

SKRIPSI

**PERENCANAAN STRUKTUR PEMBANGUNAN GEDUNG 3 LANTAI
SMPN 9 BUKITTINGGI**

*Disusun sebagai salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Sipil Strata Satu (S1)*



Oleh :

FERCI UMMIA SA'ADAH

181000222201117

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT

2022

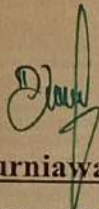
HALAMAN PENGESAH

PERENCANAAN STRUKTUR PEMBANGUNAN GEDUNG 3 LANTAI
SMPN 9 BUKITTINGGI

Oleh :

FERCI UMMIA SA' ADAH
181000222201049

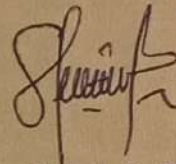
Dosen Pembimbing I,



Deddy Kurniawan, S.T, M. T.

NIDN. 1022018303

Dosen Pembimbing II,



Selpa Dewi, S. T., M. T.

NIDN. 1011097602

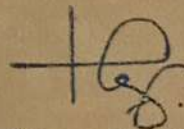
Dekan Fakultas Teknik
UM Sumatera Barat,



Masril, S. T., M. T.

NIDN. 1005057407

Ketua Program Studi
Teknik Sipil,



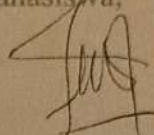
Helga Yermadona, S. Pd., M. T.

NIDN. 1013098502

LEMBARAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Penguji pada ujian tertutup tanggal 24 Agustus 2022 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

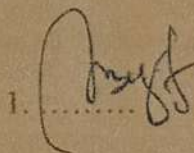
Bukittinggi, 07 September 2022
Mahasiswa,



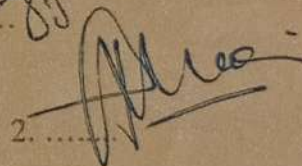
Ferci Ummia Sa'adah
181000222201049

Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal 07 September 2022 :

1. Febrimen Herista, S.T, M.T

1.


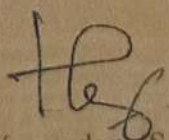
2. Ishak, S.T, M.T

2.


Mengetahui,

Ketua Program Studi

Teknik Sipil



Helga Yermadona S.Pd, M.T

NIDN. 1013098502

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ferci Ummia Sa'adah

NIM : 181000222201049

Judul Skripsi : PERENCANAAN STRUKTUR PEMBANGUNAN GEDUNG 3
LANTAI SMPN 9 BUKITTINGGI

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Bukittinggi, 07 September 2022



Ferci Ummia Sa'adah

NIM. 181000222201049

ABSTRAK

Perencanaan Struktur gedung SMPN 9 Bukittinggi bertujuan untuk meningkatkan daya tampung siswa/I dibukittinggi. Perencanaan ini merencanakan pembangunan struktur gedung untuk mencapai perencanaan yang kuat, aman, serta memenuhi syarat yang telah di atur dalam peraturan-peraturan yang berlaku untuk perencanaan struktur gedung. Perencanaan Struktur SMPN 9 Bukittinggi *dipreliminary Desain* menggunakan ETABS. Pembeban yang diinput pada ETABS ialah beban mati, beban hidup, berat sendiri bangunan, beban gempa. Dari hasil *preliminary desain* didapatkan hasil penulangan balok induk (BI 1) ukuran 35×40 dengan mutu beton 30 Mpa, mutu baja 400 Mpa, penulangan tumpuan atas 4D16, tumpuan bawah 2D16, penulangan lapangan atas 4D16, lapangan bawah 2D16, tulangan sengkang tumpuan $\emptyset 10 - 100$, sengkang lapangan $\emptyset 10 - 150$. Kolom ukuran 60×45 mutu beton 30 Mpa, Mutu Baja 400 Mpa tulangan total aksial 24 D 22. Penulangan pelat atap tumpuan $\emptyset 10 - 150$, lapangan $\emptyset 10 - 300$. Penulangan pelat lantai tumpuan $\emptyset 10 - 150$, lapangan $\emptyset 10 - 300$. Dari perencanaan diatas dapat disimpulkan telah memenuhi syarat dan ketentuan yang ada pada peraturan dan standar indonesia.

Kata Kunci : *Struktur Balok, Kolom, Pelat lantai, Pelat Atap, Pembebanan, Tulangan*



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala berkat yang telah diberikan-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu kewajiban yang harus diselesaikan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, Skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini, yaitu kepada:

1. Bapak Masril, ST. MT selaku Dekan Fakultas Teknik UMSB.
2. Ibu Helga Yermadona, ST. MT, selaku Ketua Prodi Teknik Sipil
3. Bapak Deddy Kurniawan, ST. MT, selaku Dosen Pembimbing I skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis.
4. Ibu Selpa Dewi, ST. MT, selaku Dosen Pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis.
5. Orang tua, kakak dan adik yang telah memberikan dukungan moril, doa, dan kasih sayang.
6. Teman – teman yang sudah memberikan support dan semangat.
7. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu

Akhir kata, penulis menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya, khususnya mahasiswa teknik sipil.

Bukittinggi, 18 Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR NOTASI.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Struktur	5
2.2 Pembebanan Struktur.....	5
2.3 Beban Mati	5
2.2.1 Beban Hidup.....	7
2.2.2 Beban gempa	9
2.2.3 Beban angin	28
2.2.4 Faktor Beban dan Kombinasi Beban	29
2.4 Struktur Atas.....	30
2.4.1 Kolom (<i>Column</i>).....	32
2.4.2 Balok.....	39
2.4.3 Pelat lantai	47
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	55
3.1 Lokasi Penelitian	55
3.2 Data Penelitian.....	55
3.3.1 Jenis dan Sumber data	55
3.3.2 Teknik Pengumpulan Data	57
3.3 Metode Analisis Data	57
3.4 Bagan Alir Penelitian (<i>Flowchart</i>).....	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	59
4.1 <i>Preliminary Design</i>	59
4.1.1 Perencanaan Dimensi Kolom (<i>coloumn</i>)	59
4.1.2 Perencanaan Dimensi Balok	60
4.1.3 Perencanaan Dimensi Pelat Balok	62
4.2 Pembebanan	65
4.2.1 Beban Mati	65
4.2.2 Beban Hidup	66
4.2.3 Beban Gempa	69
4.3 Perhitungan Struktur Menggunakan Aplikasi <i>ETABS Versi 18</i>	74

4.3.1	Penginputan Data Material	74
4.3.2	Penginputan <i>Section Properties</i>	75
4.3.3	Penggambaran Grid Bangunan dengan Aplikasi <i>ETABS Versi 18</i>	77
4.3.4	Penggambaran Struktur dan Dimensi Struktur Gedung dengan Aplikasi <i>ETABS Versi 18</i>	78
4.3.5	Penginputan Beban yang Bekerja	78
4.3.6	Kombinasi Pembebanan	80
4.3.7	Analisa Struktur	82
4.3.8	Kontrol dan Analisis	84
4.3.8.1	Partisipasi Massa	84
4.3.8.2	Perhitungan Faktor Skala Gempa	85
4.3.8.3	Pengecekan Simpangan Antar Lantai	87
4.3.8.4	Pengecekan P Delta	88
4.3.9	Gaya Dalam Struktur	90
4.3.9.1	Balok	90
4.3.9.2	Kolom	91
4.3.9.3	Pelat Lantai	91
4.3.9.4	Ring Balok	91
4.4	Perencanaan Tulangan	93
4.4.1	Balok	93
4.4.2	Kolom	98
4.4.3	Pelat Lantai	99
4.4.4	Tangga	99
BAB V PENUTUP		101
5.1	Kesimpulan	101
5.2	Saran	102
DAFTAR PUSTAKA		104
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan.....	6
Tabel 2.2 Berat Komponen Bangunan.....	7
Tabel 2.3 Beban Hidup pada Lantai Gedung.....	8
Tabel 2.4 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa.....	9
Tabel 2.5 Faktor keutamaan gempa.....	11
Tabel 2.6 Kombinasi beban untuk <i>metode ultimit</i>	12
Tabel 2.7 Klasifikasi situs.....	14
Tabel 2.8 Koefisien Situs, F_a	15
Tabel 2.9 Koefisien Situs, F_v	16
Tabel 2.10 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek.....	19
Tabel 2.11 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.....	19
Tabel 2.12 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.....	23
Tabel 2.13 Nilai parameter periode pendekatan C_r dan x	23
Tabel 2.14 Bagian pasal 18 yang harus dipenuhi dalam penerapan pada umumnya.....	31
Tabel 2.15 Tulangan <i>transversal</i> untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus.....	38
Tabel 2.16 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior (mm).....	51
Tabel 2.17 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya.....	51
Tabel 2.18 Koefisien distribusi untuk bentang ujung.....	53
Tabel 2.19 Bagian momen negatif <i>interior</i> M_u di lajur kolom.....	54
Tabel 2.20 Bagian momen negatif <i>eksterior</i> M_u di lajur kolom.....	54
Tabel 2.21 Bagian momen negatif <i>interior</i> M_u di lajur kolom.....	54
Tabel 4.1 Massa Efektif Lantai Bangunan (Lantai 1).....	65
Tabel 4.2 Massa Efektif Lantai Bangunan (Lantai 2 – Lantai 3).....	66
Tabel 4.3 Massa Efektif Lantai Atap (Lantai 3).....	66
Tabel 4.4 Beban Hidup Lantai 2.....	67
Tabel 4.5 Beban Hidup Lantai 3.....	67
Tabel 4.6 Beban Hidup Lantai Dack.....	67
Tabel 4.7 Perhitungan Parameter Beban Gempa.....	69
Tabel 4.8 Tabel <i>Spektrum Respon</i> Percepatan <i>Desain</i> (S_a) terhadap Periode (T).....	72
Tabel 4.9 Distribusi vertikal gaya gempa pada arah-X.....	74
Tabel 4.10 Distribusi vertikal gaya gempa pada arah-Y.....	74
Tabel 4.11 Periode arah X dan Y pada <i>ETABS</i>	86
Tabel 4.12 Perhitungan Nilai C_s	86
Tabel 4.13 Nilai gaya geser.....	87
Tabel 4.14 Perhitungan Faktor Skala.....	87
Tabel 4.15 Hasil Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X.....	88
Tabel 4.16 Hasil Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y.....	88

Tabel 4.17	Hasil Pengecekan P-Delta	89
Tabel 4.18	Rekap Gaya Dalam Balok Gedung Kuliah	90
Tabel 4.19	Rekap Gaya Dalam Kolom Gedung Kuliah	91
Tabel 4.20	Rekap Gaya Dalam Pelat Lantai Gedung Kuliah	91
Tabel 4.21	Rekap Gaya Dalam Ring Balok Gedung Kuliah	92
Tabel 4.22	Rekap Momen yang Bekerja di Tangga	100
Tabel 5.1	Dimensi perencanaan tulangan balok	102
Tabel 5.2	Dimensi perencanaan tulangan ring balok	102
Tabel 5.3	Dimensi perencanaan tulangan kolom	102



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Jarak patahan untuk berbagai lokasi situs proyek 13
Gambar 2.2	Spektrum respons desain 18
Gambar 2.3	Parameter gerak tanah S_s gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk <i>spektrum respons</i> 0,2 detik (redaman kritis 5%) 27
Gambar 2.4	PGA. Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata <i>geometrik</i> (MCE_G) wilayah Indonesia..... 27
Gambar 2.5	<i>Respons</i> 0,2-detik 27
Gambar 2.6	C_{R1} , <i>Koefisien</i> risiko terpetakan, periode <i>respons spektral</i> 1 detik 28
Gambar 2.7	Peta <i>transisi periode</i> panjang, T_L , wilayah Indonesia..... 28
Gambar 2.8	Kolom..... 32
Gambar 2.9	Jenis-jenis Kolom..... 33
Gambar 2.10	Dimensi Kolom 34
Gambar 2.11	Contoh penulangan <i>transversal</i> pada kolom 36
Gambar 2.12	Contoh penulangan <i>transversal</i> pada kolom dengan $P_u > 0,3A_g f_c'$ atau $f_c' > 70$ Mpa 37
Gambar 2.13	Balok 40
Gambar 2.14	Lebar efektif maksimum balok lebar (<i>wide beam</i>) dan persyaratan tulangan <i>transversal</i> 42
Gambar 2.15	Persyaratan Tulangan Lentur SRPMK 43
Gambar 2.16	Persyaratan Sambungan Lewatan SRPMK 44
Gambar 2.17	Contoh sengkang tertutup (<i>hoop</i>) yang dipasang bertumpuk dan <i>ilustrasi</i> batasan maksimum spasi <i>horizontal</i> penumpu 45
Gambar 2.18	Gaya Geser Rencana Pada Komponen Struktur Lentur ... 47
Gambar 2.19	Pelat Lantai 48
Gambar 2.20	Jenis pelat lantai berdasarkan tumpuan 48
Gambar 2.21	Jenis pelat lantai berdasarkan perletakan 49
Gambar 2.22	Jenis pelat lantai pelat satu arah 50
Gambar 2.23	Jenis pelat lantai pelat dua arah 50
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian 55
Gambar 3.2	<i>Diagram Alir</i> Penelitian 58
Gambar 4.1	<i>Dimensi</i> kolom yang akan digunakan 60
Gambar 4.2	<i>Dimensi</i> balok yang akan digunakan 61
Gambar 4.3	Penampang plat lantai 62
Gambar 4.4	<i>Dimensi</i> Plat Lantai 63
Gambar 4.5	<i>Dimensi</i> Plat Lantai 63
Gambar 4.6	Titik berat pada penampang 64
Gambar 4.7	<i>Spektrum Respon</i> Percepatan <i>Desain</i> (S_a) terhadap <i>Periode</i> (T) 71
Gambar 4.8	Penginputan data mutu material pada aplikasi <i>ETABS</i> ... 75
Gambar 4.9	Penginputan dimensi balok pada aplikasi <i>ETABS</i> 76

Gambar 4.10	Penginputan dimensi kolom pada aplikasi <i>ETABS</i>	76
Gambar 4.11	Penginputan data dimensi pelat lantai pada aplikasi <i>ETABS</i>	77
Gambar 4.12	Penggambaran grid Bangunan pada aplikasi <i>ETABS</i>	77
Gambar 4.13	Penggambaran Struktur Bangunan pada aplikasi <i>ETABS</i>	78
Gambar 4.14	Penginputan Brban Hidup Struktur Gedung	79
Gambar 4.15	Penginputan Beban Mati Struktur Gedung	79
Gambar 4.16	Penginputan Beban Gempa Respon Spektrum di <i>ETABS</i>	80
Gambar 4.17	Penginputan Kombinasi Pembebanan di <i>ETABS</i>	81
Gambar 4.18	Pemodelan Gedung Kuliah setelah di <i>Run</i> di <i>ETABS</i>	82
Gambar 4.19	Diagram <i>Momen</i> Portal Struktur Gedung Kuliah Arah X	82
Gambar 4.20	Diagram Geser Portal Struktur Gedung Kuliah Arah X	83
Gambar 4.21	Diagram Normal Portal Struktur Gedung Kuliah Arah X	83
Gambar 4.22	Diagram <i>Momen</i> Portal Struktur Gedung Kuliah Arah Y	83
Gambar 4.23	Diagram Geser Portal Struktur Gedung Kuliah Arah Y	84
Gambar 4.24	Diagram Normal Portal Struktur Gedung Kuliah Arah Y	84
Gambar 4.25	<i>Modal Participating Mass Ratios</i>	85
Gambar 4.26	Diagram <i>Story Drift</i> Arah X dan Y	88
Gambar 4.27	Diagram P-Delta Arah X dan Y	89
Gambar 4.28	Syarat geser desain balok SRPMK	94
Gambar 4.29	Tulangan Balok 300 x 400 mm Bentang 2,5 m	94
Gambar 4.30	Tulangan Balok 300 x 400 mm Bentang 3 m	95
Gambar 4.31	Tulangan Balok 300 x 400 mm Bentang 4 m	95
Gambar 4.32	Tulangan Balok 300 x 400 mm Bentang 5 m	95
Gambar 4.33	Tulangan Balok 300 x 400 mm Bentang 6 m	96
Gambar 4.34	Tulangan Ring Balok 250 x 300 mm Bentang 2,5 m	96
Gambar 4.35	Tulangan Ring Balok 250 x 300 mm Bentang 3 m	96
Gambar 4.36	Tulangan Ring Balok 250 x 300 mm Bentang 4 m	97
Gambar 4.37	Tulangan Ring Balok 250 x 300 mm Bentang 5m	97
Gambar 4.38	Tulangan Ring Balok 250 x 300 mm Bentang 6 m	97
Gambar 4.39	Syarat geser desain kolom SRPMK	98
Gambar 4.40	Tulangan Kolom 350 x 400 mm	99
Gambar 4.41	Permodelan Tangga 2D di <i>SAP2000</i>	99
Gambar 4.42	Input Beban Mati dan Beban Hidup	100
Gambar 4.43	Momen yang Bekerja di Tangga	100

DAFTAR NOTASI

A_B	= luas dasar struktur (m ²)
A_i	= luas badan dinding geser ke- i (m ²)
b	= Lebar elemen struktur
C_{RS}	= Nilai terpetta koefisien risiko spesifik situs pada periode pendek
C_{RI}	= Nilai terpetta koefisien risiko spesifik situs pada periode 1 detik
C_s	= <i>Koefisien</i> respons seismic
C_u	= <i>Koefisien</i> untuk batasan atas pada periode yang dihitung
C_v	= <i>Koefisien</i> vertikal
C_{vx}	= Faktor distribusi vertical
D	= Beban mati.
D_l	= Panjang dinding geser ke- i (m)
E	= Beban gempa
F_a	= Beban banjir
F_i, F_x	= Bagian dari gaya geser dasar seismic, V , pada tingkat $-i$ atau tingkat $-x$
F_{PGA}	= <i>Koefisien</i> situs untuk PGA
F_v	= <i>Koefisien</i> situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik),
F_x	= <i>Gaya seismic lateral</i> (kN) di level- x
F_l	= Bagian dari geser dasar <i>seismik</i> (V) pada tingkat ke- i (kN)
H	= Beban akibat tekanan tanah lateral, tekanan air tanah, atau tekanan dari material dalam jumlah besar
h	= Tinggi <i>Elemen</i> struktur
h	= tinggi rata-rata struktur diukur dari dasar hingga <i>level</i> atap
h^*	= tinggi efektif dari bangunan (m),
h_i	= tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
h_n	= Ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan <i>koefisien</i> C_i dan x ditentukan dari Tabel 2.13
hx	= tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
I_e	= Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 0
I_p	= Faktor keutamaan <i>elemen</i> yang ditentukan sesuai dengan 0
k	= Eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut: untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$ untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$ untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2
MCE	= Gempa maksimum yang dipertimbangkan
MCEG	= Nilai tengah <i>geometrik</i> gempa tertimbang maksimum
MCE _R	= Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget
N	= Beban nosional untuk <i>integritas</i> struktural
N	= Jumlah tingkat
N_{ch}	= Tahanan <i>penetrasi</i> standar rata-rata tanah <i>nonkohesif</i> dalam lapisan 30 m paling atas
PI	= <i>Indeks</i> plastisitas tanah
L	= Beban hidup

L_r	= Beban hidup atap
L_0	= Pengaruh beban hidup desain tanpa reduksi
R	= Beban air hujan
R	= Koefisien modifikasi <i>respons</i> dalam
SA	= Kelas situs batuan keras
S_a	= <i>Respons spektra</i> percepatan
SB	= Kelas situs batuan
SC	= Kelas situs tanah keras, sangat padat dan batuan lunak
SD	= Kelas situs tanah sedang
S_{DS}	= Percepatan <i>spektral</i> desain untuk periode pendek
S_{D1}	= Percepatan <i>spektral</i> desain untuk periode 1 detik.
SE	= Kelas <i>situs</i> tanah lunak
Se	= Momen, geser, atau gaya aksial pada sambungan yang terkait dengan pembentukan kekuatan mungkin di lokasi leleh yang diharapkan, berdasarkan pada mekanisme deformasi lateral inelastik yang menentukan, dengan meninjau baik pengaruh gravitasi dan gempa
SF	= Tanah khusus, yang membutuhkan <i>investigasi geoteknik spesifik</i> dan analisis <i>respons spesifik</i> -situs yang mengikuti 0
S_{MS}	= parameter <i>respons spektral</i> percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek
S_{M1}	= parameter <i>respons spektral</i> percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik
S_s	= Parameter percepatan <i>respons spektral</i> MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen, didefinisikan dalam 0
S_u	= Kuat geser niralir
S_1	= Parameter percepatan <i>respons spektral</i> MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen; didefinisikan dalam 0
T	= <i>Efek kumulatif</i> dari gaya regangan sendiri dan efeknya yang timbul dari kontraksi atau ekspansi akibat perubahan temperatur lingkungan atau operasional, penyusutan, perubahan kelembaban, rangkai pada material komponen, pergerakan yang disebabkan oleh perbedaan penurunan, atau kombinasinya
T_a	= <i>Perioda fundamental</i> pendekatan
T_0	= $0,2 \frac{S_{DS}}{S_{D1}}$
T_s	= $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
T_L	= Peta transisi perioda panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.2
V	= Geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau, seperti ditentukan menggunakan prosedur dalam 0
V	= Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)
V_s	= Total gaya (geser) <i>lateral seismik</i> rencana
V_t	= Nilai desain dari gaya geser dasar akibat <i>seismik</i>
V_x	= Geser <i>seismik</i> desain di tingkat x
W	= Beban angin
W	= Berat <i>seismik efektif</i> menurut 0
W_x	= Bagian beban mati total struktur, D, yang bekerja pada lantai- x

- w_i dan w_x = bagian berat *seismik efektif* total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
- w = Kadar air tanah (persen)
- x = Tingkat yang sedang ditinjau, 1 menandakan tingkat pertama setelah lantai dasar
- $\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.
- $\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Sumatera Barat merupakan wilayah dengan penduduk yang cukup tinggi, salah satunya adalah Bukittinggi. Dengan munculnya tuntutan akan peningkatan ketersediaan sarana yang dibutuhkan manusia, dan banyaknya jumlah siswa tamatan SD yang akan melanjutkan sekolah ke tingkat SMP dan mengingat saat ini baru 9 SMP Negeri yang mungkin beberapa tahun mendatang tidak dapat lagi menampung para calon siswa tamatan SD. Oleh karena itu, perencanaan sangat dianjurkan saat ini dengan desain bangunan yang tepat karena pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat dan persediaan lahan berkurang seiring dengan meningkatnya permintaan untuk bangunan tersebut.

Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan melakukan pembangunan secara vertical, yakni dengan bangunan gedung bertingkat. Dalam perencanaan bangunan bertingkat harus memperhatikan beberapa factor penting, antara lain, fungsi, kekuatan, keamanan, kestabilan, keindahan serta keekonomian. Didalam perencanaan suatu bangunan dapat di harapkan bangunan tersebut aman, kuat, dan ekonomis. Baik gaya lateral maupun aksial harus diperhatikan agar struktur dapat menahan gaya-gaya tersebut. Sehingga di dalam perencanaan suatu struktur gedung, perlu dilakukan analisis terhadap gedung tersebut.

Struktur suatu bangunan secara umum dapat dibedakan menjadi dua bagian utama yaitu struktur atas dan struktur bawah. Struktur atas terdiri dari atap, balok, kolom, dan pelat lantai yang berfungsi untuk mendukung beban yang bekerja pada suatu bangunan. Sedangkan struktur bawah terdiri dari atas pondasi yang berfungsi untuk menahan dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah keras

Pelaksanaan struktur atas dapat dilakukan dengan cara, yaitu analisis struktur secara manual maupun dengan menggunakan bantuan program computer yaitu menggunakan aplikasi *ETABS 16*. Untuk lebih mempermudah perhitungan struktur serta menghemat waktu dan tenaga, maka dalam penulisan menggunakan *ETABS 16* untuk menghitung faktor beban yang bekerja pada gedung ini seperti gaya yang bekerja pada pelat lantai, balok, kolom, pondasi.

1.2 Perumusan masalah

Melakukan Perencanaan struktur bangunan SMP N 9 Bukittinggi adalah sebagai berikut:

1. Berapakah besar beban maksimal yang dipikul oleh gedung ini baik beban mati,beban hidup maupun beban gempa ?
2. Berapakah dimensi elemen struktur atas yang berupa kolom,balok,plat lantai agar mampu memikul beban maksimal (beban mati,beban hidup dan beban gempa)
3. *Analisis* perhitungan struktur atas dengan menggunakan *aplikasi ETABS*

16

1.3 Maksud dan Tujuan

Tujuan dari pembuatan skripsi adalah agar penulis dapat merancang struktur bangunan bertingkat yang efisien dan tahan gempa yang memenuhi syarat-syarat kekuatan dan keamanan sesuai dengan peraturan standar Nasional Indonesia (SNI)

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah antara lain;

1. Menghitung penulangan dan pembebanan dak atap, pelat lantai, balok dan tangga
2. Menghitung pembebanan struktur atas dan bawah
3. Perhitungan beban terdiri dari 3 lantai

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini, penulis membagi dalam beberapa bab yang meliputi Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Analisis dan pembahasan serta penutup, susunan proposal skripsi ini secara garis besar adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini membahas latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah,maksud dan tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini membahas mengenai metode pengumpulan data dan metode analisis

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan dasar-dasar teori yang berhubungan dengan permasalahan dan pembuatan penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Dalam bab ini merangkum kesimpulan yang dapat ditarik dalam penelitian ini saran-saran yang dapat diberikan mengenai penelitian ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur

Struktur bangunan adalah bagian-bagian yang membentuk bangunan seperti pondasi, sloof, dinding, kolom, ring, kuda-kuda, dan atap. Pada prinsipnya struktur bangunan untuk meneruskan beban bangunan dari bagian bangunan atas menuju bagian bangunan bawah lalu menyebarkan ke tanah. Struktur bangunan pada umumnya terdiri dari struktur bawah (*lower structure*) dan struktur atas (*upper structure*).

Menurut SNI 1726-2019, bangunan bawah adalah bagian dari suatu struktur bangunan gedung yang terletak di bawah permukaan tanah yang dapat terdiri dari struktur bawah tanah dan/atau struktur pondasi dengan struktur atas (*upper structure*) adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di atas muka tanah. Masing-masing komponen tersebut memiliki fungsi yang berbeda dalam strukturnya. Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan seperti beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban gempa (*earthquake*), dan beban angin (*wind load*).

2.2 Pembebanan Struktur

Pembebanan merupakan faktor penting dalam merancang struktur bangunan. Berdasarkan SNI 1726 tahun 2019 beban adalah gaya-gaya atau aksi-aksi lainnya yang dihasilkan dari berat seluruh material bangunan, hunian dan pemanfaatannya, pengaruh-pengaruh lingkungan, pergerakan relative, beda penurunan, dan perubahan-perubahan dimensi yang tertahan. Untuk merancang suatu struktur gedung perlu mengidentifikasi beban nominal yang bekerja pada struktur. Beban nominal yang bekerja pada struktur dapat digolongkan dalam tiga bagian, yaitu beban mati, beban hidup, dan beban akibat pengaruh alam.

2.2.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap, meliputi semua penambahan, penyelesaian akhir, mesin dan peralatan yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari bangunan (PPIUG 1983). Biasanya beban mati merupakan beban sendiri dari satu bangunan, sehingga besarnya dapat dihitung secara akurat berdasarkan ukuran bentuk, dan berat jenis materialnya. Jadi, berat dinding, lantai, balok, langit-langit, dan sebagainya dianggap beban mati dari suatu bangunan”.

Dalam menentukan beban mati suatu gedung harus ditinjau dari berat sendiri dari bahan bangunan gedung tersebut. Maka pedoman menentukan beban mati tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1 berat sendiri bahan bangunan dan tabel 2.2 berat komponen gedung.

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Beban Mati	Kg/m³
Baja	7.850
Batu Alam	2.600
Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gung (Berat tumpuk)	1.500
Batu Karang (berat tumpuk)	700
Batu Pecah	1.450
Besi Tuang	7.250
Beton ⁽¹⁾	2.200
Beton Bertulang ⁽²⁾	2.400
Kayu (kelas I) ⁽³⁾	1.000
Kerikil, Koral (Kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650
Pasangan Batu Merah	1.700
Pasangan Batu Belah, batu bulat, batu gunung	2.200
Pasangan batu cetak	2.200
Pasangan batu karang	1.450
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600
	1.800
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850
Tanah, Lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700
Tanah, Lempung dan lanau (basah)	2.000

Timah hitam (timbel)	11.400
----------------------	--------

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (1983)

Tabel 2.2 Berat Komponen Bangunan

Komponen Gedung	Kg/m ²
Adukan per cm tebal :	
a. Dari semen	21
b. Dari kapur semen merah atau teras	17
Aspal per cm tebal	14
Dinding pasangan bata merah	
a. Sau batu	450
b. Setengah batu	250
Dinding pasangan batako	
Berlubang:	
a. 20cm	200
b. 10cm	120
Tanpa lubang	
a. 15	300
b. 10	200
Langit-langit dan dinding terdiri dari:	
a. Semen asbes	11
b. Kaca 3-5 mm	10
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu tanpa langit-langit benteng maksimum 5 m beban hidup 200kg/m ²	40
Penggantung langit-langit dari kayu	7
Penutup atap genting dengan reng dan usuk	50
Penutup atap sirap	40
Penutup atap seng gelombang	10
Penutup lantai daari ubin	24
Semen asben gelombang	11

Sumber: peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (1983)

2.2.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari baarang-barang yang berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut (PPIUG 1983). Contoh dari beban hidup adalah beban hunian, lalu lintas orang, dan lalu lintas kendaraan

(jembatan). “beban hidup minimum diterapkan pada bangunan biasanya ditetapkan dalam peraturan setempat yang berlaku. Beban hidup dapat direkduksi bila tidak semua daerah pembebanan dibebani penuh secara bersamaan, atau untuk elemen yang mempunyai daerah pembebanan yang luas” (Laurentis dan Syahril, 1999; 8).

Berdasarkan Pedoman pembebanan untuk rumah dan gedung, berat beban hidup yang terjadi pada lantai gedung dapat ditentukan berdasarkan pada tabel

Tabel 2.3 Beban Hidup pada Lantai Gedung

	Beban hidup	kg/m³
A	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200
B	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang yang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125
C	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, rumah sakit	250
D	Lantai ruang olahraga	400
E	Lantai ruang dansa	500
F	Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain, dari pada yang disebut dalam a sampai e, seperti mesjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap.	400
G	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton berdiri	500
H	Tangga, bordes tangga dan gang yang disebut dalam c	300
I	Tangga, bordes tangga dan gang yang disebut dalam d, e, f, dan g	500
J	Lantai untuk: pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan sendiri	400
K	Lantai gedung parkir bertingkat a. Untuk lantai bawah b. Untuk lantai tingkat lainnya	800 400
L	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300

Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (1983)

2.2.3 Beban gempa

Beban gempa adalah semua beban static ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa atau bagian yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa.

Dalam SNI 1726-2019 "Tata cara menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan nongedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum". SNI 1726-2019 menjelaskan kemungkinan runtuh sebesar 2% umur struktur bangunan 50 tahun

a. Faktor keutamaan gempa dan kategori risiko struktur bangunan

Struktur bangunan gedung dan non gedung dalam berbagai kategori risiko (Tabel 2.4) pengaruh gempa rencana terhadap bangunan tersebut harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa (I_e) menurut tabel 2.5. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 2.4 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: a. Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan b. Fasilitas sementara c. Gudang penyimpanan d. Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	II

<ul style="list-style-type: none"> a. Perumahan b. Rumah toko dan rumah kantor c. Pasar d. Gedung perkantoran e. Gedung apartemen/ rumah susun f. Pusat perbelanjaan/ mall g. Bangunan industri h. Fasilitas manufaktur i. Pabrik 	
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Bioskop b. Gedung pertemuan c. Stadion d. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat e. Fasilitas penitipan anak f. Penjara g. Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Pusat pembangkit listrik biasa b. Fasilitas penanganan air c. Fasilitas penanganan limbah d. Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	<p>III</p>
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Bangunan-bangunan monumental 	<p>IV</p>

<ul style="list-style-type: none"> b. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan c. Rumah ibadah d. Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat e. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat f. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya g. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat h. Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat i. Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

(sumber : Tabel 3 SNI 1726 2019)

Tabel 2.5 Faktor keutamaan gempa

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

(sumber : Tabel 4 SNI 1726 2019)

b. Kombinasi beban terfaktor

Dari perhitungan pembebanan, angka kombinasi pembebanan dapat dimasukkan ke aplikasi pendukung, serta kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 03-1727-2013 yang dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kombinasi beban untuk metode ultimit

Beban	Kombinasi <i>ultimit</i>
Beban mati	1,4 D
Beban hidup	1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L _r atau R)
Beban angin	1,2 D + 1,6 (L _r Atau R) + (L atau 0,5 W) 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L _r atau R) 0,9 D + 1,0 W
Beban Gempa	1,2 D + 1,0 E + L 0,9 D + 1,0 E

(Sumber : SNI-1727-2013)

c. Parameter percepatan gempa

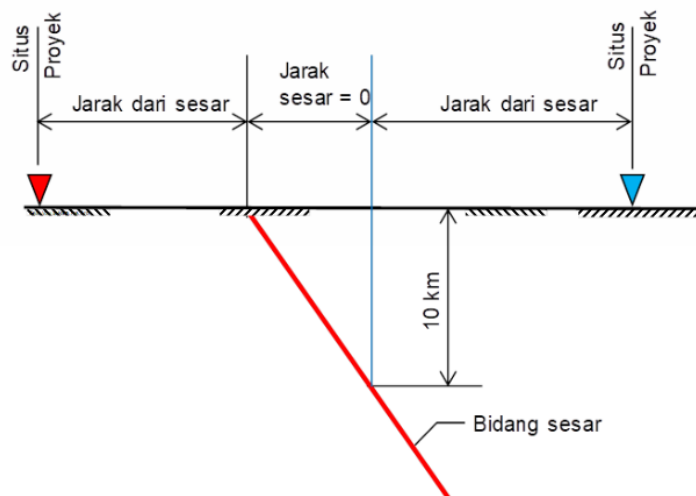
a) Situs dekat sesar

Berdasarkan SNI 1726-2019 yang dikategorikan ke dalam situs dekat sesar adalah :

- a. Berjarak 15 km dari *proyeksi* permukaan sesar aktif yang diketahui dan mampu menghasilkan kejadian gempa dengan M_w 7 atau lebih besar, atau
- b. Berjarak 10 km dari *proyeksi* permukaan sesar aktif yang diketahui dan mampu menghasilkan kejadian gempa dengan M_w 6 atau lebih besar.

Pengecualian : *Proyeksi* permukaan tidak perlu menyertakan bagian dari patahan pada kedalaman 10 km atau lebih besar.

- a. Sesar-sesar dengan perkiraan *slip-rate* sepanjang sesar kurang dari 1 mm pertahun berdasarkan pengamatan *geodesi* dan atau *geologi* tidak perlu dipertimbangkan;
- b. *Proyeksi* permukaan tidak boleh mencakup bagian-bagian patahan yang mempunyai kedalaman ≥ 10 km.



Gambar 2.1 Jarak patahan untuk berbagai lokasi situs proyek
Sumber: SNI 1726-2019

b) Parameter percepatan terpetakan

Dalam SNI 1726-2019 Parameter S_s dan S_1 harus ditetapkan dari *respon spectral* percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta seismik pada pasal 0 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2% dalam 50 Tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Seandainya $S_1 \leq 0,04$ g dan $S_s \leq 0,15$ g, maka struktur bangunan dikategorikan *desain seismik A*, dan cukup memenuhi persyaratan 0.

Dimana :

S_s : percepatan batuan dasar pada *periode* pendek

S_1 : percepatan batuan dasar pada *periode* 1 detik

c) Kelas Situs

Berdasarkan SNI 1726-2019 sifat-sifat tanah pada situs diklasifikasi sebagai *SA, SB, SC, SD, Se* atau *SF* yang mengikuti 0. Seandainya sifa-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas , maka kelas situs SE dapat digunakan, kecuali jika pemerintah/ dinas terkait memiliki data otentik yang dapat menentukan kelas situs lainnya. Jika penyelidikan tanah menunjukkan kondisi

batuan dengan kelas situs SB yang dilakukan sesuai dengan pasal 0, tetapi pengukuran kecepatan gelombang geser situs-spesifik tidak dilakukan maka koefisien situs F_a , F_v , dan F_{PGA} harus diambil sebesar 1.0.

Tabel 2.7 Klasifikasi situs

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : a. Indeks plastisitas, $PI > 20$, b. Kadar air, $w \geq 40\%$, c. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi <i>geoteknik</i> spesifik dan analisis <i>respons</i> spesifik - situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: a. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah b. Lempung sangat <i>organik</i> dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) c. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan <i>indeks</i> plasitisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

Catatan : N/A =tidak dapat dipakai (sumber : Tabel 5 SNI 1726 2019)

d. *Koefisien-koefisien* situs dan parameter-parameter *respons spektral* percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)

Dalam SNI 1726 2019 untuk menentukan spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, dibutuhkan faktor *amplifikasi seismik* pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor *Amplifikasi* getaran meliputi faktor *maplifikasi* getaran percepatan getaran periode pendek (F_a) dan faktor *amplifikasi* terkait percepatan getaran periode 1 detik (F_v). Dalam menentukan parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) ditentukan dengan persamaan berikut ini :

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.2)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad (2.3)$$

Dimana :

S_{MS} = parameter *respons spektral* percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_{MI} = parameter *respons spektral* percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Jika kelas situs SE digunakan sebagai kelas situs berdasarkan 0, maka nilai F_a tidak boleh kurang dari 1,2. Jika digunakan prosedur desain sesuai dengan pasal 0, maka nilai F_a harus ditentukan sesuai 0, serta nilai F_v , S_{MS} , dan S_{MI} tidak perlu ditentukan.

Tabel 2.8 Koefisien Situs, F_a

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

Catatan :

SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 0

(sumber : Tabel 6 SNI 1726 2019)

Tabel 2.9 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					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

(sumber : Tabel 7 SNI 1726 2019)

e. Parameter percepatan *spektral desain*

Dalam menentukan percepatan *spektral desain* menurut SNI 1726 2019 harus melalui pers. 2.4 dan 2.5 dibawah ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.4)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (2.5)$$

Dimana :

S_{DS} = Percepatan *spektral desain* untuk periode pendek

S_{DI} = Percepatan *spektral desain* untuk periode 1 detik.

Jika digunakan prosedur *desain* yang disederhanakan sesuai pasal 8 pada SNI 1726 2019, maka nilai S_{DS} harus ditentukan sesuai 0 dan nilai S_{DI} tidak perlu ditentukan.

f. *Spektrum respons desain*

Dalam SNI 1726-2019, untuk *spektrum respons desain* diperlukan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs yang tidak digunakan, sehingga *spektrum respons desain* harus mengacu pada gambar 2.2 dan mengikuti ketentuan dibawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , *spektrum respons* percepatan *desain*, S_a , harus diambil dari pers. 2.6 dibawah ini;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.6)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , *spektrum respons* percepatan *desain*, S_a , sama dengan S_{DS} ;

3. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , *respons spektral* percepatan *desain*, S_a , diambil berdasarkan pers. 2.7 dibawah ini:

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T} \quad (2.7)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , *respons spektral* percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan pers. 2.8 dibawah ini:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.8)$$

Dimana :

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

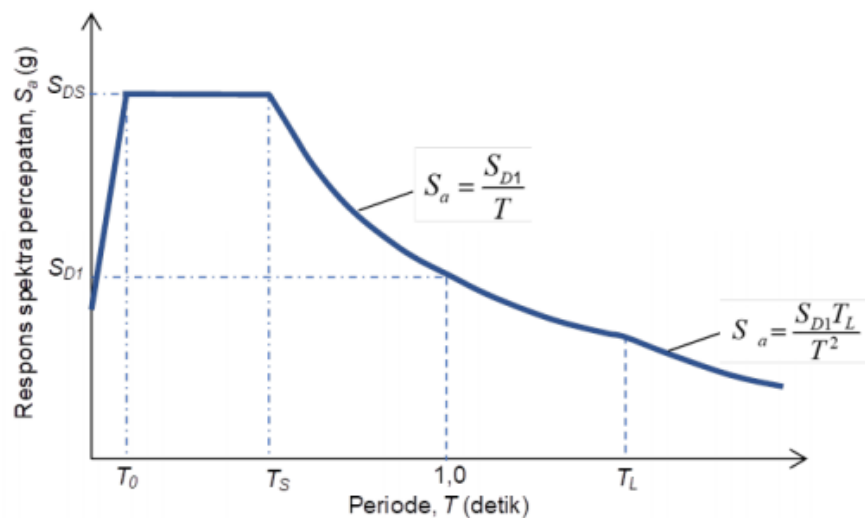
S_{D1} = parameter *respons spektral* percepatan desain pada periode 1 detik;

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.10)$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 yang nilainya diambil dari Gambar 2.6



Gambar 2.2 *Spektrum respons desain*
Sumber : SNI 1726-2019

g. Kategori *desain seismik*

Dalam SNI 1726-2019 Suatu struktur gedung harus ditetapkan memiliki suatu kategori *desain seismik* yang berlokasi dimana :

1. parameter *respons spektral* percepatan pada periode 1 detik, S_I , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori *desain seismik* E.
2. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter *respons spektral* percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_I , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori *desain seismik* F.
3. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori *desain seismik* berdasarkan kategori risiko dan parameter *respons spektral* percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{DI} , sesuai 0.
4. Bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori *desain seismik* yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Apabila S_I lebih kecil dari 0,75, kategori *desain seismik* diizinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 2.8 saja, di mana berlaku semua ketentuan di bawah:

1. Pada masing-masing dua arah *ortogonal*, perkiraan periode fundamental struktur, T_a , yang ditentukan sesuai dengan 0 adalah kurang dari $0,8T_s$, di mana T_s ditentukan sesuai dengan 0;
2. Pada masing-masing dua arah *ortogonal*, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah kurang dari T_s ;
3. Persamaan (31) digunakan untuk menentukan *koefisien respons seismik*, C_s ;
4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di 0 atau untuk diafragma yang *fleksibel*, jarak antara elemen-elemen vertikal pemikul gaya seismik tidak melebihi 12 m.

Apabila digunakan alternatif prosedur penyederhanaan *desain* pada pasal 0, kategori *desain seismik* diperbolehkan untuk ditentukan dari Tabel 2.10, dengan menggunakan nilai S_{DS} yang ditentukan dalam 0.

Tabel 2.10 *Kategori desain seismik* berdasarkan parameter *respons* percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	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 : Tabel 8 SNI 1726 2019)

Tabel 2.11 *Kategori desain seismik* berdasarkan parameter *respons* percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{DI}	Kategori Resiko	
	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 : Tabel 9 SNI 1726 2019)

h. Persyaratan *desain* untuk kategori *desain seismik* A

Dalam SNI 1726:2019 bangunan gedung dan nongedung yang termasuk kategori *desain seismik* A harus memenuhi ketentuan-ketentuan dibawah ini :

- a) Beban *seismik* yang disyaratkan harus 0 dan saat dikombinasikan dengan beban mati, beban hidup, beban ultimit dan beban layan juga harus 0
- b) Sambungan untuk lintasan beban *seismik* harus mampu menyalurkan gaya-gaya lateral yang terjadi. Setiap bagian struktur yang lebih kecil harus disatukan ke bagian struktur sisanya dengan menggunakan elemen-elemen struktur yang memiliki kekuatan untuk menahan gaya minimum sebesar 5 % dari berat bagian struktur yang lebih kecil tersebut.
- c) Gaya lateral setiap struktur dianalisis untuk pengaruh gaya lateral statik yang diaplikasikan *independen* di kedua arah *orthogonal*. Gaya lateral statik harus diaplikasikan secara simultan di tiap lantai. Gaya lateral tiap lantai dihitung dengan pers. 2.11 berikut :
- $$F_x = 0,01 W_x \quad (2.11)$$
- Dimana :
- F_x = gaya lateral rencana yang diaplikasikan pada lantai-x
 W_x = bagian beban mati total struktur, D, yang bekerja pada lantai-x
- d) Sambungan pada tumpuan harus memiliki kekuatan untuk menahan gaya minimum sebesar 5 % dari reaksi beban mati dan beban hidup tak terfaktor yang ditimbulkan oleh *elemen* struktur yang ditumpu pada *elemen* struktur yang menumpu.
- e) Pengangkuran dinding struktural harus mampu menahan gaya *horizontal* terfaktor yang tegak lurus bidang dinding sebesar minimum 0,2 kali berat daerah tributari dinding pada sambungan, tapi tidak kurang dari 0,24 kN/m².

i. Prosedur gaya lateral *ekivalen*

a) Geser dasar *seismik*

Dalam SNI 1726-2019 untuk menentukan gaya geser dasar seismik, V , dalam arah yang sudah ditetapkan harus sesuai dengan pers. 2.12 berikut :

$$V = C_s W \quad (2.12)$$

Dimana :

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan 0

W = berat seismik efektif menurut 0

Perhitungan koefisien respons seismik

Perhitungan koefisien respons seismik, C_s , berdasarkan SNI 1726-2019 pada bagian percepatan Konstan harus ditentukan dengan pers. 2.13 dibawah ini :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

Dimana :

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek seperti ditentukan dalam 0 atau 0

R = koefisien modifikasi respons dalam (SNI 2847:2019 Tabel 12)

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 0.

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

Untuk $T \leq T_L$ koefisien respons seismik pada bagian kecepatan konstan

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.14)$$

Untuk $T > T_L$ koefisien respons seismik pada bagian perpindahan konstan

$$C_s = \frac{S_{D1}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.15)$$

C_s harus tidak kurang dari (koefisien respons seismik minimum)

$$C_s = 0,044S_{DI}I_e \geq 0,01 \quad (2.16)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari pers. 2.17 dibawah ini:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.17)$$

Dimana :

I_e dan R sebagaimana didefinisikan dalam 0, dan

S_{DI} = parameter percepatan *respons spektral desain* dalam rentang *periode* pendek seperti ditentukan dalam 0 atau 0

T = *periode fundamental* struktur (detik) yang ditentukan 0

S_1 = parameter percepatan *respons spektral* maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai 0

b) Penentuan periode

Dalam SNI 1726-2019 *Periode fundamental* struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik *deformasi elemen* pemikul dalam analisis yang teruji. *Periode fundamental* struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian *koefisien* untuk batasan atas pada *periode* yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.12 dan *periode fundamental* pendekatan, T_a , yang ditentukan sesuai 0. Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan *periode fundamental* struktur, T , diizinkan secara langsung menggunakan *periode bangunan* pendekatan, T_a , yang dihitung sesuai 0.

Tabel 2.12 *Koefisien* untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	<i>Koefisien C_u</i>
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	16
0,1	1,7

(sumber : Tabel 17 SNI 1726 2019)

2.1. Periode fundamental pendekatan

Dalam SNI 1726-2019 *Periode fundamental* pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari pers. 2.18 berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.18)$$

Dimana :

h_n = ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan *koefisien C_t* dan x ditentukan dari Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya <i>seismik</i> yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari <i>defleksi</i> jika dikenai gaya <i>seismik</i> : <ul style="list-style-type: none"> - Rangka baja pemikul momen - Rangka beton pemikul momen 	0,0724 0,0466	0,8 0,9
Rangka baja dengan <i>bresing eksentris</i>	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(sumber : Tabel 18 SNI 1726 2019)

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

$$T_a = 0,1N \quad (2.19)$$

Dimana :

$$N = \text{Jumlah tingkat}$$

Untuk struktur dinding geser batu bata atau dinding geser beton dengan tinggi tidak melebihi 36,6 m, perhitungan *periode fundamental* pendekatan, T_a , diizinkan menggunakan pers. 2.20 sebagai berikut:

$$T_a = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (2.20)$$

dimana h_n didefinisikan di atas dan C_w dihitung dari pers. 2.21 sebagai berikut :

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_n}{D_i}\right)^2\right]} \quad (2.21)$$

Dimana :

$$A_B = \text{luas dasar struktur (m}^2\text{)}$$

$$A_i = \text{luas badan dinding geser ke-}i \text{ (m}^2\text{)}$$

$$D_i = \text{panjang dinding geser ke-}i \text{ (m)}$$

$$x = \text{jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau.}$$

c) *Distribusi vertikal gaya seismik*

Dalam SNI 1726-2019 *Gaya seismik lateral*, F_x , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari pers. 2.22 atau pers. 2.23 berikut :

$$F_x = C_{vx}V \quad (2.22)$$

atau

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.23)$$

Dimana :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

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

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

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

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

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

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

untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, k

= 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

d) Distribusi horizontal gaya seismik

Dalam SNI 1726-2019 Geser tingkat desain seismik di semua tingkat, V_x (kN), harus ditentukan dari pers. 2.24 berikut ini :

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.24)$$

Dimana :

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

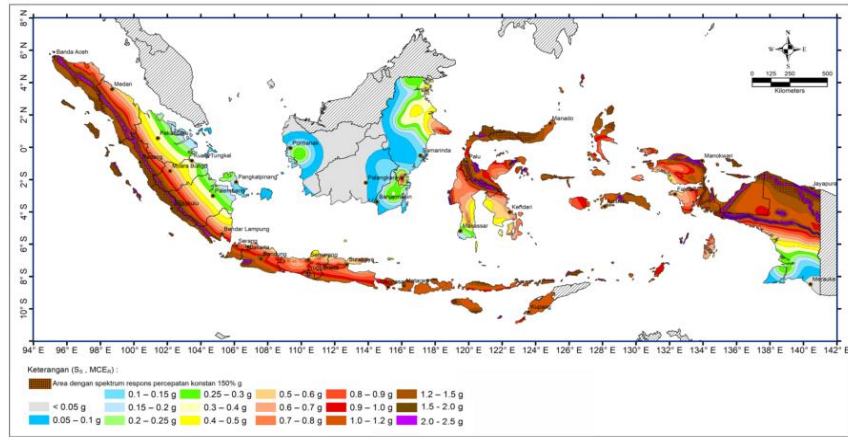
Geser tingkat desain seismik, V_x (kN), harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen pemikul vertikal dan diafragma.

j. Peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko

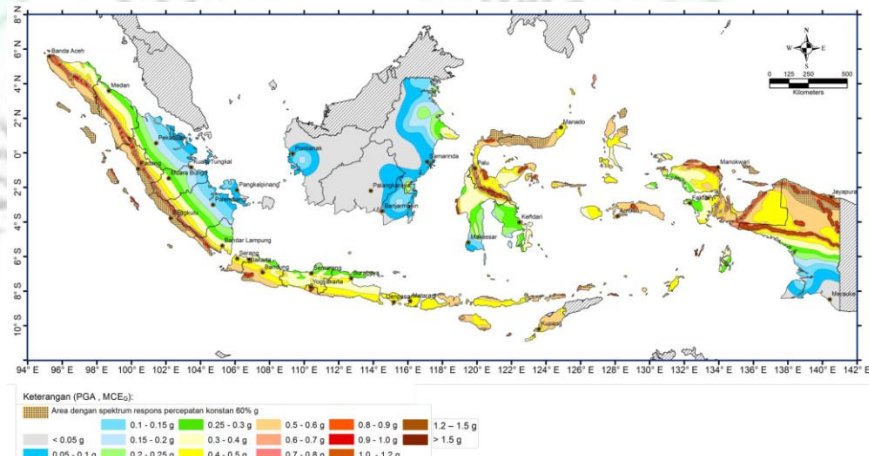
Pada SNI 1726-2019 memberikan peta-peta gerak tanah *seismik* dan koefisien risiko dari gempa maksimum yang mempertimbangkan (*Maximum Considered Earthquake*, MCE) yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 sampai Gambar 2.5, yang diperlukan untuk menerapkan ketentuan-ketentuan beban gempa dalam standar ini. Gambar 2.6 menunjukkan peta transisi periode panjang T_L yang dapat digunakan dalam aturan *seismik* terkait.

Nilai-nilai kontur percepatan puncak dijelaskan sebagai berikut:

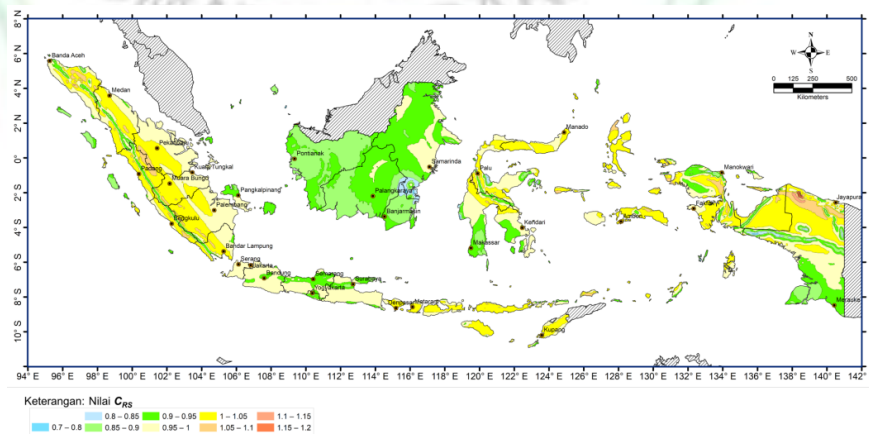
- a. Target risiko pada struktur saat mengalami keruntuhan didefinisikan sebanding dengan 1 % kemungkinan keruntuhan bangunan dalam 50 tahun, berdasarkan kekuatan umum struktur. Dalam kaitan ini, MCE_R risiko-tertarget didefinisikan sebagai nilai *spektral* S_s dan S_1 MCE 2 % kemungkinan terlampaui dalam 50 tahun dikalikan dengan koefisien risiko, masing-masing C_{RS} dan C_{R1} (sesuai Gambar 2.3 dan Gambar 2.7, yang dalam ketentuan tata cara ini nilai-nilai tersebut bervariasi antara 0,85 sampai 1,15)
- b. Faktor pengali 1,1 pada periode 0,2 detik dan faktor pengali 1,3 pada periode 1 detik diterapkan terhadap nilai rata-rata *geometrik* hasil analisis bahaya (*hazard*) gempa untuk memperhitungkan arah percepatan maksimum;
- c. Batas atas *deterministik* digunakan pada daerah dekat sesar aktif dengan mengambil faktor pengali 1,8 kali dari nilai tengah percepatan puncak hasil analisis bahaya gempa *deterministik* (faktor 1,8 kali nilai median digunakan untuk merepresentasikan *respons* 84th (*percentile*)), dan nilai spektral tidak kurang 1,5g untuk periode 0,2 detik dan tidak kurang dari 0,6g untuk periode 1 detik.



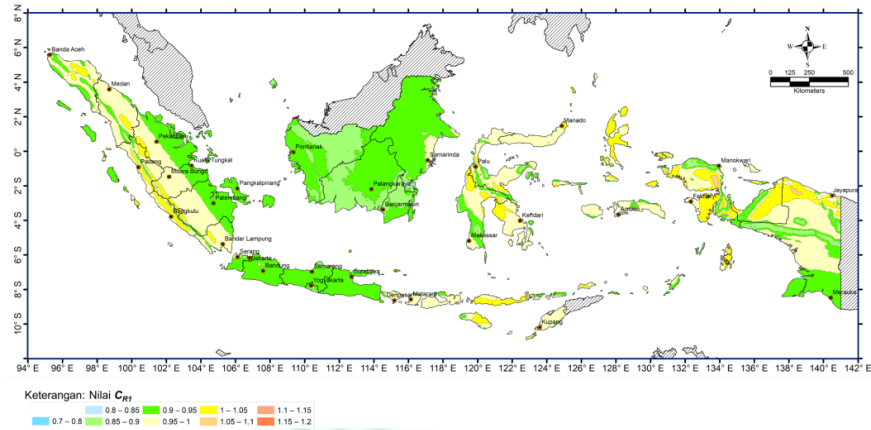
Gambar 2.3 Parameter gerak tanah S_s gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2 detik (redaman kritis 5%)
 Sumber : SNI 1726-2019



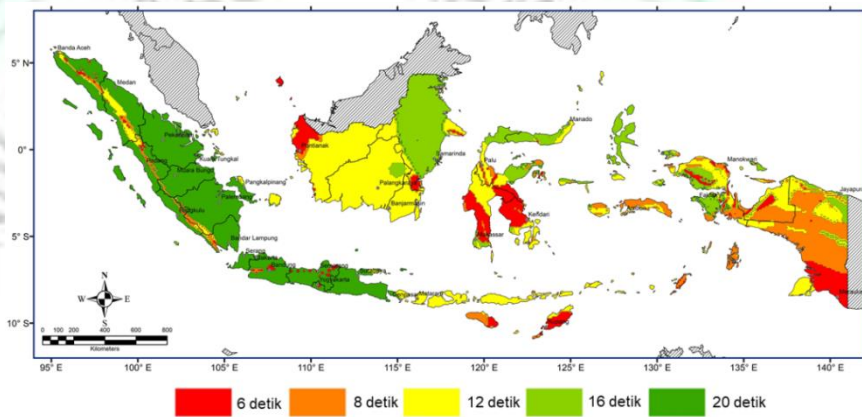
Gambar 2.4 PGA. Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCE_G) wilayah Indonesia
 Sumber : SNI 1726-2019



Gambar 2.5 respons 0,2-detik
 Sumber : SNI 1726-2019



Gambar 2.6 C_{R1} , Koefisien risiko terpetakan, *periode respons spektral 1 detik*
 Sumber : SNI 1726-2019



Gambar 2.7 Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia
 Sumber : SNI 1726-2019

2.2.4 Beban angin

Menurut *Laurentis* dan Syahril (1999:9), “Angin merupakan pergerakan udara. Pada dasarnya angin disebabkan karena perbedaan tekanan udara yang ditimbulkan oleh perbedaan suhu”. Dalam PPPURG (1989), Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m^2 , ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup yang ditentukan

dengan koefisien-koefisien angin. Besar tekanan angin ditentukan sebagai berikut :

- a. Tekanan angin minimum 25 kg/m^2 .
- b. Tekanan angin untuk daerah tepi pantai sampai sejauh 5 km dari pantai nilai minimumnya 40 kg/m^2 .
- c. Untuk daerah-daerah di dekat laut dan daerah-daerah lain tertentu, di mana terdapat kecepatan-kecepatan angin yang mungkin menghasilkan tekanan tiup yang lebih besar, tekanan angin (p) dapat dihitung dengan pers. 2.25 dibawah ini s:

$$P = \frac{v^2}{16} \text{ kg/m}^2 \quad (2.25)$$

di mana v adalah kecepatan angin dalam m/det.

- d. Pada cerobong, tekanan angin dalam kg/m^2 harus ditentukan dengan rumus $(42,5 + 0,6 h)$, dimana h adalah tinggi cerobong seluruhnya dalam meter, diukur dari lapangan yang berbatasan.
- e. Apabila dapat dijamin suatu gedung terlindung efektif terhadap angin dari suatu jurusan tertentu oleh gedung-gedung lain, hutan-hutan pelindung atau penghalang-penghalang lain, maka tekanan angin dapat dikalikan dengan koefisien reduksi sebesar 0,5.

2.3 Faktor Beban dan Kombinasi Beban

Kekuatan suatu komponen struktur yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor dengan berbagai kombinasi efek beban disebut dengan kuat perlu. Ungkapan di atas menyatakan bahwa struktur dapat dijamin keamanannya apabila kuat rencana lebih besar dari pada kuat perlu. Provisi keamanan yang disyaratkan dalam SNI T-15-1991-03 dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu provisi faktor beban dan provisi faktor reduksi kekuatan. Kuat perlu U dari suatu struktur harus dihitung dengan beberapa kombinasi beban yang bekerja pada struktur tersebut.

1. Kondisi beban mati (D) dan beban hidup (L)

$$U = 1,2D + 1,6L \quad (2.26)$$

2. Bila beban angin (W) diperhitungkan, maka pengaruh kombinasi beban D, L, dan W harus dipilih untuk menentukan nilai U terbesar.

$$U = 0,75(1,2D + 1,6L + 1,6W) \quad (2.27)$$

dengan beban hidup yang kosong perlu diperhitungkan untuk mengantisipasi kondisi yang paling berbahaya, sehingga:

$$U = 1,3D + 1,3W \quad (2.28)$$

3. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa E dapat diperhitungkan dengan rumus:

$$U = 1,05 (D + L_r + E) \quad (2.29)$$

Atau

$$U = 0,9 (D \pm E) \quad (2.30)$$

dengan L_r = beban hidup yang telah direduksi (SNI 1726-1989-F).

4. Bila tekanan horizontal tanah H diperhitungkan, maka kuat perlu U minimum ialah:

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 1,6H \quad (2.31)$$

Untuk pengaruh D dan L mengurangi efek dari H, maka nilai maksimum U adalah:

$$U = 0,9 D + 1,6 H \quad (2.32)$$

Nilai kedua persamaan tidak boleh lebih kecil daripada beban mati dan beban hidup.

5. Bila pengaruh struktural T akibat penurunan (*differential settlement*), rangkai, susut, atau perubahan suhu cukup menentukan dalam perencanaan, maka U sebagai berikut:

$$U = 0,75 (1,2D + 1,2T + 1,6L) \quad (2.33)$$

dengan nilai U harus lebih besar dari

$$U = 1,2 (D + T) \quad (2.34)$$

Faktor reduksi kekuatan digunakan untuk memberikan keamanan tertentu pada struktur, misalnya apabila dimensi, kualitas material, pekerjaannya agak berbeda dibandingkan dengan asumsi perencanaan.

2.4 Struktur Atas

Dalam Perencanaan struktur atas harus mengacu pada peraturan atau pedoman standar yang mengatur tentang perencanaan dan pelaksanaan bangunan beton bertulang, yaitu Standar Tata Cara Penghitungan Struktur Beton nomor: SK SNI T-15-1991-03, Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung tahun 1983, dan lain-lain (Istimawan, 1999). Struktur atas terdiri dari kolom, balok, dan plat lantai.

Berdasarkan SNI 2847:2019 dalam perencanaan struktur bangunan gedung harus mengacu kepada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sistem Rangka Pemikul *Momen* Khusus (SRPMK) adalah desain struktur beton bertulang dengan pendetailan yang menghasilkan struktur yang fleksibel (memiliki daktilitas yang tinggi) dan mampu menahan gempa bumi. SRPMK digunakan pada daerah yang termasuk kedalam Kategori Desain Seismik, D, E dan F. Kategori *Desain Seismik* (KDS) ditentukan berdasarkan peraturan gempa SNI 1726:2019. Dalam mendesain balok dan kolom suatu bangunan, harus dilihat komponen sistem rangka pemikul momen SNI 2847:2019

Tabel 2.14 Bagian pasal 18 yang harus dipenuhi dalam penerapan pada umumnya

menahan pengaruh gempa, kecuali jika dinyatakan sebaliknya	Kategori <i>Desain Seismik</i>			
	A (Tidak ada)	B (18.2.1.3)	C (18.2.1.4)	D, E, F (18.2.1.5)
Persyaratan <i>analisis</i> dan <i>desain</i>		18.2.2	18.2.2	18.2.2, 18.2.4
Material	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	18.2.5 hingga 18.2.8
Komponen sistem rangka pemikul <i>momen</i>		18.3	18.4	18.6 hingga 18.9
Dinding struktural dan		Tidak ada	Tidak ada	18.10

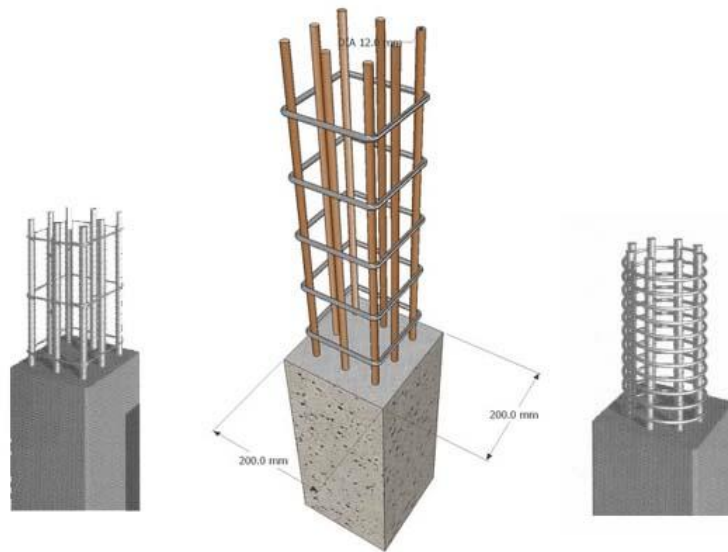
balok kopel				
Dinding struktural pracetak		Tidak ada	18.5	18.5,18.11
<i>Diafragma</i> dan rangka batang (<i>trusses</i>)		Tidak ada	Tidak ada	18.12
Fondasi		Tidak ada	Tidak ada	18.13
Komponen struktur rangka pemikul momen yang tidak ditetapkan sebagai sistem pemikul gaya seismik		Tidak ada	Tidak ada	18.14
Angkur		Tidak ada	18.2.3	18.2.3

(sumber : Tabel R18. SNI 2847 2019)

2.4.1 Kolom (*Column*)

Kolom (*column*) merupakan komponen struktur umumnya vertikal, digunakan untuk memikul beban tekan aksial, tapi dapat juga memikul *momen*, geser atau torsi. Kolom yang digunakan sebagai bagian sistem rangka pemikul gaya lateral menahan kombinasi beban aksial, momen dan geser (SNI 2847:2019).

Kolom mempunyai peranan penting dalam memikul beban dari balok. Kolom berfungsi sebagai penerus beban keseluruhan bangunan ke pondasi. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban hembusan angin



Gambar 2.8 Kolom

Sumber : <https://www.pengadaan.web.id/2020/03/perencanaan-konstruksi-kolom.html>

Kolom dikelompokkan berdasarkan bentuk dan susunan tulangan, posisi beban pada penampang dan panjang kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateral. Menurut Wang (1986) dan Ferguson (1986) jenis-jenis kolom ada 3, yaitu :

1. Kolom ikat (*tie column*)

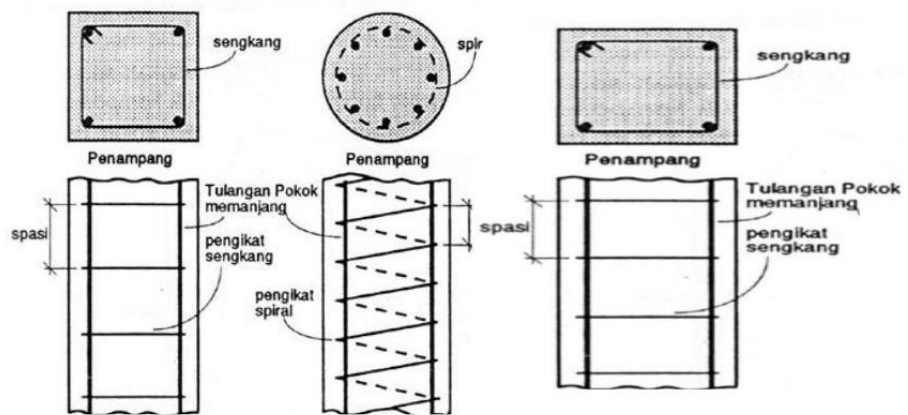
Kolom ikat adalah kolom beton yang ditulangi dengan memanfaatkan sebuah batang tulangan pokok memanjang yang pada jarak spasi tertentu diikat dengan menggunakan pengikat sengkang kearah lateral.

2. Kolom spiral (*spiral column*)

Kolom spiral adalah komponen struktur tekan yang biasanya diperkuat pada arah memanjang dengan menggunakan gelagar baja profil atau bisa juga pipa.

3. Kolom komposit (*composit column*)

Kolom komposit adalah komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.

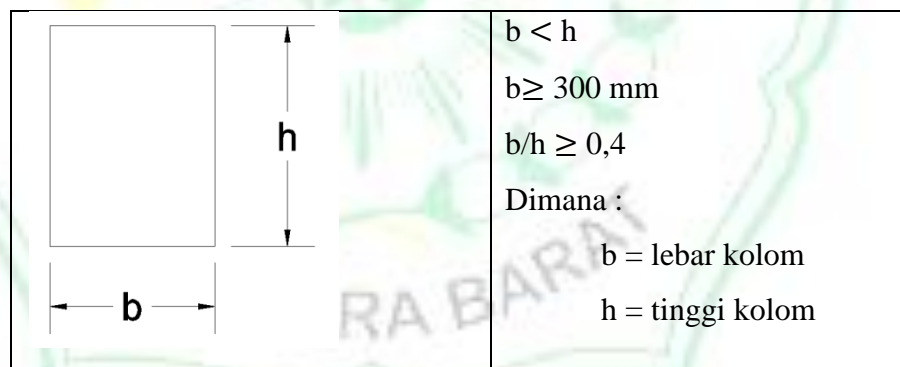


Gambar 2.9 Jenis-jenis Kolom

Sumber : <https://eticon.co.id/kolom-dalam-bangunan/>

Berdasarkan SNI 2847:2019 untuk perencanaan kolom SRPMK adalah sebagai berikut :

- a. Syarat Dimensi Penampang (SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1)
 1. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.
 2. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.



Gambar 2.10 Dimensi Kolom

- b. Syarat Kekuatan lentur minimum kolom (SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2 atau 18.7.3.3)

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi pers. 2.35 dibawah ini:

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (2.35)$$

Dimana :

$\sum M_{nc}$ adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

$\sum M_{nb}$ adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

c. Syarat Tulangan Lentur (SNI 2847:2019 pasal 18.7.4)

1. Luas tulangan longitudinal Ast tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$.
2. Pada kolom-kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.
3. Sambungan mekanis harus memenuhi 18.2.7 dan sambungan las 18.2.8. Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal yang memenuhi 18.7.5.2 dan 18.7.5.3.

d. Syarat Tulangan *Transversal*

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.1

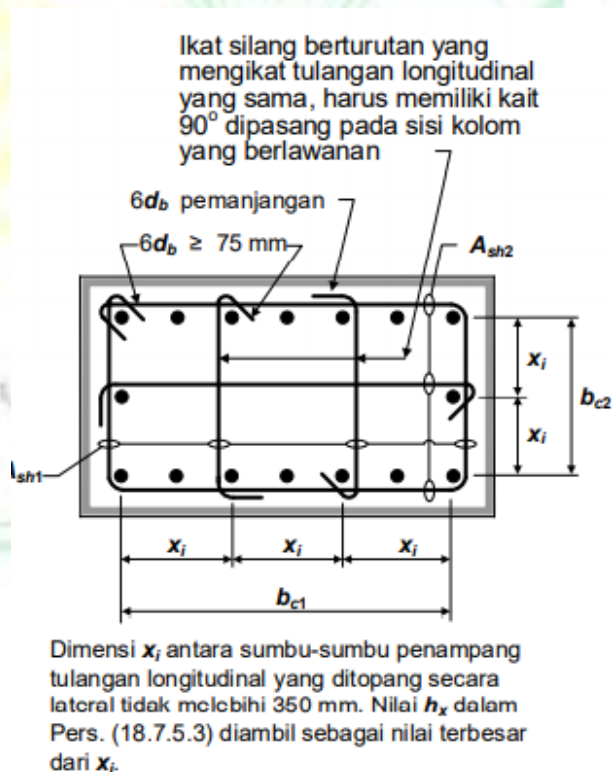
Tulangan transversal yang disyaratkan harus dipasang sepanjang ℓ_0 dari masing-masing muka hubungan baalok kolom, di kedua ujungnya harus disediakan tulangan *transversal* yang mencukupi. Panjang ℓ_0 daerah sendi plastis kolom, diambil tidak kurang dari :

1. Tinggi kolom pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi
2. Seperenam tinggi bersih kolom
3. 450 mm

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2

Tulangan *transversal* pada pasal ini harus memenuhi :

1. Tulangan *transversal* harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpang (*overlap*), sengkang pengekang bundar, atau sengkang pengekang persegi, dengan atau tanpa ikat silang.
2. Setiap tekukan ujung sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan *longitudinal* terluar.
3. Ikat silang yang berurutan harus diselang seling ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.
4. Jika digunakan sengkang pengekang persegi ataupun ikat silang, tulangan *transversal* tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal.
5. Tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi h_x antara tulangan-tulangan *longitudinal* di sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-

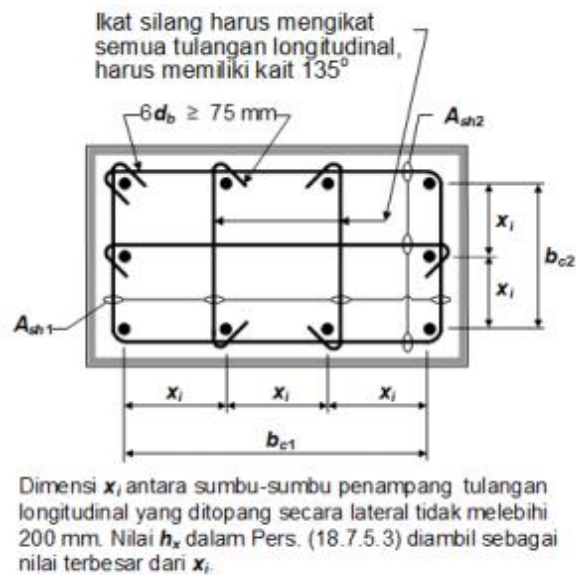


kaki sengkang pengekang tidak boleh melebihi 350 mm.

Gambar 2.11 Contoh penulangan *transversal* pada kolom

Sumber : SNI 2847:2019 gambar R18.7.5.2

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



Gambar 2.12 Contoh penulangan transversal pada kolom dengan $P_u > 0,3Agf_c'$ atau $f_c' > 70$ Mpa

Sumber : SNI 2847:2019 gambar R18.7.5.2 f

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3

Spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari

1. Seperempat dimensi terkecil penampang kolom
2. Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
3. S_0 , yang dihitung dengan

$$S_0 = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \quad (2.36)$$

Nilai S_0 tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4

Jumlah tulangan *transversal* harus sesuai Tabel 2.15

Faktor kekuatan beton k_f dan faktor keefektifan pengekanan k_n dihitung berdasarkan Pers. 2.37 sampai 2.38 dibawah ini :

$$1. k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1,0 \quad (2.37)$$

$$2. k_n = \frac{n_l}{n_l - 2} \quad (2.38)$$

dimana n_l adalah jumlah batang atau bundel tulangan *longitudinal* di sekeliling inti kolom dengan sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut dari sengkang pengekanan atau kait *seismik*.

Tabel 2.15 Tulangan *transversal* untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus

Tulangan transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku
A_{sh}/s_{bc} untuk sengkang pengekanan persegi	$P_u \leq 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa	Terbesar antara (a) dan (b) $0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (a) $0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (b)
	$P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70$ MPa	Terbesar antara (a), (b) dan (c) $0,2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (c)
ρ_s untuk spiral ataupun sengkang pengekanan lingkaran	$P_u \leq 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa	Terbesar antara (d) dan (e) $0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (d) $0,12 \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (e)
	$P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70$ MPa	Terbesar antara (d), (e) dan (f) $0,35k_f \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (f)

Sumber : SNI 2847:2019 Tebel 18.7.5.4

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.5

Di luar panjang ℓ_0 , kolom harus diberi tulangan spiral atau sengkang dengan spasi s tidak melebihi nilai terkecil dari enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil dan 150 mm, kecuali bila jumlah

tulangan *transversal* yang lebih besar disyaratkan oleh 18.7.4.3 atau 18.7.6.

- e. Syarat Kekuatan Geser (SNI 2847:2019 pasal 18.7.6)

Gaya Desain SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.1

Tulangan *transversal* harus didesain untuk memikul gaya geser rencana, V_e yang ditentukan menggunakan kuat momen maksimum, M_{pr} dari komponen struktur tersebut yang terkait dengan rentang beban-beban aksial terfaktor yang bekerja, P_u .

$$V_e = \frac{M_{pr\ a} + M_{pr\ b}}{\ell_c} \quad (2.39)$$

Gaya Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan *joint* berdasarkan M_{pr} balok yang merangka ke *joint*. Nilai V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

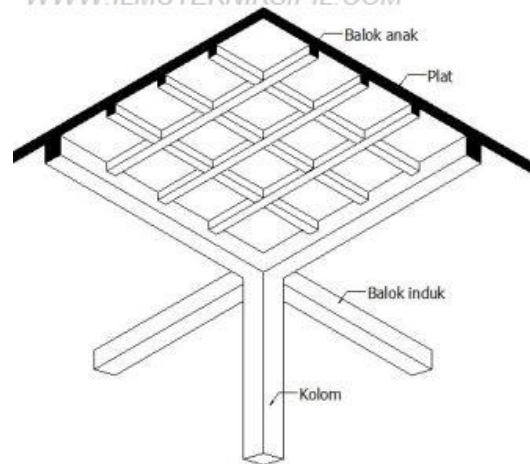
Tulangan *Transversal* SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.1

Tulangan transversal sepanjang ℓ_0 berdasarkan 18.7.5.1, harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bila 1) dan 2) terjadi:

1. Gaya geser akibat gempa berdasarkan 18.7.6.1 setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang ℓ_0 .
2. Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$.

2.4.2 Balok

Balok adalah struktur yang berfungsi menyalur momen ke struktur kolom. Balok sebagai elemen lentur, yaitu elemen yang memikul gaya dalam berupa momen lentur dan gaya geser. Fungsi dari balok adalah meneruskan beban ke kolom, untuk pengikat kolom, untuk menambah kekuatan lentur pelat lantai, dan untuk menambah kekuatan horizontal pada struktur.



Konstruksi waffle slab

Gambar 2.13 Balok

<https://www.ilmutekniksipil.com/struktur-bangunan/lantai-struktur-bangunan>

1. Jenis-Jenis Balok

a. Balok Sederhana

Balok sederhana bertumpu pada kolom diujung-ujungnya, dengan satu ujung bebas berotasi dan tidak memiliki *momen* tahan. Seperti struktur statis lainnya, nilai dari semua reaksi, pergeseran dan momen untuk balok sederhana adalah tidak tergantung bentuk penampang dan material.

b. Kantilever

Kantilever adalah balok yang diproyeksikan atau struktur kaku lainnya didukung hanya pada satu ujung tetap. Kantilever menanggung beban diujung yang tidak disangga.

c. Balok teritisan

Balok teritisan adalah balok sederhana yang memanjang melewati salah satu kolom tumpuannya.

d. Balok dengan ujung-ujung tetap

Balok dengan ujung-ujung tetap (dikaitkan kuat) dibuat untuk menahan translasi dan rotasi. Ujung-ujung dari balok ini dikunci sedemikian kuat sehingga tidak bergerak ataupun bertotasi karena momen.

e. Bentangan tersuspensi

Bentangan tersuspensi adalah balok sederhana yang ditopang oleh teristisan dari dua bentang dengan konstruksi sambungan pin pada *momen nol*.

f. Balok menerus atau kontinu

Balok menerus memanjang secara menerus melewati lebih dari dua kolom tumpuan untuk menghasilkan kekakuan yang lebih besar dan momen yang lebih kecil dari serangkaian balok tidak menerus dengan panjang dan beban yang sama.

2. *Preliminari Desain Penampang Balok*

Dalam merencanakan Balok Sistem Rangka Pemikul *Momen Khusus* (SPRMK) yang merupakan bagian sistem pemikul gaya *seismik* dan utamanya didesain untuk menahan lentur dan geser harus mengacu pada SNI 2847:2019. Balok SPRMK harus merangka ke kolom SPRMK dan saling berhubungan oleh *joint* balok kolom. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6 Balok SPRMK yang terkena gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur Pu, tidak boleh melebihi $Ag.Fc/10$.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6 untuk mendesain balok SPRMK harus memenuhi beberapa persyaratan, persyaratannya adalah sebagai berikut:

a. Syarat Batasan *dimensi* Penampang Balok (SNI 2847:2019 pasal 18.6.2)

(1.) Bentang bersih, ℓ_n , harus minimal dari $4d$

$$\ell_n \geq 4d \quad (2.40)$$

(2.) Lebar penampang b_w , harus sekurangnya nilai terkecil dari 0,3 h dan 250 mm ($b_w \geq 0,3 h$ atau 250 mm)

$$b_w \geq 0,3 h \quad (2.41)$$

$$b_w \geq 250 \text{ mm} \quad (2.42)$$

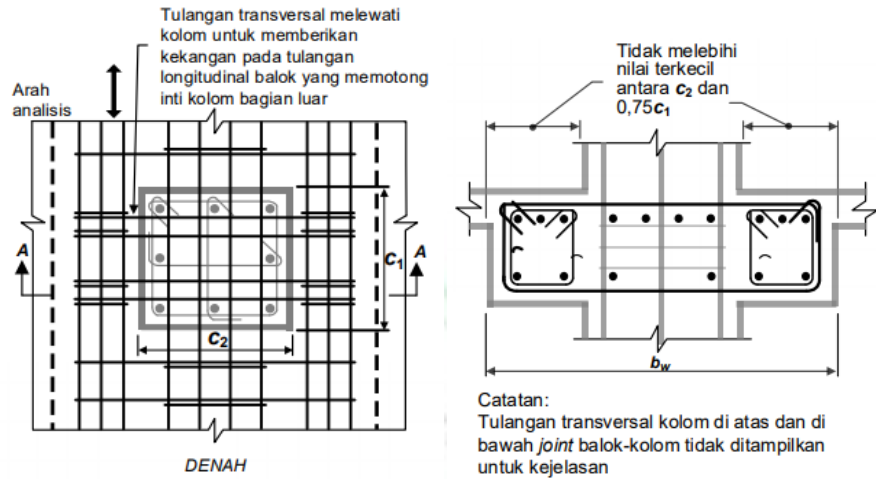
(3.) Lebar balok, b_w , yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75 c_1$ pada masing-masing sisi kolom dalam arah sejajar komponen lentur.

(a) Lebar komponen struktur penumpu c_2 , dan

(b) 0.75 kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu, c_1

$$b_w \leq 2 \cdot c_2 \quad (2.43)$$

$$b_w \leq c_2 + 3/4 c_1 \quad (2.44)$$



Gambar 2.14 Lebar efektif maksimum balok lebar (*wide beam*) dan persyaratan tulangan *transversal*

Sumber : SNI 2847:2019 gambar R18.6.2

b. Syarat Tulangan Lentur (SNI 2847:2019 pasal 18.6.3)

Balok dalam suatu bangunan gedung harus memiliki paling sedikit dua batang tulangan menerus baik pada sisi atas maupun pada sisi bawah penampang.

1. Luas minimum tulangan lentur, A_{smin} , baik disebelah atas atau disebelah bawah penampang (A_s) tidak boleh kurang pers. 2.45 dan 2.46 dibawah :

$$\frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \quad (2.45)$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d \quad (2.46)$$

Dari kedua persamaan tersebut diambil penampang mana yang lebih besar, namun tidak boleh melebihi dari pers. 2.47 dibawah ini :

$$A_s \leq 0,025 b_w d \quad (2.47)$$

2. Kekuatan momen lentur positif pada muka *joint* tidak boleh kurang dari setengah kekuatan *momen* lentur negatif pada muka *joint* tersebut, dengan pers. 2.48 dan pers. 2.49 Dibawah ini :

$$\phi M_{nki}^+ \geq \frac{1}{2} \phi M_{nki}^+ \quad (\text{tumpuan kiri}) \quad (2.48)$$

$$\phi M_{nka}^+ \geq \frac{1}{2} \phi M_{nka}^+ \quad (\text{tumpuan kanan}) \quad (2.49)$$

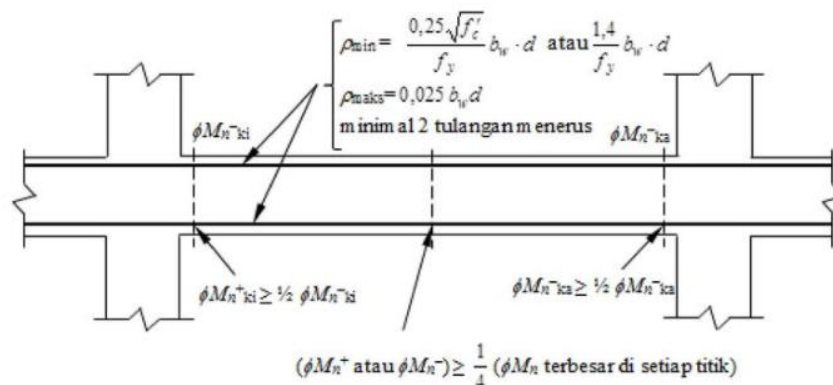
Dimana :

M_{nki} adalah kuat *momen* pada bagian tumpuan sebelah kiri dari komponen lentur

M_{nka} adalah kuat *momen* pada bagian tumpuan sebelah kanan dari komponen lentur

3. Kekuatan *momen* negatif maupun positif pada setiap penampang sepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua *joint* tersebut, seperti pers. 2.50 dibawah ini :

$$(\phi M_n^+ \text{ atau } \phi M_n^-) \geq \frac{1}{4} (\phi M_n \text{ terbesar di setiap titik}) \quad (2.50)$$



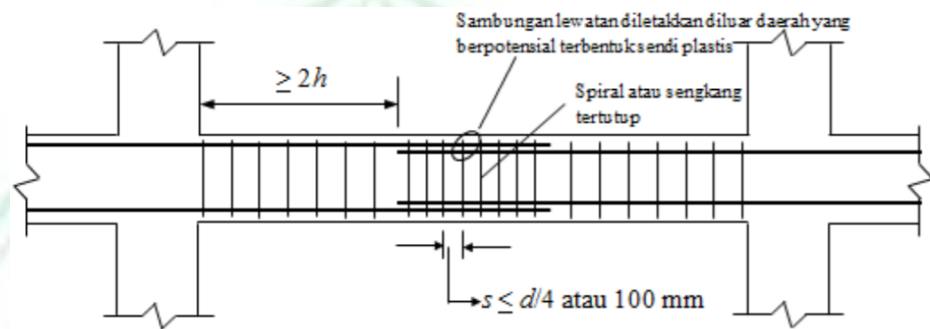
Gambar 2.15 Persyaratan Tulangan Lentur SRPMK

Sumber : <https://ocw.upj.ac.id/files/Slide-TSP407-Struktur-Beton-Lanjutan-TSP-407-P11.pdf> (diakses 23 Maret 2022)

4. Sambungan lewatan tulangan lentur hanya diizinkan jika sengkang pengekuat atau spiral dipasang sepanjang sambungan lewatan. Spasi

senggang yang mengikat batang tulangan yang disambung-lewatkan tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $d/4$ dan 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada daerah :

- a. Dalam *Joint* atau hubungan balok kolom
- b. Dalam jarak dua kali tinggi balok dari muka *joint*
- c. Dalam jarak dua kali tinggi balok dari penampang kritis di mana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi akibat perpindahan perilaku *elastik*.



Gambar 2.16 Persyaratan Sambungan Lewatan SRPMK

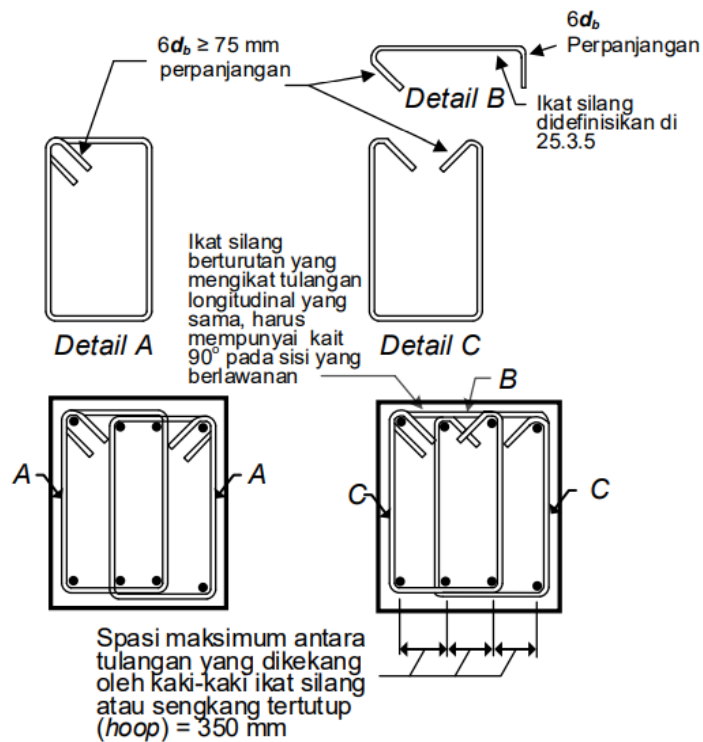
Sumber : <https://ocw.upj.ac.id/files/Slide-TSP407-Struktur-Beton-Lanjutan-TSP-407-P11.pdf> (diakses 23 Maret 2022)

- c. Syarat Tulangan *Transversal* (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4)
 1. Senggang pengekang harus dipasang pada balok di daerah berikut :
 - a) Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung balok
 - b) Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik
 2. Jika diperlukan senggang pengekang pada batang tulangan lentur utama yang terdekat ke muka tarik dan tekan diberi tumpuan lateral yang memenuhi syarat. Spasi tulangan lentur yang tertumpu secara lateral tidak boleh melebihi 350 mm.

3. Sengkang pengegang pada balok yang dizinkan terdiri dari dua batangan tulangan, yaitu :

- a) Sengkang yang mempunyai kait gempa pada kedua ujungnya
- b) ikat silang sebagai penutup.

Pada sengkang pengikat silang yang berurutan mengikat tulangan lentur yang sama harus memiliki kait 90° dan dipasang harus selang seling pada komponen strktur lentur.



Gambar 2.17 Contoh sengkang tertutup (*hoop*) yang dipasang bertumpuk dan ilustrasi batasan maksimum spasi horizontal penumpu batang longitudinal Sumber : SNI 2847:2019 gambar R18.6.2

4. Sengkang pengegang pertama harus dipasang tidak boleh lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu. Jarak sengkang pengegang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari pers. 2.51 dan 2.52 dibawah ini :

- a) $d/4$ (2.51)
- b) $6d_b$ (6 kali diameter terkecil batang tulangan utama lentur) (2.52)
- c) 150 mm

5. Jika sengkang pengekang tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ sepanjang bentang balok.
6. Pada balok yang mengalami gaya tekan aksial terfaktor melebihi $A_g f'_c/10$ harus dipasang sengkang pengekang yang memenuhi syarat SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2 hingga 18.7.5.4

d. Kekuatan Geser Balok (SNI 2847:2019 pasal 18.6.5)

1. Tulangan *transversal* untuk balok SRPMK harus didesain untuk memikul gaya geser rencana, V_e , di tinjau dari gaya-gaya yang bekerja pada balok antara kedua muka joint yang ditimbulkan oleh kekuatan momen lentur maksimum yang terjadi, M_{pr} . Momen lentur maksimum yang bekerja pada muka-muka joint dan balok harus diasumsikan dengan dibebani oleh beban *gravitasi tributary* terfaktor di sepanjang bentangnya.

M_{pr} adalah kuat momen lentur di ujung balok yang ditentukan dengan menganggap kuat tarik pada tulangan memanjang sebesar minimum $1,25 f_y$ dan *factor reduksi* $\phi = 1$. Mencari M_{pr} dapat dicari dengan pers. 2.53 dibawah ini :

$$M_{pr} = A_s (1,25 f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.53)$$

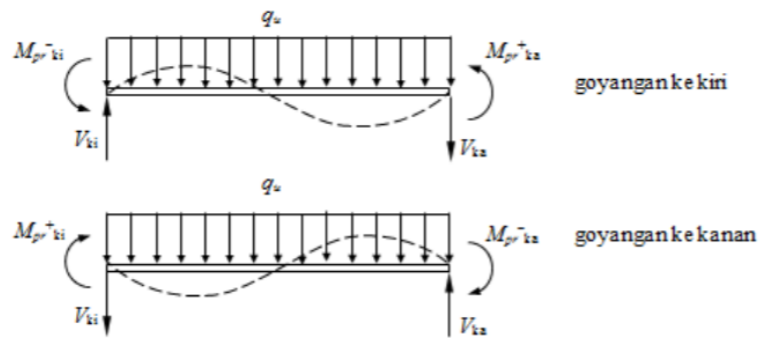
Sedangkan untuk mencari nilai a dapat dicari dari pers 2.54 dibawah ini :

$$a = \frac{A_s (1,25 f_y)}{0,85 f'_c b} \quad (2.54)$$

Besarnya gaya geser rencana dapat dihitung dengan menggunakan pers. 2.55 dan pers. 2.56 dibawah ini:

$$V_{ki} = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{\ell_n} + \frac{q_u \ell_n}{2} \quad (2.55)$$

$$V_{ka} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{\ell_n} + \frac{q_u \ell_n}{2} \quad (2.56)$$



Gambar 2.18 Gaya Geser Rencana Pada Komponen Struktur Lentur

Sumber : <https://ocw.upj.ac.id/files/Slide-TSP407-Struktur-Beton-Lanjutan-TSP-407-P11.pdf> (diakses 23 Maret 2022)

Tulangan *transversal* yang didesain untuk menahan gaya geser dapat diasumsikan $V_e = 0$ apabila :

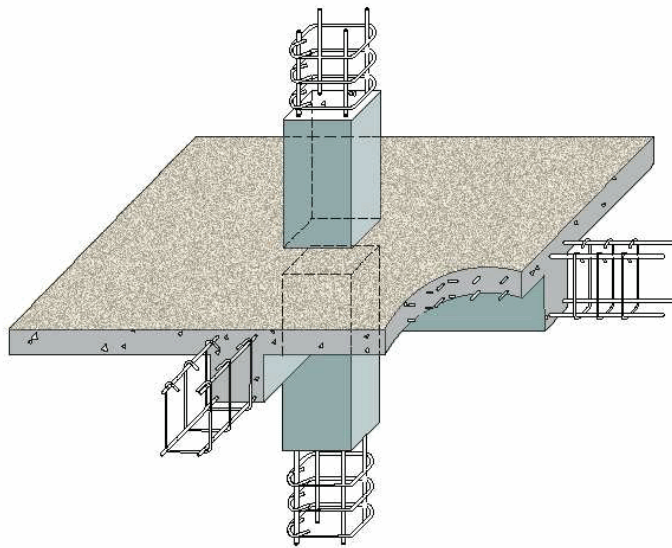
- a) Gaya geser akibat gempa yang dihitung lebih besar atau sama dengan setengah (50%) kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut
- b) Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari disumbangkan oleh beton, $A_g f'_c / 20$

2.4.3 Pelat Lantai

Pelat lantai Merupakan lantai yang tidak terletak diatas tanah langsung, merupakan lantai tingkat pembatas antara tingkat yang satu dengan tingkat yang lain. Fungsi pelat lantai secara umum adalah :

1. Sebagai pemisah ruang bawah dan ruang atas.
2. Sebagai tempat berpijak penghuni di lantai atas.
3. Untuk menempatkan kabel listrik dan lampu pada ruang bawah.
4. Meredam suara dari ruang atas maupun dari ruang bawah.
5. Menambah kekakuan bangunan pada arah horizontal

Sedangkan secara spesifik fungsi pelat lantai dari beton dibandingkan pelat lantai bahan kontruksi lainnya adalah mampu menahan beban besar, menjadi isolasi suara yang baik, tidak dapat terbakar dan lapis kedap air, dapat dipasang tegel untuk keindahan lantai, dan merupakan bahan yang kuat dan awet, tidak perlu perawatan dan dapat berumur panjang.



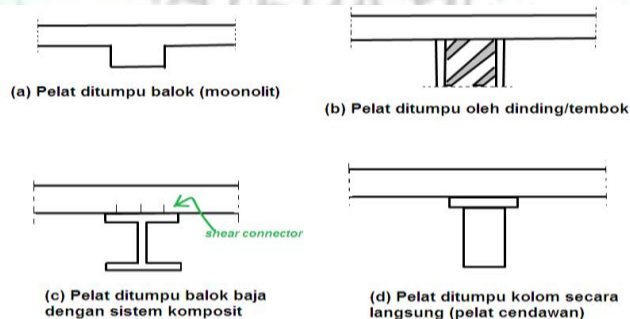
Gambar 2.19 Pelat Lantai

<https://watukarungblog.wordpress.com/2020/07/15/cara-menghitung-dan-menentukan-dimensi-kolom-balok-dan-plat-lantai/>

1. Jenis-jenis pelat lantai

Jenis pelat lantai berdasarkan tumpuannya beserta gambar dapat dilihat pada gambar 2.19 sebagai berikut :

- a. *Monolit*, yaitu pelat dengan balok cor bersama-sama sehingga menjadi satu kesatuan.
- b. Ditumpu dinding-dinding/tembok bangunan.
- c. Didukung oleh balok-balok baja dengan sistem komposit
- d. Didukung oleh kolom secara langsung tanpa balok, dikenal dengan pelat cendawan.



Gambar 2.20 Jenis pelat lantai berdasarkan tumpuan

Sumber: <https://sanggapramana.wordpress.com>

Jenis – jenis pelat lantai berdasarkan perletakannya beserta gambar dapat dilihat pada gambar 2.20 sebagai berikut:

a. Terletak bebas

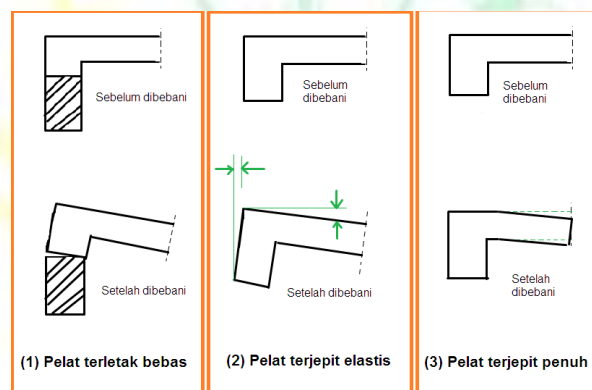
Jika pelat diletakan begitu saja diatas balok, atau antara pelat dan balok tidak dicor bersama-sama sehingga pelat dapat berotasi bebas pada tumpuan tersebut.

b. Terjepit elastis

Jika pelat dan balok dicor bersama-sama secara *monolit*, tetapi ukuran balok cukup kecil sehingga balok tidak cukup kuat untuk mencegah terjadinya rotasi.

c. Terjepit penuh

Jika pelat dan balok dicor bersama-sama secara monolit, dan ukuran balok cukup besar sehingga mampu untuk mencegah terjadinya rotasi pelat.



Gambar 2.21 Jenis pelat lantai berdasarkan perletakan

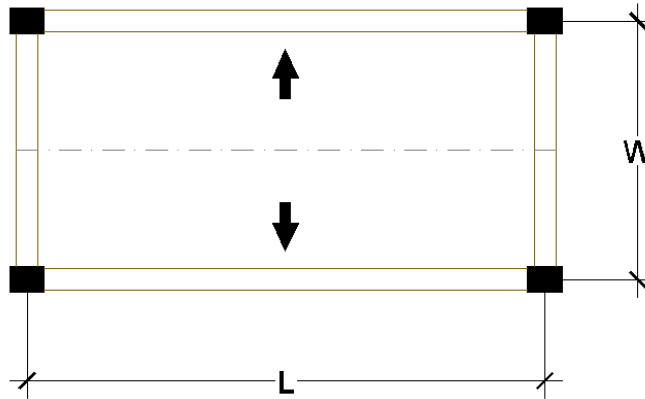
Sumber: <https://sanggapramana.wordpress.com>

Jenis – jenis pelat lantai berdasarkan sistem perencana beserta gambar dapat dilihat pada gambar 2.21 sebagai berikut:

a. Pelat satu arah (*One Way Slab*)

Pelat satu arah adalah pelat beton yang didukung hanya pada dua sisi tumpuan yang berlawanan, sehingga akan terjadinya defleksi atau lendutan pada pelat dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan. Jika pelat lantai bertumpu pada empat sisi tumpuan, tetapi dengan rasio bentang panjang (L) terhadap bentang pendek (W) lebih besar dari 2, maka dikategorikan pelat lantai satu arah.

$$L/W \geq 2 \quad (2.57)$$

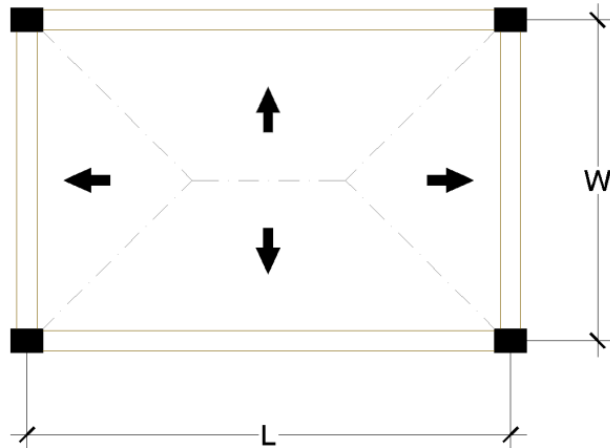


Gambar 2.22 Jenis pelat lantai pelat satu arah

b. Pelat dua arah (*Two Way Slab*)

Pelat dua arah merupakan pelat beton yang didukung keempat sisi tumpuan, sehingga distribusi beban terjadi menuju ke dua arah. *Rasio* antara bentang panjang (L) terhadap bentang pendek (W) lebih kecil dari 2, maka dikategorikan pelat lantai dua arah.

$$L/W \leq 2 \quad (2.58)$$



Gambar 2.23 Jenis pelat lantai pelat dua arah

Pelat lantai yang direncanakan pada penelitian ini menggunakan sistem pelat dua arah.

2. Perencanaan Pelat Dua Arah.

a. Ketebalan Minimum Pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.1 untuk pelat *nonprategang* tanpa balok *interior* yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya tidak boleh kurang dari tabel 2.16

Tabel 2.16 Ketebalan minimum pelat dua arah *nonprategang* tanpa balok *interior* (mm)

f_y , MPa	Tanpa drop panel			Dengan drop panel		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

Sumber : SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.1

Sedangkan untuk ketebalan pelat *nonprategang* harus memenuhi batasan pada tabel 2.17 dikarenakan perhitungan lendutan dari pelat dua arah cukup rumit, dan untuk mencegah lendutan yang besar.

Tabel 2.17 Ketebalan minimum pelat dua arah *nonprategang* dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya

α_{fm} [1]	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 0,2$	Terbesar dari :	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b) [2],[3]
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 0,2$	Terbesar dari :	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	
		90	(d) [2],[3]

Sumber : SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2

Pada pelat tepi tidak menerus yang sesuai dengan tabel 2.17 Harus disediakan balok tepi dengan $\alpha_f \geq 0,80$ atau ketebalan harus memenuhi (b) atau (d) pada table 2.17 harus diperbesar paling sedikit 10% pada panel tepi yang tidak menerus.

b. Perhitungan pelat dua arah dengan metode desain langsung

1. Batasan Penggunaan metode *desain* langsung

Dalam SNI 2847:2019 Pasal 8.10.2 Metode *desain* langsung pelat dua arah harus memenuhi batasan penggunaan dibawah ini :

- a) Paling sedikit harus ada 3 bentang menerus dalam setiap arah
- b) Panjang bentang yang bersebelahan, diukur antara sumbu ke sumbu tumpuan, dalam masing-masing arah tidak berbeda lebih dari segitiga bentang terpanjang
- c) Panel harus berbentuk persegi, dengan *rasio dimensi* terpanjang terhadap dimensi terpendek yang diukur dari pusat ke pusat tumpuan, tidak melebihi 2.
- d) Posisi kolom tidak boleh menyimpang lebih dari 10% dari bentang dari arah pergeseran masing-masing sumbu di antara titik pusat kolom yang berurutan.
- e) Semua beban yang diperhitungkan hanya akibat beban gravitasi dan terdistribusi merata di seluruh panel.
- f) Beban hidup tidak boleh melebihi 2 kali beban mati
- g) Untuk suatu panel pelat dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya, untuk balok dalam dua arah tegak lurus dapat dihitung dengan pers 2.59 dibawah ini.

$$0,2 \leq \frac{\alpha_{f1} \ell_2^2}{\alpha_{f2} \ell_1^2} \leq 5,0 \quad (2.59)$$

Dimana α_{f1} dan α_{f2} dihitung dengan

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \quad (2.60)$$

2. *Momen* statis terfaktor total untuk suatu bentang
 - a) *Momen* statis terfaktor total M_o untuk suatu bentang harus ditentukan pada suatu jalur yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel pada setiap sisi garis pusat tumpuan.
 - b) Jumlah *momen* terfaktor positif dan negatif rata-rata, M_u tidak boleh kurang dari pers. 2.61 dibawah ini :

$$M_o = \frac{q_u \ell_2 \ell_n^2}{8} \quad (2.61)$$

- c) momen-momen yang diperhitungkan, harus menerus dari muka ke muka kolom, kepala kolom, bracket, atau dinding, tidak boleh kurang dari $0,65 \ell_1$.
3. Distribusi *momen* statis total terfaktor
 - a) Pada bentang *interior*, M_o harus didistribusikan $0,65M_o$ emomen negatif dan $0,35M_o$ ke *momen* positif.
 - b) Pada bentang ujung, M_o harus didistribusikan sesuai Tabel 2.18

Tabel 2.18 Koefisien distribusi untuk bentang ujung

	Tepi eksterior tak terkekang	Pelat dengan balok antara semua tumpuan	Pelat tanpa balok antara tumpuan interior		Tepi eksterior terkekang penuh
			Tapa balok tepi	Dengan balok tepi	
Negatif interior	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65
Positif	0,63	0,57	0,52	0,50	0,35
Negatif eksterior	0	0,16	0,26	0,30	0,65

Sumber : SNI 2847:2019 Tebel 8.10.4.2

4. *Momen* terfaktor di lajur kolom

a) Lajur kolom harus menahan bagian dari momen negatif interior

M_u sesuai Tabel 2.19 dibawah ini

Tabel 2.19 Bagian momen negatif interior M_u di lajur kolom

$\alpha_{f1} \ell_2 / \ell_1$	ℓ_2 / ℓ_1		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

Sumber : SNI 2847:2019 Tabel 8.10.5.1

b) Lajur kolom harus menahan bagian dari *momen eksterior*

negatif M_u sesuai Tabel 2.20 dibawah ini

Tabel 2.20 Bagian momen negatif eksterior M_u di lajur kolom

$\alpha_{f1} \ell_2 / \ell_1$	β_t	ℓ_2 / ℓ_1		
		0,5	1,0	2,0
0	0	1,0	1,0	1,0
	$\geq 2,5$	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0	1,0	1,0	1,0
	$\geq 2,5$	0,90	0,75	0,45

Sumber : SNI 2847:2019 Tabel 8.10.5.2

c) Jika lebar kolom atau dinding sekurang-kurangnya $(3/4) \ell_2$, *momen* negatif M_u harus didistribusikan merata selebar ℓ_2

d) Lajur kolom harus menahan bagian dari *momen* positif interior M_u sesuai Tabel 2.21 dibawah ini :

Tabel 2.21 Bagian momen negatif interior M_u di lajur kolom

$\alpha_{f1} \ell_2 / \ell_1$	ℓ_2 / ℓ_1		
	0,5	1,0	2,0
0	0,60	0,60	0,60
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

Sumber : SNI 2847:2019 Tabel 8.10.5.5

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penulis melakukan penelitian di jl. Paninjauan, Garegeh Kota Bukittinggi. Dapat dilihat dalam gambar 3.1



Gambar 3.1 Tempat Penelitian
Sumber : *Google maps* (diakses tanggal 25 Maret 2022)

3.2 Data Penelitian

3.2.1 Jenis dan Sumber data

1. Nama Pekerjaan : Perencanaan Pembangunan SMP N 9 Bukittinggi
2. Luas Bangunan : $28.05 \times 32.00 = 897.6 \text{ m}^2$
3. Jumlah Lantai : 3 Lantai
4. Penutup Atap : Dak atap
5. Mutu Beton : K-300, $f_c' = 30 \text{ Mpa}$
6. Kegunaan Bangunan : Ruang belajar sekolah
7. Lokasi : jl. Paninjauan, Garegeh, Kec. Mandiangin Koto Selayan, Kota Bukittinggi, Sumatera Barat

3.2.2 Teknik Pengumpulan Data

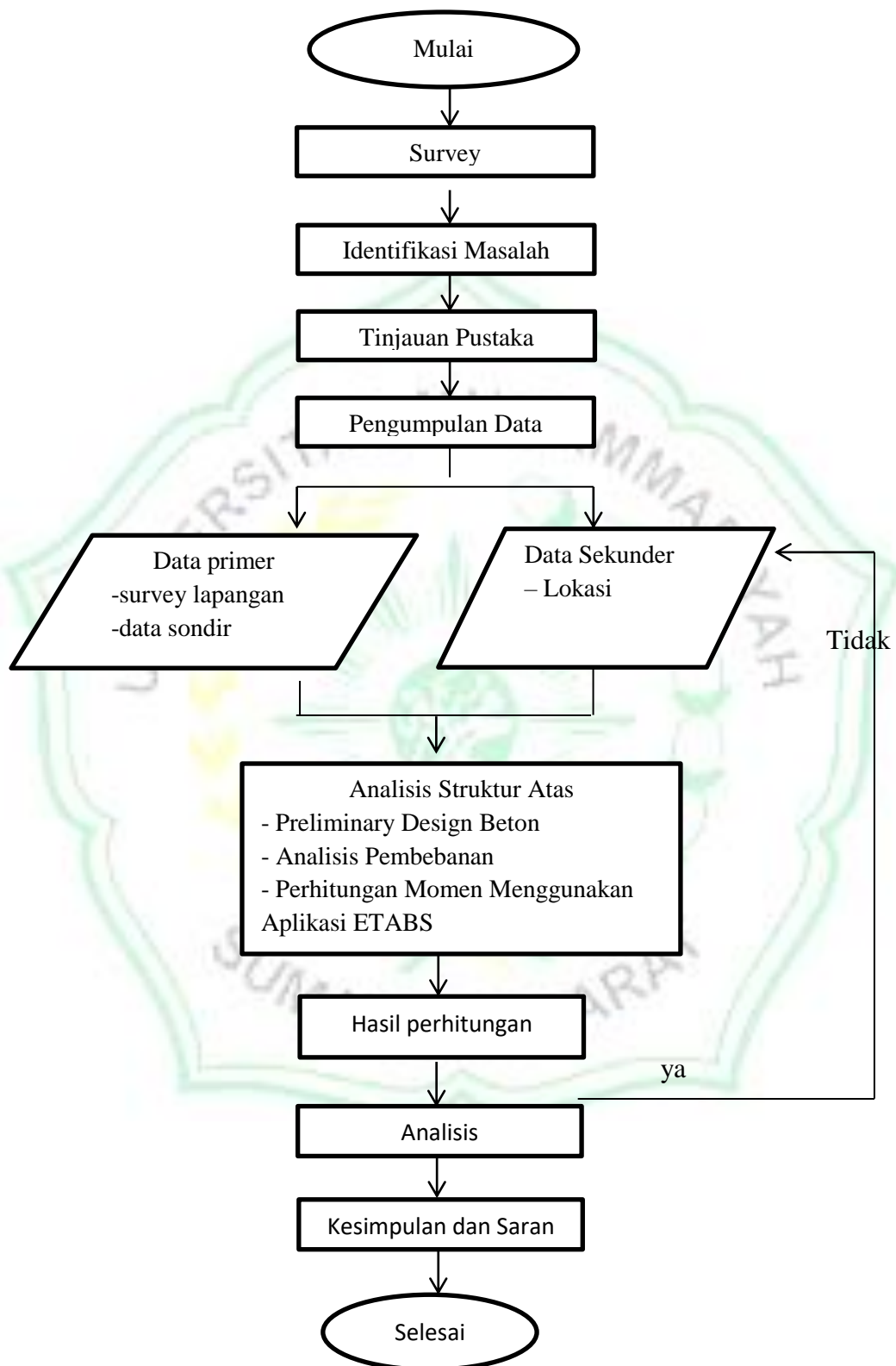
Cara peneliti dalam melakukan pengumpulan data untuk penelitian merupakan Teknik pengumpulan data. Melakukan pengumpulan data untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan merupakan keharusan dalam mencapai tujuan penelitian harus. Teknik pengumpulan data yang biasa digunakan dalam penelitian adalah *Survey*, wawancara, observasi serta dokumentasi.

Penulis menggunakan teknik *Observasi* dalam penelitian ini. *Observasi* merupakan suatu metode pengumpulan data yang saling berhubungan karena dalam pelaksanaannya selalu melibatkan beberapa faktor. Dalam penelitian ini menggunakan Teknik pengumpulan data observasi untuk mendapatkan informasi mengenai perilaku manusia, proses kerja, dan gejala-gejala yang terjadi di alam.

3.3 Metode Analisis Data

Metode analisis data merupakan metode yang penting dalam penelitian ini dimana data yang dikumpulkan di olah atau proses untuk menarik kesimpulan dari permasalahan yang dianalisis. Pada penelitian ini penulis hanya melakukan metode analisis data pada struktur pembangunan sekolah SMPN 9 Bukittinggi.

3.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian (*Flowchart*)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan *Preliminary Desain*

1. Menentukan dimensi panjang dan lebar balok,yaitu balok induk,balok anak menggunakan SNI 2847:2019
2. Menentukan pelat satu arah dan dua arah ,kemudian menentukan tebal pelat sesuai SNI 2847:2019
3. Menghitung pembebanan yang terjadi pada pelat, kolom, balok dan pondasi
4. Merencanakan tangga

4.2 Data Umum Perencanaan

1. Data Umum Bangunan
 - Fungsi : sekolah
 - Jumlah lantai : 3 lantai
 - Tinggi bangunan : 14 meter
 - Struktur bangunan : Beton Bertulang
2. Data Material (Elemen Plat dan Balok)
 - Mutu Beton (f_c') : 30 MPa
 - Tulangan Ulir (f_y) : 400 MPa
 - Tulangan Polos : 240 MPa
3. Data Material (Elemen Kolom)
 - Mutu Beton (f_c') : 30 MPa
 - Tulangan Ulir (lentur): 400 MPa
 - Tulangan Polos : 240 MPa

4.3 Pembebanan

1. Beban mati yang digunakan akan disesuaikan dengan peraturan PPIUG 1983

- Beton bertulangan : 2400 kg/m³
- Dinding pasangan ½ bata : 2.5 KN/m²
- Tegel/Ubun : 24 kg/m²
- Spesi : 21 kg/m²
- Plafond : 7 kg/m²
- Penggantung Plafond : 7 kg/m²
- *Ducting and Plumbing* : 30 kg/m²

2. Beban hidup yang digunakan sesuai dengan SNI 1727:201X (2018) tentang beban desain minimum dan kriteria untuk bangunan gedung struktur lain.

3. Beban gempa disesuaikan dengan SNI 1726:2019 Tentang tatacara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung

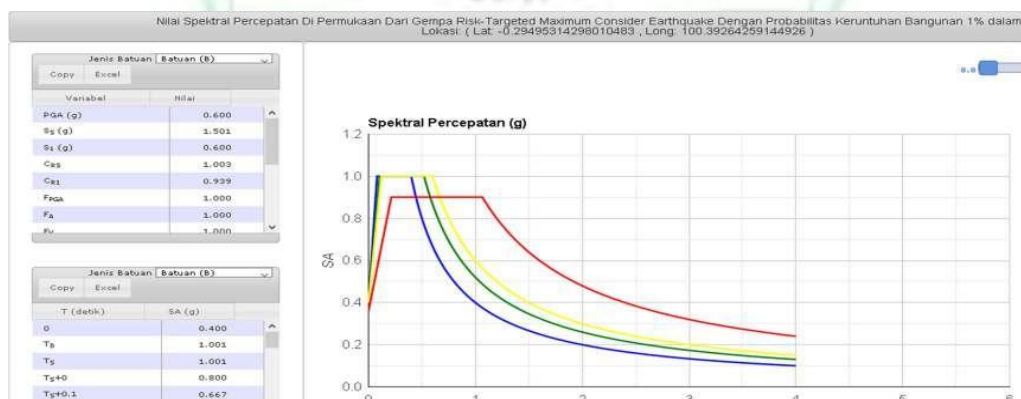
4.4 Preliminary Design

4.4.1 Beban Gempa

Respon Spektrum Gempa Diambil Dari Data :

(<http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>) wilayah Gempa

Bukittinggi, Sumatera Barat



Gambar 4.1 respon spectrum gempa

Tanah sedang

i	= faktor keutamaan gempa	= 1
r	= koefisien modifikasi respon	= 8
g	= gempa	= 9,81
u	= (<i>scale factor</i>)	= 1,2265
u1		= 1,2265
u2		= 0,367875

4.4.2 Perencanaan Plat Lantai

Data teknis:

$$L_x \text{ (bentang Panjang)} = 5 \text{ m}$$

$$L_y \text{ (bentang pendek)} = 3,5 \text{ m}$$

Ukuran balok :

$$b = 3,5 \text{ m}$$

$$h = 6,5 \text{ mm}$$

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

$$F_c = 25 \text{ Mpa}$$

1. Menentukan tebal Plat

$$\text{Tebal plat (h)}_{\text{rencana}} = 15 \text{ cm}$$

$$= 150 \text{ mm}$$

Pasal 10.7 SNI 03-2847-2002

Plat menyatu dengan struktur pendukung

Ukuran Balok :

$$b = 3,5 \text{ m}$$

$$h = 6,5 \text{ m}$$

$$L_n = L_x - ((1/2 \cdot b) + (1/2 \cdot b))$$

$$=5 - ((1/2.3,5)+(1/2.3,5))$$

$$=1,5 \text{ m} = 1500 \text{ mm}$$

Pasal 11.4.3 SNI 03-2847-2002

$$\alpha \text{ min} = \frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{\frac{1}{12} x L x hawal^3}$$

$$\alpha \text{ min} = \frac{\frac{1}{12} x 3500 x 6500^3}{\frac{1}{12} x 1500 x 150^3}$$

$$= 189 864,19$$

4.4.3 Perhitungan Pembebanan Pelat Lantai

a. Beban Hidup (LL)

Berdasarkan SNI 1727 2013

Perkantoran = 2,40 kN/m²

b. Beban mati (DL)

• Beban Plat lantai sendiri	= 0,12 x 24	= 2,88 kN/m ²
• Beban Pasir urug (t= 1 cm)	= 0,01 x 16	= 0,16 kN/m ²
• Beban spesi (t = 3 mm)	= 0,03 x 22	= 0,66 kN/m ²
• Beban keramik (t = 1 cm)	= 0,01 x 27	= 0,27 kN/m ²
• Beban plafond dan penggantung		= 0,25 kN/m ²
• Beban instalasi ME		= 0,25 kN/m ²
Total	DL	= 4,47 kN/m ²

c. Beban Terfaktor (Wu)

$$Wu = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 x 4,47 + 1,6 x 2,4$$

$$= 9,20 \text{ kN/m}^2$$

4.4.4 Perhitungan Momen

Perbandingan L_x dan L_y sama dengan 1,4, pelat tersebut termasuk pelat 2 arah. Berdasarkan tabel Koefisien momen pelat untuk $l_y/l_x = 1,4$

Tabel 4.1 Koefisien momen Pelat

Lapangan x	C_{lx}	34
Lapangan y	C_{ly}	18
Tumpuan x	C_{tx}	73
Tumpuan y	C_{ty}	57

$$M_{lx} = 0,001 \cdot W_u \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 9,20 \cdot (3,5^2) \cdot 34 = 4,073 \text{ kN.m}$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot W_u \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 9,20 \cdot (3,5^2) \cdot 18 = 2,156 \text{ kN.m}$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot W_u \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 9,20 \cdot (3,5^2) \cdot 73 = 8,745 \text{ kN.m}$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot W_u \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 9,20 \cdot (3,5^2) \cdot 57 = 6,828 \text{ kN.m}$$

Ukuran balok :

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$h = 650 \text{ mm}$$

$$L_n = L_x$$

4.4.5 Penulangan Pelat Lantai

- a. Penulangan Tumpuan Arah x-x

Momen yang terjadi pada pelat :

$$M_u = 8,745 \text{ kNm} = 8\,745\,000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{8,745}{\phi} = \frac{8,745}{0,8} = 10,931 \text{ Kn/m} = 1\,093\,100$$

Tinggi efektif pelat lantai

$$d = h - t_s - \frac{1}{2} D_{10}$$

$$= 150 - 25 - \frac{1}{2} \times 10 = 120 \text{ mm}$$

Ditinjau pelat lantai selebar 1 m

$$b = 1000 \text{ mm}$$

Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{8\,745\,000}{0,9 \times 1000 \times 120^2} = 0,674$$

Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,674}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,0017 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{maks} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{f_c'}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,84 \cdot \frac{30}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat} = \rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$= 0,0035 < 0,0017 < 0,024$$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

Luas tulangan yang dibutuhkan,

$$A_{sperlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 1000 \times 120 = 420 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 78,2 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_s \times b}{A_{sperlu}} = \frac{78,2 \times 1000}{420} = 186,19 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D10 – 200 mm²

b. Penulangan Tumpuan Arah y-y

Momen yang terjadi pada pelat :

$$M_u = 6,828 \text{ kNm} = 6\,828\,000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{6,828}{\phi} = \frac{6,828}{0,8} = 8,535 \text{ Kn/m} = 8\,535\,000$$

Tinggi efektif pelat lantai

$$\begin{aligned} d &= h - t_s - \frac{1}{2} D_{10} \\ &= 150 - 25 - \frac{1}{2} \times 10 = 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ditinjau pelat lantai selebar 1 m

$$b = 1000 \text{ mm}$$

Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{6\,828\,000}{0,9 \times 1000 \times 120^2} = 0,526$$

Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,526}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,0013 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{maks} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{f_c'}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,84 \cdot \frac{30}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,021 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat} = \rho_{min} > \rho < \rho_{max}$$

$$= 0,0035 > 0,0013 < 0,021$$

Maka digunakan $\rho_{min} = 0,0035$

Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 1000 \times 120 = 420 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_s \times b}{A_{\text{perlu}}} = \frac{78,2 \times 1000}{420} = 186,19 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D10 – 300 mm²

c. Penulangan Lapangan Arah x

Momen yang terjadi pada pelat :

$$M_u = 4,073 \text{ kNm} = 4\,073\,000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{4,073}{\phi} = \frac{4,073}{0,8} = 5,091 \text{ Kn/m} = 5\,091\,000$$

Tinggi efektif pelat lantai

$$d = h - t_s - \frac{1}{2} D_{10}$$

$$= 150 - 25 - \frac{1}{2} \times 10 = 120 \text{ mm}$$

Ditinjau pelat lantai selebar 1 m

$$b = 1000 \text{ mm}$$

Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{4\,073\,000}{0,9 \times 1000 \times 120^2} = 0,314$$

Rasio tulangan yang diperlukan

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,314}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$= 0,0007$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{f_c}{f_y} \left[\frac{600}{600+f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,84 \cdot \frac{30}{400} \left[\frac{600}{600+400} \right] \\ &= 0,021\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ &= 0,0035 > 0,0007 < 0,021\end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

Luas tulangan yang diperlukan,

$$\begin{aligned}A_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 120 = 420 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D10

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_s \times b}{A_{\text{perlu}}} = \frac{78,2 \times 1000}{420} = 186,19 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D10 – 300 mm²

d. Penulangan Lapangan Arah y

Momen yang terjadi pada pelat :

$$M_u = 2,156 \text{ kNm} = 2\ 156\ 000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{2,156}{\phi} = \frac{2,156}{0,8} = 2,695 \text{ Kn/m} = 2,695\ 000$$

Tinggi efektif pelat lantai

$$\begin{aligned}d &= h - t_s - \frac{1}{2} D_{10} \\ &= 150 - 25 - \frac{1}{2} \times 10 = 120 \text{ mm}\end{aligned}$$

Ditinjau pelat lantai selebar 1 m

$$b = 1000 \text{ mm}$$

Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{2\ 156\ 000}{0,9 \times 1000 \times 120^2} = 0,166$$

Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{0,85f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 Rn}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,166}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,0004\end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{f_c'}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,84 \cdot \frac{30}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,021\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \rho_{min} < \rho < \rho_{max} \\ &= 0,0035 > 0,0004 < 0,021\end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

Luas tulangan yang diperlukan,

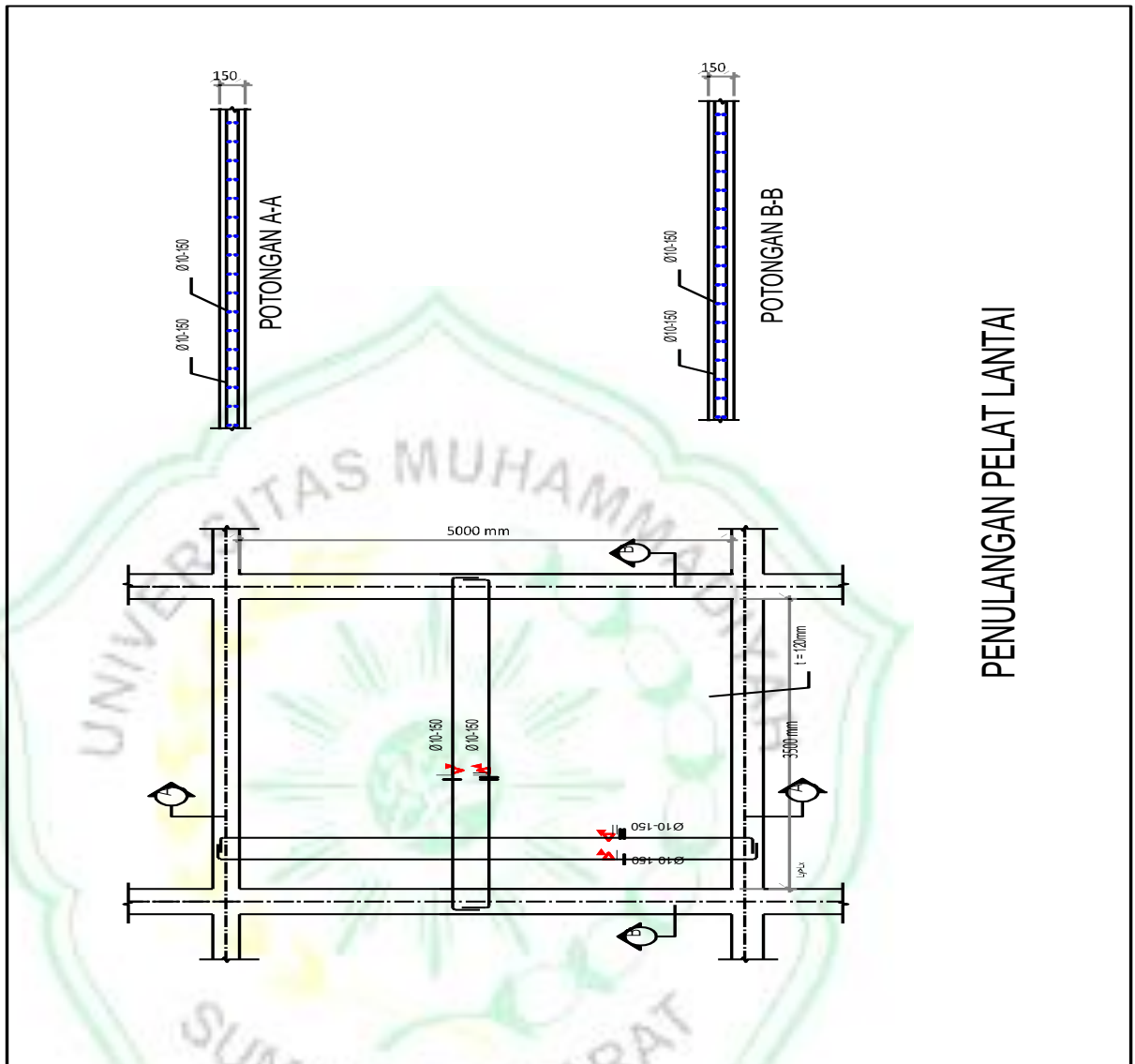
$$\begin{aligned}A_{sperlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 120 = 420 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D10

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_s \times b}{A_{sperlu}} = \frac{78,2 \times 1000}{420} = 186,19 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D10 – 300 mm²



Gambar 4.2 penulangan pelat lantai

PENULANGAN PELAT LANTAI

4.4.6 Perencanaan balok

1. data perencanaan

- L = 5000 mm, $L_n = L - (2 \cdot \frac{1}{2} \text{dkolom})$
- b = 650 mm
- h = 350 mm
- Selimut beton = 30 mm
- f_c = 30 Mpa
- E_c = $4700\sqrt{30} = 25742,96$ Mpa
- E_s = 200000 Mpa
- β_1 = $0,85 - \frac{0,05(f_c-28)}{7} =$
 $0,85 - \frac{0,05(30-28)}{7} = 0,84$

MuT+	=	122 316 300	Nmm
MuT-	=	160 613 200	Nmm
Vu+	=	136 344 600	Nmm
Vu-	=	133 728 700	Nmm
MuL+	=	129 880 700	Nmm
MuL-	=	169 252 000	Nmm
Tu	=	40 228 700	Nmm

Tabel 4.2 Momen balok B1 hasil output ETABS ke Excel

2. Momen Desain Balok

Momen desain untuk pendetailan khusus untuk balok SRPMK harus memenuhi ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.2. yaitu (a) Kekuatan momen positif pada muka join harus tidak kurang dari setengah momen negatifnya (b) Kekuatan momen negatif dan positif pada sembarang penampang sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat momen maksimalnya.

3. Cek apakah balok memenuhi definisi komponen struktur lentur

SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1 syatkan bahwa komponen struktur lentur SRPMK harus memenuhi hal-hal berikut:

- a. Bentang bersih komponen struktur, tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya

$$L_n = 5000 - 2 \times \frac{1}{2} \times 500 = 4500 \text{ mm}$$

$$d = h - p - 1/2.16-10$$

$$= 650 - 40 - 1/2.16-10$$

$$d = 592$$

$$4d = 4 (592) = 2368 < 4500 \text{ mm} \dots\dots\text{OK}$$

- b. Perbandingan lebar terhadap tinggi balok tidak boleh kurang dari 0,3

$$b = 350 \text{ mm}, h = 650 \text{ mm}, b/h = 350/650 = 0,53 \dots\dots \text{OK}$$

- c. Lebar komponen tidak boleh:

1) Kurang dari 250 m \dots\dots\text{OK}

2) Melebihi lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi $\frac{3}{4}$ tinggi komponen struktur lentur.

$$\text{Lebar balok, } b = 350 \text{ mm} < \text{lebar kolom} = 500 \text{ mm} \dots\dots\text{OK}$$

4. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Longitudinal untuk Menahan Lentur

Dalam mendesain tulangan lentur balok-T, harus dilakukan pengecekan apakah analisis untuk zona tekan dapat dilakukan dengan penampang persegi atau harus dilakukan dengan penampang-T. Hal ini ditentukan dari tinggi compression (a) yang

akan dibandingkan dengan tinggi flens (hf). Jika nilai $a < hf$, maka untuk analisis zona tekan dapat dijadikan balok persegi.

a. Kondisi 1, Tulangan Lentur Tumpuan Kanan Negatif (-)

1) Menghitung Kebutuhan Tulangan Awal

Momen desain tumpuan kanan negatif (-) :

$$Mu = 160\ 613\ 200\ \text{Nmm}$$

Tinggi efektif balok, d (dipasang 1 baris):

$$d = 602\ \text{mm}$$

Rasio desain balok beton (dengan asumsi penampang terkendali tarik $\phi = 0.9$) (SNI 2847:2013 Ps 9.3.2.1) :

$$R_n = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{160\ 613\ 200}{0.9 \times 350 \times 602^2} = 1,407$$

Tinggi blok tegangan beton persegi ekuivalen (a) :

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 \times f_c}} \right) \times d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,407}{0.85 \times 30}} \right) \times 602$$

$$= 34,187\ \text{mm}$$

Luas tulangan Perlu (As) :

$$As = \frac{0.85 \times f_c \times a \times b}{f_y} = \frac{0.85 \times 30 \times 34,187 \times 350}{400} = 762,80\ \text{mm}^2$$

2) Cek Kondisi Penampang Awal

Untuk syarat dengan pendetailan khusus, maka elemen lentur harus berada dalam penampang terkendali tarik (tension – controlled).

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \times (f_c' - 28)}{7} = 0,84$$

(SNI : 2847:2019 Ps 22.2.2.4.3)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{34,187}{0,84} = 40,7\ \text{mm}$$

$$c/d1 = 40,7/ 602= 0.067 < 0.375..... \text{ (terkendali tarik OK!)}$$

3) Cek Syarat Tulangan perlu

Batas tulangan minimum dan maksimum berdasarkan SNI :
2847:2019 Ps 18.6.3.1 sebagai berikut :

Luas Tulangan Perlu (As) :

$$As = 762,80 \text{ mm}^2$$

Cek Tulangan Minimum :

$$As_{min 1} = \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} b_w \times d = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} \times 350 \times 602$$

$$= 721,3 \text{ mm}^2 < As \dots\dots\dots(\text{OK})$$

$$As_{min 2} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y} = \frac{1,4 \times 350 \times 602}{400}$$

$$= 737,45 \text{ mm}^2 < As \dots\dots\dots(\text{OK})$$

Cek Tulangan Maksimum :

$$\rho_{max} = 0,021$$

$$As_{max} = 0.021 \times 350 \times 602 = 4424,7 \text{ mm}^2 > As \dots(\text{OK})$$

Maka syarat tulangan minimum dan maksimum terpenuhi ,
sehingga As perlu dapat digunakan.

4) Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Jumlah Tulangan lentur :

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{1tul}} = \frac{726,80}{0,25 \times \pi \times 16^2} = 1,55 \text{ digunakan 3 buah}$$

Cek spasi tulangan asumsi awal (dipasang 1 baris);

$$S = \frac{b - (2 \cdot dc) - (2 \times \phi_{sng}) - n \cdot \phi_{tul.utama}}{n - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 16)}{3 - 1} = 77 > 25 \text{ mm} \dots(\text{OK})$$

Maka dipasang tulangan 1 baris

$$As1 = 3 D16 = 3,14 \times \frac{1}{4} \times 16^2 \times 3 = 602,88$$

$$y = \frac{\left(401,92 \times \left(40 + 10 + \frac{16}{2}\right)\right) + 40}{602,88}$$

$$= 58,066 \text{ mm}$$

$$d_{\text{aktual}} = 650 - 58,066 = 591,93 \text{ mm}$$

$$As_{\text{saktual}} = 3 \times (0,25 \times \pi \times 16^2) = 602,88 \text{ mm}^2$$

5) Cek Kapasitas Penampang Aktual

Tinggi blok tegangan beton persegi ekuivalen (a) aktual :

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_{c \times b}} = \frac{762,80 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} = 34,18 \text{ mm}$$

Momen nominal aktual dikalikan faktor reduksi :

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times As \times f_y \times (d - 0,5 \times a) \\ &= 0,9 \times 726,80 \times 400 \times (602 - (0,5 \times 34,18)) \\ &= 153\,040\,531,68 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Kapasitas momen penampang :

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$160\,613\,200 \text{ Nmm} < 153\,040\,531,68 \text{ Nmm} \dots \dots \dots (\text{OK})$$

b. Kondisi 2, Tulangan Lentur Tumpuan (+)

1) Menghitung Kebutuhan Tulangan Awal

Momen desain tumpuan kanan negatif (+) :

$$Mu = 122\,316\,300 \text{ Nmm}$$

Tinggi efektif balok, d (dipasang 1 baris):

$$d = 602 \text{ mm}$$

Rasio desain balok beton (dengan asumsi penampang terkendali tarik $\phi = 0,9$) (SNI 2847:2013 Ps 9.3.2.1) :

$$R_n = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{122\,316\,300}{0,9 \times 350 \times 602^2} = 1,071$$

Tinggi blok tegangan beton persegi ekuivalen (a) :

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 Rn}{0.85 \times f_c}}\right) \times d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,071}{0.85 \times 30}}\right) \times 602$$

$$= 25,83 \text{ mm}$$

Luas tulangan Perlu (As) :

$$A_s = \frac{0.85 \times f_c \times a \times b}{f_y} = \frac{0.85 \times 30 \times 25,83 \times 350}{400} = 576,33 \text{ mm}^2$$

2) Cek Kondisi Penampang Awal

Untuk syarat dengan pendetailan khusus, maka elemen lentur harus berada dalam penampang terkendali tarik (tension – controlled).

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \times (f_c' - 28)}{7} = 0,84$$

(SNI : 2847:2019 Ps 22.2.2.4.3)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{25,83}{0,84} = 30,75 \text{ mm}$$

$$c/d_1 = 30,75 / 602 = 0,051 < 0,375 \text{ (terkendali tarik OK!)}$$

3) Cek Syarat Tulangan perlu

Batas tulangan minimum dan maksimum berdasarkan SNI : 2847:2019 Ps 18.6.3.1 sebagai berikut :

Luas Tulangan Perlu (As) :

$$A_s = 576,33 \text{ mm}^2$$

Cek Tulangan Minimum :

$$A_{smin 1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} \times 350 \times 602$$

$$= 721,28 \text{ mm}^2 < A_s \dots\dots\dots(\text{OK})$$

$$A_{smin 2} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y} = \frac{1,4 \times 350 \times 602}{400}$$

$$= 737,45 \text{ mm}^2 > A_s \dots\dots\dots(\text{OK})$$

Cek Tulangan Maksimum :

$$\rho_{max} = 0,021$$

$$As_{max} = 0.021 \times 350 \times 602 = 4424.7\text{mm}^2 > As \dots(\text{OK})$$

Maka syarat tulangan minimum dan maksimum terpenuhi , sehingga As perlu dapat digunakan.

4) Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Jumlah Tulangan lentur :

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{1tul}} = \frac{762,80}{0,25 \times \pi \times 16^2} = 3,79 \text{ digunakan 4 buah}$$

Cek spasi tulangan asumsi awal (dipasang 1 baris);

$$S = \frac{b - (2 \cdot dc) - (2 \cdot \phi_{sng}) - n \cdot \phi_{tul.utama}}{n - 1} \geq 25\text{mm}$$
$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 16)}{6 - 1} = 30,8 > 25\text{mm (OK)}$$

Maka dipasang 1 baris tulangan,

$$As1 = 2 \text{ D16} = 3,14 \times \frac{1}{4} \times 16^2 \times 2 = 602,88$$

$$As1 = 2 \text{ D16} = 3,14 \times \frac{1}{4} \times 16^2 \times 2 = 602,88$$

$$y = \frac{\left(602,88 \times \left(40 + 10 + \frac{16}{2}\right)\right) + 40}{602,88}$$
$$= 58,066 \text{ mm}$$

$$d_{aktual} = 650 - 58,066 = 591,934 \text{ mm}$$

$$As_{aktual} = 4 \times (0,25 \times \pi \times 16^2) = 803,84 \text{ mm}^2$$

5) Cek Kapasitas Penampang Aktual

Tinggi balok tegangan beton persegi ekuivalen (a) aktual :

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f_{c \times b}} = \frac{576,33 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} = 34,18 \text{ mm}$$

Momen nominal aktual dikalikan faktor reduksi :

$$\phi Mn = \phi \times As \times fy \times (d - 0,5 \times a)$$

$$= 0.9 \times 576,33 \times 400 \times (602 - 0.5 \times 34,18)$$

$$= 121\,356\,424 \text{ Nmm}$$

Cek Kapasitas momen penampang :

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$122\,316\,300 \text{ Nmm} < 121\,356\,424,90 \text{ Nmm} \dots \dots \dots (\text{OK})$$

C. Kondisi 3, Tulangan Lentur Lapangan (+)

a. Perhitungan kebutuhan penulangan awal

Momen lapangan (+)

$$M_u = 129\,880\,700 \text{ Nmm}$$

Tinggi efektif pada balok

$$d = 650 - 40 - 10 - (16/2) = 602 \text{ mm}$$

Rasio desain balok (asumsi penampang terkendali tarik = ϕ 0,9)

(SNI 2847 : 2019)

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{M_n}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{129\,880\,700}{0,9 \cdot 350 \cdot 602^2} = 1,13$$

Tinggi balok beton persegi ekuivalen

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot F_c}} \right) \times d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,13}{0,85 \cdot 30}} \right) \times 602$$

$$= 27,29 \text{ mm}$$

Luas tulangan (As) perlu :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot F_c \cdot a \cdot b}{F_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 27,29 \cdot 350}{400} = 608,90 \text{ mm}^2$$

b. Pengecekan kondisi penampang awal

Untuk persyaratan pendetailan khusus, elemen lentur harus berada didalam penampang terkendali tarik

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(30 - 28)}{7} = 0,84$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{27,29}{0,84} = 32,48 \text{ mm}$$

$$c/d = 32,48/602 = 0,053 < 0,375 \dots \dots \dots \text{OK}$$

c. Pengecekan syarat tulangan perlu

Batas tulangan minimum dan tulangan maximum berdasarkan SNI 2847 : 2019

Luas tulangan (As) perlu :

$$A_s = 608,90 \text{ mm}^2$$

Pengecekan penulangan minimum :

$$\begin{aligned} A_{smin 1} &= \frac{0,25\sqrt{F_c}}{F_y} b_w \cdot d = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} 350 \cdot 602 \\ &= 5770,25 \text{ mm}^2 < A_s \dots \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smin 2} &= \frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{F_y} = \frac{1,4 \cdot 350 \cdot 602}{400} \\ &= 737,45 \text{ mm}^2 < A_s \dots \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Pengecekan penulangan maximum :

$$P_{max} = 0,021$$

$$\begin{aligned} A_{smax} &= 0,021 \cdot 350 \cdot 602 \\ &= 4424,7 \text{ mm}^2 > A_s \dots \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Karena A_s perlu lebih kecil dari A_{smin} maka digunakan $A_{smin} = 737,45 \text{ mm}^2$

d. Pengontrolan jarak spasi penulangan

Banyaknya tulangan lentur :

$$n = \frac{A_{smin 2}}{A_{stul}} = \frac{737,45}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2} = 3,66 \text{ maka digunakan 4 buah}$$

Pengecekan spasi penulangan asumsi awal (pasang 1 baris) :

$$\begin{aligned} S &= \frac{b - (2 \cdot dc) - (2 \cdot \emptyset_{seng}) - (n \cdot D_{tpokok})}{n - 1} \\ &= \frac{650 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (4 \cdot 16)}{4 - 1} \\ &= 514 > 25 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka gunakan tulangan 1 baris

$$A_{s1} = 2 \text{ D16} = 401,92 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 2 \text{ D16} = 401,92 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{(401,92 \cdot (40 + 10 + \frac{16}{2})) + 40}{401,92}$$

$$= 58,066 \text{ mm}$$

$$d_{aktual} = 650 - 58,099 = 591,901 \text{ mm}$$

$$A_{saktual} = 4 \cdot (0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2) = 803,84 \text{ mm}^2$$

e. Pengecekan kapasitas penampang aktual

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen A_{aktual} :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot F_c \cdot b} = \frac{608,90 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 350} = 27,28 \text{ mm}$$

M_n aktual dikalikan faktor reduksi :

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \cdot A_s \cdot F_y \cdot (d_{akt} - 0,5 \cdot a_{akt}) \\ &= 0,9 \cdot 608,90 \cdot 400 \cdot (602 - (0,5 \cdot 27,28)) \\ &= 128\,970\,865,44\end{aligned}$$

Pengecekan kapasitas momen penampang :

$$\begin{aligned}M_u &\leq \phi M_n \\ &= 129\,880\,700 \text{ Nmm} < 128\,970\,865,44 \text{ Nmm} \quad \dots\text{OK}\end{aligned}$$

d. **Kondisi 4**, Tulangan Lentur Lapangan (-)

a. Perhitungan kebutuhan penulangan awal

Momen lapangan (-)

$$M_u = 169\,252\,200 \text{ Nmm}$$

Tinggi efektif pada balok

$$d = 650 - 30 - 10 - (16/2) = 602 \text{ mm}$$

Rasio desain balok (asumsi penampang terkendali tarik = $\phi = 0,9$)

(SNI 2847 : 2019)

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{169\,252\,000}{0,9 \cdot 350 \cdot 602^2} = 1,48$$

Tinggi balok beton persegi ekuivalen

$$\begin{aligned}a &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot F_c}}\right) \times d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,48}{0,85 \cdot 30}}\right) \times 602 \\ &= 36,01 \text{ mm}\end{aligned}$$

Luas tulangan (A_s) perlu :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot F_c \cdot a \cdot b}{F_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 36,01 \cdot 350}{400} = 803,47 \text{ mm}^2$$

b. Pengecekan kondisi penampang awal

Untuk persyaratan pendetailan khusus, elemen lentur harus berada didalam penampang terkendali tarik

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(30 - 28)}{7} = 0,84$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{36,01}{0,84} = 42,86 \text{ mm}$$

$$c/d = 42,86/602 = 0,071 < 0,375 \dots\dots\dots\text{OK}$$

c. Pengecekan syarat tulangan perlu

Batas tulangan minimum dan tulangan maximum berdasarkan SNI 2847 : 2019

Luas tulangan (As) perlu :

$$A_s = 803,47 \text{ mm}^2$$

Pengecekan penulangan minimum :

$$A_{smin 1} = \frac{0,25\sqrt{F_c}}{F_y} b_w \cdot d = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} 350 \cdot 602$$

$$= 721,28 \text{ mm}^2 < A_s \dots\dots\dots\text{OK}$$

$$A_{smin 2} = \frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{F_y} = \frac{1,4 \cdot 350 \cdot 602}{400}$$

$$= 737,45 \text{ mm}^2 < A_s \dots\dots\dots\text{OK}$$

Pengecekan penulangan maximum :

$$P_{max} = 0,021$$

$$A_{smax} = 0,021 \cdot 350 \cdot 602$$

$$= 4424,7 \text{ mm}^2 > A_s \dots\dots\dots\text{OK}$$

Digunakan $A_{perlu} = 803,47 \text{ mm}^2$

d. Pengontrolan jarak spasi penulangan

Banyaknya tulangan lentur :

$$n = \frac{A_{perlu}}{A_{stul}} = \frac{803,47}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2} = 3,99 \text{ maka digunakan 4 buah}$$

Pengecekan spasi penulangan asumsi awal (pasang 1 baris) :

$$S = \frac{b - (2 \cdot dc) - (2 \cdot \emptyset_{seng}) - (n \cdot D_{tpokok})}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (2 \cdot 16)}{4 - 1}$$

$$= 215 > 25 \text{ mm} \dots\dots\dots\text{OK}$$

Maka gunakan tulangan 1 baris

$$A_{s1} = 2 \text{ D16} = 401,92 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{(401,92 \cdot (40 + 10 + \frac{16}{2})) + 40}{401,92}$$

$$= 58,066 \text{ mm}$$

$$d_{aktual} = 650 - 58,099 = 591,01 \text{ mm}$$

$$A_{saktual} = 4 \cdot (0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2) = 803,84 \text{ mm}^2$$

e. Pengecekan kapasitas penampang aktual

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen A_{aktual} :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot F_c \cdot b} = \frac{803,84 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 350} = 36,02 \text{ mm}$$

$M_{naktual}$ dikalikan faktor reduksi :

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot F_y \cdot (d_{akt} - 0,5 \cdot a_{akt})$$

$$= 0,9 \cdot 803,84 \cdot 400 \cdot (591,01 - (0,5 \cdot 36,02))$$

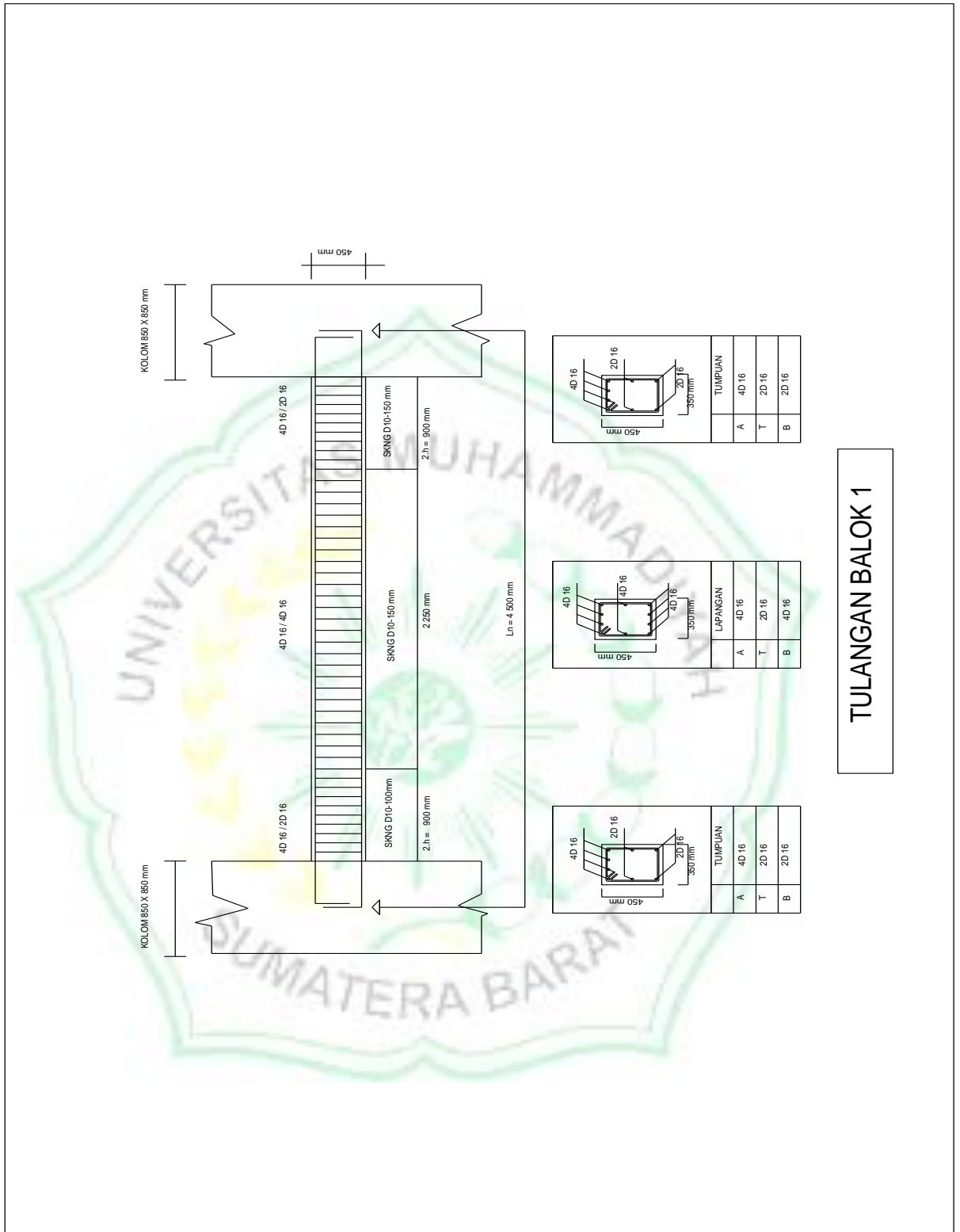
$$= 165\,816\,115,2$$

Pengecekan kapasitas momen penampang :

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$= 169\,252\,200 \text{ Nmm} < 165\,816\,115,2 \text{ Nmm} \dots \dots \dots \text{OK}$$





TULANGAN BALOK 1

Gambar 4.3 penulangan balok

4. 4.7 Perencanaan Kolom

Aksial - Lentur			
KONDISI	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	191,070	71,530	26,248
P min	-955,977	-106,371	-57,638
M2 max	-74,609	382,793	251,069
M3 min	-502,268	-391,419	-376,019
M3 max	-240,863	259,783	399,064
M3 min	-502,268	-391,419	-376,019

Tabel 4.3 momen kolom hasil etabs ke excel

Gaya Tekan Terkecil = 0,00 (kN)

Geser:

a. Tumpuan

$$V2 = 271,900 \text{ kN}$$

$$V3 = 325,405 \text{ kN}$$

b. Lapangan

$$V2 = 271,900 \text{ kN}$$

$$V3 = 325,408 \text{ kN}$$

Parameter :

- Panjang/tinggi kolom, L = 5000 mm
- Sisi pendek kolom, b = 450 mm
- Sisi panjang kolom, h = 600 mm
- Diameter Tulangan Longitudinal, d_b = 22 mm
- Diameter Tulangan Sengkang, d_s = 13 mm
- Selimut Bersih, cc = 30 mm
- Kuat tekan Beton, f_c' = 30 Mpa
- Kuat Leleh Baja Tulangan, f_y = 400 Mpa
- Tinggi Balok, hb = 650 mm
- Ln (Ln-hb) = 4350 mm

1. Syarat gaya dan geometri
 - Syarat Gaya Aksial $P_u > 0,1 A_g$
 - Syarat Sisi Terpendek $b > 300 \text{ mm}$
 - Syarat Rasio dimensi penampang $b/h = 0,4$
2. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA column, atau Spa Column, atau CSI:

Jumlah Tulangan, n = 24 (input)

Luas Tulangan Longitudinal, A $n \times \pi /4 \cdot d_b^2$ = 9123,2

Rasio Tulangan, ρ $A_s / (b \cdot h)$ = 3,38 %

Cek ρ_{\min} dan ρ_{\max} $1\% \leq \rho \leq 6\%$, $1\% \leq 3,38\% \leq 6\%$ Ok

3. Pengecekan Strong Column-Weak Beam (SCWB) Momen Nominal kolom, M_{nc} nilai terkecil (input)

M_n^- Tumpuan Balok = 160,6132 Kn/m

M_n^+ Tumpuan Balok = 122,3163 Kn/m

Cek SCWB $2 \cdot M_{nc} \geq 1.2 \cdot (M_n^- + M_n^+)$ OK

a. Desain Transversal

Parameter :

Panjang/tinggi kolom , L = 5000 mm

Sisi Pendek Kolom, b = 450 mm

Sisi Panjang Kolom, h = 600 mm

Diameter Tulangan Longitudinal, d_b = 22 mm

Diameter Tulangan Sengkang, d_s = 13 mm

Selimut Bersih, c_c = 30 mm

Kuat Tekan Beton, f_c' = 30 Mpa

Kuat Leleh Baja Tulangan, f_y = 400 Mpa

Tinggi Balok, h_b = 650 mm

L_n $(L - h_b)$ = 4350 mm

- Panjang Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 l_{o1} &= h = 600,0 \text{ mm} \\
 l_{o2} &= L_n / 6 = 725,0 \text{ mm} \\
 l_{o3} &= 450 \text{ mm} \\
 l_o &= \text{Max} (l_{o1}; l_{o2}; l_{o3}) = 725,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/tumpuan

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah kaki Sisi Pendek, } n_1 &= 3 \\
 \text{Jumlah Kaki sisi panjang, } n_2 &= 3 \\
 \text{Spasi, } s &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Spasi Kaki Terbesar, } x_{i \text{ max}} &= 300 \text{ mm} \\
 A_{sh \ 1} &= 300 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh \ 2} &= n \cdot \pi / 4 \cdot d_s^2 = 398,197 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh} / s, 1 &= 3,982 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 A_{sh} / s, 2 &= 3,982 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Kekangan Zona Sendi Plastis:

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar Penampang Inti Beton, } b_c &= b - 2c_c = 390 \text{ mm} \\
 \text{Panjang Penampang Inti Beton, } h_c &= h - 2c_c = 540 \text{ mm} \\
 \text{Luas Penampang Kolom, } A_g &= b \cdot h = 270000 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas Penampang Inti Beton, } A_{ch} &= b_c \cdot h_c = 210600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Sisi Pendek/Sumbu Lemah:

$$\begin{aligned}
 A_{sh}/s \text{ min, 1} &= 0.3 (b_c \cdot f_c' / f_y) \cdot (A_g / A_{ch} - 1) = 2,475 \\
 A_{sh}/s \text{ min, 2} &= 0.09 \cdot b_c \cdot f_c' / f_y = 2,633 \\
 \text{Cek } A_{sh}/s \ 1 &= A_{sh}/s \ 1 \geq A_{sh}/s \ \text{min} ? \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Sisi Panjang/Sumbu Kuat:

$$\begin{aligned}
 A_{sh}/s \text{ min, 1} &= 0.3 (h_c \cdot f_c' / f_y) \cdot (A_g / A_{ch} - 1) = 3,427 \\
 A_{sh}/s \text{ min, 2} &= 0.09 \cdot h_c \cdot f_c' / f_y = 3,645 \\
 \text{Cek } A_{sh}/s \ 2 &= A_{sh}/s \ 2 \geq A_{sh}/s \ \text{min} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Cek Spasi:

$S_{max,1}$	$b / 4$	$= 112,5$
$S_{max,2}$	$6 \cdot d_b$	$= 132$
h_x	$X_{i \max}$	$= 300$
$S_{max,3} = s_o$	$100 \leq 100 + (350 - h_x) / 3 \leq 150$	$= 116,667$
S_{max}	$\text{Min} (S_{max1}, S_{max2}, S_{max3})$	$= 112,500$
Cek Spasi		OK

- Kuat Geser Zona Sendi Plastis

Gaya Geser Desain (Perlu input dari PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll. dengan $f_{pr} = 1.25 f_y$)

$$M_{pr} \text{ Kolom} = 737,638 \quad \text{nilai terbesar}$$

$$V_{u1} = 2 \times M_{pr} \text{ Kolom} / L_n = 339144 \text{ N}$$

- Gaya Geser Hasil Analisis Struktur

$$V_{u2, \text{ Sumbu Lemah}} = \text{Dari Sheet Gaya Dalam} = 271900$$

$$V_{u2, \text{ Sumbu Kuat}} = \text{Dari Sheet Gaya Dalam} = 325408$$

b. Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah:

$$V_u = \text{Max} (V_{u1}, V_{u2}) = 339144 \text{ N}$$

$$\phi = 221236 \text{ N}$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d; d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 221236$$

$$V_s \text{ Perlu } V_u / \phi - V_c = 230956 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu } V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 1,4581 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1 } 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_y = 0,5094$$

$$A_s/s \text{ Min 2 } 0.35 h / f_y = 0,5250 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Cek } A_s/s \quad A_{sh} / s \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$$

c. Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat:

$$V_u = \text{Max}(V_{u1}, V_{u2}) = 339144 \text{ N}$$

$$\Phi = 0,75 \text{ N}$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d; d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 221236$$

$$V_s \text{ Perlu}, V_u / \Phi - V_c = 230956 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu}, V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 1,4581 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ Min } 1, 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_y = 0,5094$$

$$A_s/s \text{ Min } 2, 0.35 h / f_y = 0,5250 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Cek $A_s/s \quad A_{sh} / s \geq \text{Max}(A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$

d. Tulangan Transversal Luar zona sendi Plastis/Tumpuan

Jumlah Kaki Sisi Pendek, n1 = 2 (input)

Jumlah Kaki Sisi Panjang, n2 = 2 (input)

Spasi, s = 150 mm

$$A_v \text{ Sumbu Lemah} = n \cdot \pi/4 \cdot d_s^2 = 265,456 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ Sumbu Kuat} = n \cdot \pi/4 \cdot d_s^2 = 256,456 \text{ mm}^2$$

e. Confinement/ Kekangan Luar Zona Sendi Plastis

Spasi max 1 = 6 d_b = 170,0

Spasi max 2 = 150 mm = 150,0

Cek Spasi Spasi ≤ Spasi MaxOK

f. Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis

a. Tahanan geser beton sumbu lemah

$$V_u \text{ Dari Sheet Gaya Dalam} = 271900 \text{ N}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$V_c, 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d; d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 527139 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} \text{ Max}(V_u / \Phi - V_c; 0) = 0 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_v/s \text{ Perlu} V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 0$$

$$A_s/s \text{ Min } 1, 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_y = 0 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ Min } 2.035 b / f_y = 0 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Cek $A_s/s \quad A_v/s \geq A_v/s \text{ Perlu ?} \quad \dots\dots\dots\text{OK}$

b. Tahanan geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u \text{ Dari Sheet Gaya Dalam} = 325408 \text{ N}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u/(14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d; d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 527139 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu } \text{Max} (V_u/\Phi - V_c; 0) = 0$$

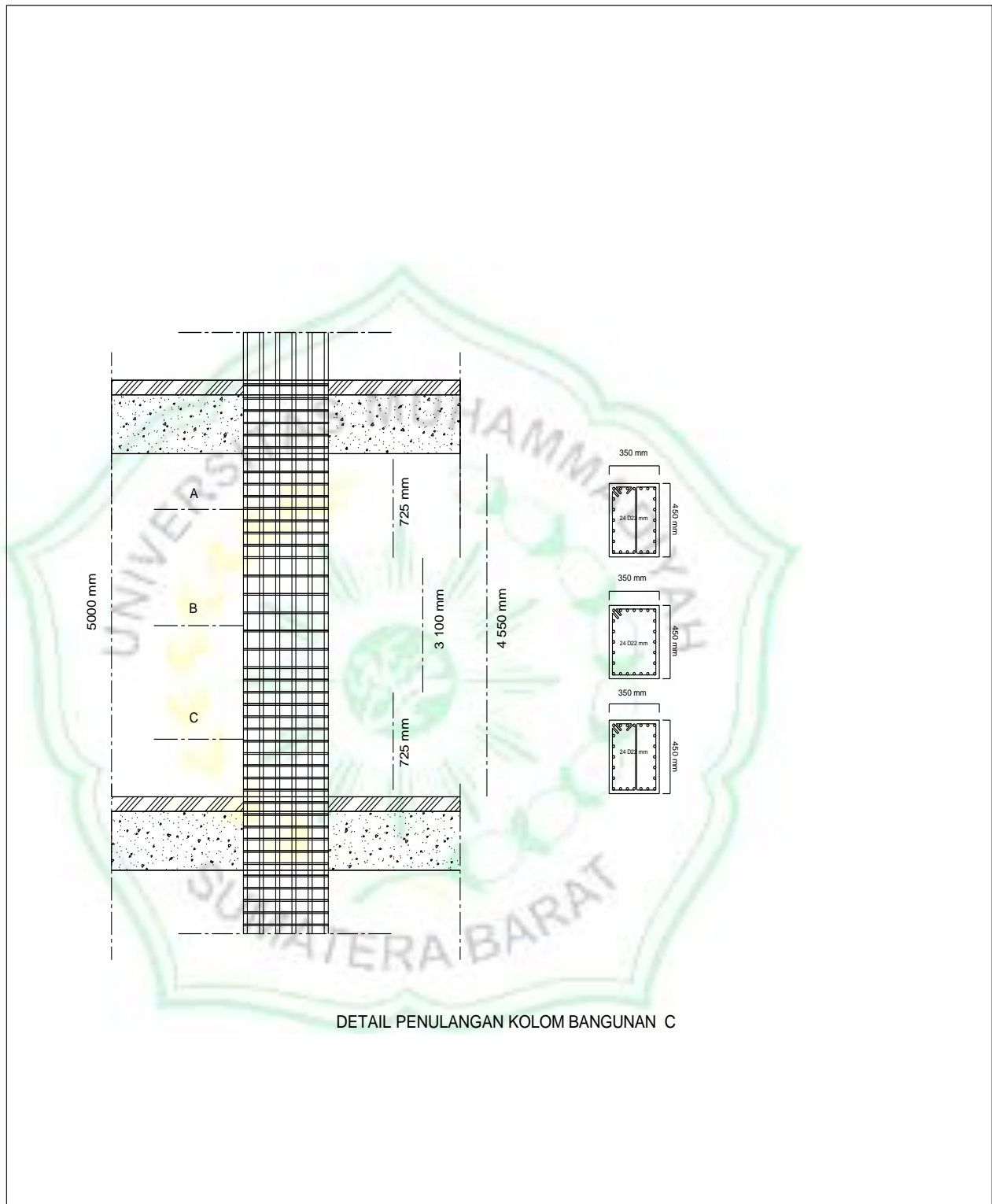
$$A_v/s \text{ Perlu } V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 0$$

$$A_s/s \text{ Min } 1.062 (f_c')^{0.5} b / f_y = 0 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ Min } 2.035 b / f_y = 0 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Cek $A_s/s \quad A_v/s \geq A_v/s \text{ Perlu ?} \quad \dots\dots\dots\text{OK}$





Gambar 4.4 penulangan Kolom

4.4.8 Perencanaan Tangga

1. Data-dat Desain:

- a. beton $f_c = 30$ Mpa
- b. Tulangan pokok $f_y = 400$ Mpa
- c. Tulangan Sengkang $f_y = 240$ Mpa

2. Beban Mati DL :

- a. Beton Bertulang : 24,00 kN/m³
- b. Dinding pasangan bata merah ½ bata : 2,5 kN/ m²
- c. Pasir : 18,00 kN/m³
- d. Adukan semen per cm tebal : 0,21 kN/ m²
- e. Penutup lantai (tegel) = 0,24 kN/m²

3. Beban Hidup LL :

- a. Tangga : 4,97 kN/ m²
- b. Bordes : 4,97 kN/ m²

4. Perhitungan Perencanaan tangga

tinggi lantai = 4,2 m

Panjang ruangan untuk tangga = 5,0 m

Lebar tangga = 5,3 m

Tinggi anak tangga (Optrade) = 17 cm syarat : $16 \leq O \leq 20$

Lebar anak tangga (Antrade) = 30 cm syarat : $26 \leq A \leq 30$

Jumlah anak tangga = $400/17 = 23,519 = 24$ anak tangga

Lebar bordes (b_o) = $500 - (12 \times 30) = 140$ cm

Kemiringan tangga = $\tan \alpha = O/A = 17/30 = 29,54^\circ$

Digunakan tebal plat tangga yaitu = 12 cm

Tinggi beban merata (t') = $((0,5 \times O \times A) / \sqrt{(O^2 + A^2)}) = ((0,5 \times 17 \times 30) / \sqrt{(17^2 + 30^2)}) = 7,3951$ cm

$$h = t_b + t' = 12 + 7,3951 = 19,4 \text{ cm}$$

$$h' = t_b / \cos \alpha + O/2 = 12 / \cos 29,54^\circ + 17/2 = 22,29 \text{ cm}$$

$$= 0,2229 \text{ m}$$

5. Pembebanan Pada Tangga

a) beban mati tangga :

hitungannya beban per meter lebar tangga

beban mati:

$$\text{beban pelat+ anak tangga} = 0,2279 \cdot 24 = 5,4696 \text{ kN/m}$$

$$\text{tegel (2 cm)} = 0,02 \cdot 0,24 = 0,0048 \text{ kN/m}$$

$$\text{spesi (2 cm)} = 0,02 \cdot 0,21 = 0,0042 \text{ kN/m}$$

$$\text{railing} = 0,89 \text{ kN/m}$$

$$Q_{dl} = 6,368 \text{ kN/m}$$

b) beban hidup pada tangga : $Q_u = 2,5 \text{ kN/m}$

hitungannya beban per meter lebar bordes

c) beban mati pada Bordes :

$$\text{beban mati : berat sendiri} = 0,12 \cdot 24 = 2,88 \text{ kN/m}$$

$$\text{tegel (2 cm)} = 0,02 \cdot 0,24 = 0,0048 \text{ kN/m}$$

$$\text{spesi (2 cm)} = 0,02 \cdot 0,21 = 0,0042 \text{ kN/m}$$

$$\text{railing} = 0,89 \text{ kN/m}$$

$$Q_{dl} = 3,779 \text{ kN/m}$$

d) beban hidup plat Bordes : $Q_u = 2,5 \text{ kN/m}$

e) reaksi tumpuan

6. reaksi perletakan yang disebabkan DL dan LL:

$$Q_{ult} \text{ tangga} = 1,2 \cdot Q_{dl} + 1,6 \cdot Q_u$$

$$= 1,2 \cdot 6,368 + 1,6 \cdot 2,5$$

$$= 11,74 \text{ kN/m}$$

$$\text{Quilt bordes} = 1,2 \cdot Q_{dl} + 1,6 \cdot Q_u$$

$$= 1,2 \cdot 3,779 + 1,6 \cdot 2,5$$

$$= 6,662 \text{ kN/m}$$

$$\sum MB = 0$$

$$(R_A \cdot 5) - (11,74 \cdot 3,5 \cdot (\frac{3,5}{2} + 1,8)) - 6,662 \cdot 1,8 \cdot (\frac{1,8}{2}) =$$

$$R_A = 23,728 \text{ Kn}$$

$$\sum MA = 0$$

$$(11,74 \cdot 3,5 \cdot (\frac{3,5}{2})) + 6,662 \cdot 1,8 \cdot (\frac{1,8}{2} + 3,5) - R_B \cdot 5 =$$

$$R_B = 24,934 \text{ Kn}$$

$$R_C = 23,728 - (11,74 \cdot 3,5)$$

$$= -17,362 \text{ Kn}$$

$$23,728 \cdot (3,5 - x) = 17,362 \cdot x$$

$$83,048 - 23,728 \cdot x = 17,362 \cdot x$$

$$83,048 - 23,728 \cdot x - 17,362 \cdot x = 0$$

$$83,048 - 41,09x = 0$$

$$-41,09x = -83,048$$

$$x = \frac{-83,048}{-41,09}$$

$$x = 2,021 \text{ m}$$

$$M_{max} = 23,728 \cdot 2,021 - 11,74 \left(\frac{2,021^2}{2} \right)$$

$$= 23,978 \text{ kN/m}$$

7. penulangan pada tangga

a. Tumpuan dan lapangan

$$M_u = M_{maks}$$

$$= 23,978 \text{ kN/m}$$

Direncanakan penulangan pokok D-13

$$b_w = 1,0 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 120 + 77 = 197 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{Selimut beton} - \frac{1}{2} \text{Øtulangan pokok} \\ &= 197 - 25 - (0,5 \times 13) \\ &= 165,5 \text{ mm} = 0,1655 \text{ m} \end{aligned}$$

$$R_{n\text{perlu}} = \frac{M_u}{\phi b_w \cdot d^2} = \frac{23,978 \cdot 10^{-3}}{0,9 \times 1 \times 0,1655^2} = 0,972 \text{ kN/m}$$

$$p_{\min} = 0,018$$

$$\begin{aligned} p_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 30}{400} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,972}{0,85 \times 30}} \right] \\ &= 0,0024 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{\text{maks}} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{f_c}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,84 \cdot \frac{30}{400} \cdot \left[\frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

$$p_{\min} = 0,018 < p_{\text{perlu}} 0,0024 < p_{\text{maks}} 0,024$$

$$A_{s\text{perlu}} = p \cdot b_w \cdot d = 0,0024 \cdot 1000 \cdot 101,2 = 242,88 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min}} = p \cdot b_w \cdot h = 0,0018 \cdot 1000 \cdot 197 = 354,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak penulangan} = \frac{1000 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2}{731,12} = 181,45$$

Jarak tulangan = 3 x h = 3 x 127,7 = 383,1 di ambil jarak tulangan 350 mm tidak melebihi 450 mm. Jadi digunakan tulangan utama D13 – 350 mm.

$$A_{s\text{pakai}} = \frac{1000 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2}{350} = 530,66 \text{ mm}^2$$

Cek: $A_{s\text{pakai}} > A_{s\text{perlu}}$ (Ok)

b) Tulangan Susut

$$\begin{aligned}A_{s \min} &= \rho_{\min} \cdot b_w \cdot h \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 197 \\ &= 354,6 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan P 10

$$\text{Jarak tulangan (S)} = \frac{1000 \cdot x \frac{1}{4} x 3,14 x 10^2}{354,6} = 221,376 \text{ mm}^2$$

Gunakan tulangan P 10 – 200 mm

$$A_{spakai} = \frac{1000 \cdot x \frac{1}{4} x 3,14 x 10^2}{200} = 392,69 \text{ mm}^2$$

Check : $A_{spakai} > A_{s \min}$ (Ok)

c) Kontrol Geser

$$V_u = R_A = 22,425 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 1000 \times 165,5 \cdot 10^{-3} = 151,08\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u < \emptyset \cdot V_c &= 22,425 \text{ kN} < 0,75 \cdot 151,08 \text{ kN} \\ &= 22,425 \text{ kN} < 113,31 \text{ kN} \text{ aman}\end{aligned}$$

(Tidak membutuhkan tulangan geser)

4.5 PONDASI

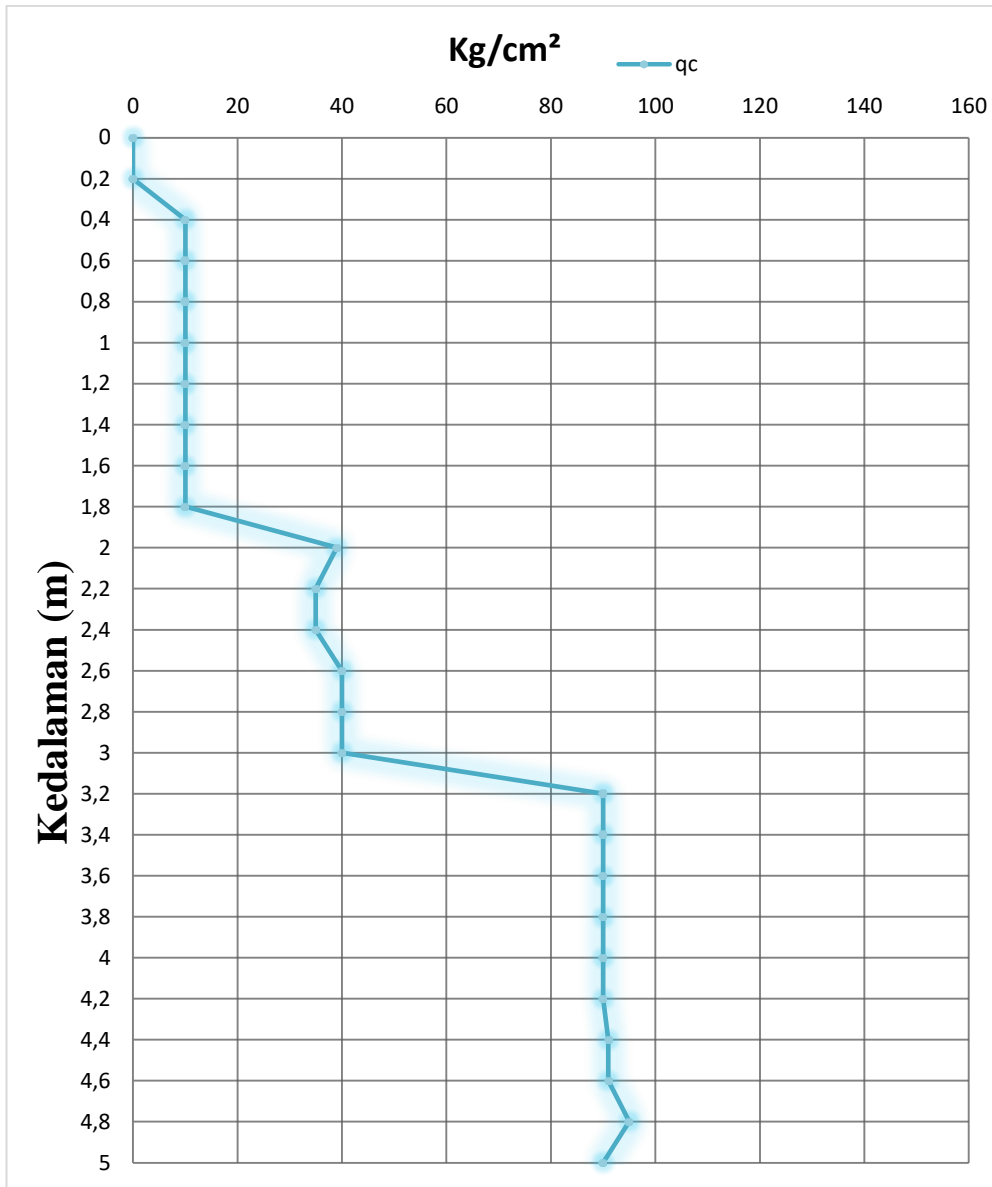
1.Data Awal

Tabel 4.4 Total berat bangunan struktur

Kedalaman	qt	Qc	Qf	Qftk	Σ qftk	FR
(m)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	%
0	0	0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0	0	0
0,4	5	10	5	10	5	1
0,6	5	10	5	10	10	1
0,8	5	10	5	10	10	1
1	5	10	5	10	20	1
1,2	5	10	5	10	25	1
1,4	5	10	5	10	30	1
1,6	5	10	5	10	35	1
1,8	5	10	5	10	40	1
2	30	39	5	18	49	1,8
2,2	30	35	5	10	54	1
2,4	30	35	5	10	59	1
2,6	30	40	10	20	69	2
2,8	30	40	10	20	79	2
3	30	40	10	20	89	2
3,2	80	90	10	20	99	2
3,4	80	90	10	20	109	2
3,6	80	90	10	20	119	2
3,8	80	90	10	20	129	2
4	80	90	10	20	139	2
4,2	80	90	10	20	149	2
4,4	80	91	11	22	160	2,2

4,6	80	91	11	22	171	2,2
4,8	80	95	15	30	186	3
5	80	90	10	20	196	2
5,2	80	90	10	20	206	2
5,4	80	90	10	20	210	2
5,6	120	130	10	20	220	2
5,8	120	130	10	20	236	2
6	120	130	10	20	246	2
6,2	120	130	10	20	256	2
6,4	120	130	10	20	268	2
6,6	120	130	10	20	276	2
6,8	130	135	5	10	281	1
7	130	135	5	10	280	1
7,2	130	135	5	10	291	1
7,4	135	140	5	10	296	1
7,6	145	150	5	10	301	1
7,8	150	155	5	10	201	1





4.5 Gambar grafik data sondir

PERENCANAAN PONDASI

Data Perencanaan

Spesifikasi Umum

Fungsi Bangunan : Gedung Sekolah

Lantai Bangunan : Plat Beton Bertulang

Struktur Atas : Beton Bertulang

Struktur Bawah : Pondasi Sumuran

Parameter Rencana:

Peraturan Perencanaan Dasar

- a. SNI-2847-2019 (Tata cara Perhitungan Beton Bertulang)
- b. SNI 03-1726-2002 (Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan)
- c. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG)
Kuat tekan beton (f_c') : 25 Mpa (cincin Sumuran)
Tegangan leleh tulangan : 400 Mpa

Parameter Tanah

Hand boring test:

Jenis tanah : pasir berlanau

Hasil sondir test : nilai konus kedalaman 3,5 m, $q_c = 40 \text{ kg/cm}^2$

1. $q_c = 4N$
 $N = \text{nilai SPT}$
 $q_c = \text{tahanan konus (kg/cm}^2\text{)}$
2. daya dukung
 $Q_{ijin} = Q_u/SF$
 $SF = \text{faktor keamanan} = 2,5$
 $Q_u = \text{daya dukung ultimate tiang}$

Persyaratan pondasi sumuran:

Direncanakan tipe sumuran berdasarkan beban maksimum pada portal sbb:

Bentuk penampang pondasi dengan beban berat (tipe 1) dengan beban = 16 ton

Direncanakan pondasi sumuran sbb:

1. kedalamam = 350 cm = 3,5 m
2. panjang pondasi sumuran, L = 300 cm = 3 m
3. dia.luar, D_L = 120 cm = 1,2 m
dia.dalam D_D = 100 cm = 1 m
4. tebal poer (pile cap) = 50 cm = 0,5 m
5. luas penampang tiang (A_p) = 1,131 m²
6. luas selimut tiang (A_s) = 11,310 m²
7. berat pile cap (uk. 1,2 x 1,2 m) = 1,728 ton
8. modulus Elastisitas tanah, E_p = 25000
9. koef.distribusi gesekan pada pondasi = 0,5

Daya dukung pondasi sumuran

1. ditinjau dari daya dukung bahan

$$Q_d = \sigma_{\text{bahan}} \times A_p$$

σ_{bahan} = tegangan ijin bahan

A_p = luas penampang tiang pondasi

- a. dinding sumuran $f_c' = 30$ Mpa

$$Q_{d1} = (0,85 \times f_c') \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot (D_L^2 - D_D^2))$$

$$Q_{d1} = (0,85 \times 30) \cdot (1/4 \cdot 3,14 \cdot (1,2^2 - 1^2))$$

$$Q_{d1} = 881216,7 \text{ kg}$$

$$= 881,2 \text{ ton}$$

- b. untuk beton cyclop $f_c' = 18$ Mpa

$$Q_{d2} = (0,85 \times f_c') \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot (D_L^2 - D_D^2))$$

$$= (0,85 \times 18) \cdot (1/4 \cdot 3,14 \cdot (1,2^2 - 1^2))$$

$$Q_{d2} = 1201659,2 \text{ kg}$$

$$= 1201,7 \text{ ton}$$

Jadi daya dukung berdasarkan kekuatan bahan adalah :

$$\begin{aligned} Q_{\text{dbahan}} &= Q_{d1} + Q_{d2} \\ &= 881,2 + 1201,7 = 2082,9 \text{ ton} \end{aligned}$$

2. Ditinjau dari kekuatan tanah

tabel nilai rata-rata dari konversi $n = q_c/4$ pada tiap lapisan tanah
daya dukung ultimit (combine pile)

sondir : $q_c = 40 \text{ kg/cm}^2$

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p$$

$$Q_u = (40 \cdot N_b \cdot A_p) + (0,1 \cdot N \cdot A_s) - W_p$$

Dimana:

Q_u = kapasitas ultimate tiang (ton)

N_b = N_{spt} pada elevasi dasar tiang = 10

$$\begin{aligned} A_p &= \text{luas penampang tiang (m}^2) &= 1,1310 \text{ m}^2 \\ & &= 11309,73 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \text{luas selimut tiang (m}^2) &= 11,3097 \text{ m}^2 \\ & &= 113097,34 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

N = N_{spt} rata-rata sepanjang tiang

W_p = berat pondasi (ton)

$$= 8,14 \text{ ton} \quad (2400 \text{ kg/m}^3 \cdot 1/4 \cdot \pi (0,4)^2 \cdot 6)$$

Daya dukung ijin tiang

$$Q_a = Q_u / SF$$

a. Daya dukung ujung tiang

$$Q_p = q_c \times N_b \times A_p$$

$$= 40 \times 10 \times 1.1310 = 452,39 \text{ ton}$$

b. Daya dukung selimut tiang

$$Q_s = A_s \times F_s$$

$$= 11,3097 \times 2,5 = 5,43 \text{ ton}$$

c. Berat sendiri pondasi

$$W_p = 8,14 \text{ ton}$$

Daya dukung ultimate tiang

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_s - W_p \\
 &= 452,39 + 5,43 - 8,14 \\
 &= 449,69 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_a &= Q_u / SF \\
 &= 449,69 \text{ ton} / 2,5 \\
 &= 179,87 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Daya dukung pondasi dalam kelompok type 1

Dari hasil Analisa struktur,

$$\begin{aligned}
 \sum V_u &= \text{beban bangunan atas (beban vertical + } W_p \text{ + berat pile)} \\
 &= 16 + 8,143 + 1,728 \\
 &= 25,87 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \sum V_u / Q_a \quad (\text{jumlah tiang}) \\
 &= 0,144 - 1
 \end{aligned}$$

$$P_u = \sum V + \text{berat sendiri tiang} + \text{berat pile Cap}$$

1. Untuk dinding sumuran ($f_c' = 25 \text{ Mpa}$)

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (D_L^2 - D_D^2) \cdot L \cdot \gamma_{\text{beton bertulang}} \cdot n \\
 P_1 &= 2,488 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

2. Untuk beton cyclop ($f_c' = 18 \text{ Mpa}$)

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_D^2 \cdot L \cdot \gamma_{\text{beton bertulang}} \cdot n \\
 P_2 &= 5,183627878 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Total berat sendiri sumuran:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tiang}} &= P_1 + P_2 \\
 &= 2,49 + 5,18 \\
 &= 7,67 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_u &= \sum V + \text{berat sendiri tiang} + \text{berat pile cap} \\
&= 16 + 7,67 + 1,728 \\
&= 25,40 \text{ ton} < Q_a = 179,87 \text{ ton} \quad \text{syarat aman...!}
\end{aligned}$$

Perhitungan penurunan pondasi

Untuk perkiraan besarnya penurunan pada pondasi tiang tunggal, maka deformasi tiang batang dapat di evaluasi menggunakan prinsip dasar mekanika bahan

1. Penurunan akibat deformasi aksial tiang

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \alpha \cdot Q_{ws}) \cdot L}{2 \cdot A_p \cdot E_p}$$

$Q_{wp} = 7,672 \text{ ton}$
 $Q_{ws} = 11,310$
 $A_p = 1,131$
 $\alpha = 0,5$
 $E_p = 25000$

$$S_1 = 0,000707 \text{ m} = 0,07 \text{ cm}$$

2. Penurunan dari ujung tiang (S2)

$$S_2 = \frac{q_{wp} \cdot D \cdot L}{E_p} (1 - \mu_s^2) \cdot I_{WP}$$

$q_{wp} = 7,20$
 $\mu_s = 0,20$
 $I_{WP} = 0,85$
 $E_p = 25000$

$$S_2 = 0,00028 \text{ m} = 0,03 \text{ cm}$$

3. Penurunan akibat pengalihan beban, (S3)

$$S_3 = (Q_{ws}/PL) \cdot (D/E_p) \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{WS}$$

$Q_{ws} = 11,31$

$$I_{WS} = 2 + 0,35 \sqrt{\left(\frac{L}{D}\right)} \quad I_{WS} = 2,55$$

$$\begin{aligned}
S_3 &= (160 / (\pi) \cdot D \cdot L) \cdot (D/E_p) \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{WS} \\
&= 0,00012 \text{ m} = 0,01 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$S_{total} = S_1 + S_2 + S_3$$

$$= 0,11 \text{ cm} < 2,5 \text{ cm} \dots \text{Syarat aman !}$$

BAB V

PENUTUP

1.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa hasil dari perhitungan struktur gedung sekolah SMPN 9 Bukittinggi. Garegeh Bukittinggi sebagai berikut :

Tabel 5.1 Hasil perhitungan penulangan balok

No	Nama	B	H	Tulangan Utama	Tulangan Sengkang
1	Balok	350	450	<ul style="list-style-type: none"> • Tumpuan Atas 4 D16 • Tumpuan Bawah 2 D16 • Lapangan Atas 4 D16 • Lapangan Bawah 4 D16 	<ul style="list-style-type: none"> • Sengkang Tumpuan Ø10 - 100 • Sengkang Lapangan Ø10 - 150

Tabel 5.2 Hasil perhitungan penulangan kolom

No	Nama	L	b	h	Dimensi	Tulangan Longitudinal	Tulangan Sengkang
		Mm	mm	mm	Mm		
1	Kolom	5000	450	600	450/600	<ul style="list-style-type: none"> • Tulangan pokok 24 D 22 	<ul style="list-style-type: none"> • Ø10 - 200

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan penulangan pelat

No	Nama	Tumpuan	Lapangan
1	Pelat Atap (150 mm)	<ul style="list-style-type: none"> • Tumpuan x $\phi 10 - 150$ • Tumpuan y $\phi 10 - 150$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Lapangan x $\phi 10 - 300$ • Lapangan y $\phi 10 - 300$
2	Pelat Lantai (150 mm)	<ul style="list-style-type: none"> • Tumpuan x $\phi 10 - 150$ • Tumpuan y $\phi 10 - 150$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Lapangan x $\phi 10 - 300$ • Lapangan y $\phi 10 - 300$

1.2 Saran

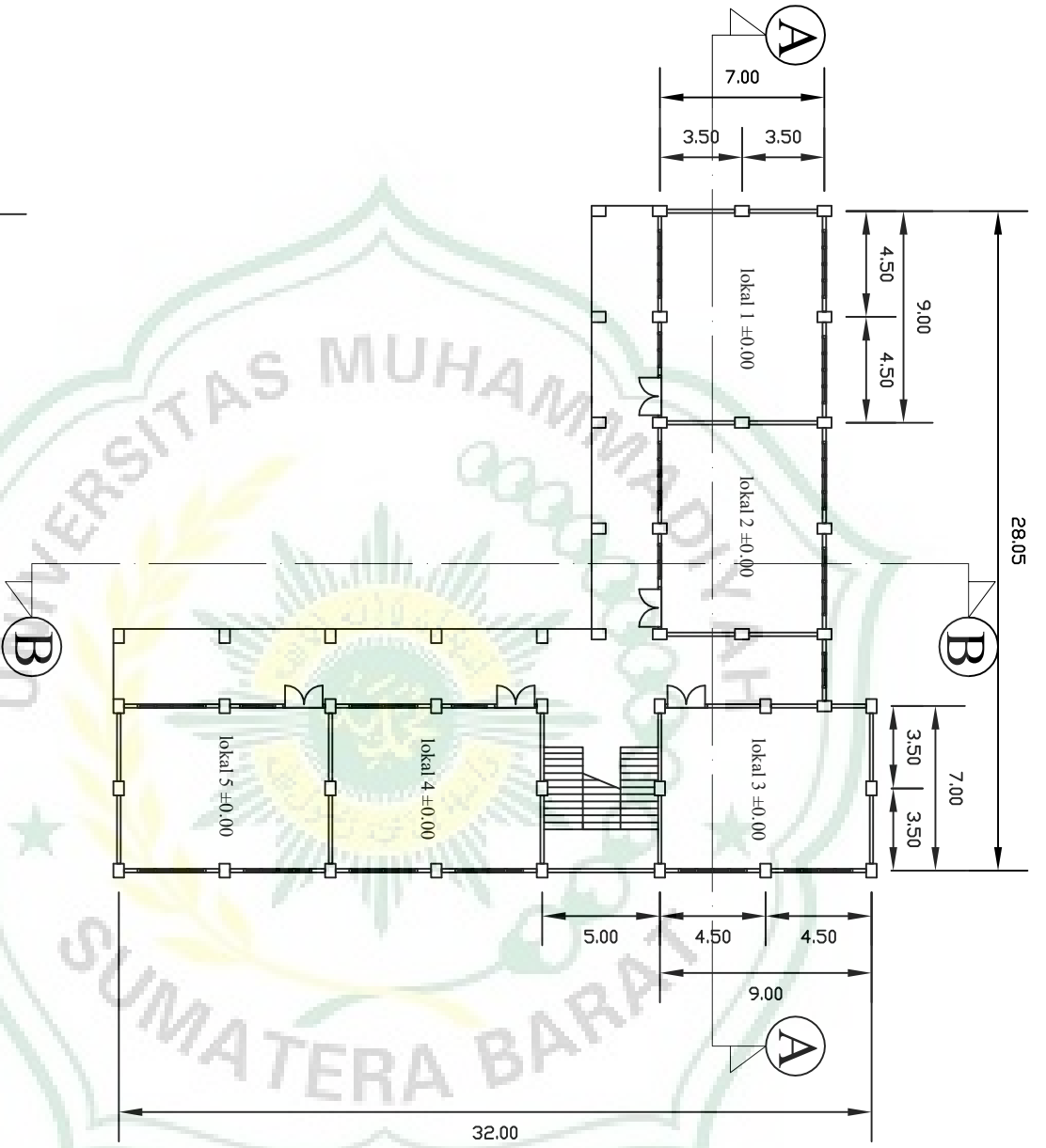
Dalam pengerjaan Skripsi Perencanaan Struktur SMPN 9 Bukittinggi Menggunakan Program *Etabs Versi 16*, Jauh dari kata sempurna sehingga Penulis memberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Pengerjaan skripsi ini dibutuhkan referensi-referensi yang sangat banyak dari berbagai sumber data yang dibutuhkan sebagai pedoman dalam pengerjaannya, seperti SNI tentang perencanaan struktur, buku pedoman tentang beton bertulang sesuai SNI yang berlaku serta contoh-contoh skripsi desain struktur gedung.
2. Dalam merencanakan suatu struktur gedung harus memperhatikan aturan-aturan yang berlaku sehingga saat merencanakan struktur didapatkan dimensi dan penulangan struktur yang efisien dan memenuhi syarat keamanan

DAFTAR PUSTAKA

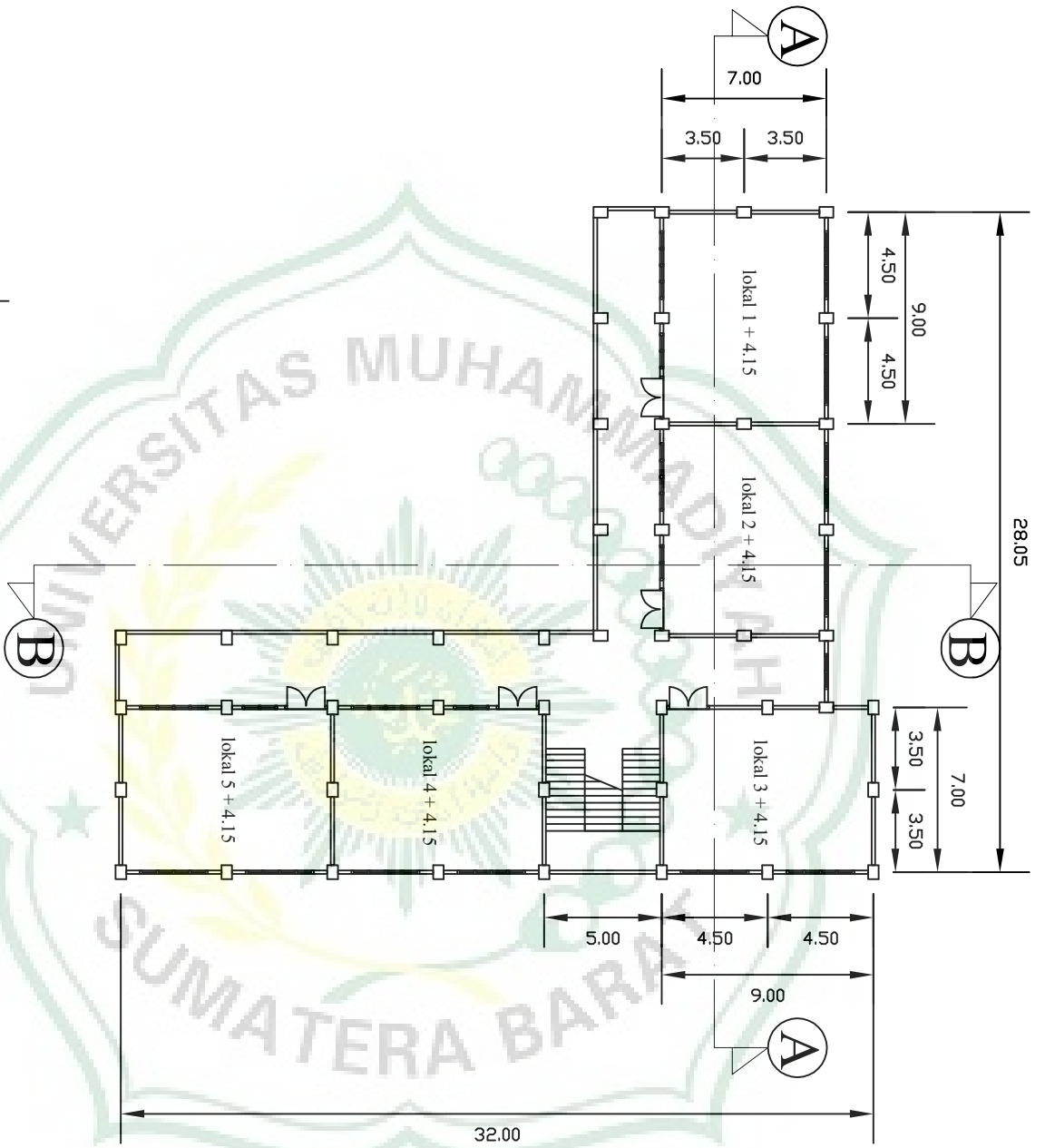
- Afnaldi, A., Masril, M., & Dewi, S. (2022). *Perencanaan Struktur Atas Pembangunan Kantor Aamat Kecamatan Kinali Pasaman Barat Provinsi Sumatera Barat*. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1(2), 160-1665.
- Hendra, A., Ishak, I., & Bastian, E. (2021). *Analisis Perencanaan Struktur Atas Gedung Sosial Budaya Pada Kawasan Islamic Centre Kota Padang Panjang*. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1(1), 130-136.
- Herista, F., & Yusman, A. S. (2021). *Kajian Upah Pekerja Konstruksi Pada Proyek Bangunan Gedung di Provinsi Sumatera Barat*. *Ensiklopedia of Journal*, 3(3), 259-268.
- Irfan, M., Ishak, I., & Priana, S. E. (2022). *Tinjauan Perencanaan Proyek Pembangunan Gedung/ruang Baru Puskesmas Mandiangin Kota Bukittinggi*. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1(2), 172-178.
- Kurniawan, D., Yusuf, M., & Yermadona, H. (2021). *Pengaruh Penambahan Serbuk Gergaji Kayu Terhadap Produktifitas Waktu Dan Kuat Tekan Bata*. *Ensiklopedia of Journal*, 3(3), 269-274.
- Linda Widyastani P (2010). *Perencanaan Bangunan Gedung Kuliah Diploma III Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang*. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 43-150.
- Liud, A. (2016). *Perhitungan Struktur Atas dan Metode Pelaksanaan Pada Proyek Pembangunan Gedung Perpustakaan SMA Keberbakatan Olahraga di Tompaso Kabupaten Minahasa*. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1-20.

- Nafi'ah, P. U. (2019). *Perencanaan Struktur Gedung Lima (5) Lantai Rumah Susun Lokasi Sumurboto Semarang*. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 58-255.
- Priana, S. E., Carlo, N., & Yulius, M. N. (2014). *Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Mutu Pada Proyek Konstruksi Gedung Di Kota Padang Panjang*. *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Post Graduate, Bung Hatta University*, 5(3).
- Putri, A., Masril, M., & Bastian, E. (2021). *Analisis Struktur Pasca Kebakaran Gedung Pascasarjana Universitas Muhammdiyah Sumatera Barat*. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1(1), 179-187.
- Rendi, R., Ishak, I., & Kurniawan, D. (2021). *Perencanaan Struktur Atas Gedung Fakultas Hukum Universitas Muhammdiyah Sumatera Barat*. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1(1), 121-129.
- Saputrai, R., Ishak, I., & Masril, M. (2022). *Perencanaan Ulang Pembangunan Masjid Wustha Payakumbuh*. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1(2), 123-129.



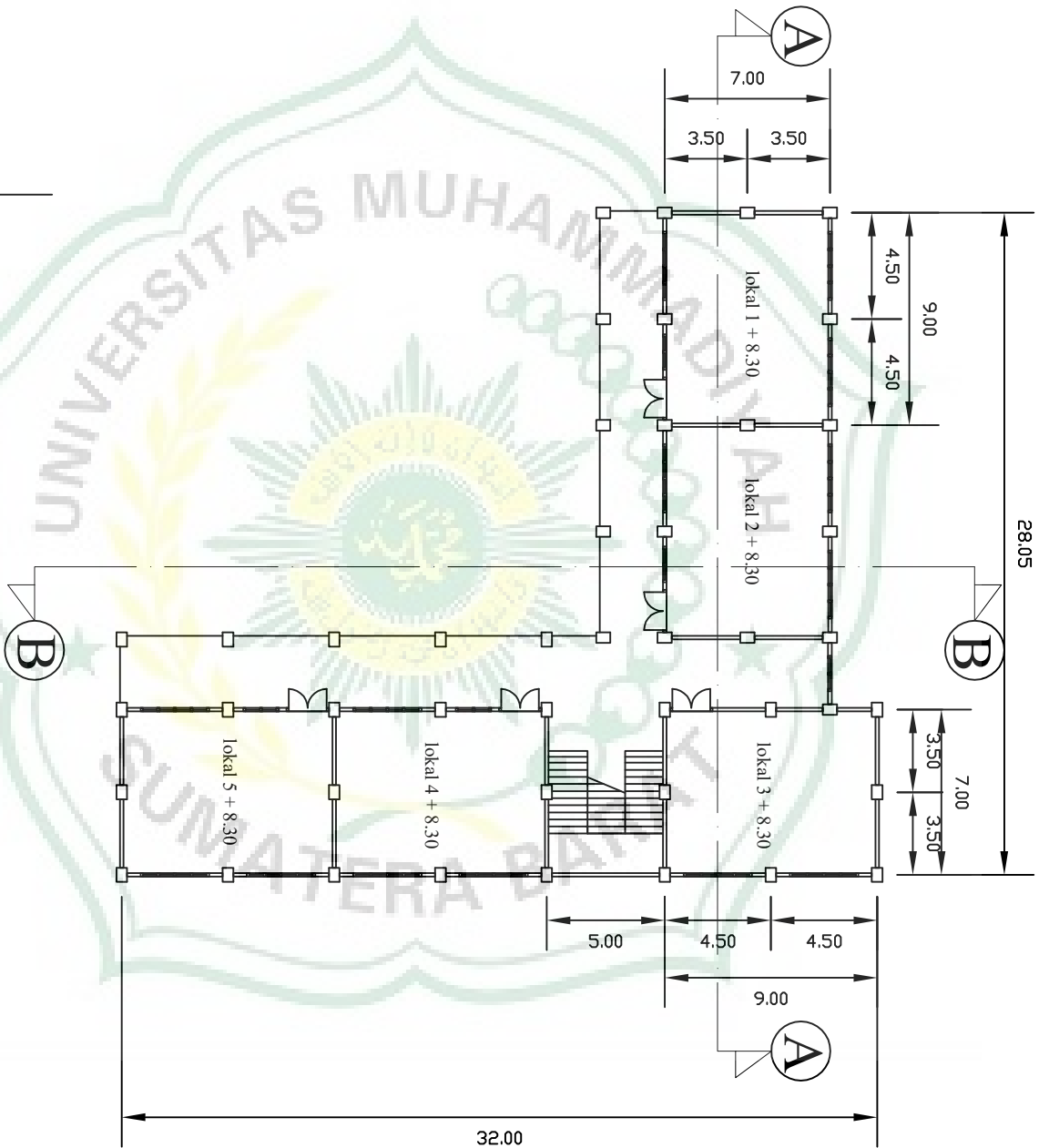
Denah Lantai 1

skala 1:100



Denah Lantai 2

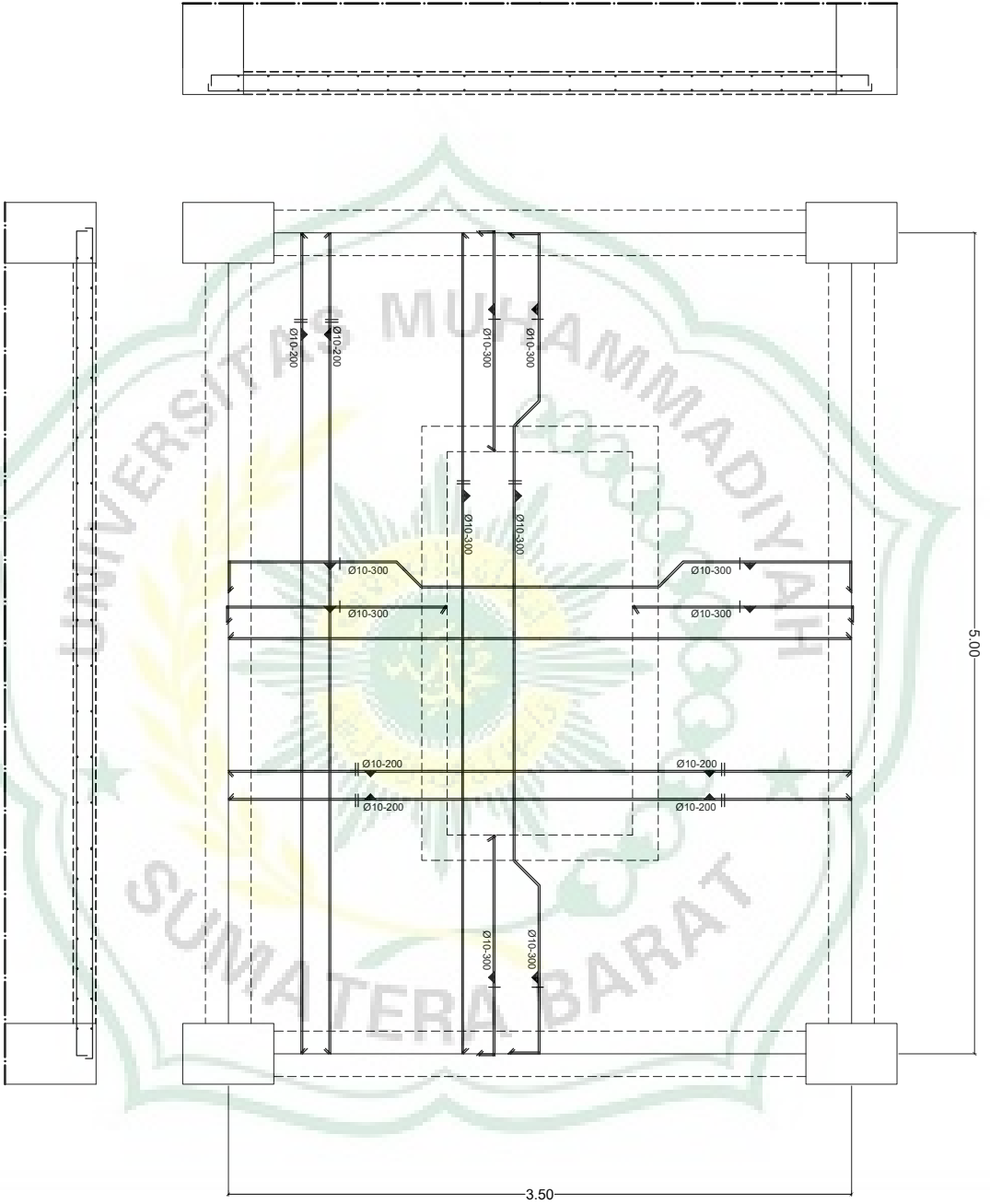
skala 1:100

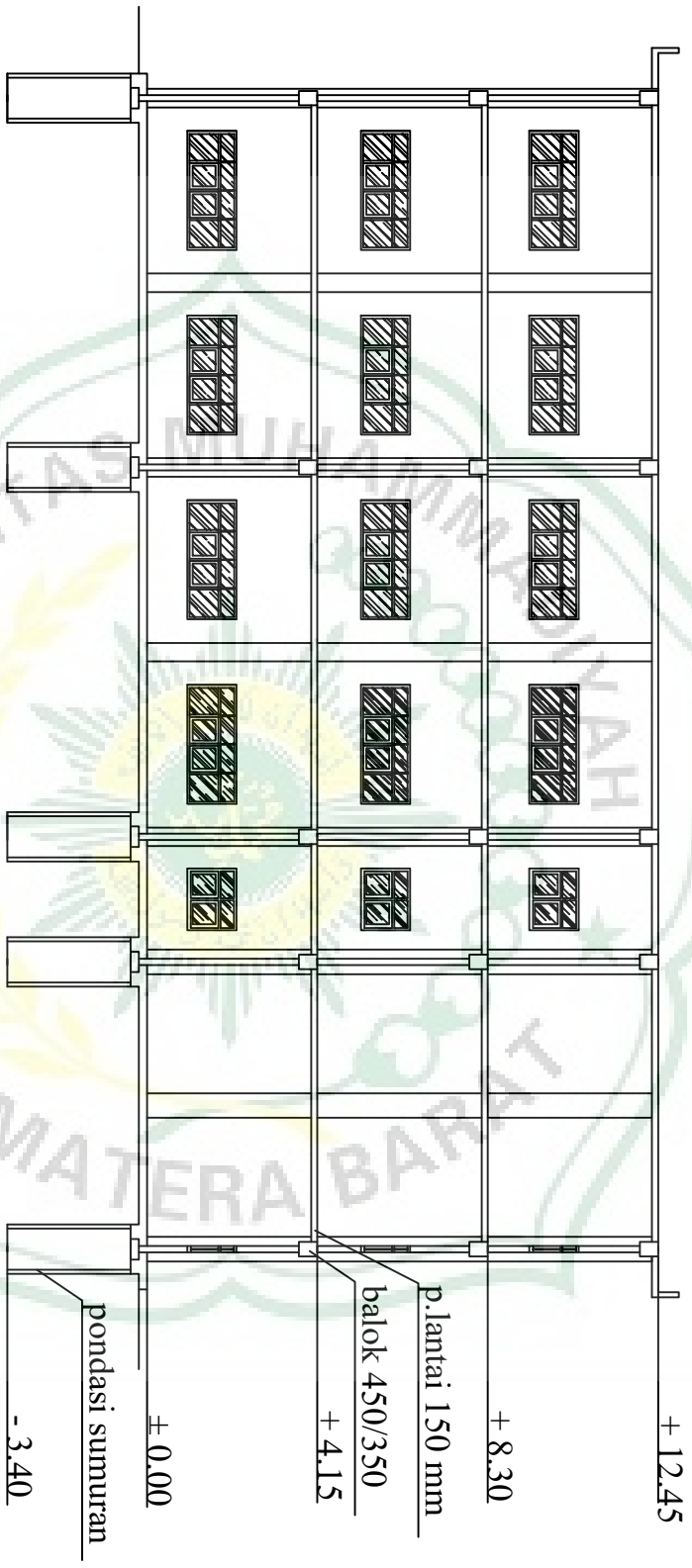


Denah Lantai 3

skala 1:100

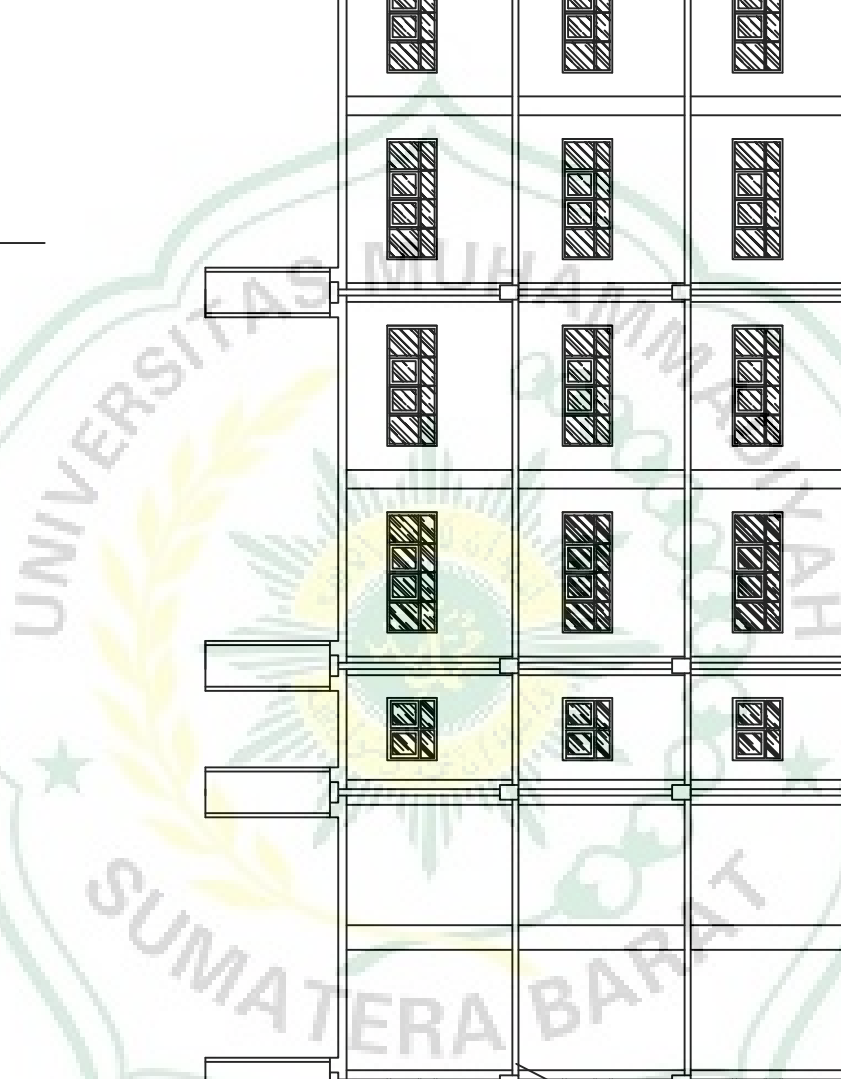
Denah & Detail Plat lantai

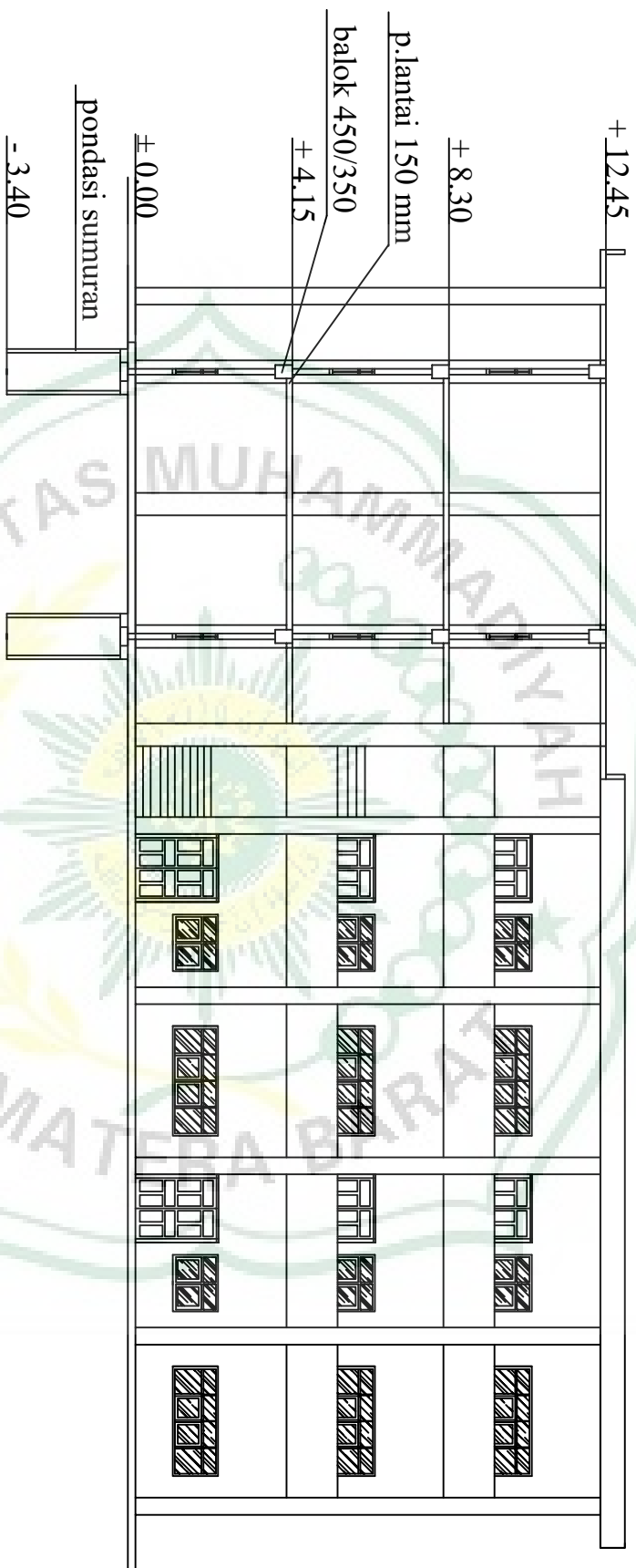




potongan A-A

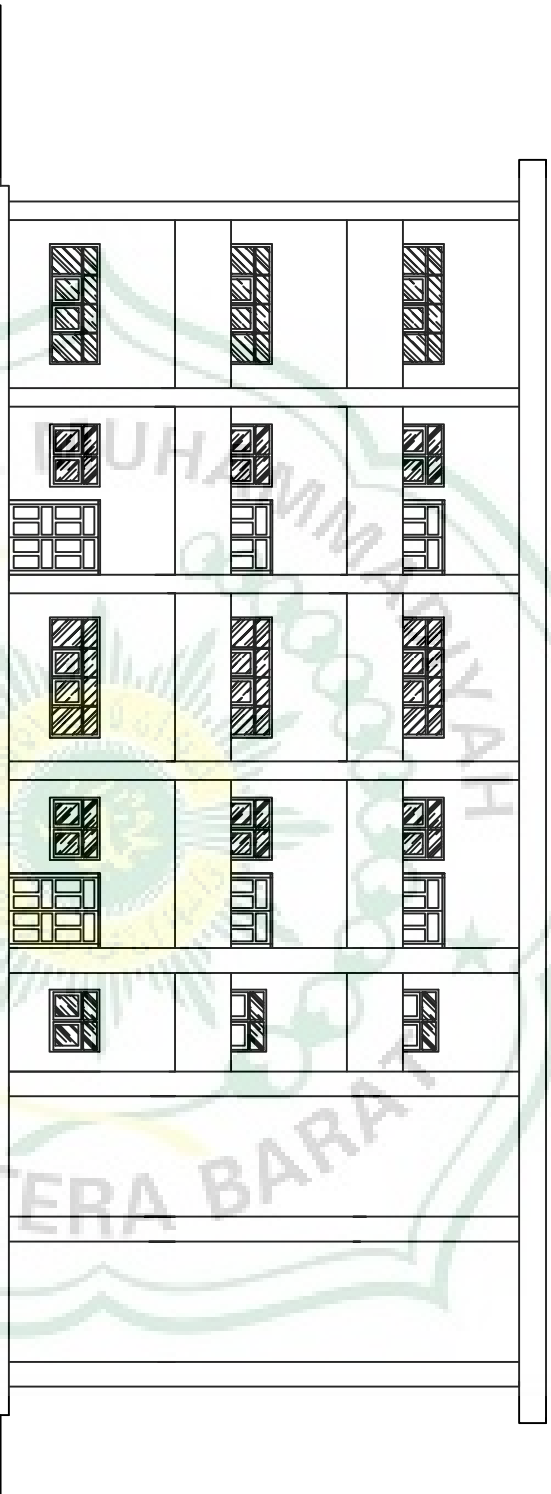
skala 1:100





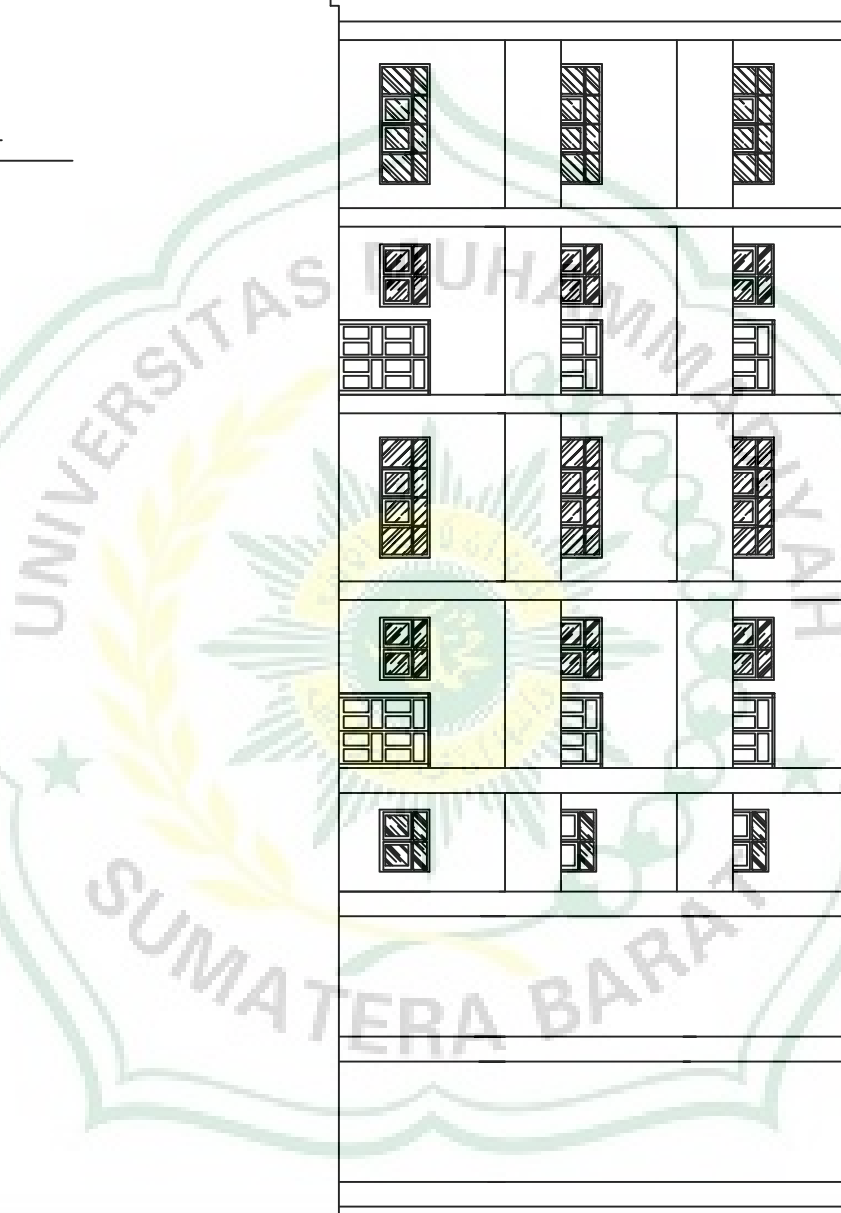
potongan B-B

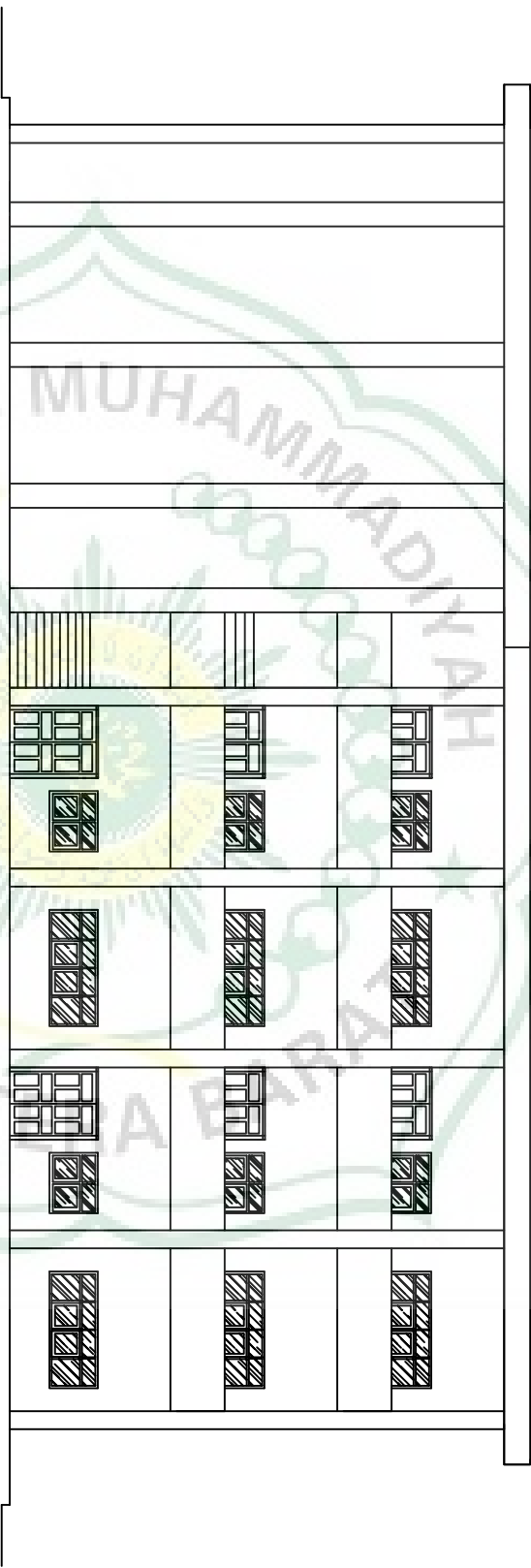
skala 1:100



Tampak Depan

skala 1:100





Tampak samping kiri

skala 1:100