

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Terdahulu

Sebagai bahan referensi dalam penyusunan tugas akhir ini dilakukan pengamatan terhadap penelitian sebelumnya yaitu penelitian yang dilakukan oleh (Hidayati, 2025) dalam tugas akhirnya untuk mencapai gelar serjana SI Teknik Sipil Universitas Dharma Andalas tahun 2025, dengan judul “Desain Struktur Bangunan Beton Bertulang Aman Gempa 10 Lantai Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Dan Dinding Struktural Khusus Di Kota Padang”.

Terdapat beberapa standar dan peraturan yang digunakan dalam desain tersebut diantaranya adalah sebagai berikut Peraturan Beton Bertulang Indonesia PBI 1971. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983. SNI 2847:2019, Persyaratan Beton Struktur Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya. SNI 1726:2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Gedung dan Non gedung. SNI 1727:2020, Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

Dalam perencanaan struktur digunakan mutu beton untuk kolom, balok, pelat dan *shear wall* yaitu $f'c$ 25 Mpa (K-300), mutu baja tulangan kolom dan *shear wall* $f_y = 420$ Mpa, sedangkan mutu baja tulangan untuk balok dan pelat lantai $f_y = 280$ Mpa. Tinggi kolom pada setiap lantai adalah 3,60 m. hasil dari tahapan *preliminary design* adalah dimensi kolom dengan 4 jenis yaitu K1 (700 mm x 1000 mm), K2 (600 mm x 800 mm), K3 (500 mm x 500 mm), K4 (400 mm x 400 mm). dimensi balok yang terdiri dari 3 jenis yaitu B1 (400 mm x 600 mm), B2 (300 mm x 600 mm), B3 (300 mm x 500 mm) dan balok anak dengan dua jenis yaitu BA1 (250 mm x 400 mm) dan BA2 (200 mm x 300 mm). ketebalan dinding geser (*shear wall*) 300 mm dan ketebalan pelat lantai 125 mm.

Selain dari penelitian diatas juga terdapat referensi selanjutnya yang diamati dalam penulisan tugas akhir ini, yaitu penelitian oleh (Maulana, 2023) dalam tugas akhir yang berjudul “Perencanaan Ulang Struktur Rumah Sakit Universitas Muhammadiyah Semarang”.

Dalam perencanaan penelitian ini digunakan beberapa peraturan-peraturan diantaranya, Peraturan yang dipakai dalam perencanaan ini yaitu SNI 03-1727-2020 tentang Tata Cara Perencanaan Pembebanan Rumah dan Gedung, SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung, SNI 03-2847-2019 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, dan SNI 03-8460-2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik. Perhitungan analisis pembebanan menggunakan aplikasi SAP2000.

Dalam perencanaan struktur digunakan mutu beton untuk kolom, balok dan pelat f'_c 25 Mpa (K-300), mutu baja tulangan $f_y = 420$ Mpa pada diameter 12 mm dan 420 Mpa untuk diameter lebih dari 12 mm. Tinggi antar tingkat sebesar 5 m untuk lantai kelima, 1,4 m untuk atap dan 4,2 m untuk lantai lainnya. Hasil dari tahapan *preliminary design* adalah dimensi kolom dengan 7 jenis yaitu K0 (700 mm x 800 mm), K1 (700 mm x 700 mm), K1A (600 mm x 600 mm), K2 (600 mm x 600 mm), K2A (600 mm x 600 mm), K2B (500 mm x 500 mm), K3 (400 mm x 400 mm). dimensi balok yang terdiri dari 8 jenis yaitu B1X (350 mm x 300 mm), B1Y (350 mm x 600 mm), B2X (350 mm x 700 mm), B2Y (250 mm x 600 mm), BA1X (300 mm x 600 mm), BA1Y (300 mm x 600 mm), BA1Y (300 mm x 550 mm) dan BA2Y (250 mm x 300 mm). dan ketebalan pelat lantai dari terdiri dari 4 jenis yaitu PL1 (130 mm), PL2 (130 mm), PA1 (110 mm), PA2 (110 mm).

2.2 Investigasi Geoteknik

Investigasi geoteknik adalah proses pengumpulan informasi tentang sifat-sifat geoteknik dari tanah dan batuan di suatu lokasi perencanaan. Tujuan utama dari investigasi geoteknik yaitu memperkirakan respon struktur tanah terhadap beban struktur bangunan termasuk adanya gaya gempa untuk menentukan parameter desain struktur yang dibangun.

2.2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 1 kategori risiko pengaruh gempa pada struktur bangunan ditentukan dari jenis atau fungsi pemanfaatan bangunan tersebut. Kategori risiko bangunan dan nongedung untuk beban gempa dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-gedung 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: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV , termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo	III

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-gedung Untuk Beban Gempa (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan	III
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat	IV

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-gedung Untuk Beban Gempa (lanjutan)

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

Sumber: SNI 1726:2019 (24-25:2019)

2.2.2 Faktor Keutamaan Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019 pengaruh gempa rencana yang disesuaikan dengan faktor risiko harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_c). Nilai faktor keutamaan dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa

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

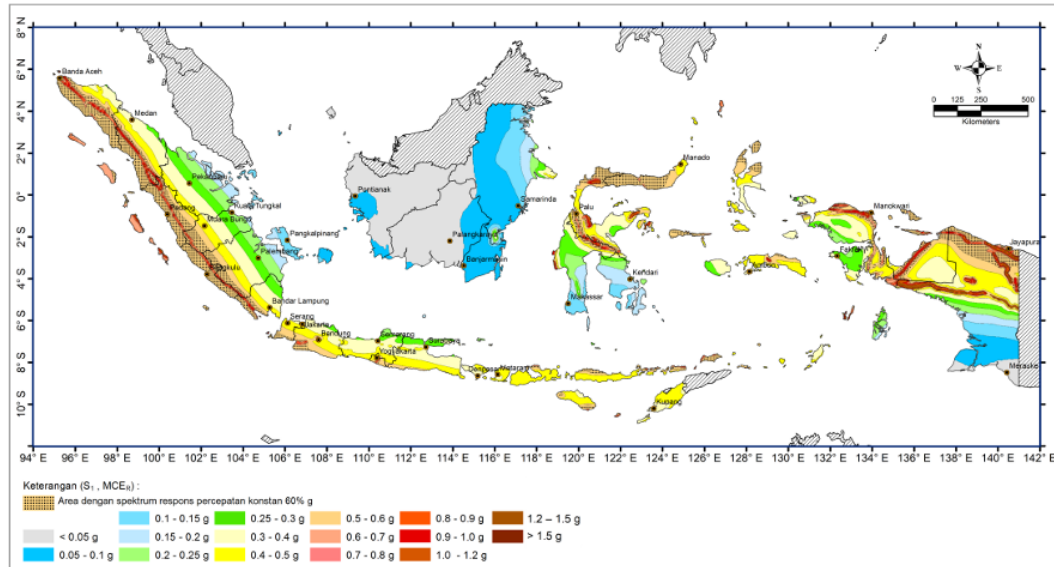
Sumber: SNI 1726:2019 (25:2019)

2.2.3 Parameter Respon Spektrum

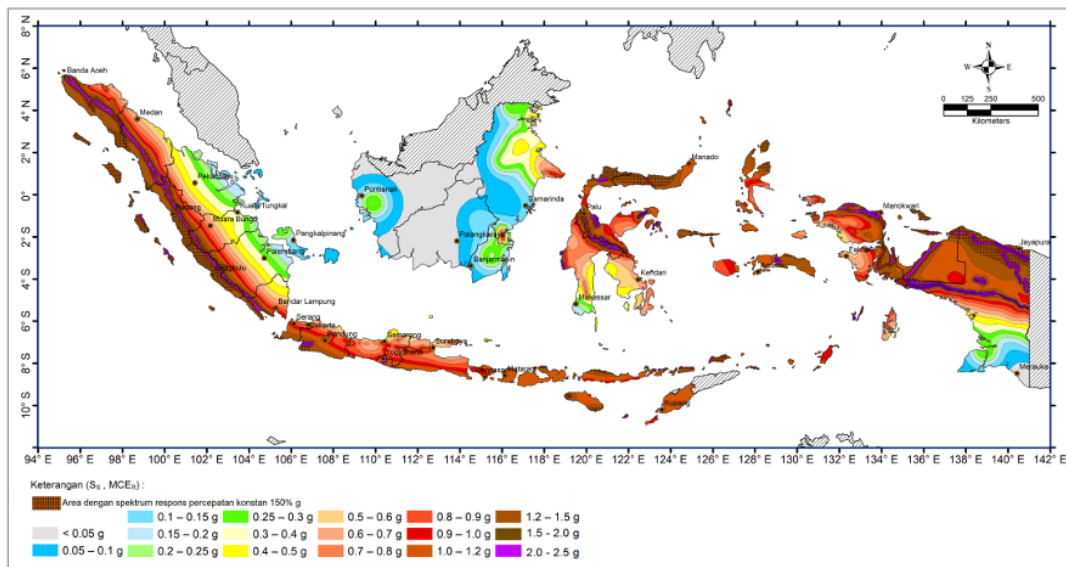
Indonesia merupakan negara yang dilalui oleh empat lempeng tektonik aktif yaitu Indo-Australia, Eurasia, Filiphina dan Pasifik. Kondisi ini menyebabkan indonesia menjadi negara yang memiliki potensi kegempaan yang besar. Maka dari itu, untuk mengetahui tingkatan risiko suatu lokasi bangunan terhadap bencana gempa diperlukan pemetaan dan peta gempa.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 15, diberikan peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko dari gempa maksimum yang dipertimbangkan (*Maksimum Considered Eartquake, MCE*), yang digunakan dalm ketentuan-ketentuan pengaruh beban gempa. Adapun parameter-parameter percepatan gerak

tanah untuk periode 1 detik (S_1) dan periode pendek 0,2 detik (S_s) yang digunakan untuk menentukan gempa rencana ditunjukkan pada peta wilayah gempa maksimum yang dipertimbangkan (MCE) dapat dilihat dalam Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 dibawah ini.



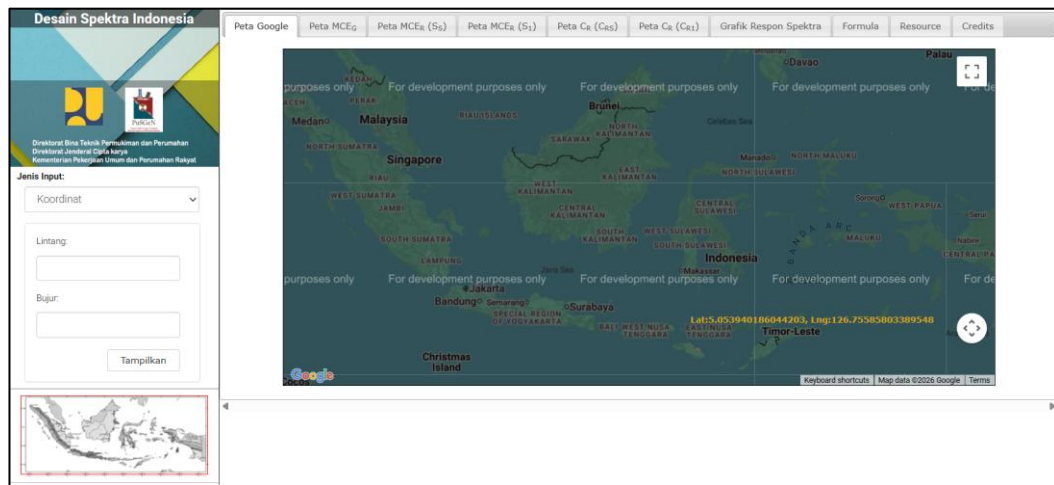
Gambar 2.1 Parameter Spektral Percepatan Gempa Untuk Periode 1 Detik (S_1), Sumber SNI 1726:2019



Gambar 2.2 Parameter Spektral Percepatan Gempa Untuk Periode Pendek 0,2 detik (S_s), Sumber SNI 1726:2019

Untuk mengetahui nilai percepatan batuan yang lebih akurat pada tiap lokasi dari peta-peta diatas, analisa dapat dilakukan melalui program desain spektra Indonesia

yang bisa di akses melalui situs: <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> atau dapat dilihat pada Gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3 Desain Spektra Indonesia

2.2.4 Klasifikasi Situs

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan (aman) gempa diperlukan parameter percepatan maksimum dan spektra desain yang didapatkan dari jenis lapisan tanah. berdasarkan SNI 1726:2019 terdapat tata cara klasifikasi situs dan mengatur standar desain seismik untuk gedung atau penentuan perbesaran puncak percepatan seismik dari batuan dasar ke tanah pada suatu lokasi tertentu, lokasi tersebut harus ditentukan berdasarkan lapisan tanah terdalam. Dalam menentukan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah pada objek penelitian (lapangan) dan di laboratorium. Nilai klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 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	≥ 50
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50

Tabel 2.3 Klasifikasi Situs (Lanjutan)

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $< 50 PI > 20 w \geq$ 2. Kadar air, 3. Kuat geser niralir 40% , $s < u 25$, kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plasitisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

Sumber: SNI 1726:2019 (29-30:2019)

CATATAN:

N/A = tidak dapat dipakai

2.2.5 Koefisien-Koefisien Situs

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.2, untuk menentukan respons spektrum percepatan gempa maksimum, diperlukan faktor amplifikasi seismik untuk periode pendek dan periode 1 detik. Parameter respons spektrum percepatan untuk periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh kelas lokasi, harus ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.2)$$

Keterangan :

S_s : parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek

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

Untuk faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v) dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 dibawah ini.

Tabel 2.4 Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s \leq 0,5$	$S_s \leq 0,75$	$S_s \leq 1,0$	$S_s \leq 1,25$	$S_s \leq 1,5$
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					

Sumber: SNI 1726:2019 (34:2019)

Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 \leq 0,2$	$S_1 \leq 0,3$	$S_1 \leq 0,4$	$S_1 \leq 0,5$	$S_1 \leq 0,6$
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	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,4

Tabel 2.5 Koefisien Situs, Fv (Lanjutan)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T = 1 detik, S ₁					
	S ₁ ≤ 0,1	S ₁ ≤ 0,2	S ₁ ≤ 0,3	S ₁ ≤ 0,4	S ₁ ≤ 0,5	S ₁ ≤ 0,6
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	S _s					

Sumber: SNI 17:2019 (35:2019)

2.2.6 Parameter Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3, parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}), ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} \quad (2.4)$$

Keterangan :

S_{DS} : Parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek.

S_{D1} : Parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik.

S_{MS} : Parameter respon spektral percepatan pada periode pendek.

S_{M1} : Parameter respon spektral percepatan pada periode 1 detik.

2.2.7 Spektrum Respons Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.4, bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.4 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T₀, spektrum respons percepatan desain, S_a, harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.5)$$

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 persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.6)$$

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

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \quad (2.7)$$

Keterangan :

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

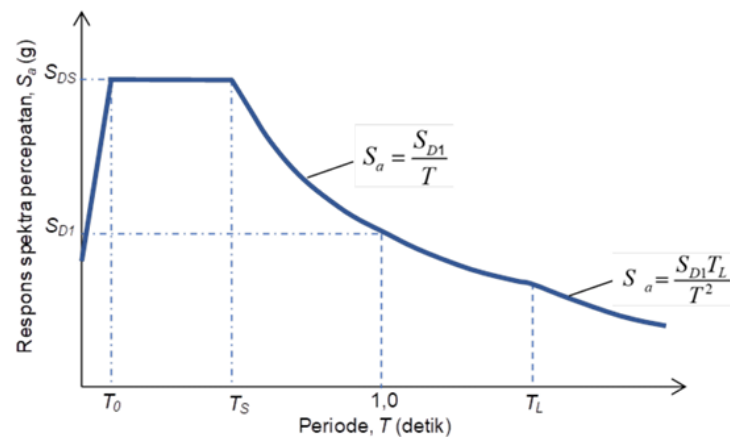
S_{D1} : parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T : periode getar fundamental struktur

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

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

T_L : Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Spektrum respons desain, (Sumber: SNI 1726:2019)

2.3 Kategori Desain Seismik (KDS)

Struktur bangunan harus memenuhi kategori desain seismik yang terdapat pada SNI 1726:2019 Pasal 6.5, dimana dijelaskan tentang kategori risiko berdasarkan parameter respon percepatan gempa pada periode pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan

periode 1 detik (S_{D1}). Atau persyaratan yang harus digunakan saat mendesain bangunan terhadap gempa. Struktur dengan kategori risiko I, II dan III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_1) lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan KDS E. Struktur dengan kategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_1) lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan KDS F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan nilai parameter respons spektral percepatan desainnya (S_{DS} dan S_{D1}). Kategori seismik berdasarkan parameter respon percepatan dapat dilihat pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7 di bawah ini :

Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,1067$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019 (37:2019)

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019 (37:2019)

2.4 Hubungan KDS Dengan Sistem Struktur Tahan Gempa

Aturan dalam detailing elemen struktur harus sesuai dengan tingkat risiko kegempaan. Hubungan kategori desain seismik (KDS) dengan sistem struktur keduanya dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Hubungan KDS Dengan Sistem Struktur Tahan Gempa

Code	Tingkat risiko kegempaam		
	Rendah	Menengah	Tinggi
SNI 1726:2019	KDS	KDS	KDS
	A, B	C	D, E, F
	SRPMB/M/K	SRPMM/K	SRPMK
	SDSB/K	SDSB/K	SDSK

Keterangan:

SRPMB = Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa

SRPMM = Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah

SRPMK = Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus

SDSB = Sistem Dinding Struktur Biasa

SDSK = Sistem Dinding Struktur Khusus

2.5 Analisa Beban Gempa

Berdasarkan kategori desain seismik dan karakteristik struktur gedung, maka berikut ini merupakan penentuan prosedur analisis yang diizinkan sesuai persyaratan pada SNI 1726:2019 dan dapat dilihat pada Tabel 2.9 di bawah ini.

Tabel 2.9 Prosedur Analisis yang Diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 0
B, C	Semua struktur	I	I	I

Sumber: SNI 1726:2019 (68:2019)

Tabel 2.9 Prosedur Analisis yang Diizinkan (Lanjutan)

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 0
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I

Sumber: SNI 1726:2019 (68:2019)

2.6 Analisa Statik Ekuivalen

2.6.1 Periode Fundamental Pendekatan

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1, untuk dapat menentukan periode fundamental pendekatan (T_a) dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.8)$$

$$T_{max} = C_U \times T_a \quad (2.9)$$

Keterangan :

T_a : periode fundamental pendekatan

h_n : ketinggian struktur (m) di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

untuk nilai C_t dan x dapat dilihat pada tabel 2.10 di bawah ini :

Tabel 2.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

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

Sumber: SNI 1726:2019 (72:2019)

Adapun penentuan periode fundamental struktur tidak diperbolehkan melebihi hasil perkalian koefisien untuuk batasan pada periode yang dihitung (C_u) dan nilai koefisien C_u dapat dilihat pada Tabel 2.11 di bawah ini :

Tabel 2.11 Koefisien Untuk Batas Atas pada Periode Yang Dihitung

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726:2019 (72:2019)

2.6.2 Perhitungan Koefisien Respon Spektrum

Koefisien respons seismik C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.10)$$

$$C_{smin} = \frac{0,5 S_I}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.11)$$

$$C_{smax} = \frac{SD_1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.12)$$

Keterangan :

C_s : koefisien respon seismik

C_{smin} : koefisien respon seismik minimum

C_{smax} : koefisien respon seismik maksimum

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

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

R : koefisien modifikasi respon

I_e : faktor keutamaan gempa

C_s : koefisien respon seismik

T : periode fundamental struktur (detik)

T_L : periode fundamental struktur panjang (detik)

2.6.3 Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1, gaya geser dasar seismik ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$V = C_s \cdot W \quad (2.13)$$

Keterangan :

V : gaya geser seismik

C_s : koefisien respons seismik

W : berat seismic efektif

2.6.4 Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Gaya seismik lateral, F_x (kN) disetiap tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2.14)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.15)$$

Keterangan :

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 dasar sampai tingkat I atau x

k : eksponen yang terkait dengan perioda 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 linear antara 1 dan 2

2.6.5 Distribusi Horizontal Gaya Seismik

Geser desain seismik di semua tingkat, V_x (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut:

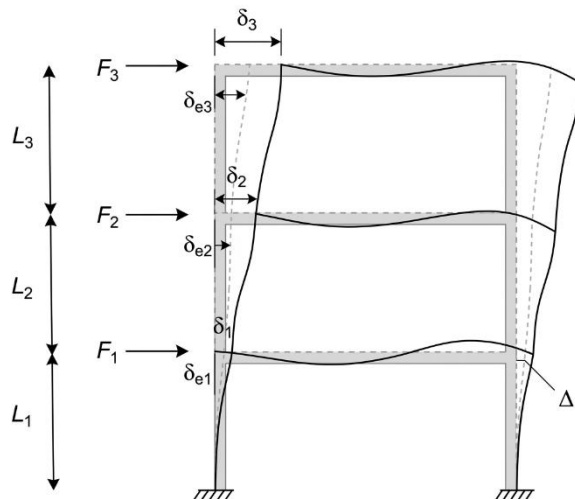
$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.16)$$

Keterangan:

F_i : bagian dari gaya geser dasar seismic (V_0) pada tingkat ke- I (kN)

2.6.6 Simpangan Antar Tingkat

Pemeriksaan simpangan dilakukan untuk menentukan kemampuan batas layan dan batas akhir struktur bangunan. Jika simpangan antar lantai melebihi tingkat beban gempa yang menyebabkan leleh pertama, hal itu dapat mengurangi hunian dan meningkatkan kemungkinan kerusakan struktural akibat teganagan leleh baja yang berlebihan dan retak beton, serta kerusakan non-struktural. Dalam analisis, simpangan antar lantai harus dihitung sebagai selisih simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah lantai yang sedang dipertimbangkan. Jika pusat massa tidak sejajar secara vertikal, diperbolehkan untuk menghitung simpangan di lantai dasar berdasarkan proyeksi vertikal pusat massa lantai di atasnya. Penentuan simpangan antar tingkat ini dapat dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini :



Gambar 2.5 Penentuan simpangan antar tingkat, (Sumber: SNI 1726:2019)

Berdasarkan SNI 1727:2019 Pasal 7.8.6 simpangan antar lantai ditentukan dari persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.17)$$

Keterangan :

C_d : faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} : simpangan di lantai - x

I_e : faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019 Tabel 4)

2.6.7 Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak diperhitungkan. Efek P-Delta berasal dari dua sumber utama, yaitu perpindahan global pada batang kolom yang disebabkan oleh beban lateral, yang sering disebut *P-Large Delta* ($P-\Delta$), dan deformasi lokal yang terjadi dalam batang kolom itu sendiri, yang dikenal sebagai *P-Small Delta* ($P-\delta$). Berikut persamaan untuk menentukan efek P-delta:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.18)$$

keterangan:

P_x : Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x (kN)

Δ : Simpangan antar tingkat desain (mm)

I_e : Faktor keutamaan gempa

V_x : Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat dan x – 1 (kN)

h_{sx} : Tinggi tingkat di bawah tingkat (mm)

C_d : Faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 12

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi koefisien stabilitas maksimum ($\theta_{\max}$) yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (2.19)$$

2.7 Analisa Respon Spektrum

Analisa dinamik merupakan analisa struktur dimana pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat diperoleh dengan mempertimbangkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi dua yaitu analisis riwayat waktu dan analisis respon spektrum. Pada penelitian ini akan digunakan analisis respon spektrum karena bangunan Gedung memiliki konfigurasi tidak beraturan, bertingkat banyak dan bangunan Gedung memerlukan ketelitian yang lebih tinggi.

2.8 Faktor Skala Gempa

Apabila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari $C_u T_a$ pada suatu arah tertentu, maka periode struktur T harus diambil sebesar $C_u T_a$. Apabila

kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dimana. V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung sesuai pasal ini dan 0, dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam. Gaya geser dasar, V_X dan V_Y harus dihitung untuk arah x dan arah y sesuai θ . Untuk tiap gerak tanah yang dianalisis, faktor skala gaya geser dasar untuk tiap arah respons harus ditentukan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{V_x}{V_{IX}} \geq 1,0 \quad (2.20)$$

$$\eta = \frac{V_y}{V_{Iy}} \geq 1,0 \quad (2.21)$$

2.9 Kontribusi Frame Nominal

SNI 1727:2019 Pasal 7.5.2.1 untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu memikul paling sedikit 25 % gaya seismik desain. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka *bresing*, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

2.10 Sistem Struktur Dan Pendekatan Struktur

Elemen struktur bangunan gedung secara umum difungsikan sebagai elemen pemikul beban gravitasi (beban mati dan beban hidup). Namun karena beban lateral, elemen struktur juga harus mampu memikul beban gravitasi dan beban lateral (beban horizontal seperti beban angin dan beban gempa). Berbeda dengan beban gravitasi yang tidak dipengaruhi oleh ketinggian, beban lateral akan sangat berpengaruh oleh ketinggian. Karena semakin tinggi sebuah struktur gedung maka semakin besar juga beban lateral yang harus dipikul struktur tersebut. Berikut ini beberapa sistem struktur yang umum digunakan dalam perencanaan bangunan aman gempa:

1. Sistem struktur rangka (*frame system*)

Berdasarkan aspek geometri, secara umum sistem struktur yang disusun oleh elemen-elemen garis/batang (*frame element*). Bentuk kebanyakan dari struktur Teknik sipil berbentuk struktur rangka (*frame structure*) (Ir. Himawan Indarto.

MS, 2009). Elemen penyusun tersebut bisa berupa balok, kolom dan pelat yang disatukan sehingga membentuk sistem rangka yang kaku.

2. Sistem struktur dinding (*wall system*)

Struktur dinding disini adalah dinding geser atau dinding dengan tulangan. Dinding geser adalah dinding rangka yang berfungsi untuk menambah kakuatan dan kekakuan struktur gedung terhadap beban lateral akibat gempa. Menurut Nawy, n.d (Wibowo dan Zebua, 2021) dinding geser dianggap lebih kaku dari pada elemen rangka biasa sehingga dapat menahan beban lateral yang lebih besar akibat gempa dan di saat yang bersamaan dapat membatasi simpangan antar lantai.

3. Sistem struktur ganda (*dual system*)

sistem struktur ganda merupakan gabungan dari kedua sistem struktur sebelumnya. Dua struktur ini yaitu sistem rangkda dan sistem dinding. Menurut shaf (2008) salah satu sistem struktur yang kuat terhadap beban gempa adalah struktur gedung sistem ganda (*dual system structure*). Struktur sistem ganda berupa gabungan rangka dengan dinding geser yang dapat bekerja sama dalam menahan beban gempa (Herma, 2019)

2.10.1 Struktur Beton Bertulang

Struktur beton bertulang merupakan gabungan antara beton dan baja tulangan yang bekerja kolaborasi dalam menanggung beban yang terdapat pada struktur. Beton mempunyai kemampuan yang cukup besar dalam menahan gaya tekan, tetapi rentan terhadap daya pikat. Sebaliknya, besi tulangan memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menahan gaya tarik daripada beton sehingga kebutuhan akan tulangan baja ada agar dapat menahan gaya tarik itu. Beton bertulang terdiri dari bahan agregat. Agregat kasar, agregat halus, semen, dan besi tulangan

2.10.2 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) diklasifikasikan berdasarkan tingkat daktilitas dan ketahanan terhadap beban lateral, seperti gempa. Klasifikasi ini dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), merupakan sistem yang paling sederhana dalam desain dan biasanya digunakan pada bangunan di

wilayah dengan risiko gempa rendah. Sistem ini tidak dirancang untuk menahan plastis yang signifikan dan memiliki daktilitas yang rendah. SRPMB cocok untuk bangunan bertingkat rendah atau bangunan yang tidak terpapar risiko gempa yang tinggi.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dirancang untuk digunakan pada wilayah dengan risiko gempa sedang. Meskipun SRPMM juga menyediakan daktilitas dan kapasitas pendinginan, tingkat daktilitasnya lebih rendah dibandingkan dengan SRPMK. SRPMM cocok untuk bangunan bertingkat menengah yang tidak memerlukan perlindungan setinggi SRPMK.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dirancang untuk memberikan daktilitas tinggi, yakni kemampuan struktur untuk mengalami pembekuan plastis yang signifikan tanpa mengalami keruntuhan. SRPMK biasanya digunakan pada bangunan yang terletak di wilayah dengan risiko gempa tinggi. Sistem ini dirancang dengan sambungan balok-kolom yang sangat kuat dan kaku, yang memungkinkan bangunan menahan gaya gempa yang besar.

2.10.3 Sistem Struktur Ganda (*Dual System*)

Sistem struktur ganda (*dual system*) merupakan perpaduan sistem struktur rangka dan struktur *shear wall*. Bila ditinjau dari sisi kinerjanya struktur *dual system* sangat ideal sebagai sistem struktur tahan gempa. Hal ini dikarenakan adanya pembagian peran dalam memikul beban lateral antara struktur rangka dan struktur *shear wall*. Struktur rangka memikul $\geq 25\%$ beban gempa dan *wall* memikul $\leq 75\%$ beban gempa. Struktur *shear wall* memperoleh porsi yang lebih besar dikarenakan secara geometri *shear wall* memiliki kekakuan yang lebih besar sehingga sangat efektif dalam menerima beban gempa. Selain itu, peran *shear wall* dalam memikul beban gravitasi juga kecil. Sedangkan pada struktur rangka, dikarenakan tingkat kekakuannya relatif kecil (yang tersusun dari balok dan kolom serta peran memikul beban gravitasi sangat dominan), maka porsi yang diberikan dibatasi $\geq 25\%$. Oleh karena itu, meskipun struktur *shear wall* hancur/ rusak maka struktur rangka setidaknya memiliki kekuatan cadangan 25% dalam memikul sisa energi gempa yang ada. Dengan demikian, meskipun struktur *shear wall* telah

rusak/hancur, gedung masih bisa bertahan dan tidak mengalami kegagalan total. Mekanisme keruntuhan ini dikenal dengan istilah *Second Defense Mechanism*.

2.10.4 Sistem dinding struktural

Sistem Dinding Struktural (SDS) atau yang lebih dikenal dengan sebutan sistem dinding geser merupakan suatu metode konstruksi yang memanfaatkan dinding-dinding vertikal sebagai komponen utama dalam menahan beban samping seperti tekanan dari gempa dan angin. Sistem ini dirancang untuk menahan kombinasi dari gaya geser, momen, serta gaya aksial yang muncul akibat gempa. Terdapat dua kategori dalam sistem dinding struktural, yaitu:

1. Sistem Dinding Struktural Biasa (SDSB)

SDSB dibuat untuk bangunan yang memiliki kemampuan daktilitas terbatas dan diperuntukkan hanya bagi struktur yang termasuk dalam kategori KDS C maksimal.

2. Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK)

SDSK diperuntukkan bagi bangunan yang memiliki kapasitas daktilitas penuh, yang memungkinkan bangunan tersebut mengalami deformasi besar tanpa mengalami kerusakan yang serius. SDSK diterapkan pada struktur bangunan yang menghadapi beban gempa yang tinggi, termasuk kategori KSD D, E, dan F.

2.11 Preliminary Design

Preliminary design adalah tahapan analisis untuk menganalisa dimensi-dimensi struktur awal yang selanjutnya diinputkan dengan bantuan program software ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building System*) untuk memperoleh dimensi yang memenuhi persyaratan yang berlaku.

Dimensi awal pada struktur yang ditentukan adalah dimensi balok, kolom, pelat dan dinding (*shear wall*) secara manual dengan menggunakan standar atau panduan dari SNI 2847-2019 (Badan dan Nasional, 2019). hasil dari *preliminary design* hanya dilakukan pada struktur atas bangunan gedung seperti balok, kolom, pelat dan dinding geser.

2.11.1 Preliminary Design Balok

Dalam SNI 2847:2019 menjelaskan balok sepanjang perimeter struktur harus memiliki tulangan menerus melebihi panjang bentang yang melalui daerah yang dibatasi oleh tulangan longitudinal pada kolom yang terdiri dari paling sedikit seperenam tulangan tarik yang diperlukan untuk momen negatif ditumpuan, tetapi tidak kurang dari 2 batang tulangan. Disini akan dihitung balok induk dan balok anak.

a. Balok induk

Dengan menggunakan aturan *Rule of Thumb* (Budiono et al., 2017), untuk menentukan dimensi balok induk dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Tinggi balok} : h = \frac{L}{12} - \frac{L}{14} \quad (2.22)$$

$$\text{Lebar balok} : b = \frac{1}{2} - \frac{2}{3} h \quad (2.23)$$

Keterangan:

h : tinggi balok

b : lebar balok

L : panjang balok

ketentuan dalam *preliminary* balok dapat dilihat Tabel 2.12 di bawah ini yang didasarkan pada SNI 2847:2019.

Tabel 2.12 Tabel Minimum Balok Non-Prategang

Kondisi Perletakan	Minimum h
Perletakan Sederhana	$\ell/16$
Menerus satu sisi	$\ell/18,5$
Menerus dua sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$

Sumber SNI 2847-2019 (180:2019)

Ketentuan f_y lebih dari 420 Mpa, maka untuk tinggi (h) balok harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$. Perhitungan tinggi (h) balok sebagai berikut:

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad (2.24)$$

keterangan:

h_{min} : tinggi balok (mm)

f_y : tegangan leleh baja (Mpa)

b. Balok anak

Balok merupakan elemen struktur pemikul beban momen dengan fungsi mentransferkan beban dari pelat ke balok induk.

$$\text{Tinggi balok} : h = \frac{L}{14} - \frac{L}{16} \quad (2.25)$$

$$\text{Lebar balok} : b = \frac{1}{2} h \quad (2.26)$$

Keterangan:

h : tinggi balok

L : lebar balok

c. Sloof

Perencanaan awal sloof ditentukan dengan melakukan perbandingan kekakuan kolom dengan kekakuan sloof, dimana kekakuan sloof harus didapatkan melebihi kekakuan kolom.

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan sloof} &\geq \text{kekakuan kolom} \\ k = I/L &\geq k = I/L \end{aligned} \quad (2.27)$$

2.11.2 Preliminary Design Kolom

Kolom adalah struktur yang mendukung beban dari atap, balok dan berat sendiri yang diteruskan ke pondasi. Kolom biasanya didesain untuk menahan beban aksial tekan dan dikombinasikan dengan momen lentur biaksial. *Preliminary design* kolom dapat direncanakan dengan menggunakan persamaan:

$$A_g = \frac{P_u}{\sigma_b i_{zin}} = \frac{P_u}{0,25 \sim 0,4 f'c} \quad (2.28)$$

Keterangan:

A_g : Luas penampang kolom (mm²)

P_u : Beban yang dipikul oleh kolom hasil tributary area (N)

$\sigma_{b_{izin}}$: Tegangan beton izin (Kg/cm²)

$f'c$: Mutu beton (N/mm²)

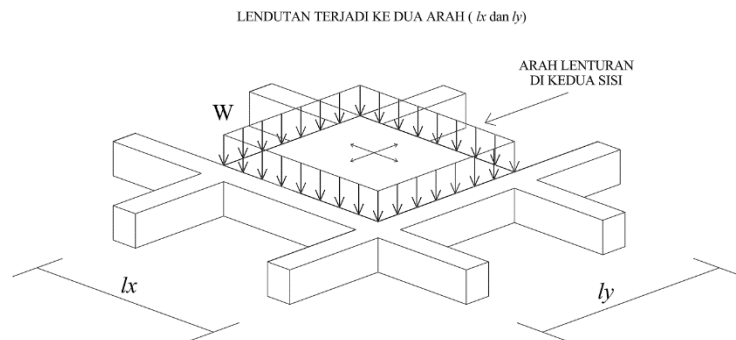
2.11.3 Preliminary Design Pelat

Sebagai komponen struktur lantai, pelat berfungsi sebagai penerima beban layan pertama sebelum beban tersebut disalurkan ke elemen struktur lainnya. Oleh karena itu, tugas utama pelat adalah menopang beban secara langsung. Berdasarkan sistem distribusi pelat dibagi menjadi dua yaitu, pelat satu arah (*One Way Slab*) dan pelat dua arah (*Two Way Slab*). Penentuan kedua sistem ini berdsarkan rasio perbandingan sisi panjang dan sisi pendek dari pelat dengan ketentuan sebagai berikut:

$$\text{Jika } 1 \leq \frac{l_y}{l_x} \leq 2, \text{ merupakan pelat dua arah} \quad (2.29)$$

$$\text{Jika } \frac{l_y}{l_x} > 2, \text{ merupakan pelat satu arah} \quad (2.30)$$

Atau contoh dari pelatt dua arah dapat dilihat pada Gambar 2.6 di bawah berikut ini:



Gambar 2.6 Pelat Dua arah (*Two-Way Slab*)

Pelat dua arah, merupakan pelat yang ditumpu pada keempat sisinya, di mana perhitungan momen lentur di setiap arah sangat dipengaruhi oleh kondisi tumpuan tersebut. SNI 2847:2019 mensyaratkan ketebalan minimum pelat dua arah non-prategang dengan balok diantara tumpuan pada semua sisinya, yaitu:

- Untuk rasio kekakuan lentur dari 0,2 dan tidak lebih dari 2,0 ketentuan tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (2.31)$$

- Untuk rasio kekakuan lentur lebih dari 2,0 dengan ketentuan tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36+9\beta} \quad (2.32)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

keterangan:

h : tebal minimum pelat (mm)

In1 : Panjang bersih pelat dalam arah memanjang (mm)

In2 : Panjang bersih pelat dalam arah melintang (mm)

$$\beta = \frac{I_{n1}}{I_{n2}} \quad (2.33)$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ketebalan minimum dapat dilihat pada Tabel 2.13 di bawah ini.

Tabel 2.13 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Non-prategang Tanpa Balok Interior

Fy, Mpa	Tanpa drop panel			Tanpa drop panel ^[3]		
	Panel <i>eksterior</i>		Panel <i>interior</i>	Panel <i>eksterior</i>		Panel <i>interior</i>
	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	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

Sumber SNI 2847-2019 (134:2019)

2.11.4 Preliminary Design Shear Wall

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 11.3.1.1 bahwa tebal dinding selain dinding eksterior dan dinding pondasi tidak boleh kurang dari 100 mm atau tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara 1/25 nilai panjang bentang dinding dan tinggi tidak tertumpu, tebal minimum *shear wall* dapat menggunakan ketentuan berikut:

$$h \min \geq 100 \text{ mm} \quad (2.34)$$

$$h \geq \frac{hw}{25} \text{ atau } h \geq \frac{lw}{25} \quad (2.35)$$

tebal *shear wall* biasa diambil sebagai nilai terbesar dari dua parameter tersebut. Ketebalan *shear wall* sangat penting karena sekain berperan pada kekakuan dan kekuatan berperan dalam penerapan tulangan yang akan digunakan.

Keterangan:

h_w : tinggi dinding

I_w : Panjang bentang dinding

2.12 Analisa Pembebanan

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur layannya merupakan salah satu pekerjaan yang sulit. Dan pada umumnya penentuan besarnya beban hanya merupakan estimasi saja. Jika beban-beban yang bekerja pada struktur telah diestimasi, maka masalah berikutnya adalah menentukan kombinasi-kombinasi beban yang paling dominan yang mungkin bekerja pada struktur tersebut. Gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap beban-beban berikut:

a. Beban mati

Beban mati merupakan berat yang dari semua bagian suatu bangunan yang bersifat tetap selama masa layan struktur. Beban mati terbagi menjadi beban mati akibat berat sendiri (*Dead Load*) dan beban mati tambahan (*Super Dead Load*). Beban mati itu sendiri merupakan berat yang diperoleh dari elemen struktural seperti pelat, balok dan kolom. Untuk beban mati tambahan merupakan beban akibat terdapatnya elemen tambahan pada struktur bangunan dan bersifat permanen seperti plafond, dinding dan keramik.

b. Beban hidup

Beban hidup merupakan beban gravitasi yang bekerja pada struktur dalam masa layannya, dan timbul akibat penggunaan suatu struktur. Yang termasuk dalam beban ini adalah berat manusia, perabotan yang dapat dipindahkan, kendaraan dan benda-benda lainnya. Karena besar dan kedudukan yang berpindah-pindah maka beban hidup ditentukan melalui PPIUG 1983 (Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983, 1983).

c. Beban gempa

Beban gempa adalah beban yang berasal dari gaya inersia bangunan dalam arah horizontal yang disebabkan oleh adanya percepatan tanah akibat gempa (*ground acceleration*) baik gempa tektonik maupun gempa vulkanik. Untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa diketahui percepatan yang terjadi pada batuan dasar. Beban gempa dapat dianalisis dengan dua metode

yaitu metode statis dan dinamis. Analisis statik ekuivalen merupakan cara menganalisa beban gempa, dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban-beban statik horizontal akibat gerakan tanah. Metode statis digunakan pada struktur gedung sederhana dan tinggi bangunan tidak melebihi 48,8 m (SNI 1726, 2019). Sedangkan analisis menggunakan metode respon dinamik digunakan pada struktur bangunan yang tidak mudah diperkirakan perilakunya dan memiliki tinggi bangunan lebih dari 48,8 m. Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.14 di bawah ini.

Tabel 2.14 Prosedur Analisis yang Diizinkan

Kategori desain seismic	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Analisis respons Riwayat waktu seismik pasal 0
B,C	Semua struktur	I	I	I
D,E,F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Sumber SNI 2847-2019 (68:2019)

d. Kombinasi pembebanan

Beban-beban yang dipikul oleh struktur bangunan akan terjadi secara bersamaan. Sehingga struktur, komponen dan fondasi harus didisain sedemikian rupa sehingga kekuatan deainnya sama atau melebihi efek beban-beban terfaktor dalam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 1727:2020 (Iskandar dkk., 2024).

$$1. 1,4 D \quad (2.36)$$

$$2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2.37)$$

$$3. 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \quad (2.38)$$

$$4. 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2.39)$$

$$5. 0,9 D + 1,0 W \quad (2.40)$$

Berdasarkan SNI 1717:2020 pasal 7.4.2, maka pengaruh beban seismik (E) harus dihitung sesuai ketentuan berikut ini:

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 3, E harus ditentukan sesuai dengan persamaan dibawah ini:

$$E = E_h + E_v \quad (2.41)$$

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 3, E harus ditentukan sesuai dengan persamaan dibawah ini:

$$E = E_h + E_v \quad (2.42)$$

Dimana :

$$E_h = \rho Q E \quad (2.43)$$

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad (2.44)$$

Keterangan :

E : pengaruh beban seismik

E_h : pengaruh beban seismik horizontal

E_v : pengaruh beban seismik vertikal

ρ : faktor redundansi

QE : pengaruh gaya seimik horizontal dari V atau F_p

SDS : parameter kecepatan respons spectral desain pada periode pendek

D : pengaruh beban mati

2.13 Analisis Struktur

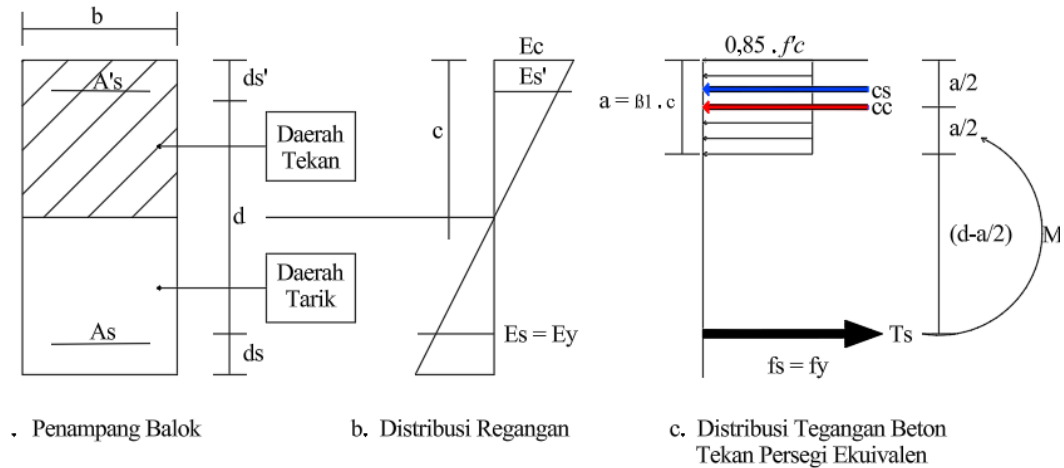
Untuk mendapatkan gaya dalam dan deformasi dari sistem struktur serta terpenuhinya persyaratan kekuatan, kemampuan layan (*serviceability*) dan stabilitas sebuah bangunan maka akan dilakukan namanya analisis struktur. Analisa dilakukan apabila hasil dari *preliminary design* sudah didapatkan termasuk mutu dari setiap elemen-elemen struktur. Pemodelan dilakukan 3D (tiga dimensi). Langkah awal dalam pemodelan/analisis struktur adalah dengan penginputan data material dan dimensi penampang yang direncanakan. Setelah semua data diinputkan dalam program *software* (ETABS 2022), maka dilakukan *running* analisis struktur. Dalam tahapan ini akan didapatkan hasil berupa gaya dalam, seperti momen, lintang dan normal.

2.14 Analisa Dan Desain Balok

Dalam merencanakan balok dengan SRPMK, penulangan longitudinal (tulangan lentur) dan transversal (tulangan geser) balok telah diatur dalam SNI 2847:2019. Balok terhubung dengan kolom struktur sehingga terbentuk rangka stabil dalam memikul beban, baik beban lateral dari pelat lantai yang kemudian disalurkan ke elemen kolom berupa gaya ataupun momen.

2.14.1 Teori Dasar Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Perhitungan balok terdiri dari dua metode yaitu analisa balok tulangan tunggal dan analisa balok tulangan rangkap. Balok dinyatakan bertulangan tunggal jika pada penampang beton bertulang tersebut hanya satu sisi saja, yaitu pada bagian serat yang menerima gaya tarik (Widodo, 2008 dalam Milleandra Madani, Abdi dan Haryanto, 2023) (*tension reinforce only*). Pada balok tulangan rangkap memiliki tulangan tarik (A_s) tulangan tekan (A_s'). Balok tulangan rangkap atau *doubly reinforce* dapat dihitung menggunakan konsep Analisa tulangan rangkap pada Gambar 2.7 di bawah.



Gambar 2.7 Analisa Penampang Tulangan Rangkap

Berdasarkan SNI 2847:2019 analisis perhitungan balok dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Asumsikan

$$\frac{c}{dt} \leq 0,375 \quad (2.45)$$

Pada tahap ini c/dt akan ditentukan secara “*trial and error*” dengan syarat tidak melebihi 0,375. Hal ini dilakukan agar penampang yang dihasilkan tergolong *tension controlled*.

2. Menghitung nilai c dengan nilai c/dt yang diperoleh pada Langkah pertama.

$$\text{Dengan} \quad d=dt= \left(h-t_s-\phi_s-\frac{1}{2}D_1 \right) \quad (2.46)$$

Sehingga:

$$C= \frac{c}{dt} \times dt \quad (2.47)$$

Keterangan:

H : tinggi balok (mm)

Ts : selimut beton (mm)

ϕ_s : diameter tulangan Sengkang (mm)

D_1 : diameter tulangan utama (mm)

3. Menghitung nilai tinggi blok tegangan Whitney.

$$a = \beta_1 \times c \quad (2.48)$$

berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3 nilai β_1 sangat dipengaruhi oleh $f'c$, seperti yang dijelaskna pada Tabel 2.15 dibawah ini:

Tabel 2.15 Nilai β_1 Untuk Distribusi Tegangan Beton Persegi

f_c', Mpa	β_1
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c'-28)}{7}$
$f_c' \geq 55$	0.65

Sumber SNI 2847-2019 (478:2019)

4. Menghitung nilai gaya tekan C_c

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times c = 0,85 \times f_c' \times a \quad (2.49)$$

Keterangan :

f_c' : mutu beton

b : lebar balok

a : tinggi balok tegangan

5. Menghitung nilai tulangan tarik (A_{s1})

$$C_c = T_1 \quad (2.50)$$

$$C_c = A_{s1} \times f_y \quad (2.51)$$

$$A_{s1} = \frac{C_c}{f_y} \quad (2.52)$$

Keterangan:

A_{s1} : tulangan tarik

f_y : tegangan leleh baja

6. Menghitung nilai M_{n1}

Nilai M_{n1} dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$M_{n1} = A_{s1} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.53)$$

Keterangan:

A_{s1} : tulangan tarik

f_y : tegangan leleh baja

a : nilai tinggi balok

setelah mendapatkan nilai M_{n1} maka perlu dilakukan pengecekan apakah perlu menggunakan tulangan tekan atau tarik. Dengan ketentuan sebagai berikut :

$M_{n1} < M_n$: diperlukan tulangan tekan = perhitungan rangkap

$M_{n1} > M_n$: tidak diperlukan tulangan tekan = perhitungan tunggal

7. Menghitung nilai M_{n2}

Untuk menghitung nilai M_{n2} dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (2.54)$$

$$M_{n2} = M_n - M_{n1} \quad (2.55)$$

8. Menghitung tegangan pada tulangan tekan f'_s

Tegangan pada tulangan tekan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f'_s = E_s \times \epsilon'_s \quad (2.56)$$

$$\epsilon'_s = 0,003 \left(\frac{c-d'}{c} \right) \quad (2.57)$$

$$d' = \left(t_s + \phi_s + \frac{1}{2} D_1 \right) \quad (2.58)$$

keterangan:

f'_s : tegangan tulangan

ϵ'_s : regangan tulangan

d : tinggi efektif

t_s : selimut beton

ϕ_s : diameter tulangan sengkang

D_1 : diameter tulangan utama

Apabila:

$$f'_s \geq f_y, \text{ maka tulangan tekan leleh, } f'_s = f_y \quad (2.59)$$

$$f'_s < f_y, \text{ maka tulangan tekan tidak leleh, } f'_s = E_s \times \epsilon'_s \quad (2.60)$$

9. Hitung nilai A_s'

Luas tulangan dapat dihitung:

$$A_s' = \left(\frac{M_{n2}}{f'_s (d-d')} \right) \quad (2.61)$$

10. Menghitung nilai luasan A_s dan A_s'

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (2.62)$$

$$A_s' = A_{s2} \quad (2.63)$$

11. Menghitung luas tulangan aktual

Jumlah tulangan Tarik

$$n = \left(\frac{A_s \text{ teoritis}}{\frac{1}{4} \pi \times D^2} \right) \quad (2.64)$$

jumlah tulangan tekan aktual

$$n = \left(\frac{A_s' \text{ teoritis}}{\frac{1}{4} \pi \times D^2} \right) \quad (2.65)$$

12. Menghitung nilai tinggi balok tegangan *Whitney* (α) yang baru

$$\alpha = \left(\frac{([A_s \times f_y] - [A_s \times f_s])}{0,85 f_c \times b} \right) \quad (2.66)$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f_c \times b \times \alpha + A_s' \times f_s \quad (2.67)$$

13. Menghitung nilai tinggi garis netral (c) dan cek kategori penampang

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} \quad (2.68)$$

14. Hitung kuat nominal dan cek kapasitas penampang

$$M_n = C_c \times (d - a/2) + C_s \times (d - d') \quad (2.69)$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A_s' \times f_s') \times (d - \frac{a}{2}) + A_s' \times f_s' \times (d - d') \quad (2.70)$$

Periksa kapasitas penampang $\phi M_n \geq M_u$

2.14.2 Teori Dasar Perhitungan Tulangan Geser Balok

Untuk dapat mendesain tulangan geser, ada beberapa yang disarankan agar proses desain menjadi lebih mudah yaitu:

1. Langkah - 1

Tentukan besaran nilai gaya geser ultimate (V_u) yang diperoleh dari hasil analisa struktur. Berdasarkan SNI 2847:2019, pasal 9.4.3.2 Hal-182 disebutkan bahwa nilai V_u diambil sejarak d dari muka kolom. Nilai d merupakan tinggi efektif dari balok.

2. Langkah - 2

Hitung nilai kuat beton V_c . Nilai V_c untuk balok dalam bentuk sederhana berdasarkan SNI 2847:2019; Tabel 22.5.5.1; Hal-485, ditentukan sebagai berikut:

$$V_c = 0.17 \sqrt{f_c'} b_w d \quad (2.71)$$

3. Langkah - 3

Periksa syarat kemampuan penampang dalam menerima beban geser

$$V_u = \phi (V_c + 0,66 \sqrt{f_c'} b_w d) \quad (2.72)$$

4. Langkah - 4

Klasifikasi nilai V_u (cek kategori 1 s/d 5)

a. Cek kategori 1

$$V_u \leq 0,5 \phi V_c \quad (2.73)$$

Pada kategori ini balok tidak perlu menggunakan tulangan sengkang dimana kekuatan yang dimiliki beton sudah dianggap mampu untuk memikul beban geser *ultimate*.

b. Cek kategori 2

$$0,5 \phi V_c \leq V_u \leq V_c \quad (2.74)$$

Nilai V_s dan A_v yang digunakan nilai minimal, dengan persamaan berikut :

$$V_s \text{ min} = 0,062 \sqrt{f_c'} b_w d \text{ atau } 0,45 b_w d \quad (2.75)$$

Dan

$$A_v \text{ min} = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w s}{f_{yt}} \geq \frac{(0,35 b_w s)}{f_{yt}} \quad (2.76)$$

Dengan spasi (s) maksimum tulangan geser:

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \quad (2.77)$$

c. Cek kategori 3

$$0,5 V_c \leq V_u \leq (V_c + V_s \text{ min}) \quad (2.78)$$

Kuat geser $V_s \text{ min}$:

$$V_s \text{ min} = 0,062 \sqrt{f_c'} b_w d \text{ atau } V_{s, \text{min}} = 0,35 b_w d \quad (2.79)$$

Luasan tulangan geser :

$$V_s \min = 0,062 \sqrt{f_c} \frac{b_w S}{f_{yt}} \text{ atau } V_s \min = \frac{(0,35 b_w S)}{f_{yt}} \quad (2.80)$$

Dengan spasi (s) maksimum tulangan geser :

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \quad (2.81)$$

d. Cek kategori 4

$$\text{Apabila } \phi (V_c + V_s, \min) \leq V_u \leq \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c} b_w d \right) \quad (2.82)$$

Nilai gaya geser dari tulangan:

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (2.83)$$

Luas tulangan geser:

$$A_v = \frac{V_s \times s}{f_{yt} \cdot d} \quad (2.84)$$

e. Cek kategori 5

$$\text{Apabila } \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c} b_w d \right) \leq V_u \leq \phi \left(V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c} b_w d \right) \quad (2.85)$$

Nilai gaya geser dari tulangan:

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (2.86)$$

Luas tulangan geser:

$$A_v = \frac{V_s \times s}{f_{yt} \cdot d} \quad (2.87)$$

5. Langkah - 5

Hitung V_s rencana berdasarkan kategori yang telah ditentukan.

6. Langkah - 6

Tentukan jarak tulangan geser (s) yang akan digunakan berdasarkan syarat kategori desain

7. Langkah -7

Hitung nilai A_v sesuai dengan nilai yangt telah ditentukan pada Langkah - 4 dan Langkah - 5, yang berupa V_s dab s.

8. Langkah - 8

Pastikan nilai A_v aktual berdasarkan tulangan geser yang digunakan dilapangan.

9. Langkah - 9

Hitung kembali nilai V_s berdasarkan luas tulangan aktual dari Langkah - 7.

10. Langkah -10

Lakukan pengecekan terhadap syarat kekuatan desain tulangan geser (V_n) terhadap gaya geser *ultimate* (V_u).

$$\phi \times V_n \geq V_u \quad (2.88)$$

Faktor reduksi. $\phi = 0,75$

2.15 Analisa Dan Desain Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019, secara umum kuat dari kolom yang dibebani secara sentris P_o , dapat ditulis seperti persamaan sebagai berikut:

$$P_o = [0,85 f'_c + \rho_g (f_y - 0,85 f'_c)] \quad (2.89)$$

Keterangan:

A_g : Luasan penampang kolom

A_{st} : Luasan tulangan longitudinal

f'_c : Kuat tekan beton

f_y : Kuat leleh baja

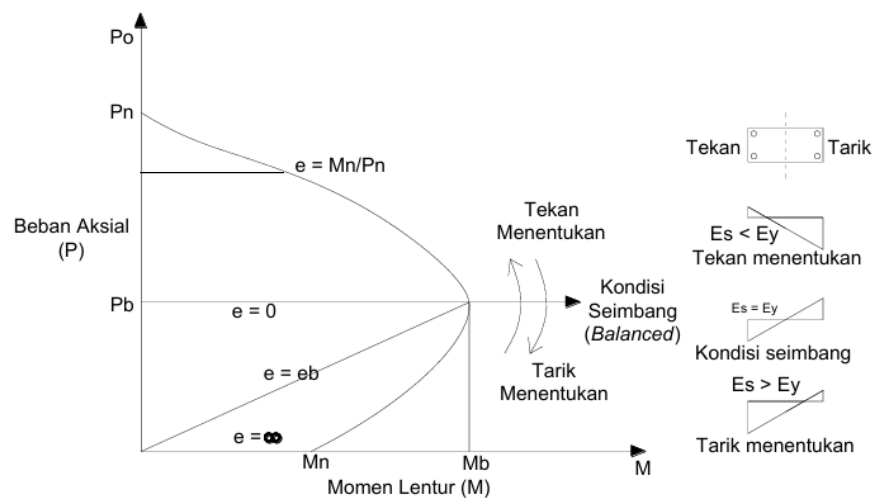
Berdasarkan SNI 2847:2019 kuat nominal yang digunakan dalam desain dapat dipilih pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Kekuatan Aksial Maksimum

Komponen	Tulangan Transversal	Pn. maks	
Non-prategang	Sengkang persegi sesuai 22.4.2.4	0,80 P_o	a)
	Spiral sesuai 22.4.2.4	0,80 P_o	b)
Prategang	Sengkang persegi	0,80 P_o	c)
	Sengkang spiral	0,80 P_o	d)
Kolom komposit dan kolom beton	Semua	0,80 P_o	e)

Sumber SNI 2847:2019 (481:2019)

Kolom merupakan elemen struktur utama yang memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen. Interaksi dari aksial tekan (P) dan momen (M) diwujudkan dalam sebuah kurva yang dikenal sebagai diagram interaksi $P - M$. Diagram interaksi $P - M$ atau yang dikenal juga dengan representasi grafis dua dimensi atau tiga dimensi yang menunjukkan kapasitas maksimum penampang elemen struktur (seperti kolom) dalam menahan kombinasi gaya aksial (P) dan momen lentur (M). Diagram interaksi $P - M$ dapat terlihat pada Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8 Diagram Interaksi P-M Elemen Kolom

Secara prinsip, konsep desain geser pada kolom sama dengan yang telah dijelaskan pada konsep geser balok. Hal yang menjadi perbedaan adalah besaran nilai kuat geser yang berasal dari material beton yaitu V_c . Dari diagram interaksi P-M elemen kolom di atas dapat disimpulkan keruntuhan terdiri dari tiga jenis, yaitu:

1. Kondisi tekan menentukan (*Compression Controlled*), dimana beban aksial dominan sehingga beton mencapai regangan ultimitnya (hancur) sebelum tulangan baja tarik mencapai titik lelehnya.

$$E_s < E_y \quad (2.90)$$

2. Kondisi seimbang, dimana kondisi ideal beton mencapai regangan ultimit (0,003) tepat pada saat tulangan baja tarik mulai mengalami leleh.

$$E_s = E_y \quad (2.91)$$

3. Kondisi Tarik menentukan (*Tension Controlled*), dimana momen lentur lebih dominan, sehingga tulangan baja tarik leleh terlebih dahulu sebelum beton hancur, dengan peringatan visual (*ductile*) sebelum kegagalan struktur.

$$E_s > E_y \quad (2.92)$$

Berdasarkan SNI 2847:2019; Pasal 22.5.6.1; Hal-486, persamaan V_c elemen kolom dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2.93)$$

Keterangan:

N_u : Gaya aksial

A_g : Luasan penampang kolom

D : 0,8h

b_w : lebar badan balok (mm)

d : Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)

λ : faktor modifikasi beton ringan (1,0 untuk beton normal)

berdasarkan kebutuhan tulangan geser pada kolom, perhitungan dan konsep sama seperti yang ada pada balok. Dengan kata lain kebutuhan tulangan geser ditandai bila:

$$V_s \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2.94)$$

2.16 Hubungan Balok Kolom

Hubungan balok kolom sangat perlu dikontrol untuk mengecek tegangan yang terjadi pada joint, karena dalam perencanaannya kolom harus lebih kuat dari pada balok atau dikenal dengan konsep SCWB (*strong column weak beam*). Pada joint balok kolom terdapat momen probable yang ditimbulkan oleh ujung masing masing balok yang mengakibatkan timbulnya geser pada joint balok kolom. Agar kolom lebih kuat dari pada balok, maka kekuatan kolom harus memenuhi persamaan berikut:

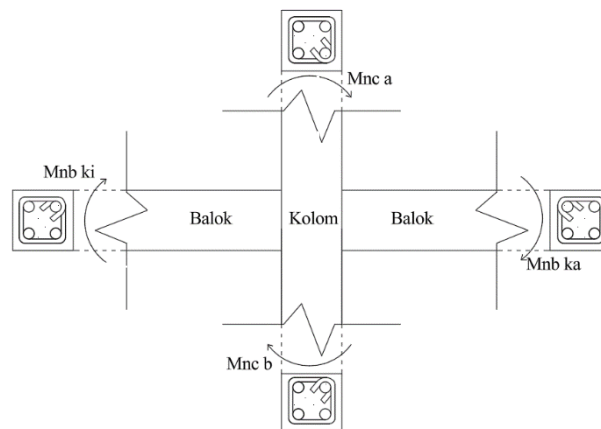
$$\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5} \sum M_{nb} \quad (2.95)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$: Jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka kedalam
joint

$\sum M_{nb}$: Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka kedalam
joint

Konsep kolom lebih kuat dari pada balok (*strong column weak beam*) dapat dilihat pada Gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Konsep Kolom Kuat-Balok Lemah (SCWB)

Desain struktur kolom lebih kuat dari balok bertujuan untuk menghindari terjadinya keruntuhan pada kolom saat gempa terjadi. Pemeriksaan *strong column weak beam* digunakan untuk memastikan supaya tidak terjadinya sendi plastis pada kolom. Sendi plastis adalah suatu kondisi dimana elemen struktur yang semula kaku menjadi lentur atau memiliki kemampuan berotasi. Sendi plastis pada pertemuan balok-kolom harus dihindari karena struktur dapat mengalami keruntuhan secara mendadak apabila struktur menerima beban gempa yang besar diluar beban gempa rencana.

2.17 Analisa Dan Desain Pelat

Analisa perhitungan pelat ditentukan berdasarkan tipe pelat. Ada dua tipe pelat untuk perencanaan yaitu pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*). Pelat satu arah merupakan pelat yang mengalami lendutan pada satu arah. Sedangkan pelat dua arah merupakan struktur pelat yang mengalami lendutan pada kedua arah bentangnya, sehingga pada pelat dua arah tulangan lentur harus

diberikan pada kedua arah tersebut. Momen nominal (M_n) dan faktor tahanan (R_n) pada pelat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (2.96)$$

$$R_n = \frac{M_u}{b \times d^2} \quad (2.97)$$

Lebar pelat yang diperhitungkan diambil per 1 m (1000 mm). Nilai parameter m ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$m = \frac{f_y}{\beta_1 \times f_c'} \quad (2.98)$$

Sehingga diperoleh rasio tulangan yaitu:

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \quad (2.99)$$

Dengan syarat $\rho > \rho_{\min}$. Adapun luas tulangan yang dibutuhkan ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (2.100)$$

Jumlah dan spasi tulangan yang dibutuhkan di tentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$n = \frac{A_s}{A_{tulangan}} \quad (2.101)$$

$$s = \frac{b}{n} \quad (2.102)$$

keterangan:

M_n : Momen nominal

M_u : Momen ultimit

b : lebar pelat

d : tinggi

ϕ : faktor reduksi lentur

β : faktor reduksi lentur

ρ : rasio tulangan

A_s : luas tulangan

- n : jumlah tulangan
s : spasi tulangan

2.18 Analisa Dan Desain *Shear Wall*

Shear wall merupakan elemen struktur yang fungsi utamanya adalah memikul beban lateral akibat beban gempa. Besarnya kekakuan pada arah lateral membuat *shear wall* sangat efektif dalam menambah kekakuan pada struktur gedung saat memikul beban gempa. Untuk struktur gedung tingkat rendah (*low rise building*), maka penggunaan *shear wall* sebagai bukan pilihan utama dikarenakan sistem rangka masih bisa berperan efektif saat memikul beban lateral. Terdapat dua jenis *shear wall* bila ditinjau dari aspek rasio tinggi dan lebar (h_w/l_w), yaitu *slender wall* dan *squat wall*. *Slender wall* memiliki perbandingan antara tinggi dan panjang lebih besar dari dua ($h_w/l_w \geq 2,0$), sedangkan untuk *squat wall* memiliki perbandingan antara tinggi dan panjang lebih kecil dari dua ($h_w/l_w < 2,0$).

Penulangan yang diperlukan oleh *shear wall* adalah tulangan longitudinal (vertikal), tulangan transversal (horizontal) dan tulangan pada daerah *boundary element*. Peran utama dari tulangan longitudinal adalah memikul beban kombinasi aksial dan lentur. Sedangkan tulangan transversal berperan memikul pengaruh gaya geser pada *shear wall*.

Berikut prosedur perencanaan tulangan pada *shear wall*:

1. Langkah -1

Preliminary design

2. Langkah - 2

Menghitung kuat geser beton (V_c). Pada tahap ini dilakukan perhitungan kuat geser (akibat aksial tekan) dari material beton berdasarkan SNI 2847:2019; Pasal 11.5.4.6; Tabel 11.5.4.6; Hal-231. Pada pasal tersebut disebutkan bahwa perhitungan kuat geser material beton dibagi menjadi dua yaitu metode sederhana dan metode detail. Adapun rumus dari kedua metode tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Metode sederhana rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot h \cdot d \quad (2.103)$$

Keterangan:

h : ketebalan *shear wall*

d : 0,8 lw (tinggi efektif penampang *shear wall*)

λ : 1,0 (beton normal)

b. Metode detail

dengan metode detail, nilai V_c dihitung berdasarkan *web-shear cracking* dan *flexure-shear cracking*. Nilai yang diambil sebagai nilai V_c adalah nilai yang terkecil.

V_c berdasarkan *web-shear cracking*:

$$V_c = 0,27 \lambda \sqrt{f'_c} .h.d + \frac{N_u \times d}{4 \times I_w} \quad (2.104)$$

V_c berdasarkan *flexure-shear cracking*:

$$V_c = \left[0,05 \lambda \sqrt{f'_c} + \frac{I_w \left(\sqrt{f'_c} + 0,2 \frac{N_u}{h \times lw} \right)}{\left(\frac{M_u \cdot lw}{V_u \cdot 2} \right)} \right] h \times d \quad (2.105)$$

Pada persamaan (2.105), nilai M_u dan V_u diambil sejarak $lw/2$ dari dasar *shear wall*. Berdasarkan SNI 2847:2019; Pasal 11.5.4.6; Tabel 11.5.4.6 (d & e); Hal 231, disebutkan bahwa persamaan (2.105) tidak perlu digunakan bila nilai $(M_u/V_u - lw/2)$ adalah negatif.

3. Langkah - 3

Menghitung kategori gaya geser (V_u). Pada tahap ini akan dilakukan pengkategorian gaya geser yang bekerja pada struktur *shear wall*. Adapun penjelasan lebih detailnya adalah sebagai berikut:

a. Struktur di daerah gempa rendah dan menengah

Bila struktur *shear wall* yang akan didesain berada pada daerah gempa rendah dan menengah, maka persyaratan yang harus dipenuhi sesuai dengan SNI 2847:2019; Pasal 11.6.2; Hal-233, yaitu:

$$V_u \geq 0,5 \phi V_c \text{ atau } V_u \leq 0,5 \phi V_c \quad (2.106)$$

b. Struktur di daerah gempa tinggi

Persyaratan yang harus dipenuhi sesuai dengan SNI 2847:2019; Pasal 18.10.2; Hal-402, yaitu:

$$V_u \geq 0,083 . A_{cv} . \lambda . \sqrt{f'_c} \text{ atau } V_u \leq 0,083 . A_{cv} . \lambda \sqrt{f'_c} \quad (2.84) \quad 40 \quad (2.107)$$

Keterangan:

A_{cv} : $l_w \times h$ (luas penampang *shear wall*)

λ : 1,0 (beton normal)

4. Langkah - 4

Menghitung tulangan longitudinal tulangan longitudinal berfungsi memikul kombinasi gaya aksial tekan dan momen lentur pada *Shear wall*. Dalam tahap ini akan digunakan program bantu sp-Column. Adapun tahap perencanaan adalah sebagai berikut:

a. Penentuan rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

Batasan rasio tulangan yang digunakan tergantung dari kategori yang diperoleh pada step-3. Untuk struktur khusus (daerah gempa tinggi), ketentuan rasio tulangan harus ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019; Pasal 18.10.2; Hal-402. Pada pasal tersebut dijelaskan bahwa rasio minimum untuk tulangan longitudinal (ρ_l) adalah:

-Bila $V_u \geq 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}$ maka $\rho_l \geq 0,0025$ atau 0,25%

-Bila $V_u \leq 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}$ maka $\rho_l \geq$ maka ρ_l diizinkan untuk direduksi sesuai dengan SNI 2847:2019; Pasal 11.6.1; Tabel 11.6.1; Hal-233. Dengan kata lain, ρ_l diizinkan diambil lebih kecil dari 0,0025 atau 25%.

b. Menentukan gaya dan momen yang digunakan

Gaya luar yang digunakan dalam perhitungan tulangan longitudinal dengan program bantu *sp Column* aksial tekan (P_u), momen sebidang (M_y) dan momen tak sebidang (M_x).

c. Menentukan jarak tulangan

Untuk perencanaan struktur *shear wall* (gempa tinggi), jarak minimum tulangan mengacu kepada SNI 2847:2019; pasal 25.2.3; Hal-560, yaitu spasi bersih antara tulangan harus tidak kurang dari nilai terbesar dari 40 mm, $1,5 d_b$, dan $(4/3) d_{agg}$. Sedangkan untuk spasi tulangan maksimum mengacu pada SNI 2847:2019; Pasal 18.10.2.1; Hal-402, yaitu spasi tulangan untuk masing masing arah pada dinding struktural tidak boleh melebihi 450 mm.

d. Menentukan jumlah tulangan dengan spColumn

Dengan “*trial & error*” akan diperoleh rasio tulangan optimum yang akan digunakan untuk memikul beban rencana ($\rho \geq \rho_{min}$). Jumlah lapisan tulangan yang akan digunakan dihitung berdasarkan ketentuan pada SNI.

Ketentuan tersebut terdapat dalam SNI 2847:2019; Pasal 18.10.2.2; Hal-402 yaitu:

$$V_u > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \text{ atau } h_w/l_w \geq 2,0 \quad (2.108)$$

Bila salah satu kondisi tersebut memenuhi syarat, maka tulangan utama (longitudinal dan transversal) harus dipasang dua lapis pada struktur *shear wall*.

5. Langkah – 5

Menghitung tulangan transversal

Tulangan transversal berfungsi memikul gaya geser pada *shear wall*. Adapun tahap perencanaannya adalah sebagai berikut:

- a. Penentuan rasio tulangan transversal (ρ_t) Sama halnya dengan tulangan longitudinal, batasan rasio tulangan transversal juga sesuai dari kategori yang diperoleh pada step-3.
- b. Menentukan luasan tulangan transversal Pada umumnya tulangan pada *shear wall* dipasang dua lapis. Sehingga terdapat dua sisi yang perlu ditentukan luas tulangannya. Luasan tulangan dinyatakan dengan luasan per meter panjang dengan rumus sebagai berikut:

$$A_{Sh} = \rho_t \times h \times 1000 \text{ mm} \quad (2.109)$$

Untuk memperoleh luas tulangan satu sisi, maka nilai dari persamaan (2.109) dibagi dua.

- c. Menentukan spasi tulangan transversal. Ketentuan jarak tulangan transversal pada umumnya sama dengan tulangan longitudinal yaitu mengacu pada SNI 2847:2019; pasal 25.2.3; Hal-560.
- d. Hitung luasan aktual dalam satu lapis Rumus yang digunakan untuk menghitung luasan aktual tulangan transversal (satu sisi) adalah:

$$A_{Sh} = \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (2.110)$$

Pastikan luasan tulangan aktual lebih besar dari luas tulangan teori.

$$A_{sh}(\text{pakai}) > A_{sh}(\text{teori}) \quad (2.111)$$

Atau bisa dinyatakan dalam bentuk rasio tulangan.

$$A_{sh} = \rho_t \times h \times h_w \quad (2.112)$$

$$\rho_t = \frac{A_{sh}}{h \times h_w} = 2 \times \frac{\frac{h_w}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2}{h \times h_w} = 2 \times \frac{\left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2\right)}{h \times s} \quad (2.113)$$

sehingga:

$$\rho_t(\text{pakai}) = \frac{2 \times h_w}{h \times s} > \rho_t(\text{pakai}) \quad (2.114)$$

- e. Menghitung kuat nominal geser *shear wall* kuat geser ini merupakan kontribusi dari material beton (V_c) dan tulangan baja (V_s). nilai kuat geser beton telah diperoleh pada step-2. Sedangkan kuat geser tulangan ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$V_s = \rho_t \cdot f_y \cdot h \cdot d \quad (2.115)$$

Kuat nominal geser dapat ditentukan dengan persamaan:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.116)$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.117)$$

Bila persamaan (2.111) memenuhi syarat, maka perencanaan tulangan transversal dinyatakan kuat memikul beban geser yang terjadi. Terdapat syarat tambahan yang diatur dalam SNI 2847:2019; Pasal 18.10.4.1; Hal-404, yaitu nilai geser nominal yang diperoleh dari persamaan (2.110) harus lebih kecil dari:

$$V_n \leq A_{cv} \cdot (\alpha_c \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} + \rho_t \cdot f_y) \quad (2.118)$$