

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Persyaratan Penahan Lateral

Dalam merencanakan bangunan tahan gempa yang menggunakan penahan lateral, harus diperhatikan beberapa kriteria yang mengindikasikan bangunan tersebut membutuhkan penahan lateral. Berikut persyaratan kriteria yang harus dipenuhi.

1. Rasio partisipasi massa

Menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.9.1, syarat menganalisa struktur adalah memiliki jumlah getar ragam alami sebesar paling sedikit 90% , untuk mendapatkan rasio partisipasi massa dari beban terkombinasi yang aktual dari masing – masing arah horizontal struktur.

2. Periode alami fundamental

Periode alami gedung adalah waktu yang diperlukan oleh gedung untuk melakukan simpangan hingga kembali ke posisi semula. Periode struktur harus dibatasi, tidak hanya karena faktor struktural, faktor layan juga menjadi salah satunya. Periode alami fundamental gedung diatur dalam SNI 03 – 1726 – 2012.

Dalam SNI 03 – 1726 – 2012 pasal 7.8.2.1 menggunakan pendekatan nilai periode alami fundamental gedung yang diperoleh dari tinjauan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Perumusan menggunakan total tinggi gedung (h), dan koefisien C_t dan x berdasarkan tipe struktur bangunan yang dirumuskan sebagai berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-1)$$

Setelah menghitung nilai T_a yang menjadi batas bawah persyaratan periode gedung, selanjutnya dikalikan dengan koefisien C_u sesuai nilai S_{DI} pada peta respon spektra. Koefisien C_u terdapat pada SNI 1726:2012 Tabel 14. Berikut koefisien C_u pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Koefisien C_u

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

Perhitungan periode dilakukan oleh program ETABS ($T_{calculated}$). Periode yang digunakan untuk perhitungan berdasarkan syarat berikut.

a. $T_a < T_{calculated} < T_a \cdot C_u$

Periode yang digunakan untuk perhitungan berikut adalah periode yang dihitung oleh program ETABS.

b. $T_{calculated} < T_a$

Periode yang digunakan adalah nilai periode pendekatan (T_a)

c. $T_a \cdot C_u < T_{calculated}$

Periode yang digunakan adalah batas atas dari syarat periode.

3. Simpangan antar lantai

Simpangan antar lantai desain (Δ) yang terjadi, harus dibatasi dengan simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a), yang didapat dari Tabel 16 SNI 03 -1726 – 2012 yang tergantung h_{zx} , adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x dan tipe struktur yang ditinjau. Berikut uraian Tabel 3.1.

Tabel 3.2 Simpangan antar lantai ijin, Δ_a ^{ab}

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.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Dalam sistem penahan gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D,E dan F, simpangan antar lantai tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan Pasal 7.12.1.1 SNI 03 – 1726 – 2012. Apabila periode fundamental alami gedung melebihi nilai batasan pada SNI 03 – 1726 – 2012, maka nilai T untuk desain pembebanan gempa diambil dari nilai tersebut.

3.2 Perancangan Pembebanan

Pada penelitian ini akan digunakan empat macam pembebanan. Beban mati termasuk *superimposed dead load* (beban mati tambahan), beban hidup (sesuai SNI

1727 – 2013) dan beban gempa.

1. Beban Mati

Beban mati akan dihitung berdasarkan berat sendiri komponen struktural seperti kolom, balok, pelat lantai, dll. Sementara beban mati tambahan akan dihitung berdasarkan komponen yang melekat pada komponen struktural yang bersifat tetap, seperti plafon, keramik, penutup atap, dll. Beban mati akan dihitung secara otomatis pada program ETABS. Beban mati tambahan akan diuraikan sebagai berikut

Tabel 3.3 Uraian beban mati tambahan

Komponen	Berat Jenis kN/m ³	Tebal (m)	Beban per satuan luas (kN/m ²)
Pasir	16	0.01	0.16
Spesi	22	0.03	0.66
Waterproof membrane	-	-	0.015
Plafon	-	-	0.2
Elemen kelistrikan	-	-	0.25
Total			1.285

Balok akan menerima juga beban mati tambahan untuk komponen dinding batu bata sebesar 2.5 kN/m' dan juga partisi sebesar 0,72 kN/m² yang akan dikalikan dengan tinggi partisi tersebut terlebih dahulu sebelum di *input*.

2. Beban hidup

Beban hidup berdasarkan SNI 1727 – 2013. Beban yang akan digunakan, disesuaikan dengan ruangan yang akan ditinjau dan dalam bentuk berat per satuan luas (kN/m²). Berikut tabel beban hidup yang akan ditinjau.

Tabel 3.4 Beban hidup pada struktur

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb(kN)
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96) ⁿ	
Atap digunakan untuk taman atap	100 (4,79)	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	Sama seperti hunian dilayani	i
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya		
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24) tidak boleh direduksi	
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	200 (0,89)
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	2000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai		
Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi		300 (1,33)
Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1000 (4,5)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,5)
Bak - bak / scutties, rusuk untuk atap kaca dan langit - langit yang dapat diakses		200 (0,89)

Tabel 3.4 (Lanjutan) Beban hidup pada struktur

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb(kN)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk - truk	250 (11,97) ^{a,p}	8000 (35,6) ^q
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300 ^r
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300 ^r
Gudang diatas langit - langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpanan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban yang lebih berat)		
Ringan	125 (600) ^a	
Berat	250(11,97) ^a	
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18) ^a	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79) ^a	
Lobi	100 (4,79) ^a	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79) ^a	
Panggung pertemuan	100 (4,79) ^a	
Lantai podium	150 (7,18) ^a	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	

Tabel 3.4 (Lanjutan) Beban hidup pada struktur

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb(kN)
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) ^a	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in x 2 in [50 mm x 50 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) ^{a,b,c}	
Susunan tangga, rel pengaman dan batang pegangan	Lihat pasal 4.6	
Helipad	60 (2,87) ^{de} tidak boleh direduksi	^{e,j,g}
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	60 (2,87) 150 (7,18) ^{a,b}	1000 (4,45) 1000 (4,45)

Tabel 3.4 (Lanjutan) Beban hidup pada struktur

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb(kN)
Pabrik		2000 (8,90)
Ringan	125 (6,00) ^a	3000 (13,40)
Berat	250 (11,97) ^a	3000 (13,40)
Gedung perkantoran		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2000 (8,90)
Koridor diatas 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) ^a	
Bangsal dansa dan ruang dansa	100 (4,79) ^a	
Gimnasium	100 (4,79) ^a	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79) ^a	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	80 (2,87) ^a	
Rumah tinggal		
Hunian (satu/dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48) ⁱ	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96) ^m	
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	40 (1,92)	
Ruang publik* dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Toko		
Eceran		1000 (4,45)

Tabel 3.4 (Lanjutan) Beban hidup pada struktur

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb(kN)
Lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,45)
Lantai di atasnya	75 (3,59)	1000 (4,45)
Grosir, di semua lantai	125 (6,00) ^a	
Penghalang kendaraan	Lihat pasal 4.5	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79) ^a	

Sumber : SNI 1727:2013

3. Beban *Notional*

Beban *Notional* adalah beban lateral virtual yang diaplikasikan pada portal bangunan akibat dari ketidaksempurnaan bentuk dari kolom selama proses pembangunan, terutama kelurusan dari kolom itu sendiri. Beban *notional* dihitung berdasarkan perumusan dibawah ini.

$$N_i = 0,002 \alpha Y_i \quad (3-2)$$

Keterangan :

α = 1,0 (DFBK), 1,6 (DKI)

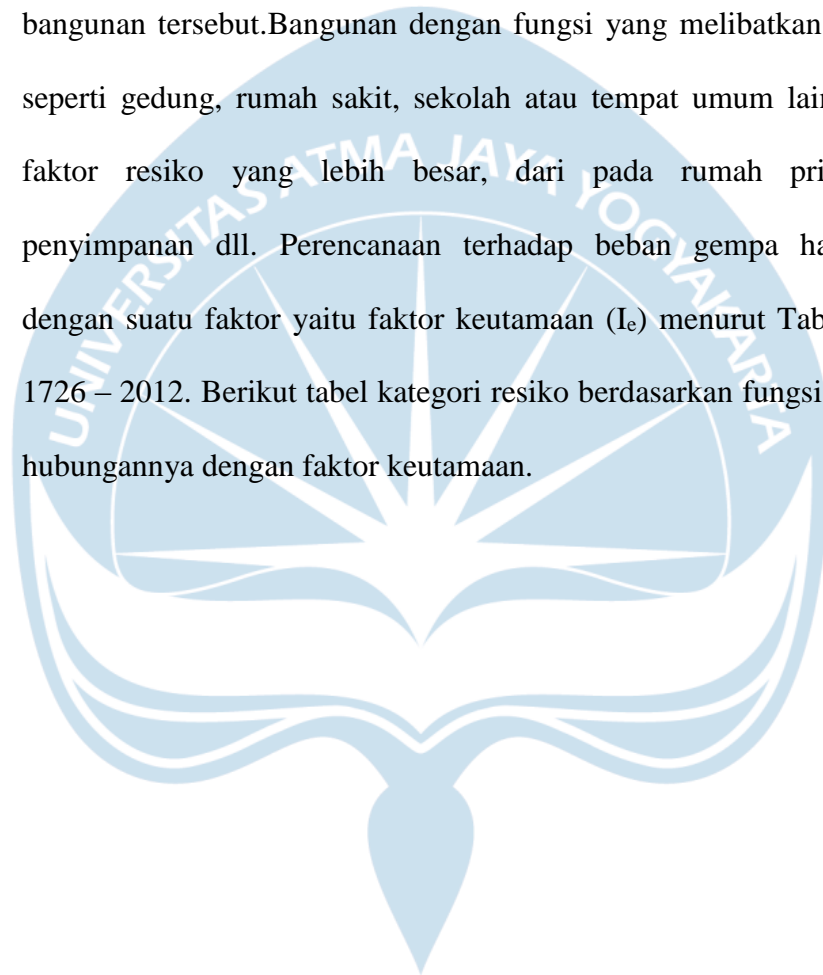
N_i = Beban *notional* yang digunakan pada level I (N)

Y_i = Beban gravitasi yang digunakan pada level I dari kombinasi beban DBFK atau kombinasi beban DKI yang sesuai (N)

4. Beban gempa

a. Faktor keutamaan dan kategori resiko struktur

Setiap struktur memiliki faktor resiko yang berbeda sesuai dengan fungsi bangunan tersebut. Bangunan dengan fungsi yang melibatkan banyak orang seperti gedung, rumah sakit, sekolah atau tempat umum lainnya memiliki faktor resiko yang lebih besar, dari pada rumah pribadi, gudang penyimpanan dll. Perencanaan terhadap beban gempa harus dikalikan dengan suatu faktor yaitu faktor keutamaan (I_e) menurut Tabel 3 SNI 03 – 1726 – 2012. Berikut tabel kategori resiko berdasarkan fungsi bangunan dan hubungannya dengan faktor keutamaan.



Tabel 3.5 Kategori resiko gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko 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 non gedung yang memiliki resiko 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 non gedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko 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 non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko 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

Sumber : SNI 1726 : 2012

Tabel 3.5 (lanjutan) Kategori resiko gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan 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 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 <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.</p>	IV

Sumber : SNI 1726 : 2012

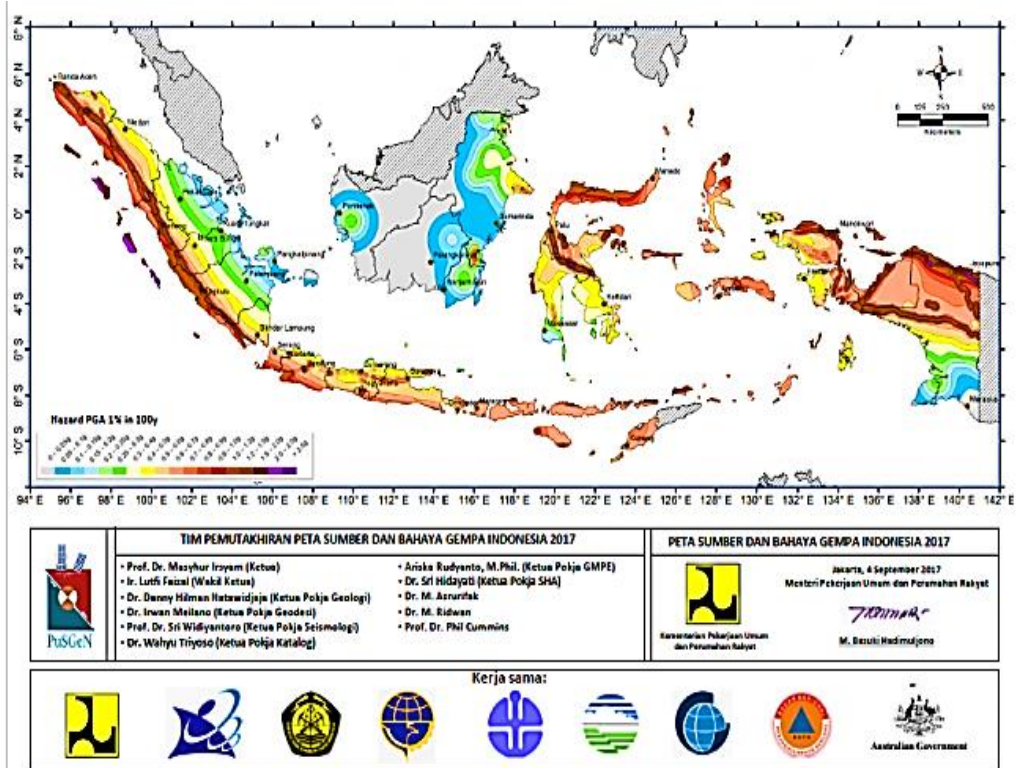
Tabel 3.6 Faktor keutamaan gempa

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

Sumber : SNI 1726 : 2012

b. Klasifikasi situs

Beban gempa akan ditinjau berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2012 dan Peta Desain Spektra dari <http://puskim.pu.go.id>. Pada Peta Desain Spektra akan didapat nilai percepatan dalam periode pendek (S_s) dan percepatan dalam 1 detik (S_1) dari gempa dengan periode ulang 2500 tahun, dengan kemungkinan terlewati 2% dari 50 tahun umur bangunan. Berikut tampilan dari Peta Desain Spektra.



Sumber : google.com

Gambar 3.1 Peta Desain Spektra

Setelah didapat nilai S_s dan S_1 , situs pada proyek yang ditinjau akan mempengaruhi periode gempa. Dalam SNI 03 – 1726 – 2012 terdapat 6 jenis tanah yang terdapat pada Tabel 3, berikut uraiannya.

Tabel 3.7 Klasifikasi tanah

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15smpai 50	50 sampai100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plasitisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Sumber : SNI 1726 : 2012

Koefisien situs F_a , didapat dari interpolasi linear nilai percepatan gempa periode pendek dengan situs yang ditinjau dan terdapat dalam Tabel 4 SNI 03 – 1726 - 2012. Berikut tabel nilai koefisien situs F_a

Tabel 3.8 Nilai koefisien situs F_a

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

Sumber : SNI 1726 : 2012

Koefisien situs F_v didapat dari interpolasi linier antara nilai percepatan

dalam periode 1 detik dengan situs yang ditinjau dan terdapat pada Tabel 5 SNI 03 – 1726 – 2012. Berikut tabel koefisien situs F_v .

Tabel 3.9 Nilai koefisien situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Sumber : SNI 1726 : 2012

c. Parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{MS}) maupun 1 detik (S_{MI}) dirumuskan sebagai berikut.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3-3)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad (3-4)$$

Parameter percepatan spektral yang digunakan untuk mendesain beban gempa periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{DI}) ditentukan dengan perumusan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3-5)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (3-6)$$

d. Respon spektrum desain

Sesuai dengan SNI 03 – 1726 – 2012 bila respon spektrum desain diperlukan

oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum desain harus dikembangkan. Berikut ketentuan dan contoh kurva respon spektrum gempa.

- Periode lebih kecil dari T_0 , spektrum percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-7)$$

- 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} .
- Periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3-8)$$

Keterangan :

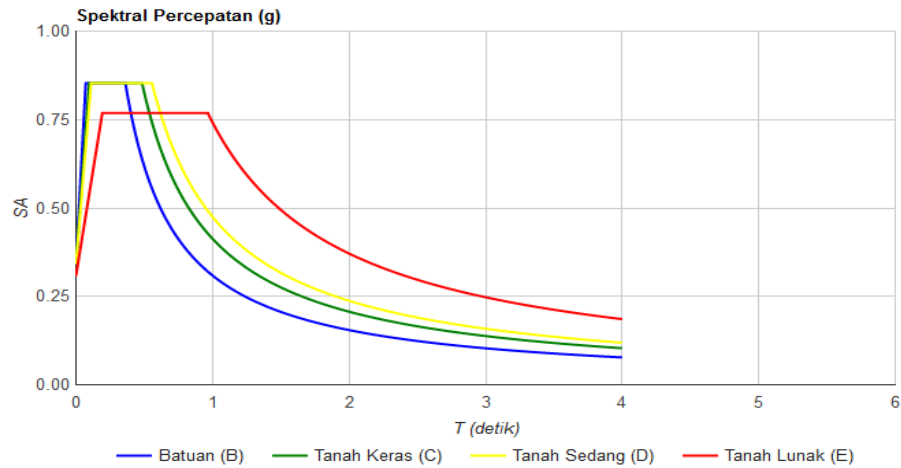
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

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

T = periode getar fundamental struktur (s)

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3-9)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3-10)$$



Sumber : <http://puskim.pu.go.id>

Gambar 3.2 Kurva respons spektra Kota Yogyakarta

e. Kategori desain seismik

Desain seismik gempa, mengacu pada nilai parameter respons percepatan, baik pada periode pendek maupun periode 1 detik dan kategori resiko bangunan tersebut. Berikut tabel kategori desain seismik parameter percepatan pada periode pendek dan 1 detik.

Tabel 3.10 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

Sumber : SNI 1726 : 2012

Tabel 3.11 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726 : 2012

f. Penentuan sistem penahan gaya lateral

Penentuan sistem struktur berdasarkan elemen arah vertikal yang digunakan untuk menahan beban lateral. Sistem struktur ditentukan juga oleh batasan sistem, kategori desain seismik dan ketinggian struktur seperti yang tertera pada Tabel 9 SNI 03 – 1726 – 2012. Koefisien yang digunakan antara lain modifikasi respon yang sesuai (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_o) dan amplifikasi defleksi (C_d).

Tabel 3.12 Faktor R , Ω_0 , Cd pada sistem struktur

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respon R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi Cd^g	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
A. Sistem dinding penumpu	7.1.1	7.1.2	7.1.3	7.1.4	7.1.5	7.1.6	7.1.7	7.1.8
1. Dinding geser beton bertulang khusus	5	2,5	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa	4	2,5	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah	4	2,5	4	TB	TB	12 ^K	12 ^K	12 ^K
6. Dinding geser pracetak biasa	3	2,5	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2,5	3,5	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3,5	2,5	2,25	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2,5	1,75	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1,5	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1,5	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2,5	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6,5	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6,5	3	4	TB	TB	20	20	20

Tabel 3.12 (Lanjutan) Faktor R , Ω_0 , C_d pada sistem struktur

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respon R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi C_d^g	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2,5	2	T B	T B	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip dasar	4	2	3,5	T B	T B	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	5	T B	T B	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	3,25	T B	T B	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3,5	2	5	T B	T B	10	10	TI
4. Dinding geser beton bertulang khusus	6	2,5	4,5	T B	T B	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa	5	2,5	2	T B	T B	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail	2	2,5	1,5	T B	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa	1,5	2,5	4,5	T B	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah	5	2,5	4	T B	T B	12 _K	12 _K	12 _K
9. Dinding geser pracetak biasa	4	2,5	4	T B	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4,5	T B	T B	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	3	T B	T B	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	5,5	T B	T B	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6,5	2,5	5	T B	T B	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2,5	4,5	T B	T B	48	48	30

Tabel 3.12 (Lanjutan) Faktor R, Ω_0 , Cd pada sistem struktur

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respon R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi Cd^g	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D _d	E _d	F ^e
15. Dinding geser baja dan beton biasa	5	2,5	4	T B	T B	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	2,5	4	T B	T B	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2,5	2	T B	T B	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2,5	2	T B	48	TI	TI	TI
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2,5	1,5	T B	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1,5	2,5	1,5	T B	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1,5	2,5	4,5	T B	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2,5	4,5	T B	T B	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2,5	4,5	T B	T B	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2,5	2,5	2,5	T B	T B	10	T B	T B
25. Rangkabaja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2,5	5	T B	T B	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	T B	T B	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	T B	T B	TB	T B	T B
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5	T B	T B	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	T B	T B	10	TI	TI
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	T B	T B	TI	TI	TI

Tabel 3.12 (Lanjutan) Faktor R, Ω_0 , Cd pada sistem struktur

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respon R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi Cd^g	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D _d	E _d	F ^e
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	T B	T B	T B	T B	T B
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	T B	T B	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	T B	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5	T B	T B	T B	T B	T B
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5	T B	T B	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2,5	T B	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3,5	3	3,5	10	10	10	10	10
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	2,5	4	T B	T B	T B	T B	T B
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2,5	5,5	T B	T B	T B	T B	T B
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	T B	T B	T B	T B	T B
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	T B	T B	TI	T B	T B
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2,5	4	T B	T B	T B	T B	T B
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2,5	5	T B	T B	T B	T B	T B
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7,5	2,5	6	T B	T B	T B	T B	T B

Tabel 3.12 (Lanjutan) Faktor R, Ω_0 , Cd pada sistem struktur

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respon R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi Cd^g	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D _d	E _d	F ^e
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2,5	6	T B	T B	TB	T B	T B
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2,5	5	T B	T B	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	3	5	T B	T B	TB	T B	T B
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3,5	T B	T B	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2,5	5	T B	T B	TB	T B	T B
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2,5	6,5	T B	T B	TB	T B	T B
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2,5	5	T B	T B	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus	6,5	2,5	5	T B	T B	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2,5	T B	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3,5	3	3	T B	T B	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5,5	2,5	4,5	T B	T B	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3,5	2,5	3	T B	T B	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit dengan bresing biasa	5	3	4,5	T B	T B	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa	5,5	2,5	4,5	T B	T B	TI	TI	TI

Tabel 3.12 (Lanjutan) Faktor R, Ω_0 , Cd pada sistem struktur

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respon R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi Cd^g	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E _d	F _e
F. Sistem interaktif dinding geser rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa	4,5	2,5	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2,5	1,5	2,5	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1,5	1,5	1,5	10	10	TI	TI	TI
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	2,5	1,5	2,5	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1,5	1,5	1,5	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1,5	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1,5	1,5	1,5	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber : SNI 1726 : 2012

g. Beban gempa statik ekivalen

Distribusi beban gempa pada setiap lantai, dapat dirumuskan sebagai berikut

$$F_x = C_{vx}V \quad (3-11)$$

dengan :

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad (3-12)$$

Keterangan :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desai total pada dasar struktur (kN)

h_i, h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat I atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur berikut :

$T \leq 0,5$ s nilai $k = 1$

$T \geq 2,5$ s nilai $k = 2$

$0,5 < T < 2,5$ nilai $k =$ interpolasi linear antara 1 dan 2

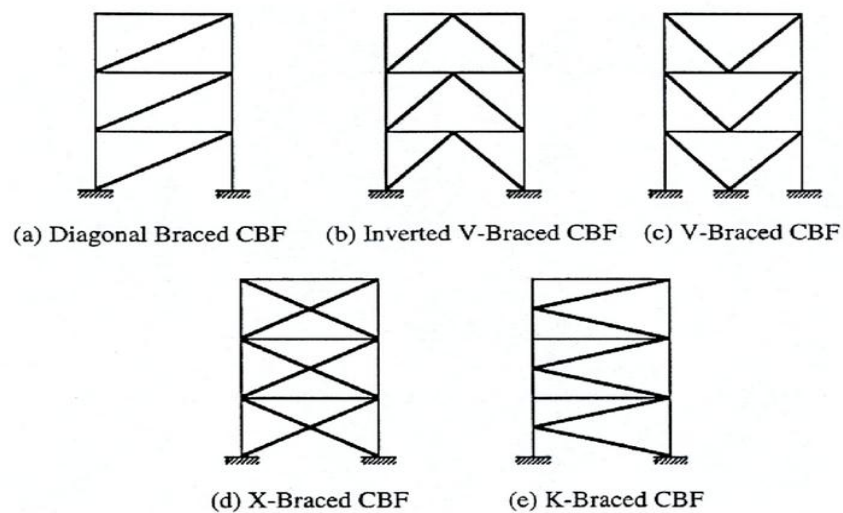
3.3. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan untuk memberikan kekuatan batas agar bangunan memiliki tingkat layan yang mencukupi. Kombinasi pembebanan menambahkan beban *notional* akibat ketidaksempurnaan dalam proses pembangunan, sebesar 0,002 dari kombinasi beban terfaktor. berikut merupakan kombinasi pembebanan gempa sesuai dengan SNI 1726:2012.

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 1,0N$
3. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho E_x + 0,3\rho E_y + 1,0N$
4. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho E_x - 0,3\rho E_y + 1,0N$
5. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho E_x + 0,3\rho E_y + 1,0N$
6. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho E_x - 0,3\rho E_y + 1,0N$
7. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,3\rho E_x + \rho E_y + ,01N$
8. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,3\rho E_x - \rho E_y + 1,0N$
9. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,3\rho E_x + \rho E_y + 1,0N$
10. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,3\rho E_x - \rho E_y + 1,0N$
11. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho E_x + 0,3\rho E_y + 1,0N$
12. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho E_x - 0,3\rho E_y + 1,0N$
13. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho E_x + 0,3\rho E_y + 1,0N$
14. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho E_x - 0,3\rho E_y + 1,0N$
15. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,3 \rho E_x + \rho E_y + 1,0N$
16. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,3 \rho E_x - \rho E_y + 1,0N$
17. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,3 \rho E_x + \rho E_y + 1,0N$
18. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,3 \rho E_x - \rho E_y + 1,0N$

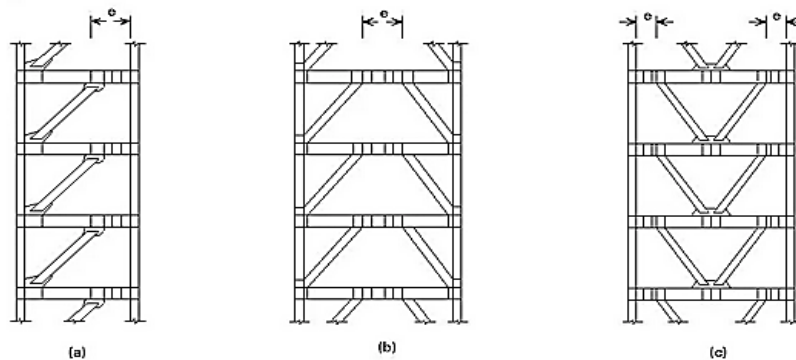
3.4. Perancangan Bracing

Terdapat dua jenis *bracing* berdasarkan fungsi dasarnya, yaitu *bracing* konsentris dan *bracing* eksentris. *Bracing* konsentris memiliki fungsi dasar menahan beban lateral, dikarenakan memiliki stabilitas yang baik dibanding *bracing* eksentris. *Bracing* eksentris lebih mengutamakan dukungan ketahanan terhadap beban vertikal struktur. Maka dari itu untuk penelitian ini akan digunakan *bracing* konsentris tipe - X Berikut contoh gambar *bracing* konsentris pada gambar 3.3 dan *bracing* eksentris pada gambar 3.4.



Sumber : google.com

Gambar 3.3 *Bracing* konsentris



Sumber : google.com

Gambar 3.4 Bracing eksentris

3.4.1. Perancangan batang tarik

1. Kekuatan tarik

Kuat tarik yang tersedia dikalikan dengan faktor reduksi harus lebih besar dari pada kuat tarik yang diperlukan. Kuat tarik yang tersedia diperoleh dari nilai terkecil kuat tarik leleh bruto dengan kuat tarik keruntuhan netto efektif yang dirumuskan sebagai berikut:

- Kuat tarik leleh penampang bruto

$$P_n = F_y A_g \quad (3-13)$$

- Kuat tarik keruntuhan netto efektif

$$P_n = F_u A_e \quad (3-14)$$

Keterangan :

A_e = luas netto penampang efektif (mm^2)

A_g = luas bruto penampang (mm^2)

F_y = tegangan leleh minimum komponen struktur (MPa)

F_u = tegangan tarik minimum komponen struktur (MPa)

2. Luas netto efektif

Luas netto efektif penampang didefinisikan sebagai luas netto dikalikan dengan faktor *shear lag* yang dirumuskan sebagai berikut :

$$A_e = A_n U \quad (3-15)$$

Faktor U ditentukan dari penyaluran gaya tarik ke komponen struktur yang ditentukan dalam SNI 1729 – 2015 Tabel D3.1

3.4.2. Perancangan batang tekan

Kuat nominal tekan batang ditentukan dari nilai terendah tekuk lentur, tekuk torsi dan tekuk torsi-lentur dengan syarat kelangsingan.

Batas kelangsingan

Kelangsingan suatu profil baja, harus dibatasi agar tidak terjadi *buckling* atau tekuk. Sesuai SNI 1729 : 2015, untuk profil yang menggunakan konektor menengah dengan cara di las atau menggunakan baut pra-tarik, syarat kelangsingan dirumuskan sebagai berikut.

Bila $\frac{a}{r_1} \leq 40$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \left(\frac{KL}{r}\right)_o \quad (3-16)$$

Bila $\frac{a}{r_1} > 40$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2} \quad (3-17)$$

Keterangan

$\left(\frac{KL}{r}\right)_m$ = rasio kelangsingan dimodifikasi dari komponen struktur tersusun

$\left(\frac{KL}{r}\right)_o$ = rasio kelangsingan dari komponen struktur tersusun yang bekerja sebagai suatu kesatuan pada arah tekuk yang diperhitungkan

$K_i = 0,50$ untuk siku belakang – terhadap – belakang

= 0,70 untuk kanal belakang- terhadap- belakang

= 0,86 untuk semua kasus lainnya

a = jarak antara konektor (mm)

r_i = radius girasi minimum dari setiap komponen (mm)

a. Tekuk lentur

Kuat tekan yang tersedia (P_n), harus dibatasi oleh tekuk lentur dari profil yang digunakan, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (3-18)$$

F_{cr} adalah tegangan kritis yang ditentukan sebagai berikut :

- Bila $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$ maka $F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right]$ (3-19)

- Bila $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$ maka $F_{cr} = 0,877F_e$ (3-20)

b. Tekuk Torsi dan Torsi lentur

Tekuk torsi dan torsi lentur pada profil membatasi kuat nominal dari profil, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_n = F_{cr}A_g \quad (3-21)$$

F_{cr} adalah tegangan kritis yang terjadi. dapat ditentukan dalam Bab E pasal (a) dan (b) SNI 1729-2015 sesuai dengan profil yang ditinjau.

3.5. Perancangan kolom

3.5.1. Kuat rencana pada SNI 03 – 2847 – 2002

Pada perencanaan kolom akan diestimasi dimensi awal dengan menyesuaikan dimensi balok yang sudah dirancang. Setelah itu akan diberi tulangan dengan syarat antara 1.5 – 4 % dari luas penampang kolom. Berikut perhitungan kuat tekan kolom dikalikan dengan faktor reduksi.

$$P_n = 0,8(\phi(0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st})) \quad (3-22)$$

Keterangan :

ϕ = faktor reduksi kekuatan

A_g = luas bruto penampang (mm²)

A_{st} = luas penampang tulangan longitudinal (mm²)

3.5.2. Diagram interaksi kolom

Eksentrisitas gaya aksial kolom, mengakibatkan terjadinya momen pada kolom tersebut. Pada titik tertentu, gaya aksial pada kolom akan mengakibatkan momen maksimal yang harus diperhitungkan. Gaya aksial dan momen yang terjadi dibatasi oleh suatu grafik yang didapat dari beberapa ketentuan dibawah ini :

a. Beban terpusat

Beban terpusat tidak memiliki nilai eksentrisitas, sehingga tidak ada momen yang terjadi dalam kolom dan gaya aksial menjadi maksimal. Perhitungan gaya aksial sama seperti kapasitas kuat tekan kolom pada persamaan (19)

b. Keadaan setimbang

Pada nilai garis netral (C_b) tertentu, gaya aksial yang terjadi, menimbulkan momen maksimal pada kolom yang menjadi kapasitas momen pada kolom itu sendiri. Keadaan setimbang kolom dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$C_b = \frac{600}{600+fy} d \quad (3-23)$$

$$E_s' = \frac{C_b-d'}{C_b} \times 0,03 \quad (3-24)$$

$$P_n = C_s + C_c + T \quad (3-25)$$

$$C_c = 0,85fc'ab.b \quad (3-26)$$

$$C_s = A_s'fs' \quad (3-27)$$

$$T = A_s.fy \quad (3-28)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot a_b \cdot b \cdot \left(y - \frac{a_b}{2} \right) + A_s' f_s' (y - d') + A_s \cdot f_y \left(d - \frac{y}{2} \right) \quad (3-29)$$

Keterangan :

Cb = garis netral pada keadaan setimbang (mm)

A_s' = luas penampang tulangan pada area tekan (mm^2)

f_s' = tegangan leleh baja pada area tekan (mm^2)

y = nilai $\frac{fy}{fs}$

c. Lentur murni

Lentur murni adalah kondisi dimana gaya aksial bernilai nol, dan kolom diasumsikan tulangan tunggal. Lentur murni pada kolom dirumuskan sebagai berikut.

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - 0,59 \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{f_c' \cdot b} \right) \quad (3-30)$$

Kapasitas momen harus dikalikan faktor reduksi (ϕ) senilai 0,9.

4. Pengaruh kelangsingan kolom

Kolom sebagai komponen vertikal struktur, menerima gaya aksial yang cukup besar, maka dari itu faktor kelangsingan kolom sangat berpengaruh terhadap ketahanan kolom. Pengaruh kelangsingan dapat diabaikan apabila dalam keadaan seperti dibawah ini.

- Kolom tanpa *bracing*

$$\frac{Kl_u}{r} \leq 22 \quad (3-31)$$

- Kolom dengan *bracing*

$$\frac{Kl_u}{r} \leq 34 - 12 (M1/M2) \leq 40 \quad (3-32)$$

Nilai M1/M2 positif apabila kolom bengkok dengan kurvatur tunggal dan negative apabila kurvatur ganda

5. Tulangan geser kolom

Kuat geser penampang kolom harus memenuhi syarat dibawah ini.

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-33)$$

Kuat geser pada komponen beton bertulang, didapat dari kuat geser beton itu sendiri dan tulangan transversal. Berikut persyaratan penulangan geser.

a. $0,5\phi V_c \geq V_u$

Secara teori, kolom tidak memerlukan sengkang, tetapi untuk eksekusi pada lapangan, kolom akan membutuhkan seperlunya agar bentuk kolom sesuai yang direncanakan.

b. $0,5\phi V_c < V_u < \phi V_c$

Pada syarat tersebut, kolom akan membutuhkan tulangan geser minimum yang dirumuskan sebagai berikut.

$$A_{v, \min} = 0,062 \sqrt{f_c} \frac{b_w S}{f_{yt}} \geq \frac{0,35 b_w S}{f_{yt}} \quad (3-34)$$

c. $V_u > \phi V_c$

Kuat geser pada tulangan transversal harus dihitung sesuai kebutuhan, dengan perhitungan sebagai berikut.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{S} \quad (3-35)$$

Keterangan :

b_w = lebar komponen yang ditinjau (mm)

S = jarak antar tulangan transversal (mm)

F_{yt} = tegangan leleh tulangan transversal (MPa)

A_v = luas kaki – kaki tulangan transversal (mm²)

d = jarak efektif tulangan terhadap serat tekan terluar (mm)

