc	ΣMb	ΣMc	1,2 ΣMb	Ket
5	221,8308	205,4395	443,7	246,527	OK
4	221,8308	205,4395	443,7	246,527	OK
3	221,8308	205,4395	443,7	246,527	OK
2	221,8308	205,4395	443,7	246,527	OK
1	221,8308	205,4395	443,7	246,527	OK

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa persyaratan SCWB masih terpenuhi.

4. Gaya geser kolom

Proses perhitungan gaya geser kolom dapat dilihat sebagai berikut.

$$\text{Tipe} = K1$$

$$\text{Dimensi} = 650 \times 650$$

$$L = 4000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} E &= 4700 \times \sqrt{f'c'} \\ &= 4700 \times \sqrt{26,4} \\ &= 24149,04 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 650 \times 650^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 14875520833 \\
 \text{Lu} &= L - (\frac{1}{2} H \text{ balok atas} + \frac{1}{2} H \text{ balok bawah}) \\
 &= 4000 - (350 + 350) \\
 &= 3300 \text{ mm} \\
 \text{K} &= \frac{EI}{L} \\
 &= \frac{24149,04 \times 14875520833}{3300} \\
 &= 1,0885743 \\
 \text{Df} &= \frac{K1}{(K2+K1)} \\
 &= \frac{1,0885743}{(1,0885743+1,0885743)} \\
 &= 0,5 \\
 \text{Vu} &= \frac{(M_{kap^+A} + M_{kap^-A})xdf + (M_{kap^+B} + M_{kap^-B})xdf}{lu} \\
 &= \frac{(990,853 + 561,233)x0,5 + (990,853 + 561,233)x0,5}{3300} \\
 &= 470,329 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama seperti diatas maka didapatkan nilai Vu pada tabel 5.47 sebagai berikut.

Tabel 5.47 Rekap Gaya Geser Kolom

Tipe	Tumpuan	Lapangan
Vu K1	470,3291	346,8392
Vu K2	68,1839	53,6248

5. Analisis tulangan geser kolom

Proses perhitungan analisis tulangan geser kolom menggunakan persamaan-persamaan yang dapat dilihat sebagai berikut.

a. Data kolom

Tipe kolom	= K1
B	= 650 mm
H	= 650 mm
L	= 4000 mm
Fc'	= 26,4 Mpa
Fy	= 420 Mpa
Sb	= 40 mm
n kaki	= 4 kaki
Ø tulangan lentur	= 25 mm
Ø tulangan geser	= 10 mm
H balok atas	= 700 mm
H balok bawah	= 700 mm
Lu	= $L - (\frac{1}{2} H \text{ balok atas} + \frac{1}{2} H \text{ balok bawah})$ = $4000 - (\frac{700}{2} + \frac{700}{2})$ = 3300 mm
Ash	= $\frac{1}{4} \pi d^2 \times n$ = $\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 4$

$$= 314,159 \text{ mm}^2$$

b. Syarat nilai L_o

$$(1/6 \times Lu) \times 2 = (1/6 \times 3300) \times 2$$

$$= 1100 \text{ mm}$$

$$L_o > H \text{ kolom} = 650$$

$$L_o > \frac{1}{4} Lu = \frac{1}{4} 3300$$

$$= 825$$

$$L_o > 450 = 450$$

$$L_o \text{ pakai} = 1100 \text{ mm}$$

c. syarat spasi tumpuan

$$\text{Kaki sengkang} = 4 \text{ kaki}$$

$$S = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat 1} = S < 150$$

$$= 100 < 150 \text{ (OK)}$$

$$\text{Syarat 2} = S \geq 100$$

$$= 100 \geq 100 \text{ (OK)}$$

$$\text{Syarat 3} = S < \frac{1}{4} \times B \text{ kolom}$$

$$= 100 < \frac{1}{4} \times 650$$

$$= 100 < 162,5 \text{ (OK)}$$

$$\text{Syarat 4} = S < 6 \times db$$

$$= S < 6 \times 25$$

$$= 100 < 150 \text{ (OK)}$$

d. Pengecekan gaya daerah tumpuan

$$V_u = 470,329 \text{ kN}$$

$$P_u = 5154,05 \text{ kN}$$

$$d = B - sb - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ pokok}$$

$$= 650 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 25$$

$$= 588 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{P_u}{14 A_g}\right) \lambda \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{5154,05}{14 \times 650 \times 650}\right) \times 1 \sqrt{26,4} \times 650 \times 588$$

$$= 624205,6861 \text{ N}$$

$$= 624,206 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$= \frac{314,159 \times 420 \times 588}{100}$$

$$= 775,187 \text{ kN}$$

$$\Phi V_n = \Phi (V_c + V_s)$$

$$= 0,75 (624,206 + 775,187)$$

$$= 1049,545 \text{ kN}$$

$$\text{Pengecekan} = \Phi V_n > V_u$$

$$= 1049,545 > 470,329 \text{ (OK)}$$

e. syarat spasi lapangan

$$\text{Kaki sengkang} = 4 \text{ kaki}$$

$$S = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat 1} = S < 6db$$

$$= 100 < 6 \times 25$$

$$= 100 < 150 \text{ (OK)}$$

$$\text{Syarat 2} = S < 150$$

$$= 100 < 150 \text{ (OK)}$$

f. Pengecekan gaya daerah lapangan

$$V_u = 346,839 \text{ kN}$$

$$P_u = 5154,05 \text{ kN}$$

$$d = B - sb - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ pokok}$$

$$= 650 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 25$$

$$= 588 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{P_u}{14 A_g}\right) \lambda \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{5154,05}{14 \times 650 \times 650}\right) \times 1 \sqrt{26,4} \times 650 \times 588$$

$$= 624205,6861 \text{ N}$$

$$= 624,206 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$= \frac{314,159 \times 420 \times 588}{100}$$

$$= 775,187 \text{ kN}$$

$$\Phi V_n = \Phi (V_c + V_s)$$

$$= 0,75 (624,206 + 775,187)$$

$$\begin{aligned}
 &= 1049,545 \text{ kN} \\
 \text{Pengecekan} &= \phi V_n > V_u \\
 &= 1049,545 > 346,839 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan bahwa tulangan sengkang kolom eksisting tumpuan dan lapangan memiliki nilai gaya geser nominal yang lebih besar dari gaya geser ultimit, oleh karena itu tulangan geser pada balok tidak perlu dilakukan evaluasi.

Adapun untuk hasil analisis tulangan sengkang kolom dapat dilihat pada tabel 5.48 berikut.

Tabel 5.48 Rekap Tulangan Geser Kolom

Tipe	Dimensi (mm)	Tumpuan				Lapangan			
		Tulangan	Vn	Vu	Vn>Vu	Tulangan	Vn	Vu	Vn>Vu
K1	650 x 650	4D10-100	1049,5	470,329	OK	4D10-100	1049,5	346,839	OK
K2	350 x 350	2D10-100	764,48	68,184	OK	2D10-150	667,58	53,625	OK

6. Beam column join (BCJ)

Dalam melakukan perhitungan BCJ dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan seperti berikut ini.

$$F_c' = 26,4 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$V_e = 470,329 \text{ kN}$$

$$\emptyset \text{ tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$A_s \text{- balok} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 9$$

$$= 3421,194 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{s+} \text{ balok} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 5 \\
 &= 1900 \text{ mm}^2 \\
 T_s &= 1,25 \times f_y \times A_{s-} \\
 &= 1,25 \times 420 \times 3421,194 \\
 &= 1796,127 \text{ kN} \\
 C_c &= 1,25 \times f_y \times A_{s+} \\
 &= 1,25 \times 420 \times 1900 \\
 &= 997,848 \text{ kN} \\
 B \text{ balok} &= 400 \text{ mm} \\
 H \text{ balok} &= 700 \text{ mm} \\
 B \text{ kolom} &= 650 \text{ mm} \\
 H \text{ kolom} &= 650 \text{ mm} \\
 H &= 20 \times db \\
 &= 20 \times \text{Ø tulangan} \\
 &= 20 \times 22 \\
 &= 440 \text{ mm} < 650 \text{ mm} \\
 &= \text{digunakan } 650 \\
 B_e &= b + 2x \\
 &= 400 + \left(2 \times \left(\frac{650 - 400}{2} \right) \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 650 \text{ mm} \\
 A_j &= B_e \times H \\
 &= 650 \times 650 \\
 &= 422500 \text{ mm}^2 \\
 V_u \text{ 2 dan 3 sisi} &= 0,5 \times V_e - T_s \\
 &= 0,5 \times 470,329 - 1796,127 \\
 &= 1560,962 \text{ kN} \\
 V_u \text{ 4 sisi} &= V_e - T_s - C_c \\
 &= 470,329 - 1796,127 - 997,884 \\
 &= 2323,646 \text{ kN} \\
 V_n \text{ 2 dan 3 sisi} &= 1,2 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times A_j \\
 &= 1,2 \times 1 \times \sqrt{26,4} \times 422500 \\
 &= 2605,013 \text{ kN} \\
 V_n \text{ 4 sisi} &= 1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times A_j \\
 &= 1,7 \times 1 \times \sqrt{26,4} \times 422500 \\
 &= 3690,435 \text{ kN} \\
 \text{Pengecekan 2 dan 3 sisi} &= V_n > V_u \\
 &= 2605,013 > 1560,962 \text{ (OK)} \\
 \text{Pengecekan 4 sisi} &= V_n > V_u \\
 &= 3690,435 > 2323,646 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan *beam column joint* pada kolom lain dilakukan dengan cara yang sama seperti diatas, oleh karena itu hasil perhitungan *beam column joint* dapat dilihat pada tabel 5.49 berikut.

Tabel 5.49 Rekap Beam Column Joint

Tipe	2 & 3 sisi		ket	4 sisi		ket
	Vn	Vu	Vn>Vu	Vn	Vu	Vn>Vu
K1	2605,013	1560,963	OK	3690,435	2323,646	OK
K2	755,300	493,696	OK	1070,008	776,276	OK

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa *beam column joint* masih memenuhi syarat, maka tidak perlu dilakukan evaluasi.

5.9 Redesain

Tahapan Redesain dilakukan pada komponen struktur yang masih tidak memenuhi persyaratan, adapun proses Redesain yang dilakukan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Redesain tulangan geser balok

Berdasarkan perhitungan analisis tulangan geser terdapat beberapa penampang balok yang tulangan gesernya belum memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan, baik persyaratan gaya penampang maupun persyaratan jarak tulangan, oleh karena itu dilakukan redesain untuk mendapatkan hasil yang sesuai, perhitungan dilakukan dengan cara menambahkan jumlah kaki tulangan pada balok dan memperbesar dimensi penampang balok agar syarat jarak minimum terpenuhi. proses perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

a. daerah tumpuan

$$\text{Tipe} = \text{B1}$$

$$V_g - = -235,75$$

$$V_g + = 248,29$$

$$\begin{aligned}
 V_E &= \frac{M_{kap-} + M_{kap+}}{ln} \\
 &= \frac{990,85 + 561,23}{735} \\
 &= 211,17 \\
 V_u &= V_E + V_g \\
 &= 211,17 + 248,29 \\
 &= 459,46 \\
 0,5 V_u &= 0,5 \times V_u \\
 &= 0,5 \times 459,46 \\
 &= 229,73 < V_u \text{ (nilai } V_c \text{ dihitung)} \\
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{24,6} \times 400 \times 582 \\
 &= 203,345 \\
 \text{Syarat dimensi} & \\
 S \text{ pakai} &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Syarat 1} &= \frac{d}{4} \\
 &= \frac{582}{4} \\
 &= 145,5 \text{ mm, (Oke)} \\
 \text{Syarat 2} &= 6 \times \emptyset \text{ pokok} \\
 &= 6 \times 22 \\
 &= 132 \text{ mm, (Oke)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat 3} &= 150 \text{ mm, (Oke)} \\
 \text{Jumlah kaki} &= \text{dicoba 4 kaki} \\
 A_{sv} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 4 \\
 &= 314,16 \text{ mm}^2 \\
 V_s &= \frac{A_{sv} \times f_y \times d}{s} \\
 &= \frac{314,16 \times 240 \times 582}{100} \\
 &= 438817,66 \text{ N} \\
 &= 438,814 \text{ kN} \\
 V_n &= \Phi (V_c + V_s) \\
 &= 0,75 (203,345 + 438,814) \\
 &= 481,62 \text{ kN} \\
 \text{Syarat} &= V_n > V_u \\
 &= 481,62 > 459,46 \\
 &= V_n > V_u, \text{ memenuhi} \\
 \text{b. daerah lapangan} \\
 V_{g-} &= -117,87 \\
 V_{g+} &= 124,14 \\
 V_E &= \frac{(M_{kap-} + M_{kap+})}{l_n} \\
 &= \frac{(561,25 + 583,32)}{735}
 \end{aligned}$$

$$= 286,14$$

$$\begin{aligned} V_u &= V_E + V_g \\ &= 286,14 + 124,14 \\ &= 410,29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{24,6} \times 400 \times 582 \\ &= 203,345 \end{aligned}$$

Syarat dimensi

$$S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = \text{dicoba 3 kaki}$$

$$\begin{aligned} A_{sv} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 102 \times 3 \\ &= 339,292 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{(A_{sv} \times f_y \times d)}{s} \\ &= \frac{(339,292 \times 240 \times 582)}{100} \\ &= 473923,07 \text{ N} \\ &= 473,92 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= \Phi (V_c + V_s) \\ &= 0,75 (203,345 + 473,92) \\ &= 507,951 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_n > V_u \\ &= 507,951 > 410,29 \\ &= V_n > V_u, \text{ memenuhi} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan pada balok B1 perlu dilakukan penambahan tulangan sengkang pada balok agar nilai gaya geser nominal didapatkan lebih besar dari nilai gaya geser ultimit.

Pada penampang balok yang lain dilakukan proses perhitungan evaluasi yang sama sehingga didapatkan hasil seperti yang dapat dilihat pada tabel 5.50 berikut.

Tabel 5.50 Redesain Tulangan Geser Balok

Balok	Dimensi (mm)		Tumpuan					Lapangan			
	b	h	Tulangan	Vn	Vu	Vn>Vu	Syarat S	Tulangan	Vn	Vu	Vn>Vu
B1	400	700	4D10-100	481,62	459,46	OK	memenuhi	3D10-100	507,951	410,29	OK
B2	300	600	3D10-100	305,36	216,39	OK	memenuhi	3D10-150	235,803	230,08	OK
B3	300	500	3D10-100	210,40	198,07	OK	memenuhi	3D10-100	210,399	195,48	OK
B4	250	500	3D10-100	162,01	98,10	OK	memenuhi	3D10-150	170,571	105,45	OK
B5	250	500	2D10-100	98,89	29,07	OK	memenuhi	2D10-100	98,890	20,66	OK
B6	250	500	3D10-100	123,84	105,18	OK	memenuhi	3D10-150	130,384	124,16	OK
BR	250	500	2D10-100	39,62	29,76	OK	memenuhi	2D10-100	39,625	28,17	OK

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Tidar dengan mengacu pada SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Terjadi peningkatan nilai respon seismik pada SNI 1726:2019 bila dibandingkan dengan SNI 1726:2012, pada analisis simpangan antar tingkat masih memenuhi syarat simpangan dan terjadi peningkatan nilai simpangan sebesar 7%, besaran gaya geser statik ekuivalen mengalami peningkatan sebesar 36% sedangkan pada pengaruh P-delta struktur masih memenuhi syarat dengan peningkatan terjadi sebesar 44%, dan pada analisis ketidakberaturan berdasarkan kedua SNI tersebut gedung laboratorium terpadu universitas tidar tidak ditemukan ketidakberaturan baik arah horizontal maupun vertikal.
2. Dari analisis dan perhitungan yang dilakukan didapatkan bahwa gaya dalam yang bekerja pada gedung laboratorium terpadu universitas tidar masih memenuhi persyaratan batas layan dan kinerja struktur.
3. Dari analisis dan perhitungan yang dilakukan pada penampang balok didapatkan bahwa diperlukan penambahan tulangan pada sengkang balok agar memenuhi persyaratan, sedangkan pada penampang kolom masih memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 1726:2019.

3.2 Saran

Saran untuk penelitian yang selanjutnya adalah sebagai berikut.

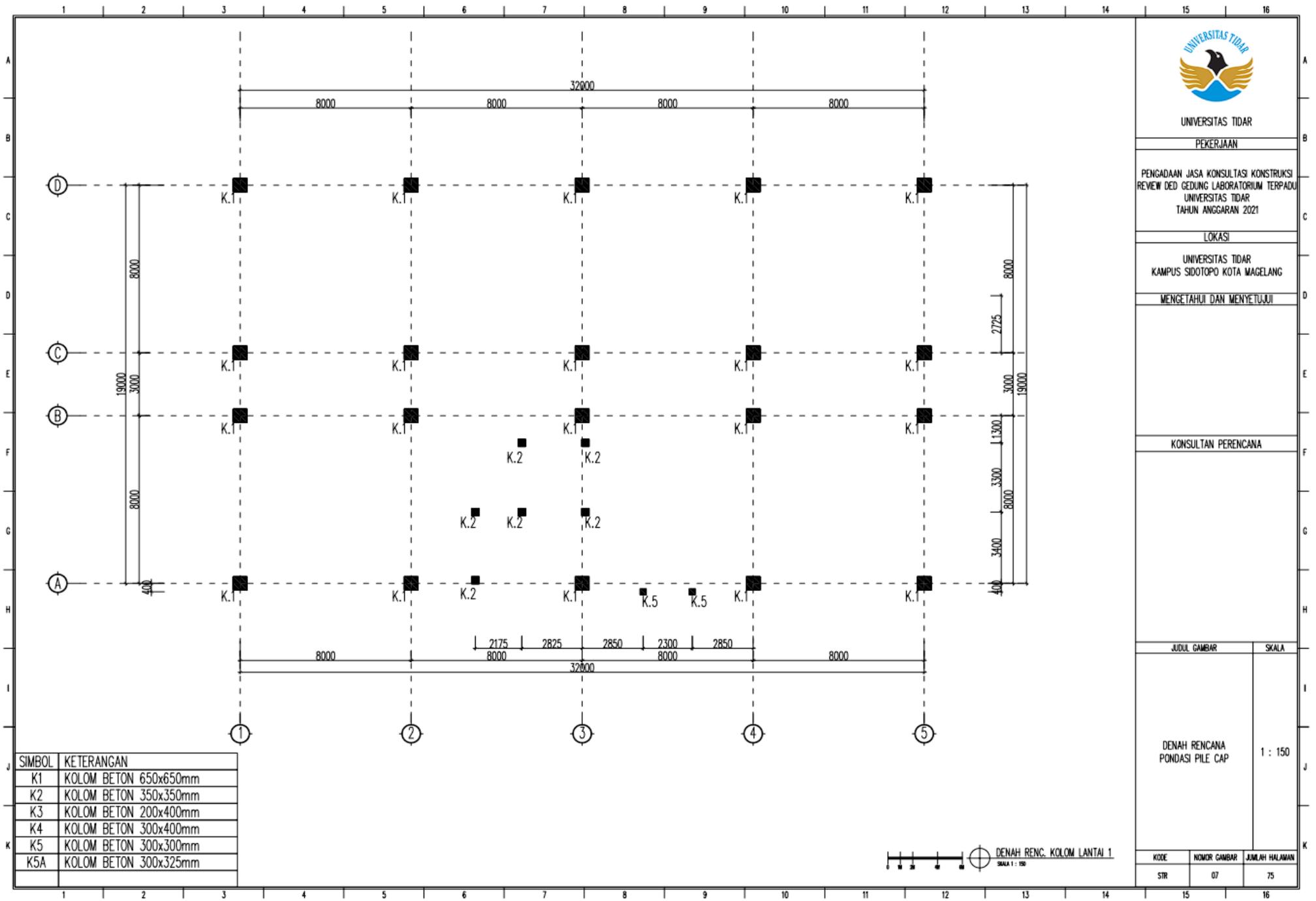
1. Penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan metode-metode analisis lain seperti analisis riwayat waktu (*time history*) atau analisis metode *Pushover*.
2. Analisis respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 2019 dapat dilakukan pada struktur gedung yang lebih tinggi agar dapat melihat perilaku dan perbedaan spesifik yang terjadi pada struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI – 1726 – 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). SNI – 1726 – 2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non-Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI – 1727 – 2020 Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). SNI – 1727 – 2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI – 2847 – 2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Dan Penjelasan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Fahmi, Z. I. (2022). Perbandingan Respon Seismik Dan Analisis Kinerja Struktur Berdasarkan Sni 03-17262012 Dan Sni 03-1726-2019 Serta Perencanaan Ulang Elemen Struktural Struktur Atas Gedung Kuliah Bersama Politeknik Negeri Cilacap. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Farlianti, S., & Sapta, S. (2020). Perhitungan Respon Spektra Percepatan Gempa Kota Palembang Berdasarkan SNI 1726; 2019 Sebagai Revisi Terhadap SNI 1726; 2012. TEKNIKA: Jurnal Teknik.

- Karisoh, P. H., Dapas, S. O., & Pandaleke, R. E. (2018). Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. *Jurnal Sipil Statik*.
- Pedoman Tugas Akhir. (2022). *Pedoman Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia*. Yogyakarta: Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
- Prasetya, N. A., Hernadi, A., & Nugroho, A. (2021). *Studi Komparasi Perancangan Balok Struktural Berdasarkan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013 Dan SNI 2847-2019*. Borneo: Universitas Borneo Tarakan.

LAMPIRAN



SIMBOL	KETERANGAN
K1	KOLOM BETON 650x650mm
K2	KOLOM BETON 350x350mm
K3	KOLOM BETON 200x400mm
K4	KOLOM BETON 300x400mm
K5	KOLOM BETON 300x300mm
K5A	KOLOM BETON 300x325mm



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
 REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
 UNIVERSITAS TIDAR
 TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
 KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

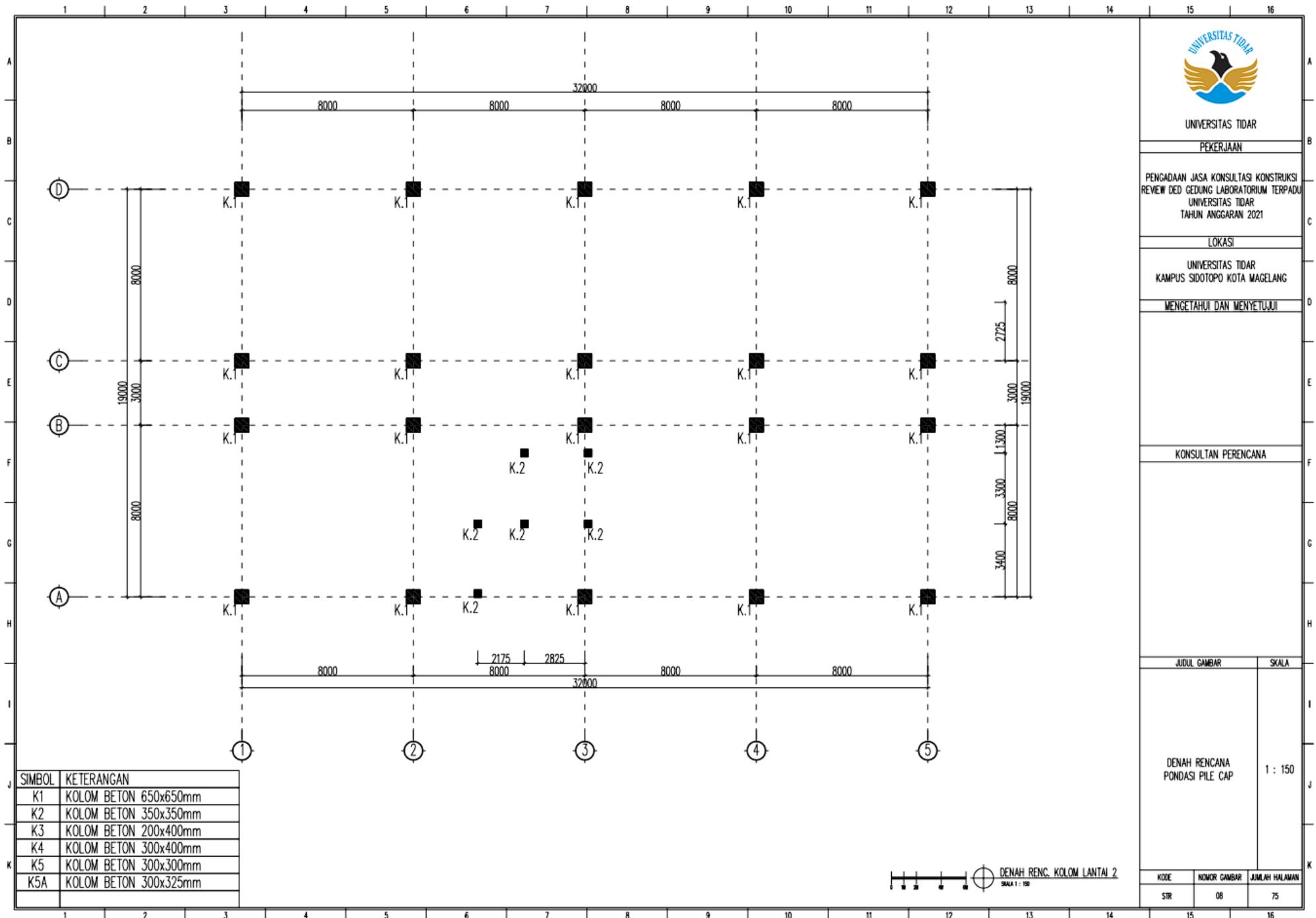
JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH RENCANA
 PONDASI PILE CAP

1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	07	75



SIMBOL	KETERANGAN
K1	KOLOM BETON 650x650mm
K2	KOLOM BETON 350x350mm
K3	KOLOM BETON 200x400mm
K4	KOLOM BETON 300x400mm
K5	KOLOM BETON 300x300mm
K5A	KOLOM BETON 300x325mm



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

JUDUL GAMBAR

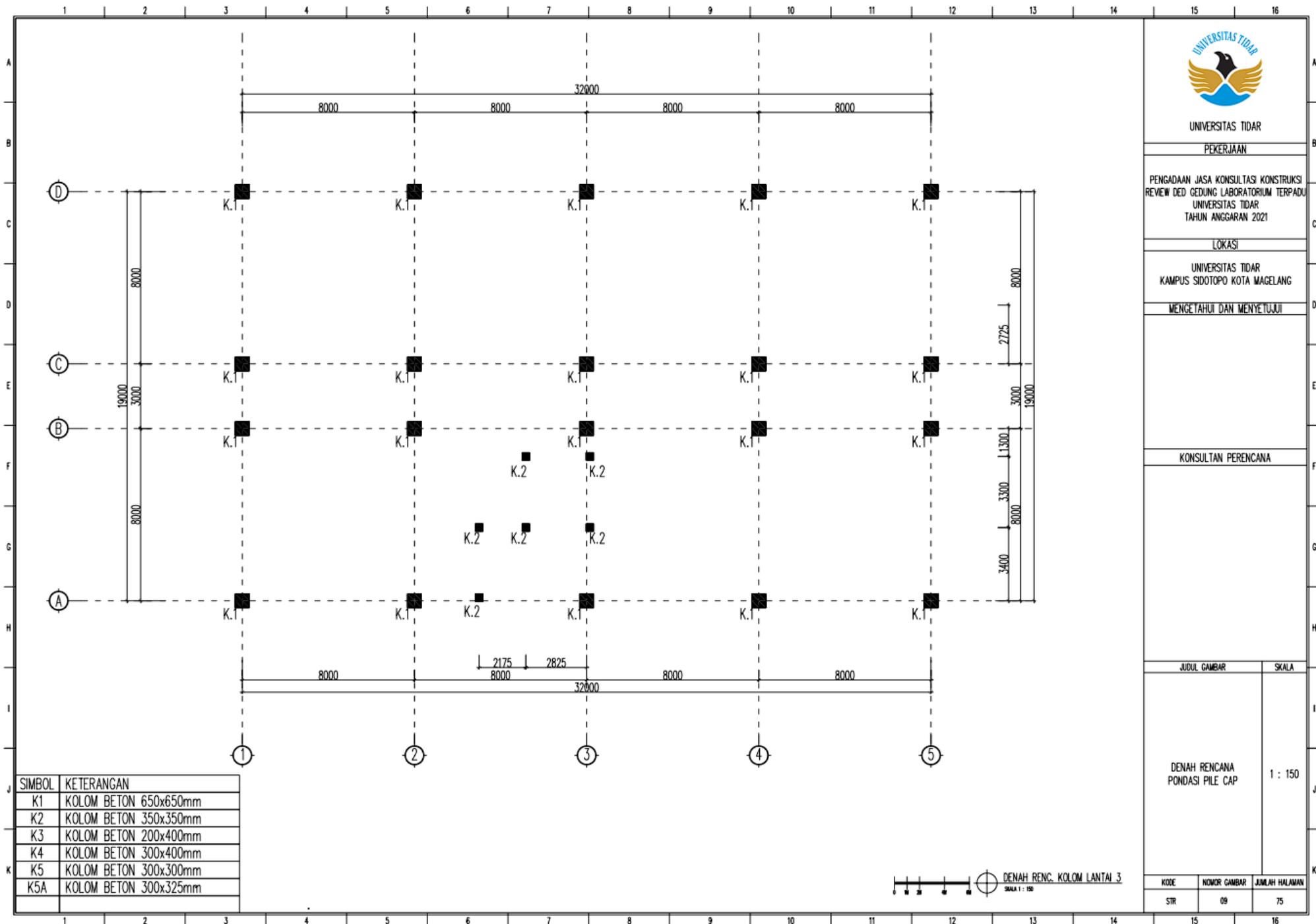
DENAH RENCANA
PONDASI PILE CAP

SKALA

1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	08	75

DENAH RENC. KOLOM LANTAI 2
SKALA 1 : 150



SIMBOL	KETERANGAN
K1	KOLOM BETON 650x650mm
K2	KOLOM BETON 350x350mm
K3	KOLOM BETON 200x400mm
K4	KOLOM BETON 300x400mm
K5	KOLOM BETON 300x300mm
K5A	KOLOM BETON 300x325mm

DENAH RENC. KOLOM LANTAI 3
SKALA 1 : 150



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

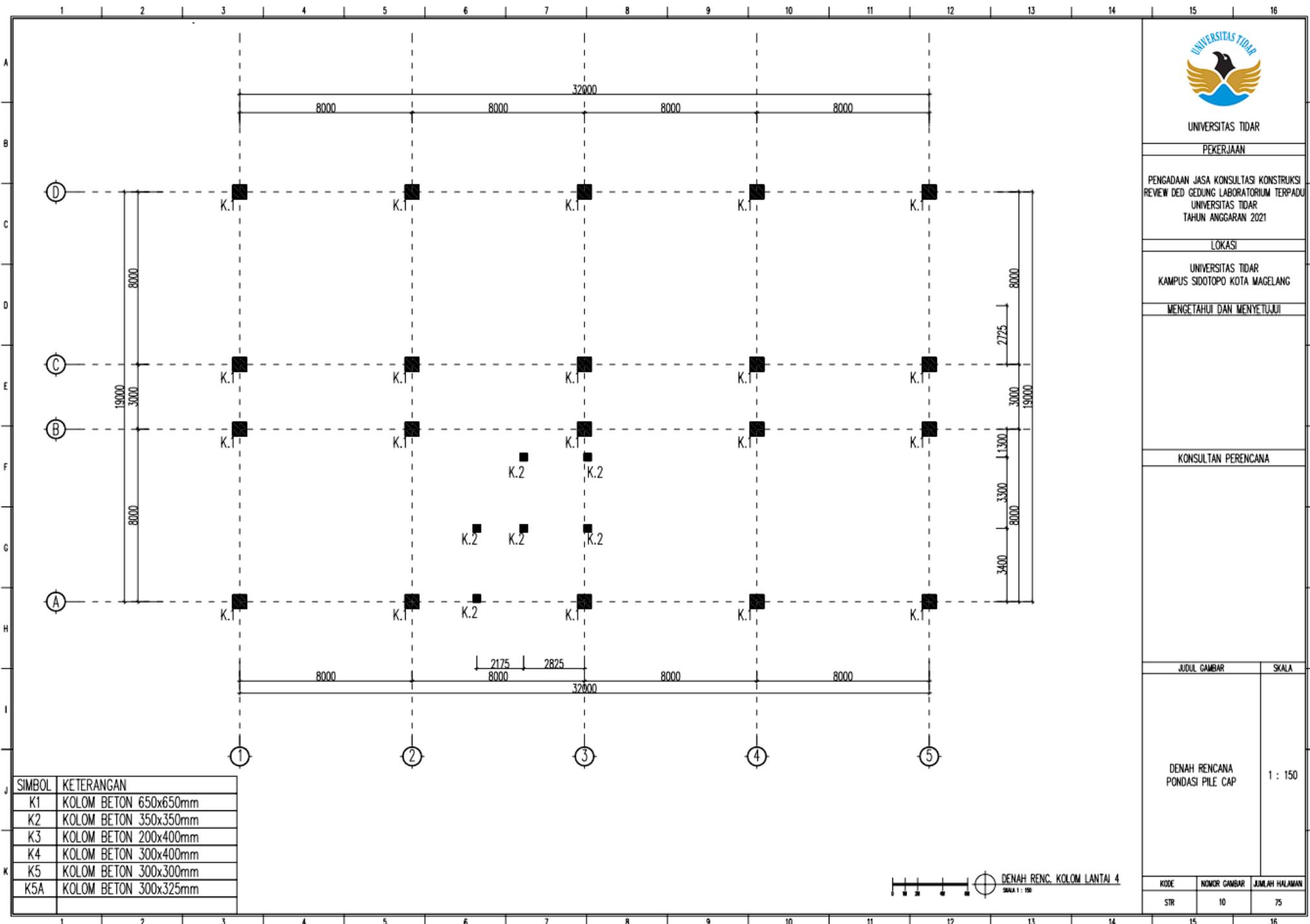
JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH RENCANA
PONDASI PILE CAP

1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	09	75



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
 REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
 UNIVERSITAS TIDAR
 TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
 KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

JUDUL GAMBAR

SKALA

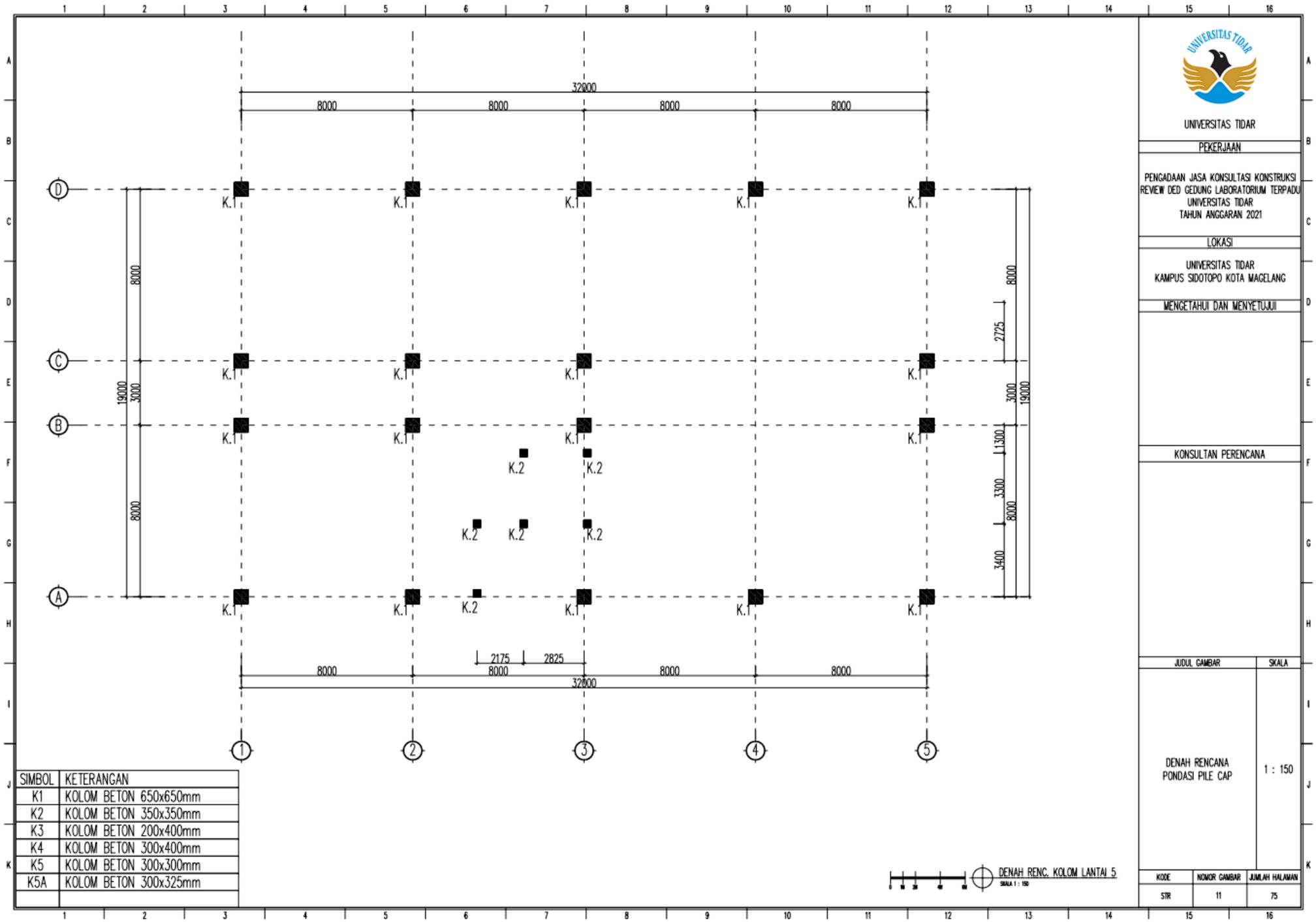
DENAH RENCANA
 PONDASI PILE CAP

1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	10	75

SIMBOL	KETERANGAN
K1	KOLOM BETON 650x650mm
K2	KOLOM BETON 350x350mm
K3	KOLOM BETON 200x400mm
K4	KOLOM BETON 300x400mm
K5	KOLOM BETON 300x300mm
K5A	KOLOM BETON 300x325mm





SIMBOL	KETERANGAN
K1	KOLOM BETON 650x650mm
K2	KOLOM BETON 350x350mm
K3	KOLOM BETON 200x400mm
K4	KOLOM BETON 300x400mm
K5	KOLOM BETON 300x300mm
K5A	KOLOM BETON 300x325mm

DENAH RENC. KOLOM LANTAI 5
SKALA 1 : 150



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

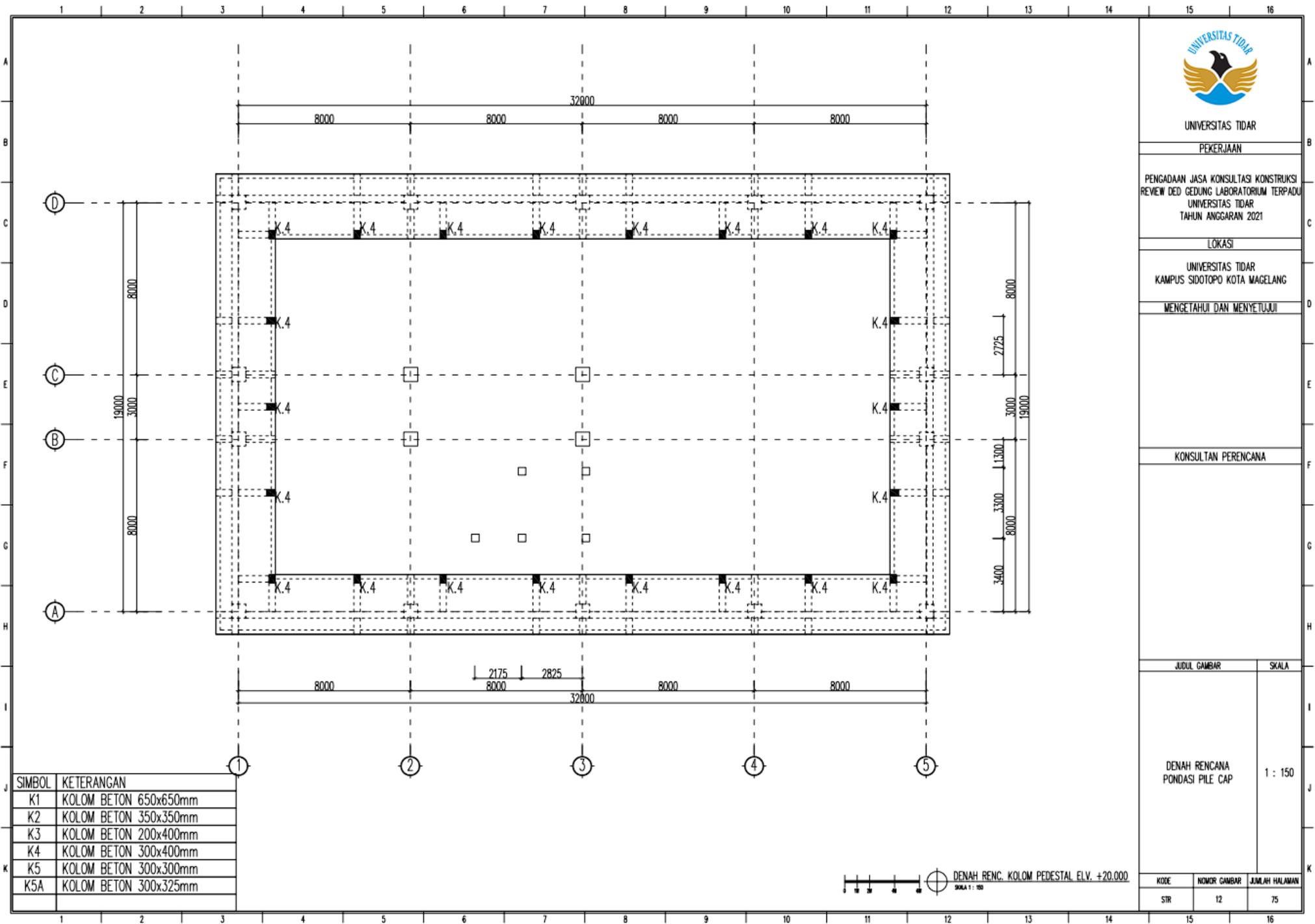
UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

WENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

JUDUL GAMBAR	SKALA
DENAH RENCANA PONDASI PILE CAP	1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	11	75



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

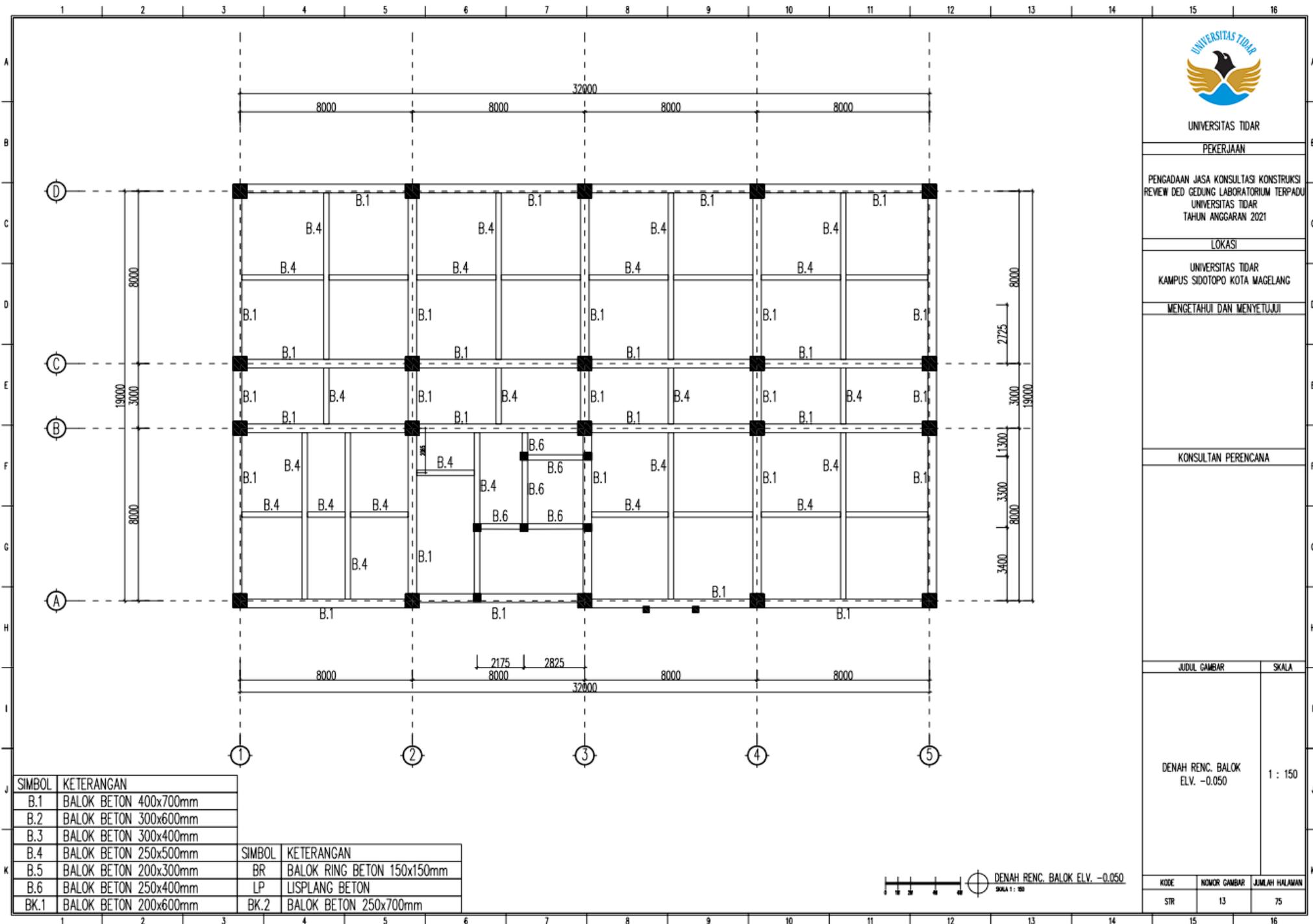
JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH RENCANA
PONDASI PILE CAP

1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	12	75



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
 REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
 UNIVERSITAS TIDAR
 TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
 KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

JUDUL GAMBAR

SKALA

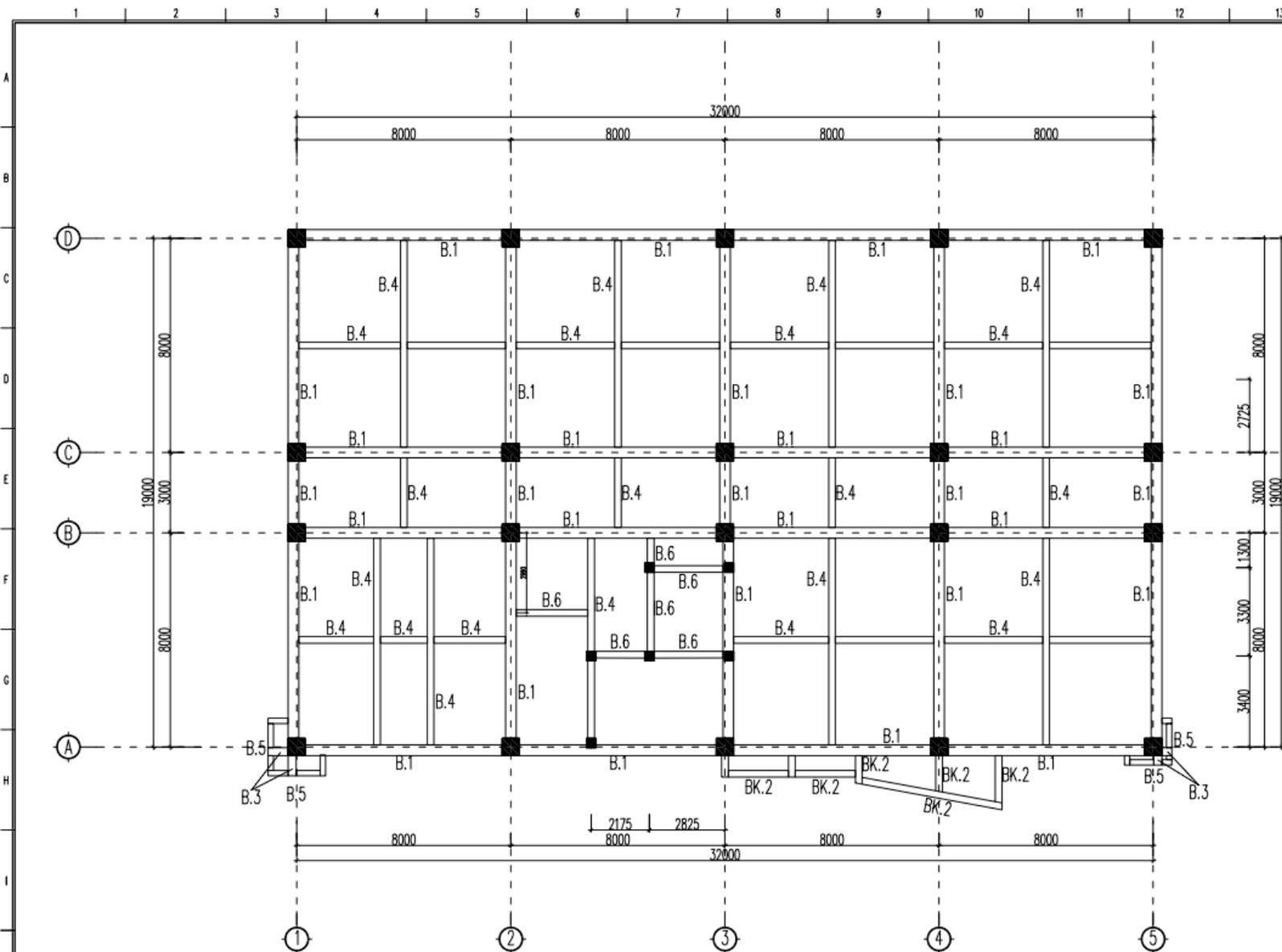
DENAH RENC. BALOK
 ELV. -0.050

1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	13	75

SIMBOL	KETERANGAN	SIMBOL	KETERANGAN
B.1	BALOK BETON 400x700mm	BR	BALOK RING BETON 150x150mm
B.2	BALOK BETON 300x600mm	LP	LISPLANG BETON
B.3	BALOK BETON 300x400mm	BK.2	BALOK BETON 250x700mm
B.4	BALOK BETON 250x500mm		
B.5	BALOK BETON 200x300mm		
B.6	BALOK BETON 250x400mm		
BK.1	BALOK BETON 200x600mm		

DENAH RENC. BALOK ELV. -0.050
 SKALA 1 : 150



SIMBOL	KETERANGAN	SIMBOL	KETERANGAN
B.1	BALOK BETON 400x700mm	BR	BALOK RING BETON 150x150mm
B.2	BALOK BETON 300x600mm	LP	LISPLANG BETON
B.3	BALOK BETON 300x400mm	BK.1	BALOK BETON 200x600mm
B.4	BALOK BETON 250x500mm	BK.2	BALOK BETON 250x700mm
B.5	BALOK BETON 200x300mm		
B.6	BALOK BETON 250x400mm		
BK.1	BALOK BETON 200x600mm		

DENAH RENC. BALOK ELV. +3.950
SKALA 1 : 50



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DEK GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

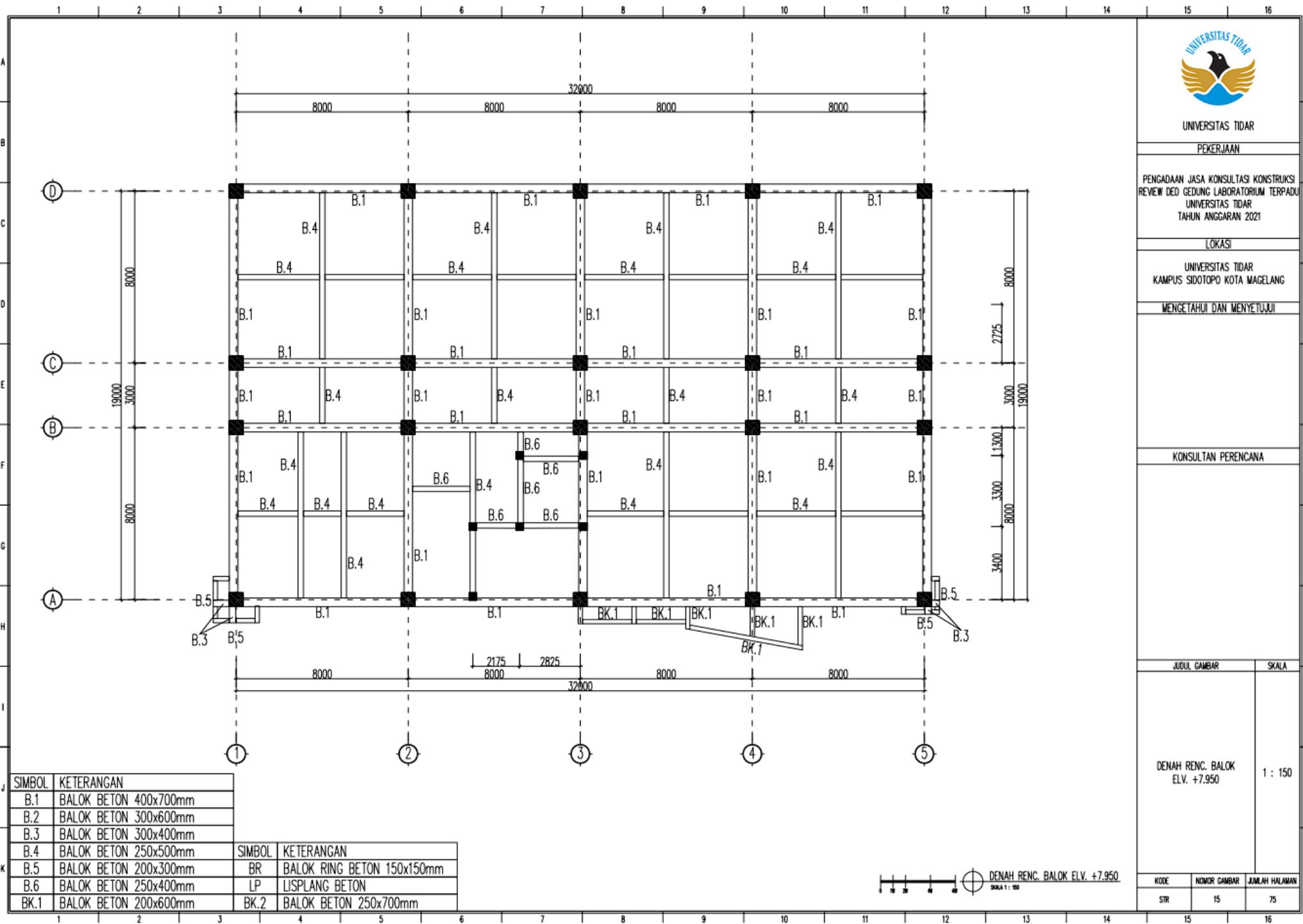
JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH RENC. BALOK
ELV. +3.950

1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	14	75



SIMBOL	KETERANGAN	SIMBOL	KETERANGAN
B.1	BALOK BETON 400x700mm	BR	BALOK RING BETON 150x150mm
B.2	BALOK BETON 300x600mm	LP	LISPLANG BETON
B.3	BALOK BETON 300x400mm	BK.2	BALOK BETON 250x700mm
B.4	BALOK BETON 250x500mm		
B.5	BALOK BETON 200x300mm		
B.6	BALOK BETON 250x400mm		
BK.1	BALOK BETON 200x600mm		

DENAH RENC. BALOK ELV. +7.950
SKALA 1 : 50



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

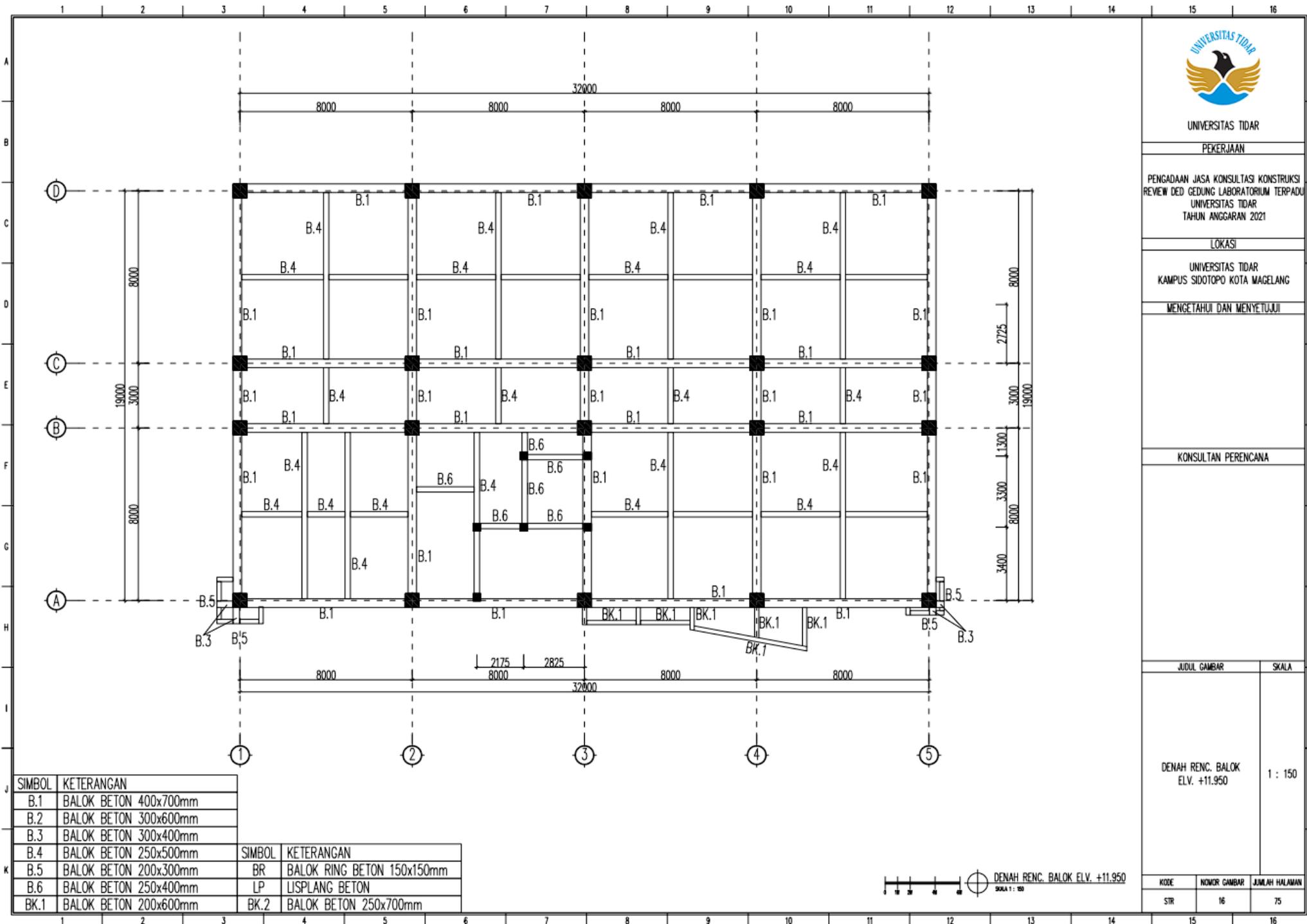
JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH RENC. BALOK
ELV. +7.950

1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	15	75



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

JUDUL GAMBAR

DENAH RENC. BALOK
ELV. +11.950

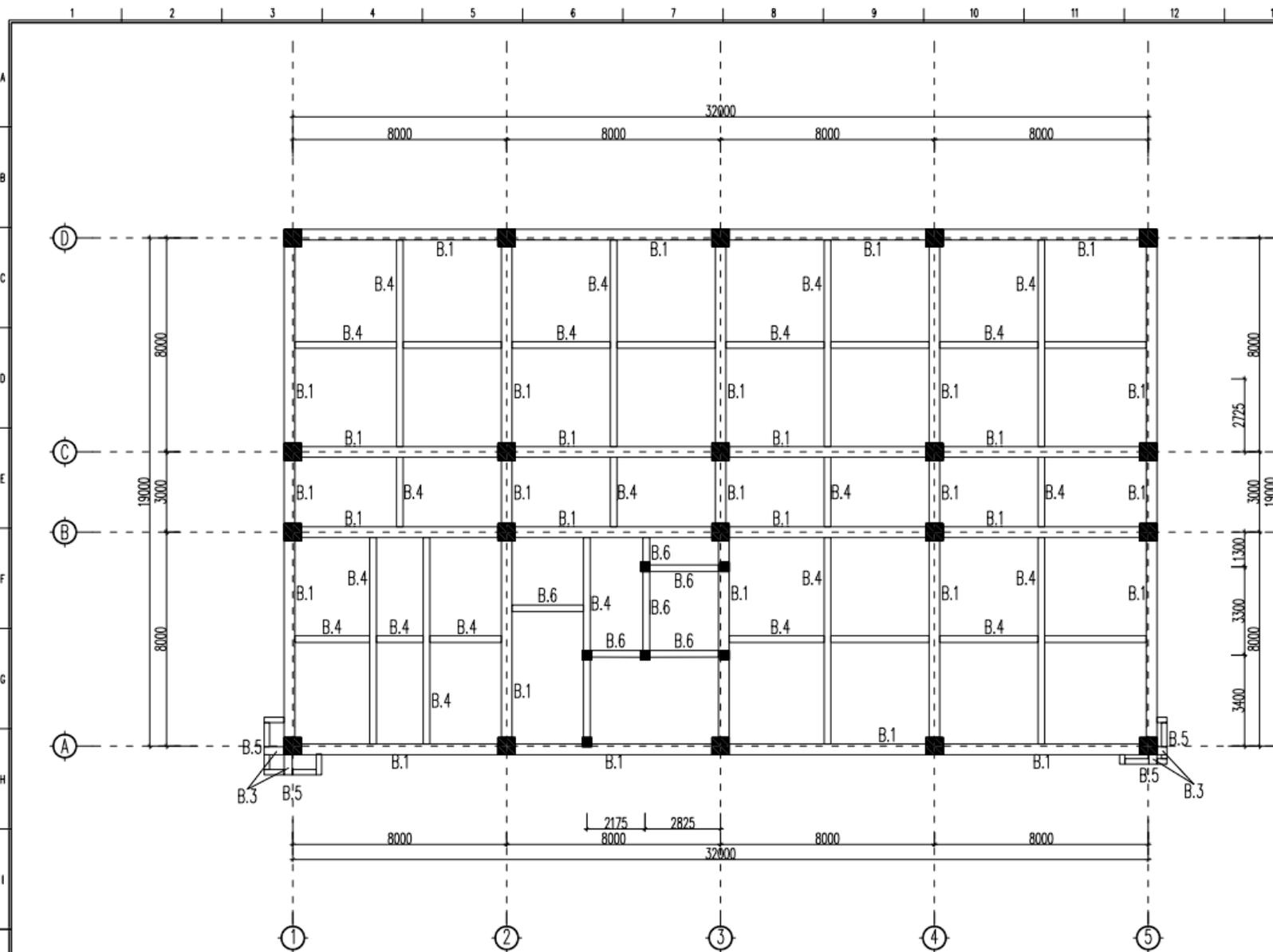
SKALA

1 : 150

SIMBOL	KETERANGAN	SIMBOL	KETERANGAN
B.1	BALOK BETON 400x700mm	BR	BALOK RING BETON 150x150mm
B.2	BALOK BETON 300x600mm	LP	LISPLANG BETON
B.3	BALOK BETON 300x400mm	BK.2	BALOK BETON 250x700mm
B.4	BALOK BETON 250x500mm		
B.5	BALOK BETON 200x300mm		
B.6	BALOK BETON 250x400mm		
BK.1	BALOK BETON 200x600mm		



KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	16	75



SIMBOL	KETERANGAN	SIMBOL	KETERANGAN
B.1	BALOK BETON 400x700mm	BR	BALOK RING BETON 150x150mm
B.2	BALOK BETON 300x600mm	LP	LISPLANG BETON
B.3	BALOK BETON 300x400mm	BK.2	BALOK BETON 250x700mm
B.4	BALOK BETON 250x500mm		
B.5	BALOK BETON 200x300mm		
B.6	BALOK BETON 250x400mm		
BK.1	BALOK BETON 200x600mm		

DENAH RENC. BALOK ELV. +15.950
SKALA 1 : 150



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

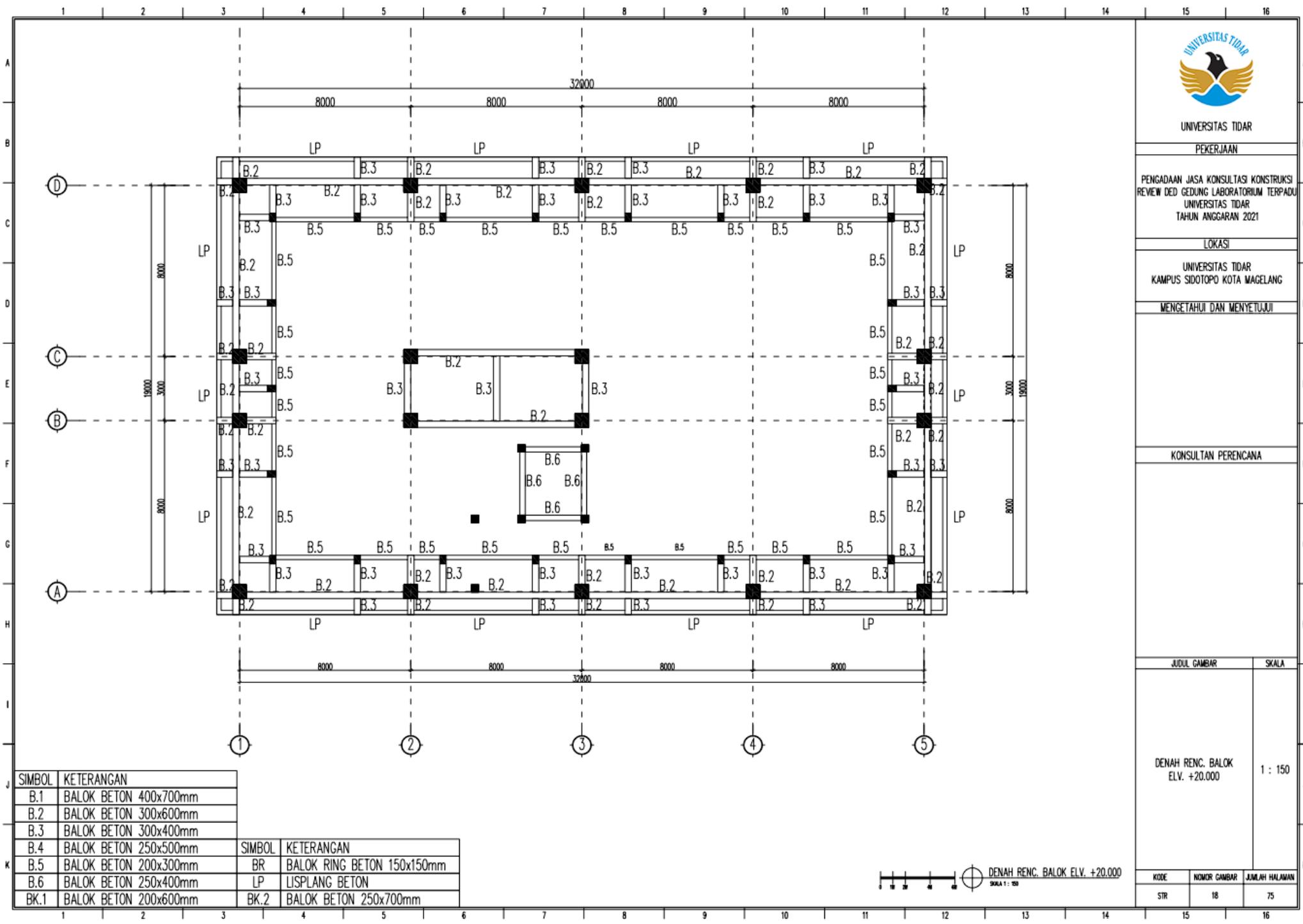
JUDUL GAMBAR

DENAH RENC. BALOK
ELV. +15.950

SKALA

1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	17	75



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
 REVIEW DEK GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
 UNIVERSITAS TIDAR
 TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
 KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

JUDUL GAMBAR

SKALA

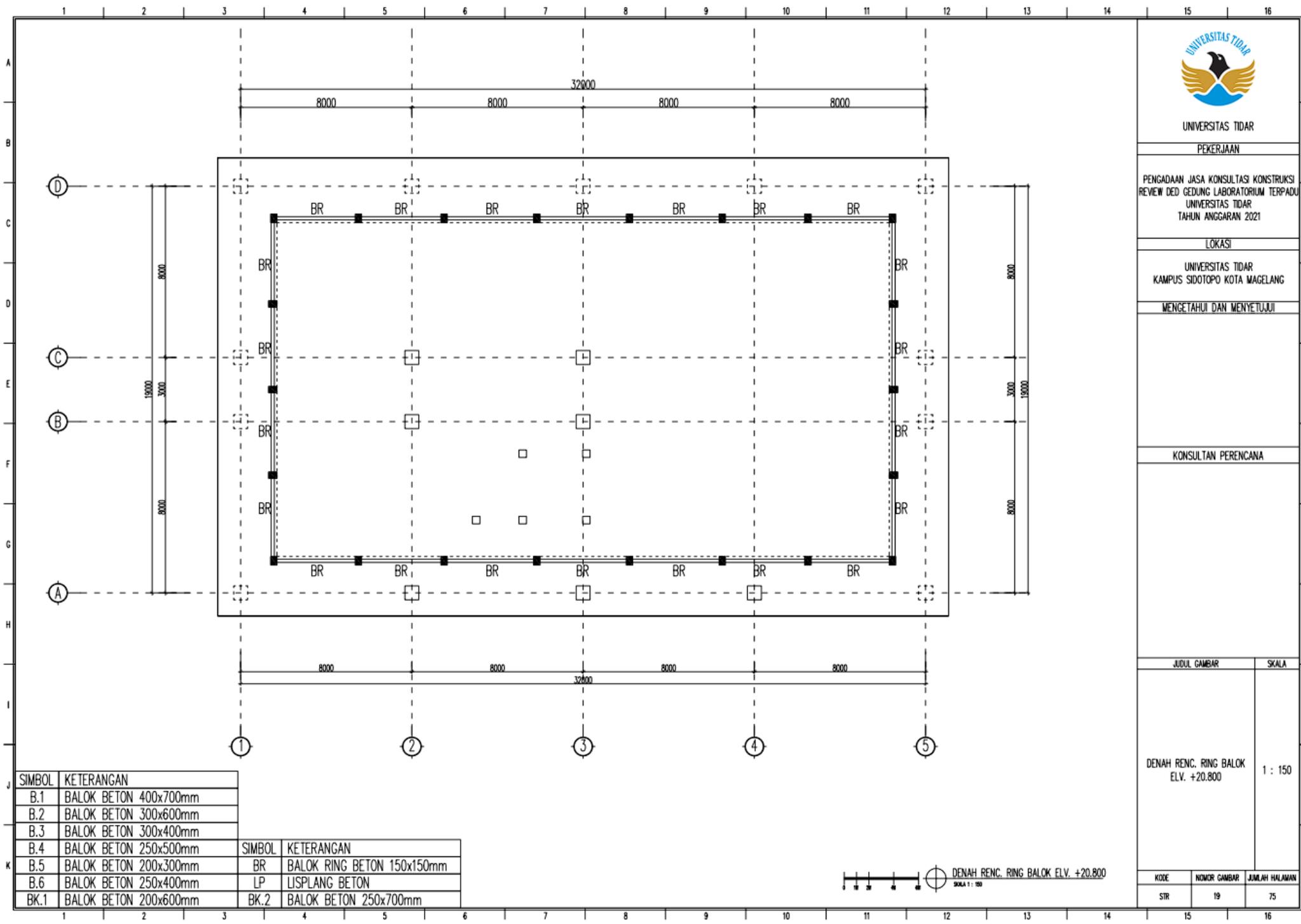
DENAH RENC. BALOK
 ELV. +20.000

1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	18	75

SIMBOL	KETERANGAN	SIMBOL	KETERANGAN
B.1	BALOK BETON 400x700mm	BR	BALOK RING BETON 150x150mm
B.2	BALOK BETON 300x600mm	LP	LISPLANG BETON
B.3	BALOK BETON 300x400mm	BK.2	BALOK BETON 250x700mm
B.4	BALOK BETON 250x500mm		
B.5	BALOK BETON 200x300mm		
B.6	BALOK BETON 250x400mm		
BK.1	BALOK BETON 200x600mm		





UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENSETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

JUDUL GAMBAR SKALA

DENAH RENC. RING BALOK
ELV. +20.800

1 : 150

SIMBOL	KETERANGAN	SIMBOL	KETERANGAN
B.1	BALOK BETON 400x700mm	BR	BALOK RING BETON 150x150mm
B.2	BALOK BETON 300x600mm	LP	LISPLANG BETON
B.3	BALOK BETON 300x400mm	BK.2	BALOK BETON 250x700mm
B.4	BALOK BETON 250x500mm		
B.5	BALOK BETON 200x300mm		
B.6	BALOK BETON 250x400mm		
BK.1	BALOK BETON 200x600mm		



KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	19	75



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DEK GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

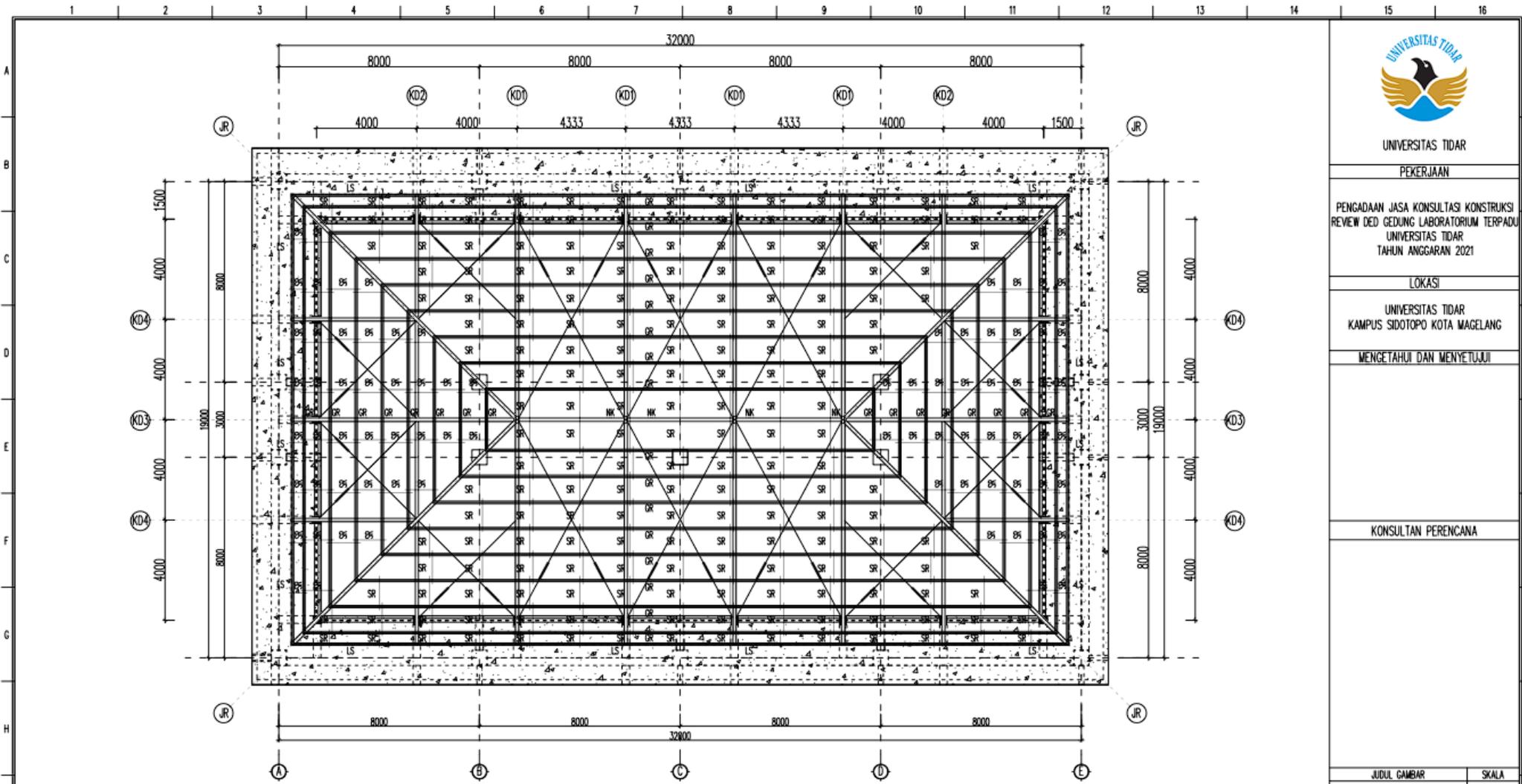
JUDUL GAMBAR

SKALA

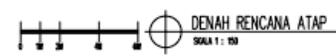
DENAH RENCANA ATAP

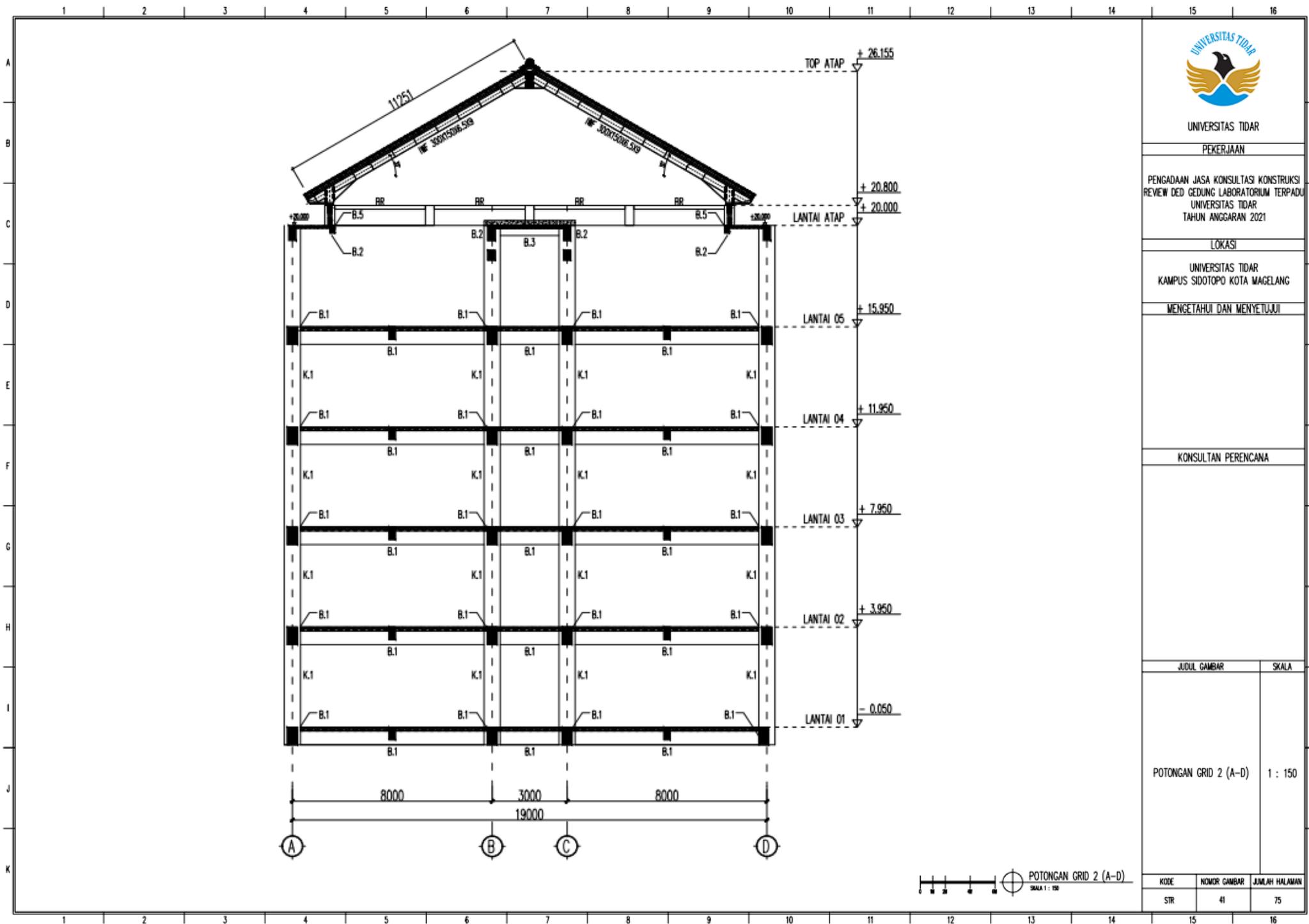
1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	32	75



NO	SIMBOL	KETERANGAN	NO	SIMBOL	KETERANGAN
1	KD1	Kuda-kuda KD1-1MF 300X150X6.5X9 mm	12	BJ	Dudukan gording Plat tebal 6 mm
2	KD2	Kuda-kuda KD2-1MF 300X150X6.5X9 mm	13	PP	Plat plendes 12 mm
3	KD3	Kuda-kuda KD3-1MF 300X150X6.5X9 mm	14	Ph	Plat Rib 8 mm
4	KD4	Kuda-kuda KD4-1MF 300X150X6.5X9 mm	15	PS	Plat sambung 12 mm
5	NK	Nak 1MF 300X150X6.9X9 mm	16	B	Baut HTB Ø 16 mm
6	JR	Jurai Double Lipped Chanel 200X75X20X3.2 mm	17	AB	Angkur baut Baut Ø 19 mm
7	AT	Atap Genteng Glazur	18	ML	Mutu las E70XX
8	GR	Gording Lipped Chanel 150x65x20x3.2 mm (Jarak 1200mm)	19	SP	Spansirof Ø 16 mm
9	TRK	Trekstang Ø 16 mm	20		
10	SR	Sagrod Ø 10 mm (Jarak 2000mm)	21		
11	LS	Lisplang GRC tebal 2x18/200 mm	22		





UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

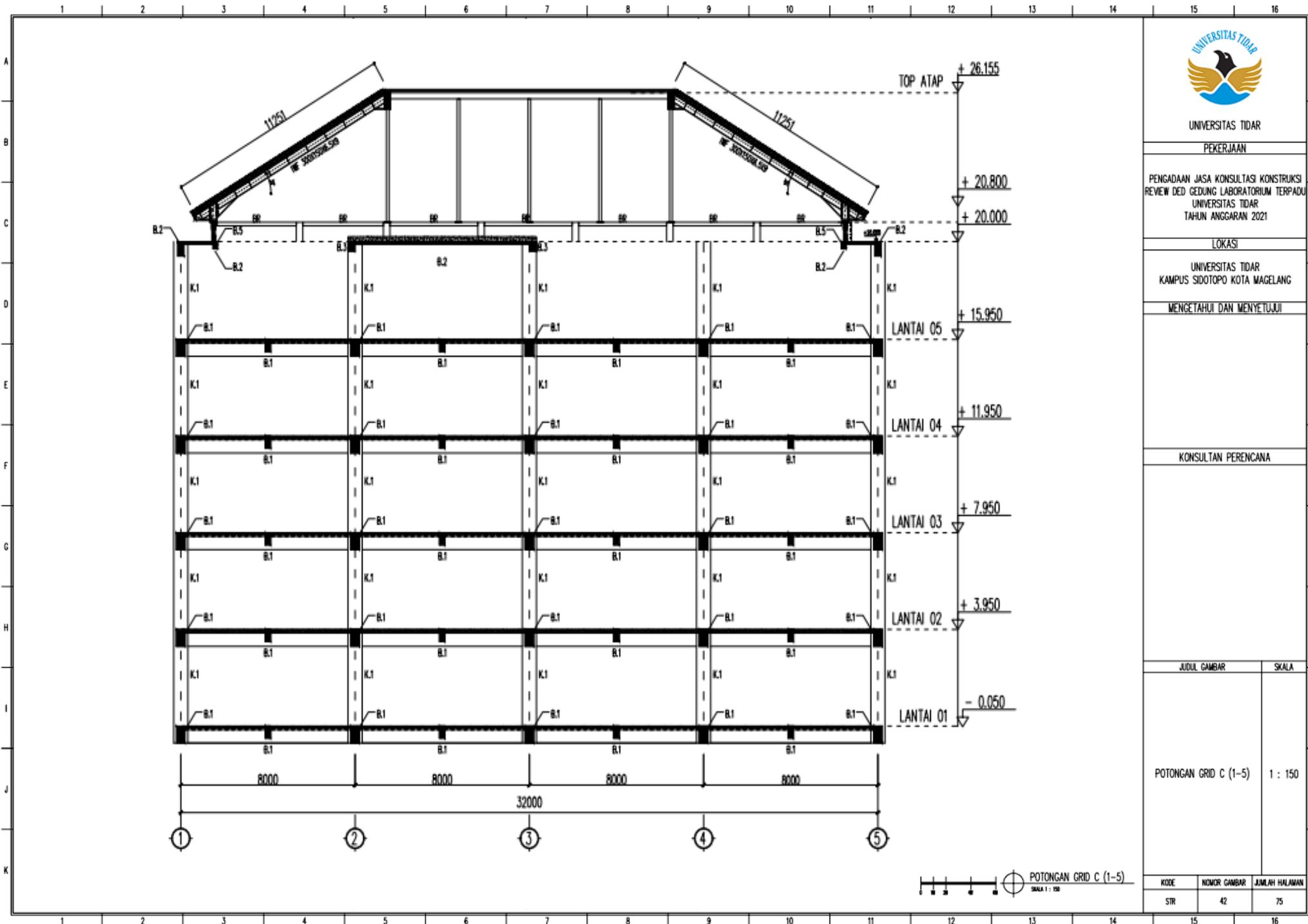
UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

JUDUL GAMBAR	SKALA	
POTONGAN GRID 2 (A-D)	1 : 150	
KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	41	75

POTONGAN GRID 2 (A-D)
SKALA 1 : 150



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
 REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
 UNIVERSITAS TIDAR
 TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
 KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

JUDUL GAMBAR

SKALA

POTONGAN GRID C (1-5)

1 : 150

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	42	75

POTONGAN GRID C (1-5)
 SKALA : 1 : 150



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENSETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL PEMESIAN

1 : 75

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	67	75

S.1	Sloof Beton - 300x600 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK SLOOF		
Tulangan atas	7 D22	3 D22
Tulangan bawah	3 D22	5 D22
Tulangan pinggang	2 D13	2 D13
Senggang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	4 CM	4 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

S.2	Sloof Beton - 200x300 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK SLOOF		
Tulangan atas	3 D 16	3 D 16
Tulangan bawah	3 D 16	3 D 16
Tulangan pinggang		
Senggang/Begel	D10 - 100	D10 - 200
Selimit beton	4 CM	4 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

K.1	Kolom Beton - 650x650 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN KOLOM		
Jumlah Tulangan	36 D25	36 D25
Senggang/Begel	D10 - 100	D10 - 100
Selimit beton	4 CM	
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

K.2	Kolom Beton - 350x350 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN KOLOM		
Jumlah Tulangan	12 D22	12 D22
Senggang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	4 CM	
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS TIDAR
TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENSETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL PEMBESIAN

1 : 100

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR	69	75

B.1	Balok Beton - 400x700 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK		
Tulangan atas	9 D22	5 D22
Tulangan bawah	5 D22	5 D22
Tulangan pinggang	2 D13	2 D13
Sengkang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	5 CM	5 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

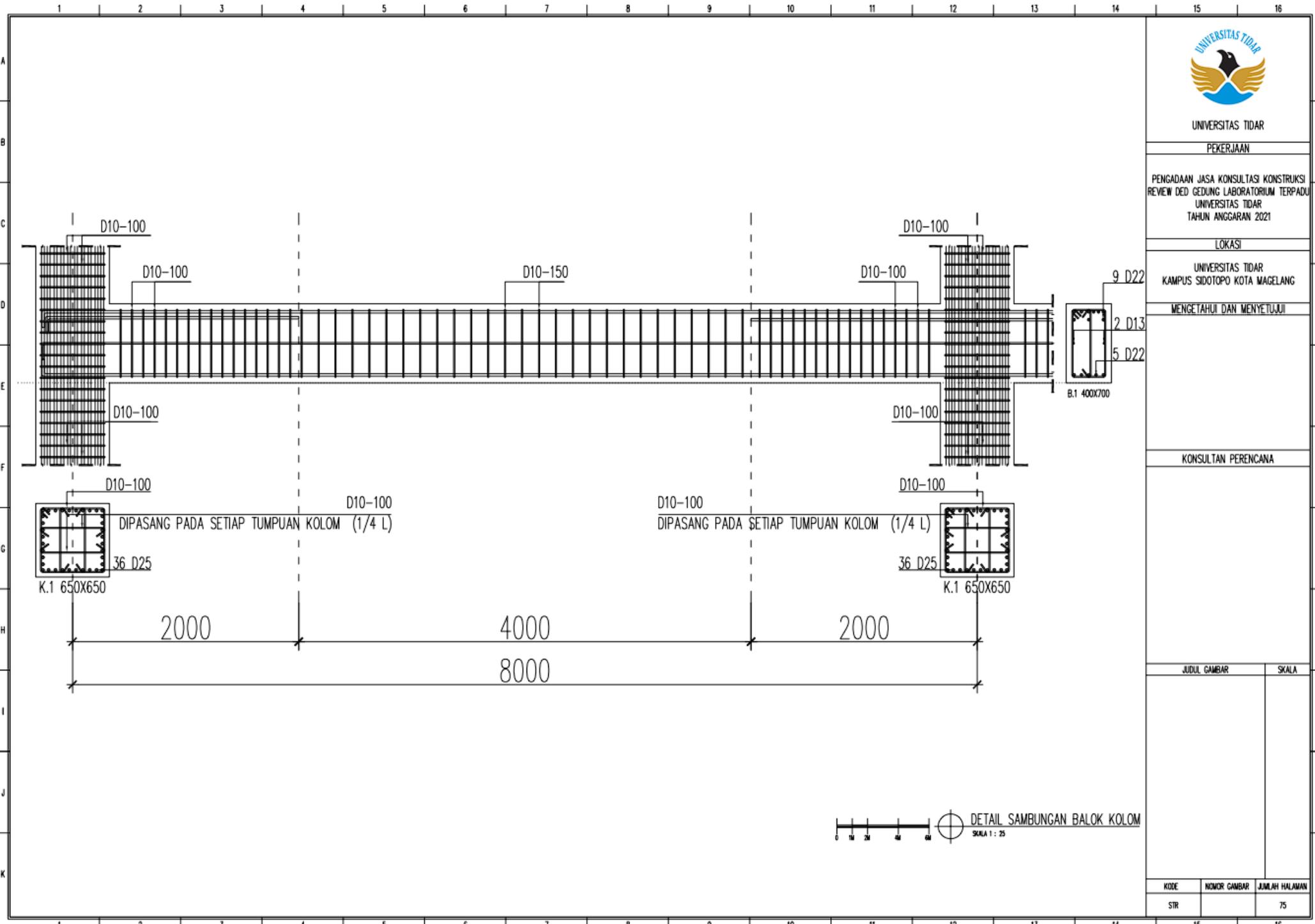
B.2	Balok Beton - 300x600 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK		
Tulangan atas	7 D19	4 D19
Tulangan bawah	3 D19	4 D19
Tulangan pinggang	2 D13	2 D13
Sengkang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	4 CM	4 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

B.3	Balok Beton - 300x400 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK		
Tulangan atas	3 D19	3 D19
Tulangan bawah	3 D19	3 D19
Tulangan pinggang	2 D13	2 D13
Sengkang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	4 CM	4 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

B.4	Balok Beton - 250x500 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK		
Tulangan atas	5 D19	3 D19
Tulangan bawah	3 D19	3 D19
Tulangan pinggang	2 D13	2 D13
Sengkang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	5 CM	5 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

B.5	Balok Beton - 200x300 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK		
Tulangan atas	3 D13	3 D13
Tulangan bawah	3 D13	3 D13
Tulangan pinggang		
Sengkang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	4 CM	4 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	

B.6	Balok Beton - 250x400 mm	
	Tumpuan	Lapangan
POTONGAN BALOK		
Tulangan atas	5 D16	3 D16
Tulangan bawah	3 D16	3 D16
Tulangan pinggang		
Sengkang/Begel	D10 - 100	D10 - 150
Selimit beton	4 CM	4 CM
Mutu beton	F'c : 26,4 MPa	
Mutu baja	ULIR (D) U 40	



UNIVERSITAS TIDAR

PEKERJAAN

PENGADAAN JASA KONSULTASI KONSTRUKSI
 REVIEW DED GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
 UNIVERSITAS TIDAR
 TAHUN ANGGARAN 2021

LOKASI

UNIVERSITAS TIDAR
 KAMPUS SIDOTOPO KOTA MAGELANG

MENGETAHUI DAN MENYETUJUI

KONSULTAN PERENCANA

JUDUL GAMBAR

SKALA

KODE	NOMOR GAMBAR	JUMLAH HALAMAN
STR		75