

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 2.1 Spesifik Perbandingan Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019

SNI 1726-2012	SNI 1726-2019
1. 1,4D	1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6L + 0,5 (L _r atau R)	2. 1,2 D + 1,6L + 0,5 (L _r atau R)
3. 1,2 D + 1,6 (L _r atau R) + (L atau 0,5W)	3. 1,2 D + 1,6 (L _r atau R) + (L atau 0,5W)
4. 1,2 D + 1,0W + L+0,5(L _r atau R)	4. 1,2 D + 1,0W + L+0,5(L _r atau R)
5. 1,2 D + 1,0E+L	5. 0,9 D + 1,0W
6. 0,9 D + 1,0 W	6. 1,2 D + 1,0E _v + 1,0E _h + L
7. 0,9 D + 1,0E	7. 0,9 D - 1,0E _v + 1,0E _h

Tabel 2.2 Spesifik Perbandingan Kelas Situs Tanah Berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019

SNI 1726-2012	SNI 1726-2019
Bisa ditentukan kelas situs-nya, maka kelas situs <i>SE</i> dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs <i>SF</i> .	Tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs-nya, maka kelas situs <i>SE</i> dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs lainnya. Jika penyelidikan tanah yang dilakukan sesuai dengan pasal 5, menunjukkan adanya kondisi batuan yang konsisten dengan kelas situs <i>SB</i> , namun tidak

	<p>dilakukan pengukuran kecepatan gelombang geser situs-spesifik, maka koefisien Situs situs F_a, F_v, dan F_{PGA} harus diambil sebesar 1,0.</p>
--	--

Tabel 2.3 Spesifik Perbandingan Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019

SNI 1726-2012	SNI 1726-2019
<p>Data respon spektrum dapat menggunakan website pusat penelitian dan pengembangan permukiman atau dapat juga diperoleh dengan cara sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0, spektrum respon percepatan desain S_a, harus diambil dari persamaan : $S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6) \frac{T}{T_0}$ 2. Untuk perioda lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s, spektrum respon percepatan desain S_a sama dengan S_{DS} 3. Untuk periode lebih besar dari T_s, spektrum respon percepatan desain S_a, diambil berdasarkan persamaan : 	<p>Data respon spektrum dapat menggunakan website pusat penelitian dan pengembangan permukiman atau dapat juga diperoleh dengan cara sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0, spektrum respon percepatan desain S_a, harus diambil dari persamaan : $S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6) \frac{T}{T_0}$ 2. Untuk perioda lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s, spektrum respon percepatan desain S_a sama dengan S_{DS} 3. Untuk periode lebih besar dari T_s, spektrum respon percepatan desain S_a, diambil berdasarkan persamaan :

$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$ <p>S_{DS} = parameter respon spektral percepatan desain periode pendek</p> <p>S_{D1} = parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik</p> <p>T = periode getar fundamental struktur</p> $T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$	$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$ <p>4. Untuk periode Lebih besar dari T_L respon spektrum S_a diperoleh dari persamaan :</p> $S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$ <p>S_{DS} = parameter respon spektral percepatan desain periode pendek</p> <p>S_{D1} = parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik</p> <p>T = periode getar fundamental struktur</p> $T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ <p>T_L = peta transisi periode</p>
---	--

Tabel 2.4 Spesifik Perbandingan Modal Partisipasi Massa Berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019

SNI 1726-2012	SNI 1726-2019
<p>Berdasarkan SNI 1726-2012 analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami sebuah struktur. Pada proses untuk mendapatkan nilai partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah</p>	<p>Berdasarkan SNI 1726-2019 analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami sebuah struktur. Pada proses untuk mendapatkan nilai partisipasi masa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 100% dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini untuk ragam satu badan</p>

horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh modal.	kaku (<i>Single Rigid Body</i>) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode dibawah 0,05 detik. Pengecualian : sebagai alternatif analisis, analisis diizinkan untuk memasukan jumlah ragam yang minimum 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal.
---	--

2.1 Tinjauan Umum

Pemberlakuan Standar baru tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2019 secara resmi menggantikan standar sebelumnya, yaitu SNI 1726-2012.

Para ahli struktur terus merevisi pemberlakuan standar baru, penulis memfokuskan tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Perubahan standar perancangan struktur gedung tersebut diperlukan suatu penelitian untuk mengetahui perbedaan perancangan struktur gedung berdasarkan standar lama dan standar baru serta untuk mengetahui perbandingan hasil perancangan struktur gedung berdasarkan standar lama dan standar baru.

2.2 Prinsip Dasar Struktur Tahan Gempa

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, terbentuknya sendi-sendi plastis yang mampu memancarkan energi gempa dan membatasi besarnya beban gempa yang masuk ke dalam struktur harus dikendalikan sedemikian rupa agar struktur berperilaku memuaskan dan tidak sampai runtuh saat terjadi gempa kuat. Pada prinsipnya dengan konsep desain kapasitas elemen-elemen utama penahan beban gempa kuat dapat dipilih, direncanakan dan didetail sedemikian rupa, sehingga mampu memancarkan energi gempa dengan deformasi inelastik yang cukup besar

tanpa runtuh, sedangkan elemen-elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup, maka mekanisme yang telah dipilih dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat (Gideon Kusuma dan Takim Andriono, *Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa Seri III*, 1993).

Pada prinsipnya gaya gempa dapat dirumuskan seperti hukum Newton, yang mana massa bangunan berbanding lurus dengan gaya gempa yang bekerja pada bangunan tersebut. Semakin besar massa bangunan, maka semakin besar pula gaya gempa yang bekerja pada bangunan tersebut.

Menurut Hukum Newton :

$$F = m \times a$$

Keterangan:

F = Gaya gempa yang bekerja.

m = Massa bangunan.

A = Percepatan yang dihasilkan.

2.3 Pembebanan Pada Struktur

Beban beban yang bekerja pada suatu struktur tidak selalu bisa diramalkan dengan tepat sebelumnya, bahkan apabila beban – beban tersebut telah diketahui dengan baik pada salah satu lokasi sebuah struktur tertentu biasanya masih membutuhkan asumsi dan pendekatan. Adapun beberapa jenis beban yang bekerja pada suatu struktur antara lain :

2.3.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat seluruh komponen elemen struktural bangunan yang terdiri atas pelat, balok, kolom, dan dinding struktural. Beban mati akan dihitung secara otomatis oleh aplikasi ETABS dengan berat jenis material beton bertulang berdasarkan SNI 1727-2020 tabel C3.1-1 adalah 24 kN/m^3 .

2.3.2 Beban Mati Tambahan (*Super Imposed Dead Load*)

Beban mati tambahan yaitu berat komponen nonstruktural seperti arsitektural, mekanikal, elektrik, dan plumbing yang terdapat pada struktur bangunan. Beban SILD (*Super Imposed Dead Load*) yang akan digunakan dalam tugas akhir ini berdasarkan SNI 1727-2020 tabel C3.1-1 adalah :

- Beban plafon dan rangka	= 0,46 kN/m ²
- Pasangan batu bata	= 1,29 kN/m ²
- Penutup lantai keramik,	= 0,77 kN/m ²
- Mekanikal dan elektrik	= 0,19 kN/m ²
- Pasangan bata	= 1,29 kN/m ²
- Spesi per mm tebal	= 0,023 kN/m ²
- Kaca jendela	= 0,38 kN/m ²

2.3.3 Beban Hidup (*Live Load*)

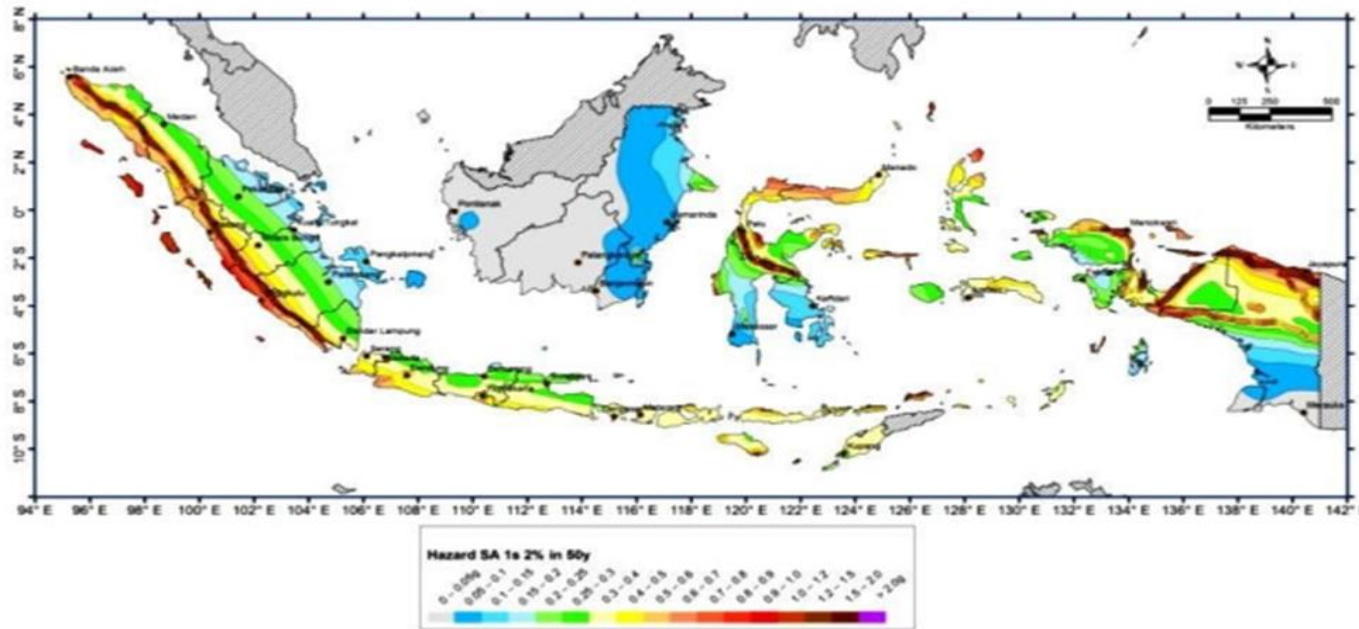
Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung, termasuk beban-beban yang dapat berpindah sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap. Adapun jenis beban hidup yang akan digunakan berdasarkan SNI 1727-2020 tabel 4.3-1 (Halaman 26).

- Atap datar, berhubung, lengkung	= 0,96 kN/m ²
- Room Hotel	= 1,92 kN/m ²
- Ruang Loby	= 4,79 kN/m ²
- Tangga dan bordes	= 4,79 kN/m ² .
- Ruang makan dan Restoran	= 4,79 kN/m ²
- Koridor	= 4,79 kN/m ²
- Kantor	= 2,40 kN/m ²
- Panggung pertemuan	= 4,79 kN/m ²
- Balkon	= 4,79 kN/m ²

2.3.4 Beban Gempa (*Eartquake Load*)

Dalam tugas akhir ini menggunakan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa sesuai dengan SNI 1726 2019 yang menyatakan bahwa gempa ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Untuk peta gempa pada skripsi ini menggunakan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia yang terbaru yaitu tahun 2017 yang disusun oleh Tim Pusat Gempa Nasional (PUSGEN).

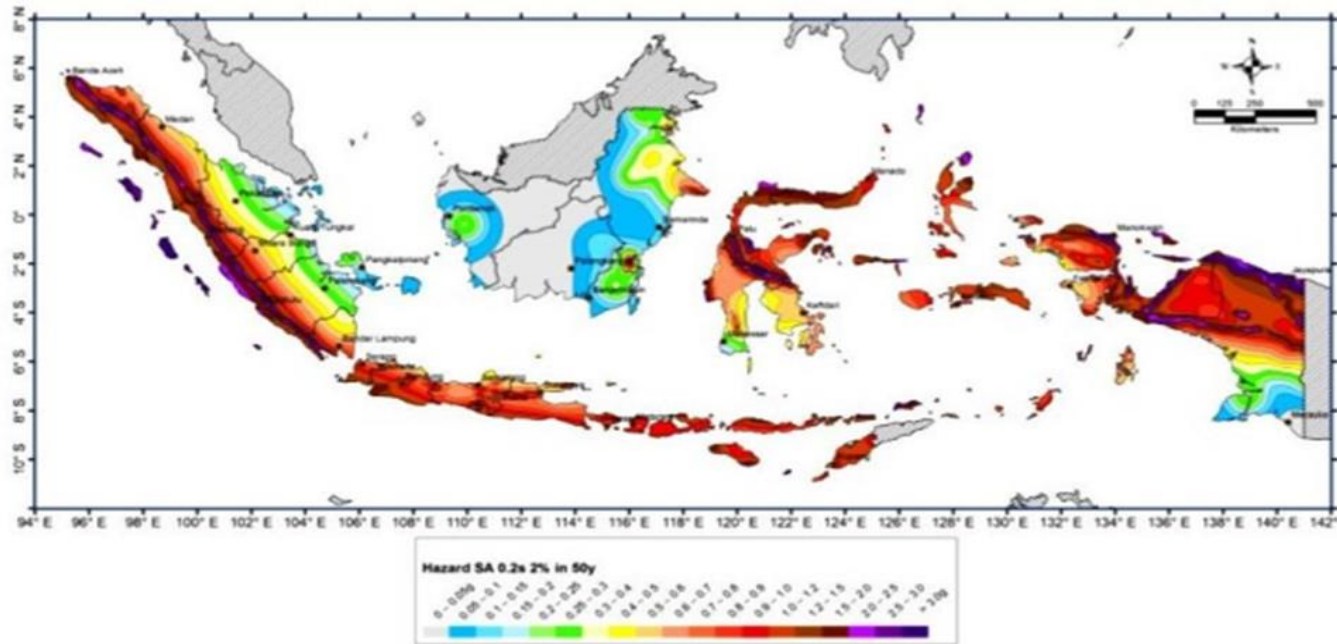
2.3.4.1 Menentukan Nilai S_s , S_1 , dan Periode Panjang TL



Gambar 2.1 Peta Percepatan Spectrum Respon 1 Detik (S_s) Dengan Nisbah Redaman 5% di Batuan Dasar SB Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun Berdasarkan Peta Gempa 2017

(Sumber Sni 1726-2019)

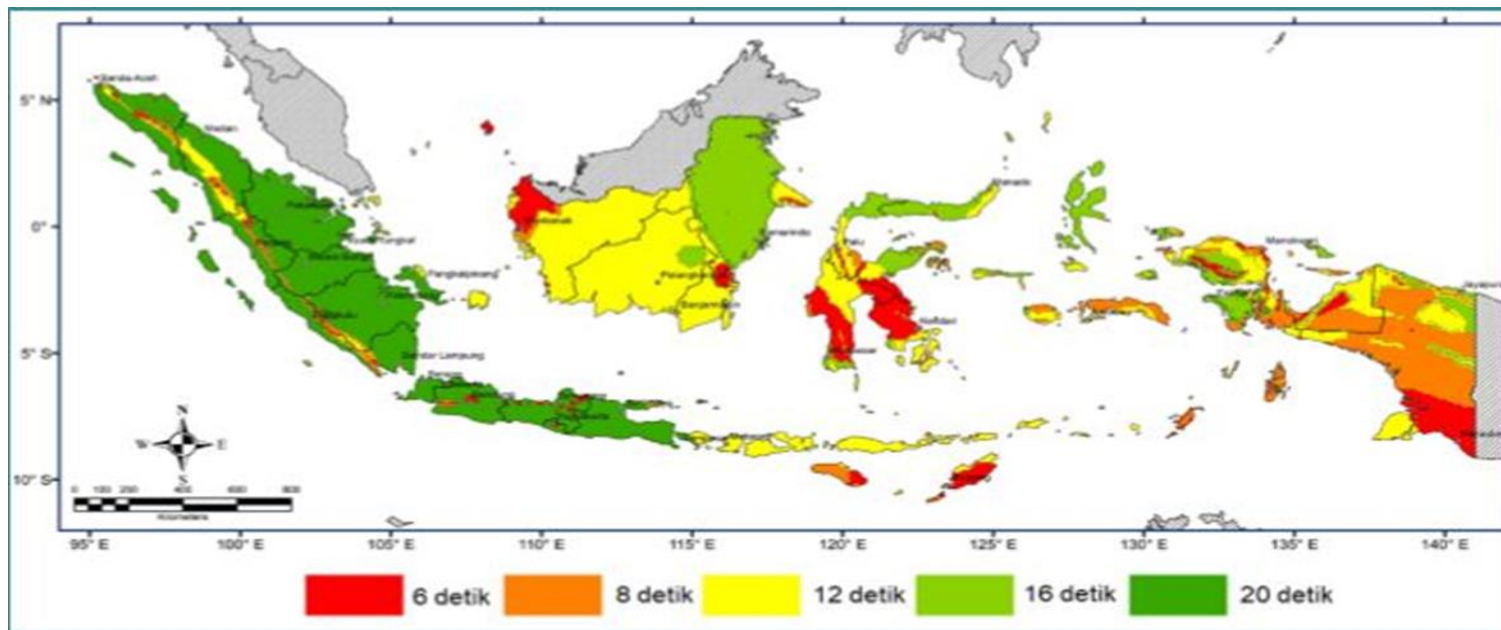
Peta percepatan spectrum respons 0,2 detik diatas digunakan untuk menentukan batas atas nilai S_s dengan cara menyesuaikan besarnya nilai S_s yang ada pada peta sesuai warna lokasi atau objek titik tinjau.



Gambar 2.2 Peta Percepatan Spectrum Respon 1 Detik (S_1) Dengan Nisbah Redaman 5% di Batuan Dasar SB Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun Berdasarkan Peta Gempa 2017.

(Sumber : SNI 1726-2019)

Peta percepatan respons spectrum 1 detik diatas digunakan untuk menentukan batas atas nilai S_1 dengan cara menyesuaikan besarnya nilai S_1 yang sudah ada pada peta sesuai warna lokasi atau objek yang ditinjau.



Gambar 2.3 Peta Transisi Periode Panjang TL Wilayah Indonesia

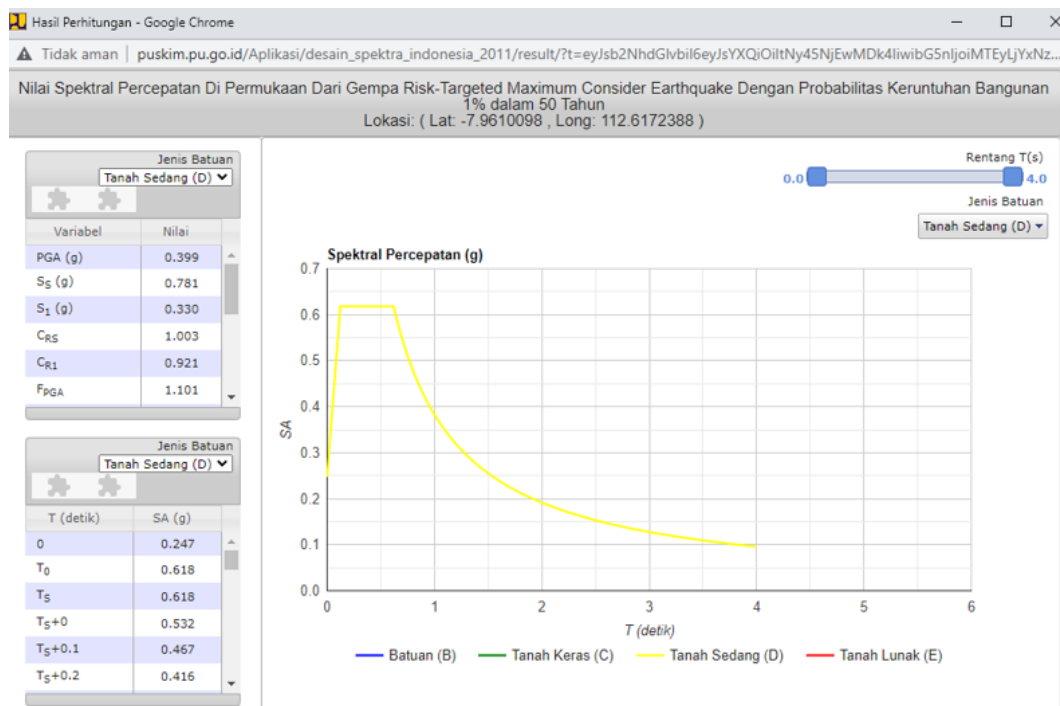
(Sumber SNI 1726-2019)

Peta transisi periode panjang TL digunakan untuk mendapatkan nilai pergerakan tanah pada periode $T > 4$ detik yang lebih realistis dan berefek pada bangunan gedung bertingkat tinggi dan lainnya yang mempunyai periode getar alami yang tinggi.

2.3.4.2 Parameter Perhitungan Beban Gempa

2.3.4.2.1 Menghitung beban gempa respons spektrum berdasarkan puskim.pu.go.id

Dengan adanya peta sumber dan bahaya gempa indonesia tahun 2017 dan SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, maka perlu dilengkapi dengan aplikasi respon spektrum respons desain indonesia 2019 untuk mempermudah kita dalam menghitung beban gempa. Dimana hal yang perlu dilakukan dalam menentukan beban gempa berdasarkan aplikasi puskim yaitu mentukan titik koordinat pada lokasi bangunan yang akan direncanakan. Data perhitungan beban gempa yang diperoleh dari aplikasi puskim adalah sebagai berikut :



Gambar 2.4 Data Beban Gempa Berdasarkan Aplikasi puskim.pu.go.id

Berikut adalah tata cara perencanaan atau perhitungan beban gempa :

1. Menentukan kategori resiko bangunan (Tabel 3 SNI 1726-2019 Halaman 24-25)

Tabel 2.5 Kategori Resiko Bangunan

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<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"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - 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"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - 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>	III

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

2. Menentukan faktor keutamaan gempa (I_e) (Tabel 4 SNI 1726-2019 Halaman 25)

Tabel 2.6 Faktor Keutamaan Gempa

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

3. Klasifikasi situs tanah, percepatan gempa $MCEr$ terpetakan untuk periode (S_s) percepatan gempa $MCEr$ terpetakan untuk periode 1 detik (S_1) (Bersumber dari aplikasi spektra Indonesia).

Tabel 2.7 Koefisien Situs (Fa)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S _i					
	S _i ≤ 0,25	S _i = 0,5	S _i = 0,75	S _i = 1,0	S _i = 1,25	S _i ≥ 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)					

4. Menentukan nilai faktor amplifikasi periode pendek (Fa) (Tabel 6 SNI 1726-2019 Halaman 34).
5. Menentukan nilai faktor amplifikasi periode 1 detik (Fv) (Tabel 7 SNI 1726-2019 Halaman 34-35).

Tabel 2.8 Koefisien Situs (Fv)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S1					
	S1 ≤ 0,1	S1 = 0,2	S1 = 0,3	S1 = 0,4	S1 = 0,5	S1 ≥ 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)					

6. Menghitung nilai percepatann pada periode pendek (S_{MS}) dengan rumus sebagai berikut, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.2 halaman 34.

$$S_{ms} = F_a \times S_s \dots\dots\dots(2-1)$$

Keterangan :

S_{ms} = Percepatan pada periode pendek

Fa = Faktor amplifikasi periode pendek

Ss = Percepatan gempa MCEr terpetakan untuk periode pendek

7. Menghitung nilai percepatan pada periode 1 detik (S_{M1}) dengan rumus sebagai berikut, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.2 halaman 34.

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots(2-2)$$

Keterangan :

S_{M1} = Percepatan pada periode 1 detik

F_v = Faktor amplifikasi periode 1 detik

S_1 = Percepatan gempa MCEr terpetakan untuk periode 1 detik

8. Menghitung nilai percepatan desain pada periode pendek (S_{DS}) dengan rumus sebagai berikut, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.3 halaman 35.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots(2-3)$$

Keterangan :

S_{DS} = Percepatan Spektral desain untuk periode pendek

S_{MS} = Percepatan pada periode pendek

9. Menghitung nilai percepatan desain pada periode 1 detik (S_{D1}), sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.3 halaman 35.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots(2-4)$$

Keterangan :

S_{D1} = Percepatan spektral desain untuk periode 1 detik

S_{M1} = Percepatan pada periode pendek 1 detik

10. Menentukan nilai R^a , Ω_o , dan C_d

Tabel 2.9 Faktor R^a , Ω_o , dan C_d Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber SNI 1726-2019 Halaman 50)

Keterangan :

TB = Tidak dibatasi

TI = Tidak diijinkan

2.3.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk metode ultimit, mengharuskan struktur, komponen-komponen struktur dan fondasi dirancang sedemikian rupa hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh dari beban terfaktor. Berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 2.3.1 halaman 13 kombinasi-kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $0,9D + 1,0W$

Pengecualian :

1. Faktor beban pada L dalam kombinasi 3, 4, dan 5 diizinkan sebesar 0,5 untuk semua tingkat hunian bila L_o pada tabel 4.1 kurang dari atau sama dengan 100 psf (4,78 kN/m²), dengan pengecualian daerah garasi atau ruang pertemuan umum.

2.3.5.1 Pengaruh Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726 2019 pasal 7.4.2 pengaruh beban gempa, E harus sesuai dengan rumusan berikut :

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dalam 4.2.2 atau kombinasi beban 5 dan 6 dalam 4.2.3, E harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$E = Eh + Ev \dots \dots \dots (2-5)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam 4.2.2 atau kombinasi beban 8 dalam 4.2.3, E harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$E = Eh - Ev \dots \dots \dots (2-6)$$

Keterangan :

E = Pengaruh beban gempa

Eh = Pengaruh beban gempa horizontal seperti didefinisikan dalam 7.4.2.1

Ev = Pengaruh beban gempa vertikal seperti yang didefinisikan dalam 7.4.2.2

2.3.5.1.1 Pengaruh Beban Seismic Horizontal

Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.4.2.1 halaman 65 pengaruh beban seismic horizontal, E_h harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$E_h = \rho QE \dots\dots\dots(2-7)$$

Keterangan :

QE = Pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau FP . Jika disyaratkan dalam 7.5.3 dan 7.5.4, pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain.

ρ = Faktor redundansi, seperti didefinisikan dalam 7.3.4

2.3.5.1.2 Pengaruh Beban Seismic Vertikal

Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.4.2.2 halaman 65, pengaruh beban seismic vertikal E_v harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini :

$$E_v = 0,2S_{DS}D \dots\dots\dots(2-8)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain pada perioda pendek

D = Pengaruh beban mati

2.3.5.2 Pengaruh Beban Seismic Termasuk Faktor Kuat-Lebih

Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.4.3 halaman 66, kondisi yang mensyaratkan penerapan faktor kuat lebih harus ditentukan dengan rumusan berikut :

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dalam 0 atau kombinasi beban 5 dan 6 dalam 0, E harus diambil sama dengan E_{mh} seperti ditentukan sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_m = E_{mh} + E_v \dots\dots\dots(2-9)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam 0 atau kombinasi beban 8 dalam 0, E harus diambil sama dengan E_m seperti ditentukan sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_m = E_{mh} - E_v \dots \dots \dots (2-10)$$

Keterangan :

- E_m = Pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat lebih
- E_{mh} = Pengaruh beban seismic horizontal termasuk kuat lebih struktur
- E_v = Pengaruh beban seismic vertikal

2.3.5.3 Pengaruh Beban Gempa Horizontal dengan Faktor Kuat Lebih

Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.4.3.1 halaman 66, pengaruh beban seismic horizontal harus ditentukan dengan persamaan berikut :

$$E_{mh} = \Omega_0 Q_E \dots \dots \dots (2-11)$$

Keterangan :

- Q_E = Pengaruh beban horizontal
- E_{mh} = Faktor kuat-lebih

2.3.5.4 Kombinasi Beban dengan Faktor Kuat-Lebih

Pada SNI 1726-2019 pasal 8.3.2.3 halaman 102-103, jika pengaruh beban seismic dengan kuat lebih, E_m yang didefinisikan dalam 0 dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya yang ditetapkan dalam pasal 0, kombinasi beban seismik berikut untuk struktur yang tidak dikenai beban banjir harus digunakan sebagai pengganti dari kombinasi beban seismic dalam 0 atau 0.

Kombinasi dasar untuk desain kekuatan dengan faktor kuat lebih :

- 5. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + E_{mh} + L$
- 7. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + E_{mh}$

Catatan :

1. Faktor beban pada L dalam kombinasi 5 diijinkan sama dengan 0,5 untuk semua hunia dimana besarnya beban hidup merata kurang dari atau sama dengan $4,79 \text{ kN/m}^2$, dengan pengecualian garasi atau ruangan pertemuan.
2. Faktor beban untuk beban fluida, F (jika ada) adalah sama dengan faktor beban untuk D dalam kombinasi beban 1 hingga 5 dan 7. Faktor beban untuk H (jika ada) :
 - a. Jika beban H menambah pengaruh beban-beban utama, faktor beban H adalah 1,6
 - b. Jika beban H mengurangi pengaruh beban-beban utama, faktor beban H adalah 0,9 jika beban tersebut permanen atau 0 untuk kondisi lainnya.
3. Jika tekanan lateral tanah memberikan tahanan pada struktur yang dibebani oleh beban-beban lainnya, maka tekanan lateral tanah tidak diperhitungkan dalam H , tapi diperhitungkan sebagai desain tahanan.

Kombinasi beban dengan faktor kuat lebih :

1. $1,4D$
2. $1,4 D + 1,6L$
3. $1,2D + L + E_{mh} + E_V$
4. $0,9D + L + E_{mh} + E_V$

Kombinasi beban gempa akibat pengaruh beban gempa horizontal dan vertikal dengan faktor kuat lebih adalah sebagai berikut :

1. $1,4D$
2. $1,4 D + 1,6L$
3. $1,2D + L + \Omega_0 Q_E + 0,2S_{DS}D$
4. $0,9D + L + \Omega_0 Q_E - 0,2S_{DS}D$

Jadi, Kombinasi yang akan digunakan pada penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L$
3. $1,2D + 0,5L + 0,3(1,3Q_{Ex} + 0,2S_{DS}D) + 1(1,3 Q_{Ey} + 0,2S_{DS}D)$
4. $1,2D + 0,5L - 0,3 (1,3Q_{Ex} + 0,2S_{DS}D) + 1(1,3 Q_{Ey} + 0,2S_{DS}D)$
5. $1,2D + 0,5L - 0,3 (1,3 Q_{Ex} + 0,2S_{DS}D) + 1(1,3 Q_{Ey} + 0,2S_{DS}D)$
6. $1,2D + 0,5L - 0,3 (1,3Q_{Ex} + 0,2S_{DS}D) - 1(1,3Q_{Ey} + 0,2S_{DS}D)$
7. $1,2D + 0,5L + 1 (1,3Q_{Ey} + 0,2S_{DS}D) + 0,3(1,3Q_{Ex} + 0,2S_{DS}D)$
8. $1,2D + 0,5L - 1 (1,3Q_{Ex} + 0,2S_{DS}D) + 0,3(1,3Q_{Ey} + 0,2S_{DS}D)$
9. $1,2D + 0,5L + 1 (1,3Q_{Ex} + 0,2S_{DS}D) - 0,3(1,3Q_{Ey} + 0,2S_{DS}D)$
10. $1,2D + 0,5L - 1 (1,3Q_{Ex} + 0,2S_{DS}D) - 0,3(1,3Q_{Ey} + 0,2S_{DS}D)$
11. $0,9D + 0,3(1,3Q_{Ex} + 0,2S_{DS}D) + 1(1,3Q_{Ey} - 0,2S_{DS}D)$
12. $0,9D - 0,3(1,3Q_{Ex} - 0,2S_{DS}D) + 1(1,3Q_{Ey} + 0,2S_{DS}D)$
13. $0,9D + 0,3(1,3Q_{Ex} - 0,2S_{DS}D) - 1(1,3Q_{Ey} - 0,2S_{DS}D)$
14. $0,9D - 0,3 (1,3Q_{Ex} - 0,2S_{DS}D) - 1(1,3Q_{Ey} - 0,2S_{DS}D)$
15. $0,9D + 1(1,3Q_{Ex} - 0,2S_{DS}D) + 0,3(1,3Q_{Ey} + 0,2S_{DS}D)$
16. $0,9D - 1(1,3Q_{Ex} + 0,2S_{DS}D) + 1,3(1,3Q_{Ex} - 0,2S_{DS}D)$
17. $0,9D + 1 (1,3Q_{Ex} - 0,2S_{DS}D) - 0,3(1,3Q_{Ex} - 0,2S_{DS}D)$
18. $0,9D - 1(1,3 Q_{Ex} - 0,2S_{DS}D) - 0,3(1,3Q_{Ey} - 0,2S_{DS}D)$

2.4 Metode Analisis Beban Gempa

Analisis beban gempa dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu sebagai berikut :

1. Metode analisa beban stratis (*static equivalent analysis*)
2. Metode analisa dinamis (*dynamic analysis*)
 - a. Analisis ragam spektrum (*respon spektrum analysis*)
 - b. Analisis respon riwayat waktu (*time history analysis*)

Dalam perencanaan suatu beban gempa, metode yang sederhana dan sering digunakan adalah metode analisis statik ekuivalen, sehingga dalam perencanaan beban gempa pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan perlu dilakukan pengontrolan apakah cukup menggunakan analisis gempa dengan statik ekuivalen atau menggunakan analisis gempa dinamik. Berikut ini adalah langkah-langkah pengontrolan batasan penggunaan prosedur analisis gempa statik ekuivalen menurut SNI 1726-2019 pasal 7.8

2.4.1 Metode Analisis Statik Ekuivalen (*Statik Equivalent Analysis*)

Berikut ini adalah parameter-parameter yang dibutuhkan dalam metode analisis statik ekuivalen, yaitu :

2.4.1.1 Periode Fundamental Struktur (T)

2.4.1.1.1 Periode Fundamental Pendekatan (Ta)

1. Untuk struktur dengan ketinggian < 12 tingkat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m (SNI 1726-2019 pasal 7.8.2.1 halaman 72.

$$T_a = 0,1 N \dots\dots\dots(2-12)$$

Keterangan :

T_a = Periode fundamental

N = Jumlah tingkat

2. Untuk struktur dengan ketinggian < 12 tingkat (SNI 1726-2019 pasal 7.8.2.1 halaman 72.

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \dots\dots\dots(2-13)$$

Keterangan :

C_t dan x = Koefisien periode pendekatan (lihat tabel)

h_n = Ketinggian struktur

Tabel 2.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tabel 18 – 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 sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : SNI 1726-2019 Halaman 72

2.4.1.1.2 Batas Periode Maksimum (T_{max})

$$T_{max} = C_u \cdot T_a \dots\dots\dots(2-14)$$

Keterangan :

T_{max} = Periode maksimum

C_u = Koefisien batas atas pada periode yang dihitung

T_a = Periode fundamental

Tabel 2.11 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

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

Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2 Halaman 72

2.4.1.1.3 Periode Yang Digunakan (T)

Adapun periode yang digunakan menurut SNI 1726-2019 pasal 7.8.2 halaman 71:

1. Jika $T_c > C_u \cdot T_a$. Maka $T = C_u \cdot T_a$
2. Jika $T_a < C_u \cdot T_a$, maka $T = T_c$
3. Jika $T_c < T_a$, maka $T = T_a$

2.4.1.1.4 Batas Penggunaan Prosedur Analisis Gaya Lateral Ekuivalen (ELV)

Syarat penggunaan prosedur analisis gempa statik ekuivalen :

$$T_c < 3,5 T_s \dots \dots \dots (2-15)$$

Keterangan :

T_c = Periode fundamental bangunan

T_s = SD_1 / S_{DS}

Catatan : Jika memenuhi syarat diatas, maka analisa gempa diperbolehkan menggunakan analisis gempa static ekuivalen.

2.4.1.2 Geser Dasar Seismic (V)

Nilai v dapat dihitung menggunakan rumus dibawah ini sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.8.1 halaman 69

$$V = C_s \cdot W \dots \dots \dots (2-16)$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respon seismic (SNI 1726-2019 pasal 7.8.1 halaman 69)

W = Berat seismic efektif struktur (SNI 1726-2019 pasal 7.8.1 halaman 69)

2.4.1.2.1 Koefisien Respons Seismic (Cs)

$$1. C_s = \frac{SD_s}{R/I_e} \dots\dots\dots(2-17)$$

Keterangan :

S_{Ds} = Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek

R = Faktor modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan gempa

T = Periode fundamental struktur

$$2. C_s = \frac{SD_1}{T \times (R/I_e)} \dots\dots\dots(2-18)$$

Keterangan :

S_{D1} = Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek

R = Faktor modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan gempa

T = Periode fundamental struktur

2.4.1.3 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral (F_x) yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut ini (SNI 1726-2019 pasal 7.8.3 halaman 73)

$$1. F_x = C_{vx} \times V \dots\dots\dots(2-19)$$

$$2. C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots(2-20)$$

Keterangan :

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya lateral desain total atau geser dasar struktur

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

h_i, h_x = Tinggi dari dasar sampai tinggi i atau x

k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur dengan periode sebesar 0,5 detik atau kurang (K=1)
- Untuk struktur dengan periode sebesar 2,5 detik atau lebih (K=2)
- Untuk struktur dengan periode antara 0,5-2,5 detik, k harus sebesar 2 atau dilakukan interpolasi linear antara 1 dan 2.

2.4.2 Desain Respon Spektrum

1. Menghitung nilai periode T_0 dengan rumus sebagai berikut, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.4 halaman 35-36

$$T_0 = 0,2 \frac{SD_1}{SDS} \dots\dots\dots(2-21)$$

Keterangan :

T_0 = Periode

SD_1 = Percepatan spektral desain untuk periode 1 detik

SDS = Percepatan spektral desain untuk periode pendek

2. Menghitung nilai periode T_s dengan rumus sebagai berikut, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.4 halaman 36

$$T_s = \frac{SD_1}{SDS} \dots\dots\dots(2-22)$$

Keterangan :

T_s = Periode

SD_1 = Percepatan spektral desain untuk periode 1 detik

SDS = Percepatan spektral desain untuk periode pendek

3. Menghitung nilai S_a dengan rumus sebagai berikut, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.4 halaman 36

- a. Untuk $T < T_0$

$$S_a = SDS (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \dots\dots\dots(2-23)$$

Keterangan ;

S_a = Spektrum respon percepatan desain

S_{DS} = Percepatan spektral desain untuk periode pendek

b. Untuk $T \geq T_0$

$$S_a = S_{DS} \dots \dots \dots (2-24)$$

Keterangan :

S_a = Spektrum respon percepatan desain

S_{DS} = Percepatan spektral desain untuk periode pendek

c. Untuk $T \geq T_s$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots \dots \dots (2-25)$$

Keterangan :

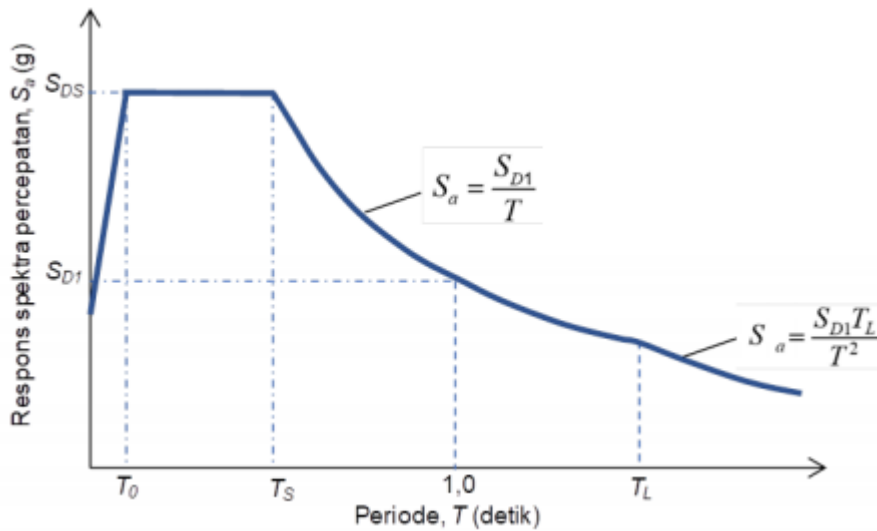
S_a = Spektrum respon percepatan desain

S_{D1} = Percepatan spektral desain untuk periode 1 detik

T = Periode

4. Plotkan hasil perhitungan spektrum respon percepatan desain pada grafik spektrum respon percepatan desain

Gambar 2.5 Spektrum Respon Desain



Sumber : SNI 1726-2019 Halaman 36

2.5 Kategori Desain Seismik

Tabel 2.12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

Tabel 2.13 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

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

2.6 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem Rangka Pemikul Momen merupakan suatu sistem rangka ruang dengan komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Di Indonesia terdapat 3 macam sistem struktur yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka pemikul momen khusus adalah komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat besaran gaya yang direncanakan untuk memikul lentur, tingkat daktilitasnya besar dan biasanya dipakai untuk struktur dengan Kategori Desain Seismik D, E, F.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem rangka pemikul momen menengah merupakan perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen yang menitik beratkan kewaspadaannya pada kegagalan struktur akibat keruntuhan struktur. tingkat daktilitasnya sedang dan biasanya dipakai untuk struktur dengan Kategori Desain Seismik C.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Sistem rangka pemikul momen biasa merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil, tetapi memiliki kekuatan yang besar, biasanya digunakan struktur dengan Kategori Desain Seismik A dan B.

2.7 Perencanaan Awal Dimensi

Perencanaan awal dimensi pada elemen struktur (*Preliminary Design*) merupakan tahap awal dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Penentuan dimensi awal dari masing-masing elemen struktur berdasarkan ketentuan yang ada pada SNI 2847-2019 yaitu persyaratan beton structural untuk bangunan gedung.

2.7.1 *Preliminary* Elemen Pelat

Perancangan awal dimensi pelat mengacu kepada bentang rencana. Menurut SNI 2847:2019 pasal 7.3.1 bahwa ketebalan minimum pelat dicantumkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.14 Standar Minimum Tebal Pelat

Kondisi Tumpuan	h Minimum
Tumpuan sederhana	$\ell/20$
Satu ujung menerus	$\ell/24$
Kedua ujung menerus	$\ell/28$
Kantilever	$\ell/10$
Catatan: Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan $F_y = 420$ MPa.	

Keterangan : ℓ = Panjang bentang

(Sumber SNI 2847-2019 Pasal 7.3.1)

2.7.2 Preliminary Elemen Balok

Menurut SNI 2847 – 2019 pasal 9.3.1 bahwa tinggi balok minimum dicantumkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.15 Standar Tinggi Minimum Balok

Kondisi Tumpuan	h Minimum
Tumpuan sederhana	$\ell/16$
Satu ujung menerus	$\ell/18,5$
Kedua ujung menerus	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$
Catatan: Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan $F_y = 420$ MPa.	

Keterangan : ℓ = Panjang bentang

(Sumber SNI 2847-2019 Pasal 9.3.1)

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 pasal 18.6.2.1 bahwa lebar balok (b) harus sekurangnya 250 mm dan perbandingan lebar (b) tidak boleh kurang dari 0,3 tinggi (h).

2.7.3 Preliminary Elemen Kolom

Menurut SNI 2847-2019 pasal 18.7.2.1 bahwa dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm dan rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4.

2.8 Perilaku Struktur

2.8.1 Simpangan Antar Lantai

Untuk menentukan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa pada tingkat teratas dan terbawah dari gedung yang ditinjau. Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus kurang dari sama dengan simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ). Defleksi pusat massa tingkat $\times (\delta x)$ (mm) pada Pasal 7.8.6 SNI 1726-2019 harus ditentukan sesuai dengan persamaan dibawah :

$$\delta x = \frac{C_d \delta x_e}{I_e} \dots\dots\dots(2-26)$$

Keterangan :

Δx_e = defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis.

C_d = Faktor amplifikasi defleksi sesuai dengan sistem struktur.

I_e = Faktor keutamaan gempa.

Besar simpangan antar lantai dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$\Delta x = \delta x_a - \delta x_b \leq \Delta a \dots\dots\dots(2-27)$$

$$\Delta x = (\delta x_a - \delta x_b) C_d I_e \leq \Delta a.$$

Keterangan :

Δx_a = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan pada tingkat atas.

Δx_b = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan pada tingkat bawah.

Δx = Simpangan pada lantai ke-x.

Δa = Simpangan antar lantai tingkat ijin.

Tabel 2.16 Simpangan antar lantai Ijin

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{sx}^c	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^g	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,07 h_{sx}	0,07 h_{sx}	0,07 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

H_{sx} adalah tinggi i tingkat dibawah tingkat x

(Sumber SNI 1726-2019 Pasal 7.8.6)

2.9 Eksentrisitas (e)

Berdasarkan SNI 1726-2019 e adalah eksentrisitas toritis antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat struktur gedung, dalam subskrip menunjukkan kondisi elastik penuh.

2.9.1 Eksentrisitas Pusat Massa Terhadap Pusat Rotasi Lantai Tinggal

2.9.1.1 Pusat Massa Lantai

Berdasarkan SNI 2716-2019 pusat massa lantai tingkat struktur gedung adalah titik tangkap resultan beban mati, beban hidup yang sesuai yang bekerja pada lantai tingkat itu. Pada perencanaan struktur gedung, pusat massa adalah titik tangkap beban gempa statik ekuivalen atau gempa dinamik.

2.9.1.2 Pusat Rotasi Lantai Tingkat

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pusat rotasi lantai tingkat suatu struktur gedung adalah suatu titik pada lantai tingkat itu yang bila suatu beban horizontal bekerja padatnya, lantai tingkat tersebut tidak berotasi, tetapi hanya bertranslasi, sedangkan lantai-lantai tingkat lainnya yang tidak mengalami beban horizontal semuanya berotasi dan bertranslasi.

2.9.2 Eksentrisitas Rencana

Antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat harus ditinjau suatu eksentrisitas rencana (e_d). Apabila ukuran horizontal terbesar denah struktur gedung pada lantai tingkat itu, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa, dinyatakan dengan b , maka eksentrisitas rencana e_d harus ditentukan sebagai persamaan berikut :

1. Untuk $0 < e < 0,3b$:

$$e_d = 1,5e + 0,05b \dots \dots \dots (2-28)$$

atau,

$$e_d = e - 0,05b \dots \dots \dots (2-29)$$

Dan dipilih antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau.

2. Untuk $e > 0,03b$:

$$ed = 1,33e + 0,1b \dots\dots\dots(2-30)$$

atau,

$$ed = 1,17e - 0,1b \dots\dots\dots(2-31)$$

Dan dipilih antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau.

2.9.3 Eksentrisitas Tambahan

Setelah mendapatkan nilai eksentrisitas rencana (ed), maka perlu ditambah nilai eksentrisitas tak terduga dalam mm diambil 5% dari ukuran maksimum bangunan tegak lurus dengan arah gaya yang ditinjau.

2.9.4 Ketidakberaturan Vertikal dan Horizontal

Struktur harus diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.3.2. Klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur.

1. Ketidakberaturan Horizontal

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam tabel di bawah harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam tabel dibawah harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 2.17 Ketidakberaturan Pada Struktur Horizontal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $\lambda_s = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 Tabel 16 0	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $\lambda_s = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	0 0 0 Tabel 16 0	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	0 0 Tabel 16 0	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

(Sumber Sni 1726-2019 Tabel 13)

2. Ketidakberaturan Vertikal

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

Tabel 2.18 Ketidakberaturan Pada Struktur Vertikal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 80 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 85 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

(Sumber SNI 1726-2019 Tabel 14)

2.10 Perencanaan Struktur Balok

Menurut SNI 2847 – 2019 pasal 18.6.2.1 bahwa lebar balok (b) harus sekurang-kurangnya 250 mm dan perbandingan lebar (b) tidak boleh kurang dari 0,3 tinggi (h).

2.10.1 Desain Tulangan Longitudinal Balok

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.6, ada beberapa persyaratan dalam merencanakan komponen struktur lentur rangka momen khusus :

- a. Pasal 22.2.2.4.3 untuk $17 \leq f'c \leq 28$, β_1 diambil 0,85, untuk $28 \leq f'c \leq 35$ β_1 diambil $0,85 - \frac{0,05 (f'c - 28)}{7}$, untuk $f'c \geq 55$, β_1 diambil 0,65.

- b. Syarat spasi tulangan pada SNI 2847-2019 pasal 25.2.1 :
- Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar db, tetapi tidak kurang dari 25 mm.
 - Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapis tidak boleh kurang dari 25 mm.
- c. Lebar sayap efektif di kedua sisi menurut pasal 6.3.2.1 tidak boleh melebihi :
- $B_{eff} < 8 \times \text{tebal pelat} \times 2 + b_w$(2-32)
 - $B_{eff} < S_w / 2 \times 2 + b_w$ (Sw: jarak bersih balok dengan balok sebelahnya)(2-33)
 - $B_{eff} < L_n \times 1/12 \times 2 + b_w$(2-34)
- d. Dalam pasal 21.2.2, nilai kekuatan nominal komponen struktur yang mengalami momen atau kombinasi momen gaya aksial ditentukan oleh kondisi dimana regangan dalam serat tekan terjauh sama dengan asumsi batas regangan yaitu 0,003. Jika regangan tarik netto pada tulangan tarik terjauh cukup besar atau ($\geq 0,005$), maka komponen dianggap terkontrol tarik.
- e. Dalam pasal 22.7.4.1, pengaruh torsi untuk komponen struktur nonprategang yang dikenai gaya tarik atau tekan aksial boleh diabaikan bila momen torsi terfaktor T_u kurang dari:

$$0,083\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

- f. Tulangan minimum

Untuk menghindari terjadinya kegagalan getas pada balok, SNI 2847-2019 pasal 10.5.1 halamana 76 mengatur jumlah tulangan minimum yang perlu dipasang pada komponen struktur lentur, yaitu :

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} \times b_w \times d \text{(2-35)}$$

Atau

$$A_s \text{ min} = \frac{1.4}{f_y} \times b w \times d \dots\dots\dots(2-36)$$

g. Tulangan maksimum

Menurut SNI 2847-2019 batasan bahwa ρ (rasio tulangan terhadap bd) tidak boleh melebihi $0,75 \rho_b$, yang akan menghasilkan kondisi regangan seimbang

$$A_s \text{ maks} = 0.75 \times (600 + f_y) \times b w \times d \dots\dots\dots(2-37)$$

h. Perencanaan balok tulangan rangkap

Berikut adalah langkah-langkah dalam perencanaan balok dengan tulangan rangkap :

1) Tentukan jumlah tulangan tarik dan tekan yang digunakan.

2) Hitung jarak serat terluar ke pusat tulangan (d')

$$d' = \text{Selimut beton} + \text{diameter sengkang} + \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan utama}$$

3) Hitung nilai tinggi efektif (d)

$$d = \text{tinggi balok (h)} - (d'') \dots\dots\dots(2-38)$$

4) Mencari garis netral (c).

$$5) C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b \dots\dots\dots(2-39)$$

$$6) C_s = A_s' \times f_s' \dots\dots\dots(2-40)$$

$$7) T_s = A_s \times f_y \dots\dots\dots(2-41)$$

$$8) C_c + C_s = T_1 \text{ untuk } c > d' \dots\dots\dots(2-42)$$

$$9) C_c = T_1 + T_2 \text{ untuk } c < d' \dots\dots\dots(2-43)$$

i. Kontrol momen lentur

$$- \phi M_n > M_u$$

$$- M_n + \geq \frac{1}{2} M_n -$$

2.10.2 Desain Tulangan Geser

a. Menghitung gaya geser desain dihitung berdasarkan momen ujung balok atau probable moment capacities (M_{pr}). Momen ujung dihitung berdasarkan nilai tegangan Tarik baja sebesar $1,25 f_y$ dan factor reduksi kekuatan lentur $\phi = 1$. (SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.1)

Menghitung Momen probabilitas (Mpr) sebagai berikut:

$$\alpha_{pr} = \frac{As \times 1,25 \times fy}{0,85 \times f'cx \times b} \dots\dots\dots(2-44)$$

$$M_{pr} = M_n \text{ dari } 1,25 \times fy \dots\dots\dots(2-45)$$

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi :

$$V_g = \frac{W_u \times l_n}{2} \dots\dots\dots(2-46)$$

Gaya geser akibat goyangan :

$$V_{sway} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \dots\dots\dots(2-47)$$

Gaya geser desain akibat goyangan :

$$V_e = V_{sway} + V_g \dots\dots\dots(2-48)$$

- b. Menghitung gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi adalah dengan perataan beban pelat yang terdiri dari beban mati dan hidup.
- c. Dalam SNI-2019 pasal 18.6.5.2 menyatakan daerah sendi plastis sepanjang 2h dari muka kolom, maka kontribusi beton dalam menahan geser $V_c = 0$ apabila :
 - Gaya geser akibat gempa melebihi $\frac{1}{2}$ atau lebih dari kekuatan geser maksimum disepanjang bentang.
 - Gaya tekan aksial terfaktor, P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g \cdot f_c' / 20$.
- d. Dalam SNI-2019 pasal 18.6.4.4 syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis tidak boleh melebihi yang terkecil dari:
 - $d/4$
 - $6 \times d_b$
 - 150 mm
- e. Dalam SNI 2847-2019 pasal 18.6.4.6 spasi tulangan transversal daerah sendi plastis yaitu $d/2$.
- f. Dalam SNI 2847-2019 pasal 22.5, menyatakan bahwa desain penampang yang terkena gaya geser adalah seperti berikut:

$$\phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots(2-49)$$

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(2-50)$$

Keterangan :

V_n = Kuat geser nominal penampang yang ditinjau

V_u = Gaya geser terfaktor penampang yang ditinjau

V_c = Kuat geser nominal beton penampang yang ditinjau

V_s = Kuat geser nominal tulangan geser pada penampang yang ditinjau

g. Dalam SNI 2847-2019 pasal 22.5.10.1 untuk $V_u > \phi V_c$, nilai V_s adalah:

$$\frac{V_u}{\phi} - V_c \dots\dots\dots(2-51)$$

2.10.3 Desain Tulangan Terhadap Torsi

Dikontrol apakah butuh tulangan torsi Pada SNI 2847-2019 pasal 22.7.4.1 menyatakan bahwa ambang batas torsi T_{th} untuk komponen struktur non prategang penampang solid dihitung dengan :

$$T_{th} = 0.083 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \dots\dots\dots(2-52)$$

Keterangan :

$\lambda = 1$ (beton normal)

f_c' = mutu beton

A_{cp} = luas penampang beton

P_{cp} = keliling penampang beton

Pada SNI 2847-2019 pasal 22.7.1.1 menyatakan bahwa Jika $T_u < \phi T_{th}$ maka diperbolehkan untuk mengabaikan pengaruh torsi. Jika $T_u \geq \phi T_{th}$ maka dihitung dengan pasal 22.7.4.1 dimana $\phi = 0,75$ (faktor reduksi untuk torsi).

$$T_{th} = \phi 0.083 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \dots\dots\dots(2-53)$$

Luas tulangan torsi minimum sesuai SNI 2847-2019 pasal 9.6.4.3 dihitung dengan :

$$A_{lmin} = \left(\frac{0,42 \sqrt{f_c} A_{cp}}{f_y} \right) - \frac{0,175 b_w}{f_{yt}} \times p h \times \frac{f_{yt}}{f_y} \dots\dots\dots(2-54)$$

$$A_{lmin} = \left(\frac{0,42 \sqrt{f_c} A_{cp}}{f_y} \right) - \frac{A_t}{s} \times p h \times \frac{f_{yt}}{f_y} \dots\dots\dots(2-55)$$

2.11 Perencanaan Struktur Kolom

Menurut SNI 2847-2019 pasal 18.7.2.1 dan pasal 21.6.1.2 bahwa dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm dan rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4.

2.11.1 Desain Tulangan Longitudinal Kolom

- Dalam SNI 2847-2019 pasal 25.2.1 untuk tulangan nonprategang yang sejajar pada satu lapisan horizontal, spasi bersih tulangan harus tidak kurang dari nilai terbesar dari 25 mm.
- Menurut pasal 22.2.2.1, regangan pada serat tekan beton terluar diasumsikan sama dengan 0,003.
- Pasal 22.2.2.4.3 untuk $17 \leq f'c \leq 28$, β_1 diambil 0,85, untuk $28 \leq f'c \leq 35$ β_1 diambil $0,85 - \frac{0,05(f'c-28)}{7}$, untuk $f'c \geq 55$, β_1 diambil 0,65.
- Berdasarkan pasal 9.6.1.2, A_s min harus lebih besar dari a dan b

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} \times b_w \times d$$

Atau

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$$

- Menurut pasal 18.7.4.1 luas tulangan longitudinal A_{st} untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$. (1-6%)
- Dalam pasal 6.6.4.5.1 untuk prosedur pembesaran momen tidak bergoyang :

$$M_c = \delta_{ns} M_2$$

Menurut pasal 6.6.4.5.2

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 P_c}} \geq 1,0 \text{ dimana } P_c \text{ dihitung dengan :}$$

$$P_c = \frac{\pi \times EI}{(k \times L_n)^2}$$

g. Pasal 6.2.5, untuk nilai panjang efektif (k) diambil sebesar 1,0

Komponen struktur rangka yang menahan gaya gempa dan gaya tekan aksial terfaktor, P_u , harus memenuhi syarat-syarat pada SNI 2847 2019 pasal 18.7.3, yaitu sebagai berikut :

1. Kekuatan Lentur Minimum

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb} \dots\dots\dots(2-56)$$

Keterangan:

M_{nc} = Momen nominal kolom.

M_{nb} = Momen nominal balok.

2. Syarat-syarat penulangan longitudinal

Dalam SNI 2847 2019 pasal 18.7.4.1 luas tulangan memanjang (longitudinal), A_{st} , tidak boleh kurang dari 0.01 A_g atau lebih dari 0.06 A_g .

$$p_g = \frac{A_{st}}{A_g} \dots\dots\dots(2-57)$$

$$0.01 A_g < p_g < 0.06 A_g \dots\dots\dots(2-58)$$

Keterangan :

p_g = Rasio tulangan memanjang

A_{st} = Luas tulangan yang diperlukan

A_g = Luas bruto penampang

Untuk menghitung kebutuhan tulangan longitudinal kolom dengan cara dibawah:

a. Beban sentris

$$P_o = 0,85 \times f'_c(A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}$$

$$P_n = 0,80 \cdot P_o$$

$$\phi P_n = 0,65 \cdot P_n$$

b. Kondisi seimbang (c=cb)

$$c_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y}$$

$$a_b = c \cdot \beta_1$$

Nominal Desak (ND) = $0,85 \cdot f'c \cdot ab \cdot b$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{Es}$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{c-d'}{c} \times ec$$

$$N \text{ Desak} / N \text{ tarik} = As \times fs$$

$$P_{nb} = \sum N \text{ tekan} - \sum N \text{ tarik}$$

$$\phi P_n = 0,65 \cdot P_{nb}$$

$$M_{nb} = \sum N \times \text{jarak ke sumbu netral}$$

$$Eb = \frac{M_{nb}}{P_{nb}}$$

c. Kondisi patah desak ($c > cb$)

$$ab = c \cdot \beta_1$$

Nominal Desak (ND) = $0,85 \cdot f'c \cdot ab \cdot b$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{Es}$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{c-d'}{c} \times ec$$

$$N \text{ Desak} / N \text{ tarik} = As \times fs$$

$$P_{nb} = \sum N \text{ tekan} - \sum N \text{ tarik}$$

$$\phi P_n = 0,65 \cdot P_{nb}$$

$$M_{nb} = \sum N \times \text{jarak ke sumbu netral}$$

$$Eb = \frac{M_{nb}}{P_{nb}}$$

d. Kondisi patah tarik ($c < cb$)

$$ab = c \cdot \beta_1$$

Nominal Desak (ND) = $0,85 \cdot f'c \cdot ab \cdot b$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{Es}$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{c-d'}{c} \times ec$$

$$N \text{ Desak} / N \text{ tarik} = As \times fs$$

$$P_{nb} = \sum N \text{ tekan} - \sum N \text{ tarik}$$

$$\phi P_n = 0,65 \cdot P_{nb}$$

$$Mnb = \sum N \times \text{jarak ke sumbu netral}$$

$$Eb = \frac{Mnb}{Pnb}$$

2.11.2 Desain Tulangan Transversal

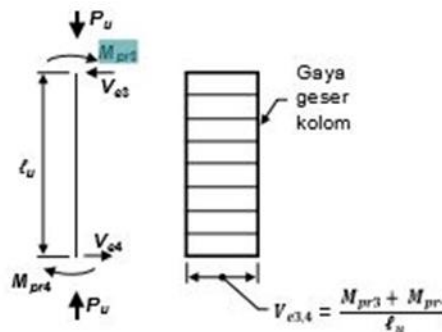
Desain untuk tulangan transversal mengacu pada SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4 yang membatasi luasan transversal dan spasi tulangan transversal.

1. Menghitung momen probabilitas kolom (M_{pr})

M_{pr} Kolom = ϕM_n kolom kondisi balance dengan 1,25fy Jika tulangan longitudinal disepanjang kolom sama, maka M_{pr3} dan M_{pr4} sama

2. Menghitung gaya geser desain

Gaya geser desain (V_e) harus ditentukan dari peninjauan gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan (joints) disetiap ujung komponen struktur.



Gambar 2.6 Geser Desain Untuk Kolom

(Sumber Sni 2847-2019 Halaman 284)

$$V_e \text{ Kolom} = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_u} \dots\dots\dots(2-59)$$

SNI 2847-2019 Pasal 18.7.6.2 menyatakan bahwa tulangan transversal sepanjang l_o dari muka kolom, maka harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bila a dan b terpenuhi :

- a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung dengan 18.7.5.1 setidaknya $\frac{1}{2}$ kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang l_o .

$$\frac{1}{2} V_e \text{ Kolom} > V_u \text{ maks sepanjang } l_o \dots\dots\dots(2-60)$$

- b. Gaya tekan aksial terfaktor P_u , termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c' / 20$.

$$P_u < \frac{A_g \times f_c}{20} \dots\dots\dots(2-61)$$

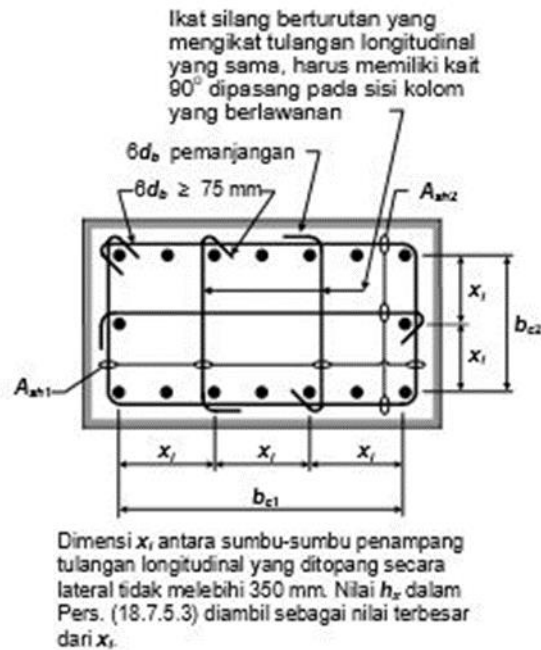
3. Tulangan Geser Sepanjang l_o

Tulangan transversal yang disyaratkan dalam SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.2 sampai 18.7.5.4 harus dipasang sepanjang panjang l_o dari masing-masing muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang l_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari (a), (b) dan (c):

- a. Tinggi kolom (h) pada muka joint atau penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi
- b. 1/6 tinggi bersih kolom
- c. 450 mm

Tulangan transversal harus sesuai a hingga f sebagaimana SNI 2847 2019 pasal 18.7.5.2

- a. Tulangan transversal harus disediakan dari spiral tunggal atau spiral saling tumpuk, sengkang pengekang bundar, sengkang persegi dengan atau tanpa pengikat silang.
- b. Setiap tekukan ujung sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.
- c. Ukuran tulangan pengikat silang diperbolehkan sama atau lebih kecil dari ukuran begelnya. Setiap ujung pengikat silang harus memegang batang tulangan longitudinal terluar.
- d. Pengikat silang yang berurutan harus diseling ujung-ujungnya sepanjang tulangan longitudinal.
- e. Spasi pengikat silang atau kaki-kaki sengkang persegi, h_x , tidak boleh melebihi 350 mm pusat ke pusat.



Gambar 2.7 Tulangan Transversal Pada Kolom

(Sumber SNI 2847-2019 Halaman 388)

2.12 Perencanaan Hubungan Balok Kolom (HBK)

Berdasarkan SNI 2847-2019 hubungan balok dan kolom (HBK) harus memenuhi persyaratan berikut ini :

1. Pasal 18.8.2.1 gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal dimuka HBK harus mengasumsikan tulangan tarik lenturnya adalah $1,25 f_y$.
2. Pasal 18.8.2.3 bila tulangan longitudinal menerus melalui HBK, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan balok longitudinal terbesar untuk beton normal. Untuk beton ringan, dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan.
3. Pasal 18.8.3.2 bilamana komponen-komponen struktur merangka kedalam semua empat sisi joint dan bilaman setiap lebar komponen struktur adalah paling sedikit tiga perempat lebar kolom, jumlah tulangan yang ditetapkan pada pasal 18.7.5.4 diijinkan untuk direduksi dengan setengahnya, dan spasi yang disyaratkan pada pasal 18.7.5.3 diijinkan untuk ditingkatkan

hingga 150 mm dalam ketinggian balok yang terendah dan merangka pada joint tersebut.

- Gaya yang bekerja pada tulangan sisi atas (T) pada balok kiri/kanan HBK : $T = 1,25 \cdot A_s \cdot F_y$

Gaya tekan yang bekerja pada beton sisi kiri/kanan HBK :

$$C = T$$

Momen kolom (Mc) :

$$MC = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{2}$$

- Gaya geser horizontal pada joint (Vjh) :

$$V_{jh} = T + C - V_h$$

- Pasal 18.8.4 untuk beton berat normal, V_n joint harus sesuai tabel dibawah ini :

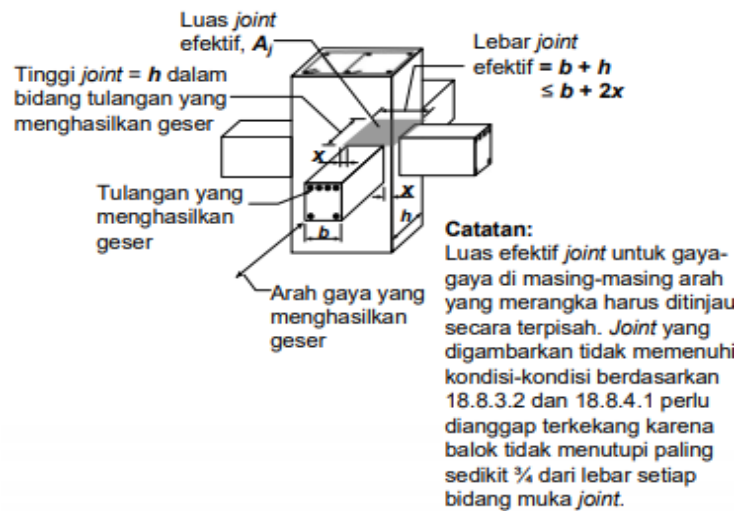
Tabel 2.19 Kekuatan Geser Nominal Joint V_n

Konfigurasi Joint	V_n
Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya ⁽¹⁾	$1,7\lambda\sqrt{f_c'}A_j^{(2)}$
Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan ⁽¹⁾	$1,2\lambda\sqrt{f_c'}A_j^{(2)}$
Untuk kasus-kasus lainnya	$1,0\lambda\sqrt{f_c'}A_j^{(2)}$

(Sumber SNI 2847-2019 Halaman 395)

Pada tabel diatas suatu balok yang merangka kedalam suatu muka dianggap terkekang oleh balok apabila lebar balok tersebut paling tidak tiga perempat dari lebar efektif joint. Perpanjangan balok yang melewati muka joint setidaknya sama dengan tinggi balok h boleh dianggap memberikan kekangan pada muka joint tersebut. Perpanjangan balok tersebut harus memenuhi pasal 18.6.2.1 (b), 18.6.3.1, 18.6.4.2, 18.6.4.3, dan 18.6.4.4.

Gambar 2.8 Luas Hubungan Balok Kolom (*Joint*) Efektif



(Sumber : SNI 2847-2019 Halaman 396)

A_j adalah luas penampang efektif dalam suatu joint yang dihitung dari tinggi joint kali lebar joint efektif. Tinggi joint harus merupakan tinggi keseluruhan kolom, h . Lebar joint efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar joint efektif tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari (a) dan (b):

- a. Lebar balok ditambah tinggi joint
 - b. Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.
- a. Menurut SNI 2847-2019 pasal 18.8.5.1, Untuk tulangan D10 sampai D36, yang ujungnya diberi kait standar, panjang penyaluran l_{dh} harus dihitung dengan persamaan dibawah. Untuk beton normal, l_{dh} tidak boleh kurang dari yang terbesar dari $8d_b$ dan 150 mm, dan panjang yang disyaratkan oleh Persamaan di bawah ini :

$$l_{dh} \geq \frac{f_y d_b}{5,4 \lambda \sqrt{f'c}} \dots\dots\dots(2-62)$$