BAB III
LANDASAN TEORI

3.1. Pembebanan menurut PPIUG 1983

Struktur bangunan bertingkat direncanakan memiliki struktur utama yang mampu mendukung berat sendiri, gaya angin, beban hidup maupun beban khusus yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Berikut akan dijelaskan mengenai beban mati dan beban hidup serta faktor reduksi beban hidup untuk peraturan PPIUG 1983.

3.1.1. Beban mati

Menurut pengertian dari Beban mati pada pasal 1 PPIUG 1983 bahwa beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk semua elemen tambahan, mesin – mesin, serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung itu.

Menurut pasal 2.1 PPIUG 1983 berat sendiri dan komponen gedung terdiri dari bahan – bahan bangunan harus diambil menurut Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Bahan Bangunan	Berat Volume (Kg/m^3)
Baja	7850
Batu Alam	2600
Batu Belah, Batu Bulat, Batu gunung (Berat Tumpuk)	1500
Batu Karang (berat tumpuk)	700
Batu Pecah	1450
Besi Tuang	7250
Beton	2200
Beton Bertulang	2400
Kayu (Kelas I)	1000
Kerikil, Koral	1650

Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan (Lanjutan)

Bahan Bangunan	Berat Volume (Kg/m^3)
Pasangan Bata Merah	1700
Pasangan Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung	2200
Pasangan Batu Cetak	2200
Pasangan Batu Karang	1450
Pasir (Kering udara sampai lembab)	1600
Pasir (Jenuh air)	1800
Pasir Kerikil, koral (Kering udara sampai lembab)	1850
Tanah, Lempung dan Lanau (Kering udara sampai lembab)	1700
Tanah, Lempung dan Lanau (basah)	2000
Timah Hitam	11400

Tabel 3.2 Komponen Gedung

Komponen Gedung	Berat Volume (Kg/m^2)
Adukan per cm tebal:	
• Dari semen	21
• Dari Kapur, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14
Dinding pasangan bata merah	
• Satu batu	450
• Setengah batu	250
Dinding pasangan batako	
Berlubang	
• Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200
• Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120
Tanpa Lubang	
• Tebal dinding 15 cm	300

Tabel 3.2 Komponen Gedung (Lanjutan)

Komponen Gedung	Berat Volume (Kg/m^2)
• Tebal dinding 10 cm	200
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:	
• semen asbes (eternity dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11
• kaca, dengan tebal 3 – 4 mm	10
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m^2	40
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m^2 bidang atap	50
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m^2 bidang atap	40
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11

Sumber : Tabel 2.1 PPIUG 1983

3.1.2. Beban hidup

Menurut pasal 1 PPIUG 1983 yang dimaksud beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan semua peralatan di dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang bukan merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa pengoperasian dari gedung tersebut, sehingga mengakibatkan perubahan

dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap, air hujan merupakan komponen beban hidup , baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.

Pasal 2.1.2 PPIUG 1983 disebutkan bahwa beban hidup pada suatu bangunan harus diambil sesuai yang dijabarkan pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Beban Hidup pada Lantai PPIUG 1983

Huruf	Fungsi Lantai	Beban (kg/m^2)
a	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200
b	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang - gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125
c	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel asrama dan rumah sakit	250
d	Lantai ruang olah raga	400
e	Lantai ruang dansa	500
f	Lantai dan balkon-dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari pada yang disebut dalam a s/d e, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400
g	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500
h	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	300
i	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g	500

Tabel 3.3 Beban Hidup pada Lantai (Lanjutan)

Huruf	Fungsi Lantai	Beban (kg/m^2)
j	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g	250
k	Lantai untuk: pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	400
l	Lantai gedung parkir bertingkat:	
	- Untuk lantai bawah	800
	- Untuk lantai tingkat lainnya	400
m	Balkon-balkon uang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300

Sumber : Tabel 3.1 PPIUG 1983

Beban hidup yang terjadi pada atap diatur dalam pasal 2.1.2 point b. Beban pada atap dapat diambil minimum sebesar 100 Kg/m^2 bidang datar.

3.1.3. Faktor reduksi beban hidup

Peluang untuk tercapainya suatu persentase tertentu dari beban hidup yang membebani struktur utama suatu gedung selama umur gedung tersebut, bergantung pada penggunaan gedung itu dan untuk apa beban hidup tersebut ditinjau. Berhubung peluang untuk terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua bagian dan semua unsur struktur pemikul secara serempak selama umur gedung tersebut adalah sangat kecil, maka beban hidup tersebut dapat dianggap tidak efektif sepenuhnya, sehingga beban hidup terbagi rata yang ditentukan dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi. Besarnya koefisien reduksi dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Koefisien Reduksi Beban Hidup PPIUG 1983

	Koefisien reduksi beban hidup	
Penggunaan Gedung	**Untuk perencanaan balok induk dan portal**	**Untuk Peninjauan gempa**
PERUMAHAN/PENGHUNIAN:		
Rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit	0,75	0,30
PENDIDIKAN:		
Sekolah, ruang kuliah	0,90	0,50
PERTEMUAN UMUM:		
Mesjid, gereja, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pagelaran	0,90	0,50
KANTOR:		
Kantor, bank	0,60	0,30
PERDAGANGAN:		
Toko, toserba, pasar	0,80	0,80
PENYIMPANAN:		
Gudang, perpustakaan, ruang arsip	0,80	0,80
INDUSTRI:		
Pabrik, bengkel	1,00	0,90
TEMPAT KENDARAAN:		
Garasi, gedung parkir	0,90	0,50
GANG DAN TANGGA:		
• Perumahan/Perhunian	0,75	0,30
• Pendidikan, kantor	0,75	0,50
• Pertemuan umum, perdagangan penyimpanan, industri, tempat kendaraan	0,90	0,50

Sumber : Tabel 3.3 PPIUG 1983

3.2. Pembebanan menurut SNI 1727 tahun 2013

Struktur bangunan bertingkat direncanakan memiliki struktur utama yang mampu mendukung berat sendiri, gaya angin, beban hidup maupun beban khusus yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Berikut akan dijelaskan mengenai beban mati dan beban hidup serta faktor reduksi beban hidup untuk peraturan SNI 1727 tahun 2013.

3.2.1. Beban mati

Menurut pasal 3.1.1 SNI 1727:2013 definisi dari beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang. Konstruksi bangunan yang dimaksud adalah berat volume struktur utama termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lainnya serta termasuk berat keran.

Menurut pasal 3.1.2 SNI 1727:2013 Dalam menentukan beban mati untuk perancangan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang yang mengerti dan ahli dibidangnya.

3.2.2. Beban Hidup

Menurut Pasal 4.1 SNI 1727:2013 definisi dari beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung tersebut atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, contohnya seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Penggunaan beban hidup diatur dalam pasal 4.3.1 bahwa beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus merupakan beban maksimum yang dapat terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi nilainya tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam peraturan.

Beban merata minimum seperti yang ditetapkan dalam SNI 1727:2013 dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5 Beban hidup minimum SNI 1727:2013

Hunian atau penggunaan	**Merata psf (kN/m^2)**	**Terpusat lb (kN)**
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses • Ruang kantor • Ruang komputer	 50 (2,4) 100 (4,79)	 2000 (8,9) 2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan • Kursi tetap (terikat di lantai) • Lobi • Kursi dapat dipindahkan • Panggung pertemuan • Lantai podium	 100 (4,79) 100 (4,79) 100 (4,79) 100 (4,79) 150 (7,18)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban Hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlumelebihi 100 psf (4,79 kN/m^2)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor • Lantai pertama • Lantai lain	100 (4,79) sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)		

Tabel 3.5 Beban hidup minimum SNI 1727:2013 (Lanjutan)

Hunian atau penggunaan	**Merata psf (kN/m^2)**	**Terpusat lb (kN)**
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in.x 2 in. [50 mmx50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi/Parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1,92)	
Susuran tangga, rel pengamandan batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
Helipad	60 (2,87) Tidak boleh direduksi	
Rumah sakit: • Ruang operasi, laboratorium • Ruang pasien Koridor diatas lantai pertama	 60 (2,87) 40 (1,92) 80 (3,83)	 1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan • Ruang baca • Ruang penyimpanan Koridor di atas lantai pertama	 60 (2,87) 150 (7,18) 80 (3,83)	 1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)

Tabel 3.5 Beban hidup minimum SNI 1727:2013 (Lanjutan)

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m^2)	Terpusat lb (kN)
Pabrik		
• Ringan	125 (6,00)	2000 (8,90)
• Berat	250 (11,97)	3000 (13,40)
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian	100 (4,79)	2000 (8,90)
Lobi dan koridor lantai pertama		
Kantor	50 (2,40)	2000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (8,90)
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, Kolam renang, dan penggunaan yang sama	75 (3,59)	
Bangsal dansa dan Ruang dansa	100 (4,79)	
Gimnasium	100 (4,79)	
Tempat menonton baikterbuka atau tertutup	100 (4,79)	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87)	

Tabel 3.5 Beban hidup minimum SNI 1727:2013 (Lanjutan)

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m^2)	Terpusat lb (kN)
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48)	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96)	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka		
Ruang publika dan koridor yang melayani mereka		
	40 (1,92)	
	100 (4,79)	
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)n	
Atap digunakan untuk taman atap		
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	100 (4,79)	
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya pemeliharaan	Sama seperti hunian dilayani	

Sumber : Tabel 4-1 SNI 1727 : 2013

3.2.3. Faktor reduksi beban hidup

Sesuai dengan pasal 4.7.2 SNI 1729:2013 Beban hidup dalam SNI 1727:2013 dapat direduksi nilainya sebagaimana ketentuan berikut ini.

1. Reduksi beban hidup pada lantai dibolehkan direduksi apabila nilai $K_{LL}.A_T$ lebih dari 400 ft^2 (37,16 m^2). Nilai reduksi beban hidup pada lantai dapat dilihat pada Persamaan 3.1 berikut ini.

$$L = L_0\left(0{,}25 + \frac{4{,}57}{\sqrt{K_{LL}.A_T}}\right) \tag{3.1}$$

Keterangan

L = beban hidup rencana tereduksi per m^2 dari luasan yang didukung oleh komponen struktur (kN/m^2)

L_0 = beban hidup rencana tanpa reduksi per m^2 dari luasan yang didukung oleh komponen struktur (kN/m^2)

K_{LL} = faktor elemen beban hidup

A_T = luas tributari dalam (m^2)

Nilai L tidak boleh kurang dari 0,50 L_0 untuk komponen struktur yang mendukung satu lantai dan L tidak boleh kurang dari 0,40 L_0 untuk komponen struktur yang mendukung dua lantai atau lebih dari dua lantai.

Beban hidup awal (L_0) yang memiliki nilai lebih dari 4,79 kN/m^2 tidak boleh direduksi

2. Reduksi beban hidup pada atap dapat dihitung dengan Persamaan 3.2 berikut ini.

$$L_r = L_0.R_1.R_2 \; dimana \; 0{,}58 \leq L_r \leq 0{,}96 \tag{3.2}$$

Faktor reduksi R_1 dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan berikut ini.

1	Untuk A_T < 18,58 m^2
R_1 = 1,2 – 0,001A_T	Untuk 18,58 m^2 < A_T < 55,74 m^2
0,6	Untuk A_T > 55,74 m^2

Faktor reduksi R_2 dapat ditentukan dengan ketentuan berikut ini.

1	Untuk F < 4
R_2 = 1,2 – 0,05F	Untuk 4 < F < 12

0,6 Untuk F > 12

A_T adalah luas tributari yang didukung oleh komponen struktural dan F adalah jumlah peninggian dalam inci per foot (dalam SI: F = 0,12 x kemiringan (slope), dengan kemiringan dinyatakan dalam persentase), dan untuk atap lengkung atau kubah, F sama dengan rasio tinggi terhadap bentang dikalikan dengan 32.

3.3. Pembebanan beban Gempa menurut SNI 1726 tahun 2012

Perencanaan beban gempa yang terbaru diatur dalam peraturan SNI 1726 tahun 2012. Perencanaan beban gempa harus melalui berbagai langkah yang sudah ditentukan dalam peraturan. Penjabaran langkah – langkah perencenanaan beban gempa dijelaskan sebagaimana berikut ini.

3.3.1. Kategori resiko bangunan

Kategori resiko bangunan ditentukan berdasarkan fungsi suatu bangunan. Kategori resiko bangunan memilah beberapa fungsi bangunan berdasarkan kemungkinan besarnya resiko korban jiwa yang ada pada bangunan. Pengelompokan Kategori resiko bangunan berdasarkan fungsi bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut ini

Tabel 3.6 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung 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	II

Tabel 3.6 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung 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 Gedung dan non gedung, 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 non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: • Bangunan-bangunan monumental • Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan • 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, 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 Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber : Tabel 1 SNI 1726 : 2012

3.3.2. Faktor keutamaan gempa

Faktor keutamaan gempa adalah faktor pengali yang digunakan dalam beberapa persamaan dalam perencanaan beban gempa. Faktor ini didasarkan pada kategori risiko bangunan. Faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut ini.

Tabel 3.7 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	**Faktor Keutamaan Gempa, I_e**
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber : Tabel 2 SNI 1726 : 2012

3.3.3. Klasifikasi situs

Suatu situs harus diklasifikasikan terlebih dahulu untuk perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwewenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah.

Tipe kelas situs yang sesuai dengan Tabel 3 SNI 1726 : 2012 dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut ini.

Tabel 3.8 Klasifikasi Situs

Kelas situs	***V* (m/detik)**	***N***	**S_u**
SA (Batuan Keras)	>1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (Tanah Keras, sangat padat dan batuan lunak	350 – 750	> 50	> 100
SD (Tanah Sedang)	175 – 350	15 – 50	50 sampai 100

Sumber : Tabel 3 SNI 1726 : 2012

3.3.4. Prosedur pembuatan respon spektrum gempa

Pembuatan Respon Spektrum didasarkan bahwa setiap daerah memiliki kemungkinan kejadian gempa yang berbeda – beda. Penentuan nilai respons spektra pada percepatan periode pendek yaitu 0,2 detik dan nilai respons spektra pada percepatan periode 1 detik diperlukan untuk mendesain sebuah bangunan gedung. Nilai tersebut dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10 SNI 1726 : 2012 atau pada situs milik Kementrian Pekerjaan Umum bagian Pusat Pengembangan dan Penelitian Permukiman, yang berdasarkan probabilitas terlampaui 20% dalam 50 tahun dengan periode ulang gempa 2475 tahun pada batuan (SB).

Faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik, nilai F_A dan nilai F_V, diperlukan untuk menentukan parameter respons spektra percepatan gempa di permukaan tanah. Penentuan faktor ampilifikasi dapat ditentukan dari hubungan parameter respons spektra percepatan gempa dengan kelas situs pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10. berikut ini.

Tabel 3.9 Koefisien situs, F_A

Kelas Situs	**Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, T = 0,2 detik, S_s**				
	S_a < 0,25	**S_a = 0,5**	**S_a = 0,75**	**S_a = 1,0**	**S_s > 1,25**
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS[b]				

Sumber : Tabel 4 SNI 1726 : 2012

Tabel 3.10 Koefisien situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	S_a < 0,1	S_a = 0,2	S_a = 0,3	S_a = 0,4	S_s > 0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS[b]				

Sumber : Tabel 5 SNI 1726 : 2012

Catatan :

a. Nilai S_s atau S_1 yang tidak ada pada tabel dapat dilakukan interpolasi linier.

b. SF : Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesi.

Respons spektrum desain yang akan dipakai dalam perancangan dihitung dan ditentukan nilainya setelah nilai S_{MS} dan S_{M1} dihitung dan ditentukan. Perhitungan dilakukan berdasarkan Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4 berikut ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \tag{3.3}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \tag{3.4}$$

Keterangan :

S_{DS} : Respons spektra pada percepatan periode pendek

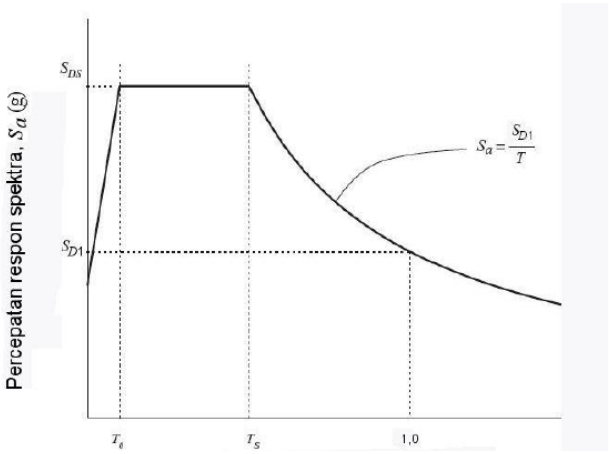
S_{D1} : Respons spektra pada percepatan periode 1 detik

S_{MS} : Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek

S_{M1} : Parameter percepatan spektral desain untuk pada perioda 1 detik

Berdasarkan kedua nilai respon spektrum desain tersebut digambarkan sebuah grafik respon spektra hubungan percepatan terhadap periode getaran

dengan besaran-besaran yang ada. Grafik respon spektra ditunjukkan oleh Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Ketentuan penggambaran grafik respons spektra

Sumber : Gambar 1 SNI 1726 : 2012

Penentuan nilai percepatan dalam penggambaran grafik dapat dilakukan dengan langkah – langkah berikut ini.

1. Periode yang lebih kecil dari T_0, spektrum respons percepatan desain, S_a, diambil dari Persamaan 3.5 berikut ini.

   $$S_a = S_{DS}\left(0{,}4 + 0{,}6\frac{T}{T_0}\right) \quad (3.5)$$

   Keterangan :

   S_a : Spektrum respon perepatan desain

   S_{DS} : Respons spektra pada percepatan periode pendek

   T : Perioda getar fundamental struktur

   T_0 : 0,2 dikali perbandingan antara S_{D1} dan S_{DS}

2. 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. Periode lebih besar dari T_s, spektrum respons percepatan desain, S_a, diambil berdasarkan persamaan 3.6 berikut ini.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \tag{3.6}$$

Keterangan :

S_a : Spektrum respon perepatan desain

S_{D1} : Respons spektra pada percepatan periode 1 detik

T : Perioda getar fundamental struktur

T_s : Perbandingan antara S_{D1} dan S_{DS}

3.3.5. Kategori desain seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu Kategori Desain Seismik (KDS) yang mengikuti ketentuan seperti berikut.

1. Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III dengan nilai S_1 > 0,75 harus ditetapkan sebagi struktur dengan Kategori Desain Seismik E.
2. Struktur dengan kategori resiko IV dengan nilai S1 > 0,75 harus ditetapkan sebagi struktur dengan Kategori Desain Seismik F.

Struktur yang memiliki ketentuan diluar ketentuan tersebut, jenis Kategori Desain Seismiknya ditetapkan berdasarkan hubungan nilai S_{DS} dan S_{D1} terhadap Kategori Resiko Gedung seperti pada Tabel 3.11 dan Tabel 3.12 berikut ini.

Tabel 3.11 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 < S_{DS} < 0,33	B	C
0,33 < S_{DS} < 0,5	C	D
S_{DS} > 0,5	D	D

Sumber : Tabel 6 SNI 1726 : 2012

Tabel 3.12 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
S_{D1} < 0,067	A	A
0,067 < S_{D1} < 0,133	B	C
0,133 < S_{D1} < 0,2	C	D
S_{DS} > 0,2	D	D

Sumber : Tabel 7 SNI 1726 : 2012

3.3.6. Sistem penahan gaya gempa

SNI 1726 : 2012 memberikan batasan yaitu struktur yang akan didesain harus masuk dalam salah satu dari sistem gedung berdasarkan elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya seismik lateral dan harus sesuai dengan batasan tinggi struktur oleh hubungan sistem struktur dan kategori desain seismik.

Tiga jenis faktor akan didapatkan setelah gedung yang akan didesain ditentukan sistem penahan gayanya sesuai dengan Tabel 9 SNI 1726 : 2012 yang berguna dalam menghitung beban lateral. Ketiga faktor tersebut adalah faktor modifikasi respons R, faktor kuat lebih sistem Ω_0, dan faktor pembesaran defleksi C_d.

3.3.7. Penentuan periode

Periode fundamental struktur T dapat diperoleh dari hasil analisis struktur yang akan ditinjau. SNI 1726 : 2012 memberi persyaratan bahwa periode fundamental yang akan dipakai sebagai perhitungan tidak boleh melebihi dari batas atas periode fundamental pendekatan yang mana nilainya adalah perkalian dari koefisien periode batas atas (C_u) yang bisa didapat pada Tabel 3.13, dengan periode pendekatan (T_a). Periode alami fundamental T ini boleh langsung digunakan periode pendekatan T_a untuk memudahkan pelaksanaan.

Periode pendekatan ditentukan berdasarkan Persamaan 3.7 berikut ini.

$$T_a = C_t . h_n^x \tag{3.7}$$

Keterangan :

T_a : Periode fundamental pendekatan (detik)

Ct : Faktor pengali periode pendekatan

x : Faktor pengali periode pendekatan

h_n adalah ketinggian struktur bangunan gedung dalam satuan meter, sedangkan nilai C_t dan x dapat diperoleh dari Tabel 3.14

Tabel 3.13 Koefisien Batas Atas Periode

S_{D1}	Koefisien C_u
> 0,14	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
< 0,1	1,7

Sumber : Tabel 14 SNI 1726 : 2012

Tabel 3.14 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
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 : Tabel 15 SNI 1726 : 2012

SNI 1726 : 2012 memberi alternatif untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a), diantaranya sebagai berikut ini.

1. Struktur gedung dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dengan sistem penahan gaya gempa berupa rangka penahan momen atau baja dengan tinggi tingkat minimal 3 m

$$T_a = 0{,}1.N \tag{3.8}$$

Keterangan :

T_a : Periode fundamental pendekatan (detik)

N : Jumlah tingkat struktur.

2. Dinding geser pada batu bata atau beton dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$T_a = \frac{0{,}0062}{\sqrt{C_w}} h_n \tag{3.9}$$

Dengan C_w ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^{x} \left(\frac{h_n}{h_i}\right)^2 \frac{A_i}{\left(1 + 0{,}83\left(\frac{h_i}{D_i}\right)^2\right)} \tag{3.10}$$

keterangan :

T_a : Periode fundamental pendekatan struktur (detik)

h_n : Ketinggian struktur (m)

A_B : luas dasar struktur, dinyatakan dalam meter persegi (m^2)

A_i : luas badan dinding geser “i”, meter persegi (m^2)

D_i : panjang dinding geser “i” dinyatakan dalam meter (m)

h_i : tinggi dinding geser “i” dinyatakan dalam meter (m)

x : jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif dalam menahan gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

3.3.8. Prosedur analisis

SNI 1726:2012 memberi batasan dalam hal prosedur analisis/metode yang diijinkan untuk digunakan dalam melakukan analisis dalam beban gempa. Penentuan prosedur analisis beban gempa dapat dilihat hubungan antara kategori desain seismik dan karakteristik struktur pada Tabel 3.15 berikut ini.

Tabel 3.15 Prosedur Analisis yang Diijinkan

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekivalen	Analisis Spektrum Respons Ragam	Prosedur Riwayat Respon Seismik
B, C	Bangunan dengan kategori risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Struktur beraturan dengan T<3,5Ts dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan	I	I	I
	Struktur tidak beraturan dengan T< 3,5 Ts dan mempunyai hanya ketidakteraturan horisontal Tipe 2, 3, 4, atau 5 atau ketidakteraturan vertikal Tipe 4, 5a, atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

3.3.9. Prosedur perhitungan gaya geser statik

Gaya geser dasar seismik adalah total dari seluruh gaya lateral akibat gempa yang diterima oleh bangunan gedung yang sedang ditinjau dan merupakan total dari gaya lateral gempa yang diterima setiap lantainya. Besarnya gaya geser dasar seismik seperti pada Persamaan 3.11 berikut ini.

$$V = C_s \, x \, W \tag{3.11}$$

Keterangan :

V : Gaya geser dasar seismik (Ton)

C_s : Koefisien Respon Seismik

W : berat gravitasi total struktur gedung efektif (Ton)

Koefisien respons seismik ditentukan oleh Persamaan 3.12 yang nilainya tidak melebihi oleh nilai yang dihasilkan Persamaan 3.13, dan nilai C_s tidak kurang dari nilai yang dihasilkan Persamaan 3.14. Struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1> 0,6g tidak diperkenankan nilai C_s yang diambil melebihi dari nilai yang dihasilkan Persamaan 3.15.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{3.12}$$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{3.13}$$

$$C_{s\,min} = 0{,}044.S_{DS}.I_e \geq 0{,}01 \tag{3.14}$$

$$C_s = \frac{0{,}5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{3.15}$$

Keterangan :

C_s : Koefisien respon seismik

R : Koefisien modifikasi respon

I_e : Faktor keutamaan gempa

T : Periode bangunan struktur (detik)

S_{DS} : Respons spektra pada percepatan periode pendek

S_{D1} : Respons spektra pada percepatan periode 1 detik

S_1 : Parameter respon spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda 1

Setelah didapatkan nilai total gaya lateral yang diterima gedung akibat gempa, pendistribusian beban ke setiap lantai mengikuti Persamaan 3.16 dengan menggunakan koefisien faktor distribusi vertikal berupa C_{vx} sesuai dengan Persamaan 3.17.

$$F_x = C_{vx}.V \tag{3.16}$$

$$C_{vx} = \frac{w_x.h_x^k}{\sum_{i=j}^{n} w_i.h_i^k} \tag{3.17}$$

Keterangan :

F_x : Gaya gempa lateral per lantai (ton)

V : Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (ton)

C_{vx} : Faktor distribusi vertikal,

v : Geser dasar seismik (ton)

w_x dan w_i : Berast seismik efektif total struktur (W) pada tingkat i atau x (ton)

h_x dan h_i : Tinggi tingkat i atau x yang diukur dari dasar struktur (m)

k : eksponen yang berhubungan dengan periode getar struktur, nilainya adalah 1,0 untuk periode getar < 0,5 detik, dan bernilai 2,0 jika periode getar > 2,5 detik. Periode getar diantara 0,5 detik dan 2 detik perlu untuk dilakukan interpolasi

3.3.10. Kombinasi Pembebanan

Menurut Pasal 4.2.1 SNI 1726:2012 struktur bangunan gedung harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan berdasarkan metode ultimit atau metode tegangan ijin. Berdasarkan metode ultimit, kekuatan perlu U harus paling tidak samadengan pengaruh beban terfaktor. Kombinasi - kombinasi beban yang digunakan untuk kekuatan perlu adalah sebagai berikut ini.

U = 1,4D (3.18)

U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (L atau R) (3.19)

U = 1,2D + 1,6(L atau R)+(L atau 0,5W) (3.20)

U = 1,2D + 1,0W +L+0,5(L atau R) (3.21)

U = 1,2D + 1,0 E + L (3.22)

U = 0,9D +1,0W (3.23)

U = 0,9D + 1,0E (3.24)

Bila beban tanah H bekerja pada struktur, maka keberadaanya harus diperhitungkan sebagai berikut ini.

1. Bila adanya beban H memperkuat pengaruh variable beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban =1,6
2. Bila adanya beban H memberi perlawanan terhadap pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban = 0,9 (jika bebannya bersifat permanen) atau dengan faktor beban = 0 (untuk kondisi lainnya).

Terdapat hal-hal yang perlu disesuaikan dengan kombinaasi pembebanan yang diatur dalam SNI 1726:2012 selain kombinasi pembebanan di atas yaitu sebagaimana yang dicantumkan pada Persamaan 3.25. Persamaan tersebut sebenarnya memberikan penyesuaian pada kombinasi pembebanan pada Persamaan 3.22 dan Persamaan 3.24 di atas. Dengan demikian untuk menyelaraskan penggunaan kombinasi pembebanan antara peraturan SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013, digunakan Persamaan 3.26 dan Persamaan 3.27 sebagai kombinasi yang terpengaruh beban gempa. Berdasarkan SNI 1726:2012, pengaruh beban gempa horizontal dikalikan dengan suatu faktor pengali seperti pada Persamaan 3.25 berikut ini.

$$E_h = \rho . Q_E \tag{3.25}$$

Q_E adalah beban gempa nominal dan ρ adalah faktor redundansi. Kombinasi pembebanan yang dapat digunakan mengikuti Persamaan 3.26 dan Persamaan 3.27 berikut ini.

$$(1{,}2 + 0{,}2\, S_{DS})D + \rho Q_E + L \tag{3.26}$$

$$(0{,}9 - 0{,}2\, S_{DS})D + \rho Q_E + 1{,}6H \tag{3.27}$$

Ketentuan penggunaan persamaan dijelaskan sebagaimana berikut ini.

1. Faktor beban pada L dalam Persamaan 3.26 diijinkan sama dengan 0,5 untuk semua hunian di mana besarnya beban hidup merata kurang dari atau sama dengan 5 kN/m^2, dengan pengecualian garasi atau ruang pertemuan;

2. Faktor beban pada H harus ditetapkan sama dengan nol dalam Persamaan 3.27 jika aksi struktur akibat H berlawanan dengan aksi struktur akibat E. Jika tekanan tanah lateral memberikan tahanan terhadap aksi struktur dari gaya lainnya, faktor beban tidak boleh dimasukkan dalam H tetapi harus dimasukkan dalam tahanan desain.
3. Penambahan nilai baik positif maupun negatif sebesar $0{,}2S_{DS}$ adalah pengaruh terhadap beban gempa ke arah vertikal yang dikonversikan menjadi beban ke arah horisontal sehingga tidak memerlukan pembebanan ke arah vertikal.

Faktor Redundansi merupakan faktor yang menentukan dalam perhitungan persamaan 3.26 dan persamaan 3.27. Terdapat 2 jenis faktor redundansi menurut SNI 1726 : 2012, yaitu sebagai berikut ini.

1. Kondisi di mana nilai ρ diijinkan digunakan sebesar 1,0 untuk gedung Kategori Desain Seismik B atau C dengan kegunaan sebagai berikut.
   a. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta;
   b. Desain komponen nonstruktural;
   c. Desain struktur non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung;
   d. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan;
   e. Struktur dengan sistem peredaman;
   f. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.
2. Kondisi faktor redundansi, ρ, untuk kategori desain seismik D sampai F, dan untuk struktur yang dirancang dengan kategori desain seismik D, E, atau F, nilai ρ adalah 1,3 kecuali jika salah satu dari dua kondisi berikut dapat dipenuhi, maka diijinkan digunakan nilai ρ sebesar 1,0.
   a. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau;
   b. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam

masing-masing arah di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar.

3.3.11. Partisipasi massa

Menurut pasal 7.9.1 SNI 1726 : 2012, partisipasi massa perlu dihitung untuk mengetahui jumlah modal yang digunakan dalam analisis modal sudah memenuhi persyaratan. Jumlah minimum prosentase partisipasi massa yang ada pada hasil analisis adalah sebesar 90 %.

3.3.12. Kombinasi ragam

Menurut pasal 7.9.3 SNI 1726 : 2012, metode perhitungan analisis respon spektrum dapat ditentukan melalui rasio antar periode. Rasio antar periode yang memiliki nilai berdekatan atau dibawah 15 % maka metode analisis yang digunakan adalah metode kombinasi kuadrat lengkap. Rasio antar periode yang memiliki nilai berjauhan diatas 15 % maka metode analisis yang digunakan adalah metode akar kuadrat jumlah kuadrat.

3.3.13. Penentuan skala gaya

Menurut pasal 7.9.4.1 SNI 1726 : 2012, periode C_uT_a harus digunakan sebagai periode struktur dalam analisis apabila periode yang dihitung melalu program nilainya melebihi C_uT_a. Gaya geser akibat beban dinamik perlu diselaraskan dengan gaya geser akibat beban statis. Penyelarasan gaya geser akibat beban dinamik dapat dilihat pada persamaan berikut ini.

$$0{,}85\frac{V}{V_T} \tag{3.28}$$

Keterangan :

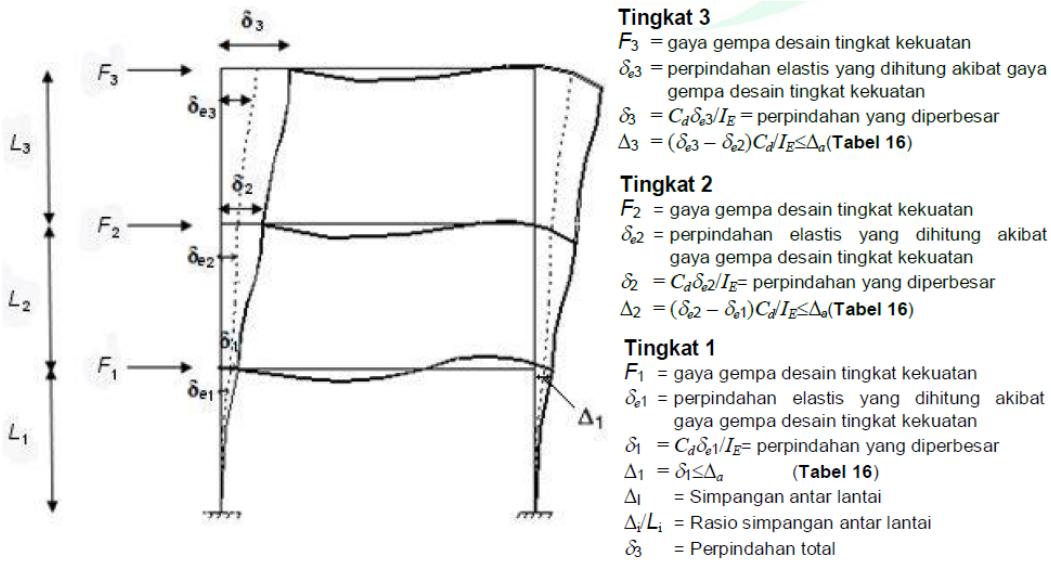
V = Gaya geser dasar prosedur gaya lateral ekivalen (ton)

V_T = Gaya geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan (ton)

3.4. Analisa defleksi dan simpangan antar lantai

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Perhitungan simpangan dan simpangan antar lantai dapat dilihat pada gambar 3.2. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitungd efleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal

dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan ijin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya gempa tingkat kekuatan yang ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan ijin.



Gambar 3.2 Simpangan dan Simpangan antar lantai

Sumber : Gambar 5 SNI 1726 : 2012

Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal Tipe 1a atau 1b pada Tabel 10, simpangan antar lantai desain, Δ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini.

$$\delta_x = \frac{C_d . \delta_{xe}}{I_e} \tag{3.29}$$

Keterangan :

δ_x = Defleksi pusat massa di tingkat x (mm)

C_d = Faktor amplifikasi defleksi

δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa

Simpangan antara lantai (Δ) dibatasi agar tidak melebihi dari simpangan antar lantai ijin sebesar Δ_a yang ditentukan berdasarkan ketentuan pada Tabel 3.16 berikut ini.

Tabel 3.16 Simpangan Ijin antar Lantai

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

Sumber : Tabel 16 SNI 1726 : 2012

3.5. Pemeriksaan sensitivitas struktur terhadap pengaruh P-Δ

Pasal 7.8.7 SNI 1726 : 2012 menyatakan bahwa pengaruh P-Δ pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak dipersyarakat untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas (Θ) seperti yang ditentukan persamaan berikut dengan atau kurang dari 0,1.

$$\theta \leq 0{,}10 \tag{3.30}$$

$$\theta = \frac{P_x . \Delta . I_e}{V_x . h_{sx} . C_d} \tag{3.31}$$

Keterangan:

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x (kN); bila menghitung P_x faktor beban individu tidak perlu melebihi 1.0

Δ = simpangan antar lantai tingkat desain yang terjadi serentak dengan V_x (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x – 1 (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat dibawah tingkat x (mm)

C_d = Faktor Perbesaran defleksi

Koefisien stabilitas (Θ) harus tidak melebihi Θ_{max} yang ditentukan melalui persamaan dibawah ini.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (3.32)$$

Nilai β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1. Rasio ini diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

Koefisien stabilitas (Θ) yang memiliki nilai lebih besar dari 0,1 dan kurang dari atau sama dengan faktor peningkatan terkait dengan pengaruh *P-Δ* pada perpindahan dan gaya elemen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Alternatif yang dapat digunakan adalah mengalikan perpindahan dan gaya elemen struktur dengan $\frac{1,0}{(1-\theta)}$. Struktur yang memiliki nilai $\Theta > \Theta_{max}$ adalah struktur yang berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

3.6. Pemeriksaan terhadap torsi bangunan

Ketidakberaturan torsi terjadi bila simpangan antar tingkat pada ujung suatu bangunan lebih besar 1,2 kali simpangan rata-rata pada dua ujung bangunan bila bangunan tersebut mengalami beban lateral dengan eksintrisitas minimum 0,05 kali panjang bangunan diantara dua ujung tersebut. Ketidakberaturan torsi ekstrem terjadi bila rasio dari simpangan antar tingkat lebih dari 1,4. Ketidakberaturan torsi dapat juga ditentukan dengan menghitung faktor perbesaran torsi A_x dengan persamaan berikut ini.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}}\right)^2 \quad (3.33)$$

$$\delta_{avg} = \frac{\delta_{max} + \delta_{min}}{2} \quad (3.34)$$

Keterangan :

A_x : Faktor perbesaran torsi

δ_{max} : Simpangan dengan nilai terbesar diantara dua ujung bangunan (mm)

δ_{min} : Simpangan dengan nilai terkecil diantara dua ujung bangunan (mm)

δ_{avg} : Simpangan rata – rata dari dua ujung bangunan (mm)

3.7. Analisa kebutuhan tulangan pelat

Sebagian besar bangunan bertingkat menggunakan beton bertulang sebagai sistem lantai atau atap. Pelat atau slab beton bertulang merupakan elemen

struktur tipis yang menahan gaya-gaya transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Bentuknya bervariasi, tidak hanya berupa panel segi-empat, terdapat juga panel segitiga dan panel lain yang bentuknya tidak beraturan. Oleh karena itu, dalam perhitungan pelat yang kompleks digunakan metode elemenhingga (*finite element method*). Asumsi - asumsi dan persyaratan keseimbangan statis harus dipenuhi dalam perhitungan pelat beton bertulangan.

3.7.1. Penentuan nilai momen *ultimate* pelat satu arah

Nilai momen *ultimate* pelat satu arah dapat ditentukan melalui persamaan – persamaan dengan ketentuan pada Tabel 3.17 berikut ini yang diambil dari pasal 8.3.3 SNI 2847 : 2013.

Tabel 3.17 Penentuan gaya dalam pelat

Momen Positif	
Bentang ujung	
Ujung tak menerus tak terkekang	$w_u.l_n^2/11$
Ujung tak menerus menyatu dengan tumpuan	$w_u.l_n^2/14$
Bentang Interior	$w_u.l_n^2/16$
Momen negatif pada muka eksterior tumpuan interior pertama	
Dua bentang	$w_u.l_n^2/9$
Lebih dari dua bentang	$w_u.l_n^2/10$
Momen negatif pada muka lainnya tumpuan interior	$w_u.l_n^2/11$
Momen negatif pada muka dari semua tumpuan untuk Slab dengan bentang tidak melebihi 3 m; dan balok dimana rasio jumlah kekakuan kolom terhadap kekakuan balok melebihi 8 pada masing-masing ujung bentang	$w_u.l_n^2/12$
Momen negatif pada muka interior dari tumpuan eksterior untuk komponen struktur yang dibangun menyatu dengan tumpuan	
Dimana tumpuan adalah balok tepi	$w_u.l_n^2/24$
Dimana tumpuan adalah kolom	$w_u.l_n^2/16$
Geser pada komponen struktur ujung pada muka dari pendukung interior pertama	$1{,}15w_u.l_n/2$

Tabel 3.17 Penentuan gaya dalam pelat (lanjutan)

Geser pada muka dari semua tumpuan lainnya	$w_u.l_n/2$

Sumber : Pasal 8.3.3 SNI 1726 : 2012

3.7.2. Penentuan nilai momen *ultimate* pelat dua arah

Metoda Koefisien Momen merupakan salah satu cara perhitungan yang banyak dipergunakan untuk perencanaan pelat dua-arah. Metoda ini menggunakan besaran koefisien momen yang tergantung perbandingan antara Ly dengan Lx dan kondisi tumpuan, serta didasarkan pada analisa elastis dengan memperhitungkan pengaruh dari redistribusi yang tidak elastis.

Setiap panel pelat dari suatu sistem pelat dianalisis tersendiri, tergantung perbandingan Ly dan Lx, kondisi tumpuannya dan beban-beban yang bekerja pada pelat yang dianalisis tersebut. Besar momen yang bekerja pada pelat dua arah dengan berbagai kondisi perletakan/tumpuan dan kontinuitas tepi secara matematis sukar diperoleh secara tepat.

Penyederhanaan beberapa peraturan beton menetapkan nilai koefisien momen untuk berbagai kondisi. Besar momen-lentur lapangan dan tumpuan, dalam arah bentang pendek dan bentang panjang dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$Mu = 0{,}001.x.W_u.l_x^2 \quad (3.35)$$

Keterangan :

W_u = beban merata terfaktor (kN/m^2)

l_x = bentang pendek (m)

x = koefisien momen yang tergantung kondisi tumpuan dan Ly/Lx

Kondisi tumpuan/tepi pelat dapat dianggap terletak bebas, terjepit elastis atau terjepit penuh tergantung balok tumpuannya sesuai dengan penjelasan berikut ini.

1. Jepit penuh terjadi bila pelat merupakan satu satuan monolit dengan balok pemikul yang relatif sangat kaku, sehingga pelat tidak dapat berputar akibat pembebanan.

2. Jepit elastis terjadi bila pelat merupakan kesatuan monolit dengan balok yang relatif tidak terlalu kaku.
3. Apabila pelat menumpu diatas balok atau tembok atau tertanam dalam tembok, harus dianggap sebagai tepi yang terletak bebas.

3.7.3. Tulangan Pokok pada Pelat

Perhitungan tulangan pelat didasarkan pada diagram tegangan-regangan balok tunggal yang dapat dilihat pada Gambar 3.3. Nilai *b* pada lebar balok dianggap sebesar 1 meter. Langkah perhitungan untuk kebutuhan tulangan pelat adalah sebagai berikut ini.

1. Tinggi efektif beton (*a*) dapat ditentukan melalui persamaan gaya tekan beton melalui persamaan berikut ini.

   $$C_C = 0{,}85.f'c.a.b \tag{3.37}$$

   Keterangan :

   C_c : Gaya tekan beton (N)

   $f'c$: Kuat tekan beton (N/mm^2)

   a : tinggi efektif tekan beton (mm)

   b : lebar balok beton (mm)

2. Langkah berikutnya persamaan gaya tekan beton dimasukan kedalam persamaan momen nominal. Nilai *a* dapat dicari melalui persamaan kuadrat.

   $$M_n = \frac{M_u}{\emptyset} \tag{3.38}$$

   $$M_n = C_c\left(d - \frac{a}{2}\right) \tag{3.39}$$

   Keterangan :

   M_n : Momen nominal balok beton (N.mm)

   M_u : Momen *ultimate* balok beton (N.mm)

   C_c : Gaya tekan beton (N)

   a : tinggi efektif tekan beton (mm)

   d : tinggi efektif balok beton bertulang (mm)

3. Langkah selanjutnya dihitung luas tulangan perlu pelat dengan persamaan gaya tekan beton dan gaya tarik tulangan baja berikut ini.

$$C_C = T_s \tag{3.40}$$

$$0{,}85.f'c.a.b = A_s.fy \tag{3.41}$$

$$A_s = \frac{0{,}85.f'c.a.b}{fy} \tag{3.42}$$

Keterangan :

C_c : gaya tekan beton (N)

T_s : gaya tarik baja tulangan (N)

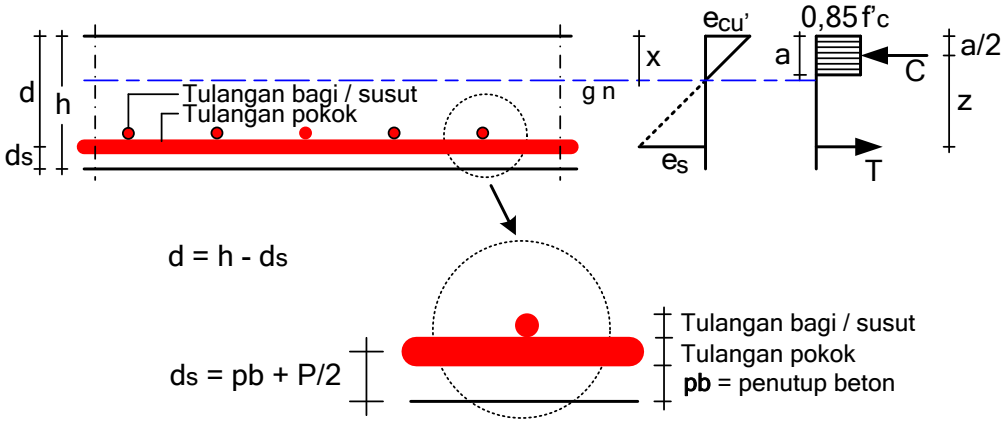
$f'c$: kuat tekan beton (N/mm^2)

a : tinggi efektif tekan beton (mm)

b : lebar balok beton bertulang (mm)

A_s : luas tulangan beton (mm^2)

f_y : kuat tarik baja tulangan (N/mm^2)



Gambar 3.3 Diagram Tegangan Regangan pada Pelat

3.8 Analisa kebutuhan tulangan balok

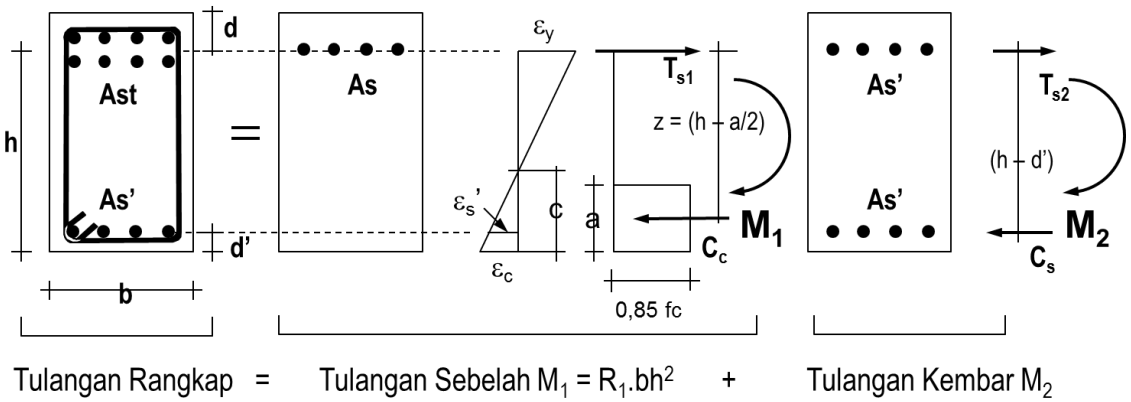
Balok berperan menyalurkan beban yang diterima oleh pelat lantai menuju kolom, yang kemudian disalurkan menuju fondasi untuk disalurkan ke tanah dasar. Beban yang diterima balok bukan hanya beban mati dan beban hidup, namun dapat juga berupa beban lateral seperti beban angin atau beban gempa. Gaya dalam yang dominan terjadi pada balok adalah gaya lentur, gaya geser, dan gaya torsi/puntir. Gaya aksial yang terjadi sangat kecil dibandingkan gaya-gaya dominan tersebut sehingga diabaikan dalam proses analisis.

3.8.1. Tulangan longitudinal pada balok

Tulangan longitudinal pada balok didesain sebagai tulangan balok rangkap karena balok yang didesain tahan gempa, maka balok akan mengalami secara bergantian momen positif maupun momen negatif sehingga satu sisi penampang balok harus bisa menahan momen positif sekaligus momen negatif.

Prinsip – prinsip perhitungan desain tulangan rangkap pada balok tahan gempa adalah sebagaimana berikut ini dan dekomposisi tulangan rangkap dapat dilihat pada Gambar 3.4.

1. Tulangan rangkap di dekomposisi menjadi tulangan sebelah dan tulangan kembar
2. Dekomposisi dilakukan dengan mengatur nilai R sedemikian rupa sehingga jumlah dan komposisi tulangan mampu mengerahkan kekuatan yang diperlukan momen negatif dan momen positif
3. Disain dilakukan sedemikian sehungga memenuhi kekiatan yang diharapkan tetapi dicapai se-ekonomis mungkin.



Gambar 3.4 Dekomposisi Tulangan Rangkap (Widodo, 2013)

Langkah perhitungan luas tulangan yang diperlukan pada balok dijelaskan sebagaimana berikut ini.

1. Langkah awal untuk nilai ρ_b dan m dihitung terlebih dahulu

$$\rho_b = \frac{\beta}{m}\left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y}\right) \tag{3.43}$$

$$m = \frac{fy}{0{,}85.f'c} \tag{3.44}$$

Keterangan :

ρ_b : perbandingan luasan tulangan beton dengan luas balok beton (Balance)

m : perbandingan kuat tarik baja tulangan dan kuat tekan beton efektif

β : konstanta yang tergantung dari kuat tekan beton

$\mathcal{E}_{cu}$: regangan beton, nilainya dapat diambil sebesar 0,003

$\mathcal{E}_y$: rengangan baja tulangan, nilainya merupakan perbandingan kuat tarik baja tulangan dengan modulus elastisitas

f_y : kuat tarik baja tulangan (N/mm^2)

$f'c$: kuat tekan beton (N/mm^2)

2. Langkah selanjutnya nilai momen nominal dihitung dari momen *ultimate*

$$M_n = \frac{Mu}{\emptyset_{lentur}} \tag{3.45}$$

Keterangan :

M_n : Momen nominal balok beton bertulang (kN.m)

M_u : Momen *ultimate* balok beton bertulang (kN.m)

$Ø_{lentur}$: faktor reduksi kekuatan balok beton bertulang

3. Dihitung nilai R_b dengan persamaan berikut ini.

$$R_b = \rho_b.f_y.\left(1 - \frac{1}{2}(\rho_b.m)\right) \tag{3.46}$$

Keterangan :

R_b : faktor pengali nilai momen nominal tulangan tunggal (*Balance*)

ρ_b : perbandingan luas tulangan balok dengan luas balok beton (*Balance*)

f_y : kuat tarik baja tulangan (N/mm^2)

m : perbandingan kuat tarik baja tulangan dengan kuat tekan beton

4. Dihitung nilai R_1 dan M_1 dengan persamaan berikut ini.

$$R_1 = n.R_B \tag{3.47}$$

$$M_1 = R_1.B.H^2 \tag{3.48}$$

Keterangan :

R_1 : faktor pengali nilai momen nominal tulangan tunggal

M_1 : momen nominal tulangan tunggal (N.mm)

B : lebar balok beton bertulang (mm)

H : tinggi balok beton bertulang (mm)

5. Dicari nilai a dan c dari persamaan M_1

$$M_1 = 0{,}85.f'c.a.b\left(H - \frac{a}{2}\right) \tag{3.49}$$

Keterangan :

M_1 : Momen nominal balok tulangan tunggal (N.mm)

$f'c$: kuat tekan beton bertulang (N/mm^2)

a : tinggi efektif tekan beton (mm)

b : lebar balok beton bertulang (mm)

H : tinggi efektif balok beton bertulang (mm)

6. Dicari nilai As_1 perlu kemudian dicari As_1 pakai untuk mendapatkan nilai a dan c pakai sehingga bisa mendapatkan M_1 pakai.

$$A_{s1} = \frac{0{,}85.f'c.a.B}{f_y} \tag{3.50}$$

Keterangan :

As_1 : luas tulangan tunggal balok beton (mm^2)

$f'c$: kuat tekan beton bertulang (N/mm^2)

f_y : kuat tarik baja tulangan (N/mm^2)

a : tinggi efektif tekan beton (mm)

B : lebar balok beton bertulang (mm)

7. Nilai M_2 dihitung dengan persamaan berikut.

$$M_2 = M_n - M_1 \tag{3.51}$$

Keterangan :

M_2 : Momen nominal tulangan kembar (N.mm)

M_1 : Momen nominal tulangan tunggal (N.mm)

M_n : Momen nominal balok beton bertulang (N.mm)

8. Dihitung kebutuhan tulangan kembar (As_2) dari persamaan Ts_2

$$T_{s2} = \frac{M_2}{H - d'} \tag{3.52}$$

$$A_{s2} = \frac{T_{s2}}{f_s} \tag{3.53}$$

Keterangan :

Ts_2 : kuat tarik baja tulangan kembar (N)

As_2 : luas tulangan perlu tulangan tunggal (mm^2)

H : tinggi efektif balok (mm)

d' : jarak tepi balok dengan titik berat tulangan tekan (mm)

Berdasarkan Pasal 10.5.1 SNI 2847:2013, jumlah tulangan As yang tersedia untuk penulangan lentur, tidak kurang dari Persamaan berikut ini.

$$A_{s,min} = \frac{0{,}25\sqrt{f'c}}{f_y} b_w . H \tag{3.54}$$

Keterangan :

$A_{s,\,min}$: luas tulangan minimum pada balok beton (mm^2)

$f'c$: kuat tekan beton (N/mm^2)

f_y : kuat tarik baja tulangan (N/mm^2)

b_w : lebar balok beton (mm)

H : tinggi efektif balok beton (mm)

Nilai As_{min} tidak kurang dari $1{,}4b_w.d/fy$. Selain itu, menurut Pasal 21.5.2.1 SNI 2847:2013 nilai rasio tulangan ρ untuk SRPMK tidak boleh melebihi 0,025

3.8.2. Tulangan geser pada balok

Menurut Pasal 11.1.1 SNI 2847 : 2013 desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan pada persamaan berikut ini.

$$\emptyset V_n \geq V_u \tag{3.55}$$

Keterangan :

V_n : gaya geser nominal balok (N)

V_u : gaya geser *ultimate* balok (N)

V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kekuatan geser nominal yang dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$V_n = V_c + V_s \tag{3.56}$$

Keterangan :

V_n : gaya geser nominal balok (N)

V_c : kemampuan yang dimiliki balok beton untuk menahan geser (N)

V_s : gaya geser yang tidak mampu ditahan oleh balok beton (N)

Perhitungan nilai V_c dapat digunakan persamaan 3.57 dan persamaan 3.58 berikut ini sesuai dengan pasal 11.2.1.1 SNI 2847 : 2013 dan pasal 11.2.2.1 SNI 2847 : 2013 berikut ini.

$$V_c = 0{,}17\lambda\sqrt{f'c}b_w.d \tag{3.57}$$

$$V_c = \left(0{,}16\lambda\sqrt{f'c} + 17\rho_w\frac{V_u.d}{M_u}\right)b_w.d \tag{3.58}$$

Keterangan :

V_c : kemampuan balok untuk menahan gaya geser (N)

λ : faktor pengali, untuk beton normal dapat diambil sebesar satu

f'c : kuat tekan beton bertulang (N/mm^2)

b_w : lebar efekftif balok beton (mm)

d : tinggi efektif balok beton (mm)

ρ_w : perbandingan luas tulangan lentur dengan luas balok beton

V_u : gaya geser *ultimate* balok (N)

M_u : momen lentur *ultimate* balok (N.mm)

Persamaan 3.58 memiliki batasan nilai yang harus ditentukan sehingga tidak boleh lebih besar dari persmaan 3.59. $V_u.d/M_u$ tidak boleh diambil lebih dari 1 dan M_u dan V_u diambil ketika terjadi secara serentak pada penampang yang ditinjau.

$$V_c = 0{,}29\lambda\sqrt{f'c}.b_w.d \tag{3.59}$$

Keterangan :

V_c : kemampuan balok untuk menahan gaya geser (N)

λ : faktor pengali, untuk beton normal dapat diambil sebesar satu

f'c : kuat tekan beton bertulang (N/mm^2)

b_w : lebar efekftif balok beton (mm)

d : tinggi efektif balok beton (mm)

Penentuan nilai V_s dapat diambil dengan persamaan 3.60 sesuai dengan pasal 11.4.7.2 SNI 2847 : 2013 berikut ini.

$$V_s = \frac{A_v . f_{yt} . d}{s} \tag{3.60}$$

V_s : gaya geser yang tidak mampu ditahan oleh balok beton (N)

A_v : luas tulangan sengkang (mm^2)

f_{yt} : kuat tarik baja tulangan polos (N/mm^2)

d : tinggi efektif balok beton bertulang (mm)

s : jarak antar tulangan sengkang (mm)

Batasan nilai V_s yang boleh diambil adalah sesuai dengan persamaan 3.61 mengacu pada pasal 11.4.7.9 SNI 2847 : 2013 berikut ini.

$$V_s = 0{,}66\sqrt{f'c}\, b_w . d \tag{3.61}$$

V_s : gaya geser yang tidak mampu ditahan oleh balok beton (N)

$f'c$: kuat tekan beton bertulang (N/mm^2)

b_w : lebar efekftif balok beton (mm)

d : tinggi efektif balok beton (mm)

Luas tulangan geser minimum yang harus dimiliki pada suatu balok diatur dalam pasal 11.4.6.3 SNI 2847 : 2013 sebagaimana dalam persamaan berikut ini.

$$A_{v,min} = 0{,}062\sqrt{f'c}\,\frac{b_w . s}{f_{yt}} \tag{3.62}$$

$A_{v,min}$: luas tulangan sengkang minimum (mm^2)

$f'c$: kuat tekan beton (N/mm^2)

b_w : lebar efektif balok beton (mm)

s : jarak tulangan sengkang (mm)

f_{yt} : kuat tarik baja tulangan polos (N/mm^2)

$A_{v\ min}$ berdasarkan persamaan 3.62 tidak boleh kurang dari persamaan 3.63 berikut ini.

$$A_{v,min} = \frac{0{,}35 . b_w . s}{f_y} \tag{3.63}$$

Keterangan :

$A_{v,min}$: luas tulangan sengkang minimum (mm^2)

b_w : lebar efektif balok beton (mm)

s : jarak tulangan sengkang (mm)

f_y : kuat tarik baja tulangan polos (N/mm^2)

3.9. Analisa kebutuhan tulangan kolom

Menurut SNI 2847 : 2013 definisi kolom adalah komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melampaui 3 yang digunakan terutama untuk menumpu beban tekan aksial. Komponen struktur dengan perubahan dimensi lateral, dimensi lateral terkecil adalah rata-rata dimensi atas dan bawah sisi yang lebih kecil. Kolom didesain untuk menahan gaya yang disalurkan oleh elemen balok kemudian dari kolom akan menyalurkan ke Pondasi. Kolom memiliki dua macam tulangan yaitu tulangan longitudinal yang ditentukan melalui diagram interaksi Mn-Pn dan tulangan geser yang ditentukan melalui kebutuhan luasan sengkang. Perhitungan keduanya dapat dijelaskan sebagaimana berikut ini.

3.9.1. Diagram Interaksi Mn-Pn

Apabila nilai Pn dan Mn dihubungkan dalam sebuah diagram cartesian, sumbu x menggambarkan momen M dan sumbu y menggambarkan beban aksial P, maka akan didapatkan sebuah diagram interaksi kolom seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.5. Menurut MacGregor (2012) beberapa kondisi yang dialami suatu kolom dapat direpresentasikan pada titik-titik dalam suatu diagram interaksi kolom sebagai berikut.

1. Titik A (Pure Axial Load)

   Kondisi ini sering disebut sebagai kondisi beban aksial murni, eksentrisitas yang terjadi adalah sebesar 0 sehingga tidak mengalami momen.
2. Titik B (Zero Tension, Onset of Cracking)

   Kondisi ini menunjukkan beban aksial dan momen pada saat mulai terjadinya retak pada beton.
3. Titik A-C (Compression Controlled Failures)

   Kolom dengan beban aksial Pn dan Momen Mn berada pada daerah A-C akan mengalami keruntuhan penampang terkendali tekan.
4. Titik C (Balanced Failures, Compression Controlled Limit Strain)

Kondisi ini menunjukkan regangan yang terjadi pada beton sudah mencapai regangan tekan maksimum sebesar 0,003, bersamaan dengan itu tulangan terluar pada sisi tarik mencapai regangan lelehnya.

5. Titik D (Tensile Controlled Limit)

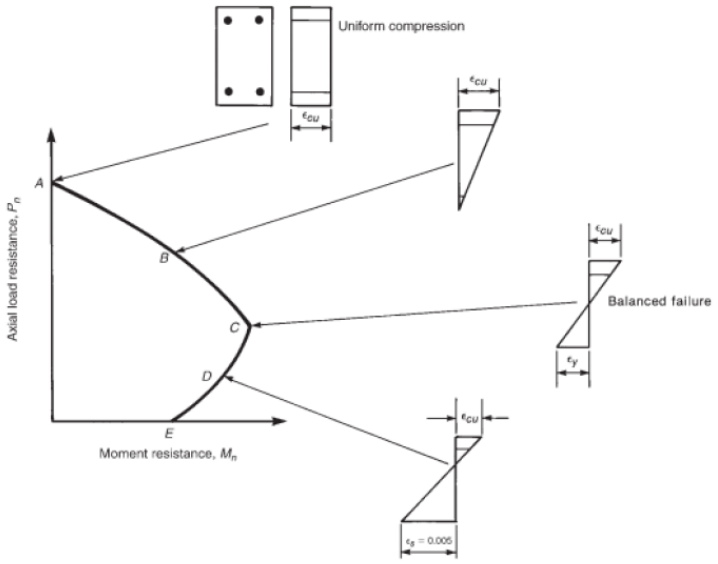
   Kondisi ini menunjukkan keadaan ketika regangan tekan beton mencapai 0,003 dan keadaan regangan tarik mencapai 0,005 pada baja tarik terjauh.

6. Titik C-D (Transition Region)

   Kondisi ini menujukkan keadaan nilai dari regangan tarik neto berada diantara batas regangan terkendali tekan dan batas regangan terkendali tarik.

7. Titik E

   Kondisi ini menunjukkan eksentrisitas yang terjadi pada kolom sangat besar sehingga momen lentur yang ditimbulkan juga sangat besar sehingga beban aksial dapat diabaikan karena relatif kecil terhadap momen lentur.



Gambar 3.5 Diagram Interaksi kolom (MacGregor, 2012)