

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gambaran Umum

Sebuah gedung terdiri dari beberapa elemen struktural seperti pondasi, slof/tie-beam, kolom, balok, dan pelat lantai, elemen struktur ini berfungsi sebagai penerima beban pada struktur yang kemudian beban akan disalurkan ke tanah. Secara umum ada dua jenis beban yang bekerja pada struktur, yaitu beban tetap dan beban lingkungan, beban tetap terdiri dari beban mati dan beban hidup, sedangkan beban gempa adalah beban yang terjadi akibat beban luar seperti terhadap angin, hujan, dan gempa bumi. Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*performance-based seismic design*) merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (Dewobroto, 2006)

Dalam perencanaan struktur baja harus dipenuhi syarat-syarat dan ketentuan yang telah ditentukan sebagai berikut:

- a. Analisis struktur harus dilakukan dengan cara-cara mekanika Teknik yang berlaku.
- b. Analisis dengan computer harus disertakan dengan penjelasan mengenai prinsip cara kerja program, data masukan serta penjelasan mengenai data keuaran.
- c. Percobaan model diperbolehkan bila diperlukan untuk menunjang analisis teoritis.
- d. Analisis struktur harus dilakukan dengan model matematis dengan mensimulasikan keadaan struktur yang sesungguhnya dilihat dari segi sifat bahan dan kekuatan unsur-unsurnya.
- e. Bila cara perhitungan menyimpang dari tatacara ini, maka harus mengikuti persyaratan sebagai berikut:
  - Struktur yang dihasilkan harus dapat dibuktikan cukup aman dengan bantuan perhitungan dan /atau percobaan.
  - Tanggung jawab atas penyimpangan yang terjadi dipikul oleh perencana dan pelaksana.

## 2.2 Bangunan Aman Gempa

Suatu bangunan bisa dikatakan sebagai bangunan aman gempa Ketika bangunan tersebut bisa merespon gempa dengan sifat daktilitas yang mampu mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur bangunan tetap berdiri kokoh.

Secara umum filosofi bangunan gempa adalah sebagai berikut:

1. Bila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural (dinding retak, langit-langit runtuh, kaca pecah dsb), maupun dalam komponen strukturnya (kolom dan balok retak, pondasi mengalami penurunan yang berlebihan)
2. Bila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada elemen non-strukturnya akan tetapi elemen struktur seperti, pondasi, kolom struktur, balok struktur tidak boleh mengalami kerusakan.
3. Bila terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan baik pada elemen non-struktur maupun elemen strukturnya, tetapi tidak sampai roboh, sehingga penghuni bangunan masi mempunyai waktu untuk keluar menyelamatkan diri.

Tujuan direnca bangunan aman gempa adalah sebagai berikut:

- a. Menghindari korban jiwa
- b. Membatasi kerusakan gedung
- c. Membatasi ketidaknyamanan penghuni
- d. Mempertahankan setiap layanan vital dari fungsi gedung

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini, perencanaan bangunan gedung bertingkat difokuskan pada struktur yang dirancang untuk memiliki perilaku daktil dengan Tingkat daktilitas parsial. Oleh karna itu, struktur gedung “gedung pelayanan BPKB Polda Sumatera Barat TA.2025” dilakukan perencanaan ulang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Adapun hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan bangunan aman gempa adalah sebagai berikut:

- a. Kemampuan suatu bangunan dalam layanannya  
Dalam perencanaan struktur bangunan, aspek kemampuan layan (*serviceability*) adalah hal yang sangat penting untuk memastikan

bangunan tersebut tidak hanya kuat tetapi juga aman dan nyaman digunakan dalam jangka Panjang. Kemampuan layan berkaitan dengan Batasan deformasi dan getaran yang masih dapat diterima tanpa mengganggu fungsi dan kenyamanan pengguna bangunan.

b. Efisiensi Bangunan

Tujuan utama dalam perencanaan desain struktur bangunan adalah bagaimana mendesain bangunan yang kuat dan aman, namun dengan biaya yang relative lebih ekonomis, yaitu mencakup pemanfaatan material secara optimal, pengurangan pemborosan sumber daya, dan penggunaan metode konstruksi yang tepat, tanpa membebani anggaran biaya.

c. Konstruksi atau Pelaksanaan

Pada saat pelaksanaan berlangsung, efesiensi kerja dapat tercapai apabila material yang digunakan mudah didapat dan dirakit. Desain struktur harus memenuhi standar keamanan dan kekuatannya seperti:

- Keamanan

Prioritas utama dalam perencanaan struktur bangunan adalah keamanan, karna suatu bangunan yang telah direncanakan harus mampu menahan berbagai beban yang akan bekerja padanya, termasuk beban mati (beban bangunan sendiri), maupun beban hidup (seperti aktivitas manusia, dan faktor lainnya).

- Kekuatan

Dalam suatu perencanaan sebuah gedung, penting untuk memperhitungkan kekakuannya, sehingga mampu meningkatkan ketahanan terhadap gempa. Sebuah gedung tidak akan dianggap memadai jika tidak memiliki kekakuan yang cukup, meskipun memiliki kekuatan yang tinggi. Persyaratan dasar untuk kekuatan desain dirumuskan melalui persamaan berikut: **Kekuatan Desain = kekuatan yang dibutuhkan.**

d. Ekonomis dan Bahan material mudah didapat

Pada pengerjaan suatu proyek diperlukan perencanaan dan pelaksanaan yang baik dan cermat. Pengerjaan memerlukan

perhitungan anggaran biaya dan metode pelaksanaan yang jelas dan efisien. Hal ini supaya pelaksanaan proyek dapat terselesaikan sesuai dengan waktu yang ditentukan dan biaya yang sesuai. Rencana anggaran biaya meliputi semua biaya yang dibutuhkan selama proyek diselesaikan.

### 2.3 Investigasi Geoteknik

Berdasarkan SNI 1726:2019, penentuan beban gempa memerlukan data seperti kategori risiko bangunan dan faktor keutamaan gempa. Informasi ini dapat dirujuk pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2

**Tabel 2.1** Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non-gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antaralain: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fasilitas pertanian, Perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>2. Fasilitas sementara</li> <li>3. Gudang penyimpanan</li> <li>4. Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ol>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Perumahan</li> <li>6. Rumah took dan rumah kantor</li> <li>7. Pasar</li> <li>8. Gedung perkantoran</li> <li>9. Gedung apartemen / rumah susun</li> <li>10. Pusat perbelanjaan / mall</li> <li>11. Bangunan industry</li> <li>12. Fasilitas manufaktur</li> <li>13. Pabrik</li> </ol>	II
Gedung dan non-gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ol style="list-style-type: none"> <li>14. Bioskop</li> <li>15. Gedung pertemuan</li> <li>16. Stadion</li> </ol>	III

**Tabel 2.2** Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa  
(lanjutan)

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
<p>17. Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat            18. Fasilitas penitipan anak            19. Penjara            20. Bangunan untuk orang jompo</p> <p>Gedung dan non-gedung, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan Masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <p>21. Pusat pembangkit Listrik biasa            22. Fasilitas penanganan air            23. Fasilitas penanganan limbah            24. Pusat telekomunikasi</p> <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 Dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi Masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan non-gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <p>25. Bangunan-bangunan monumental            26. Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan            27. Rumah ibadah            28. Rumah sakit dan fasilitas kesehatann lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat            29. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat            30. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya            31. Fasilitas Kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</p> <p>gedung dan non-gedung yang dibutuhkan untuk memprtahankan fungsi struktur bangunan bangunan lain yang termasuk kedalam kategori risiko IV.</p>	

*Sumber SNI 1726 : 2019, Pasal 4.1.2 Tabel-3, hal, 24-25*

**Tabel 2.3** Faktor Keutamaan Gempa

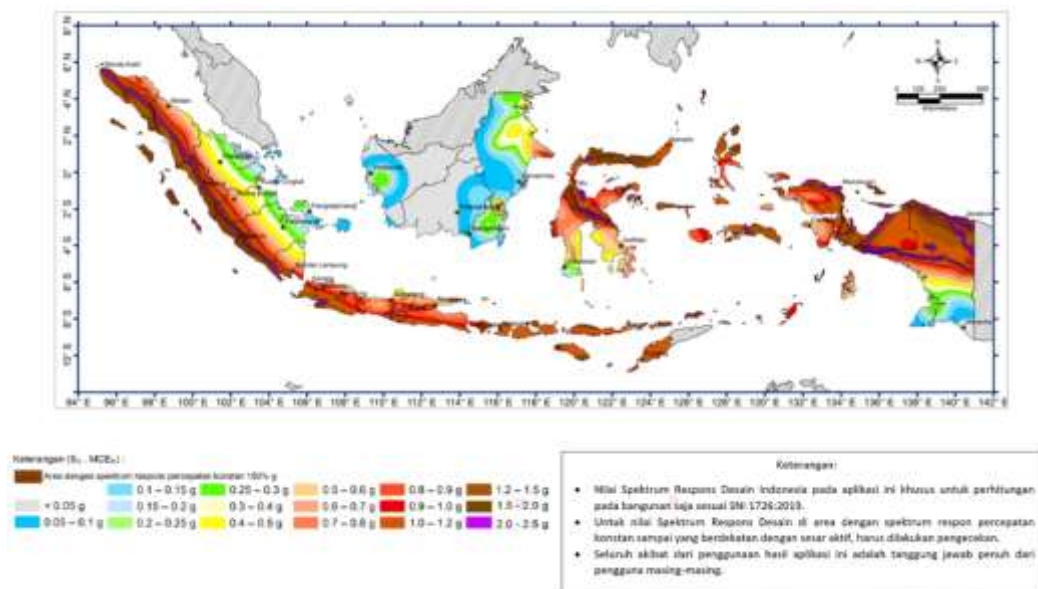
Kategori risiko	faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber SNI 1726 : 2019,Pasal 4.1.2 Tabel-4, hal, 25

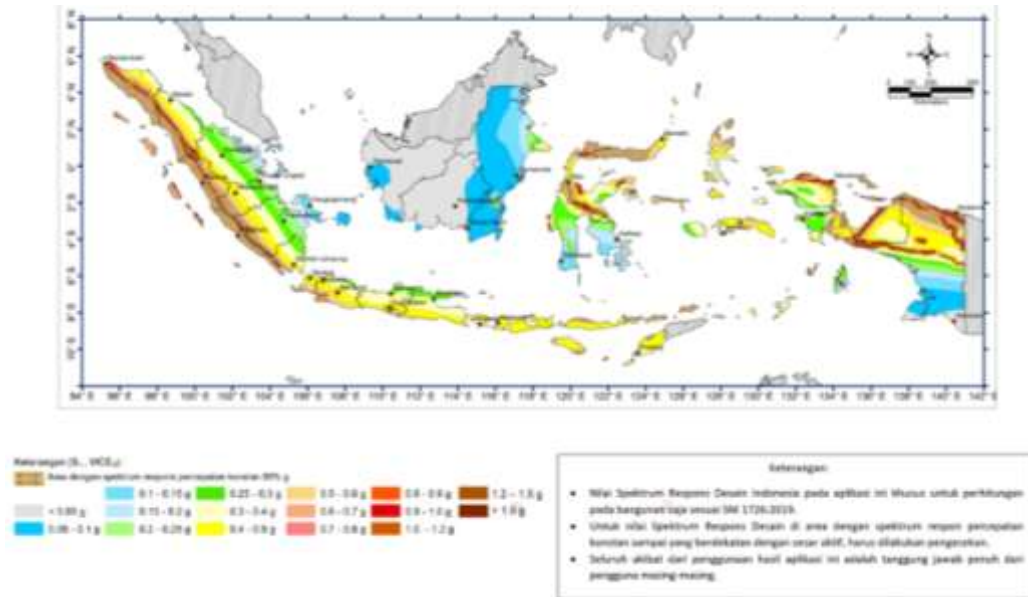
### 2.3.1 Parameter-Parameter Terpetakan

Berdasarkan SNI 1726:2019, wilayah gempa ditentukan berdasarkan parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar untuk periode pendek 0,2 detik) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar untuk periode 1 detik). Dalam standar tersebut, zonasi wilayah gempa menggunakan peta dengan probabilitas kejadian 2% dalam 50 tahun.

Peta zonasi gempa ini menyajikan nilai  $S_s$  dan  $S_1$  dalam bentuk warna-warna berbeda yang menunjukkan Tingkat percepatan gempa di berbagai wilayah. Warna-warna tersebut mewakili rentang nilai tertentu dari parameter  $S_s$  dan  $S_1$ , sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2, visualisasi peta ini memudahkan identifikasi Tingkat bahaya gempa di wilayah, sehingga perencana struktur dapat menentukan strategi desain yang tepat, seperti pemilihan sistem struktur.



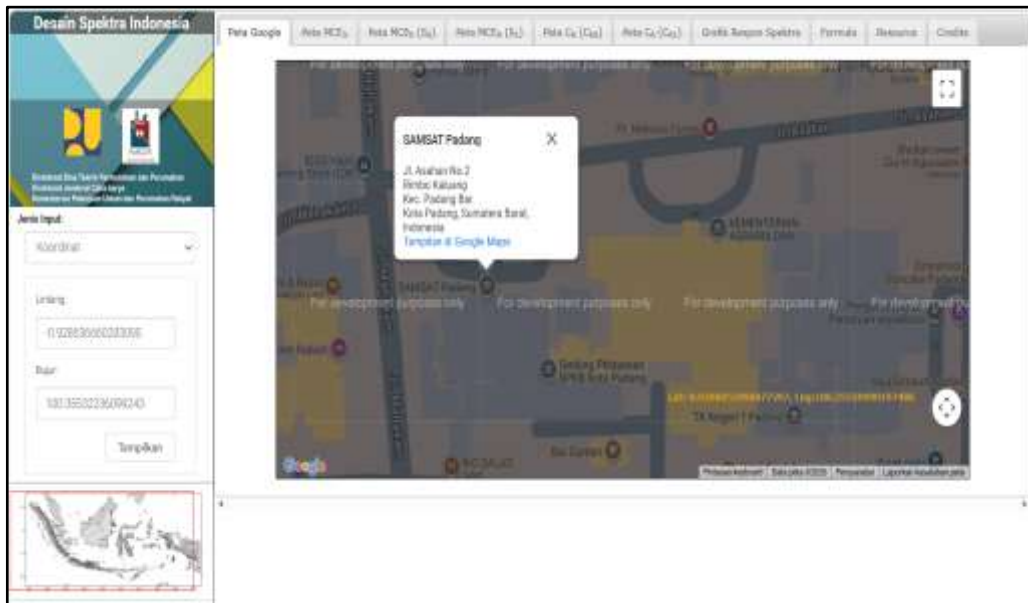
**Gambar 2.1** Peta Respon Spektrum Percepatan Periode Pendek ( $S_s$ )



**Gambar 2.2** Peta Respon Spektra Percepatan Periode 1 Detik (S<sub>1</sub>)

Pada peta zonasi gempa, setiap warna menggambarkan besaran parameter kecepatan buatan dasar, mulai dari nilai terendah sampai tertinggi. Untuk memperoleh nilai percepatan buatan dasar pada setiap kota yang direncanakan atau lokasi tertentu secara lebih detail, analisis dapat dilakukan menggunakan *software desain spektra* Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.3, dan bisa di akses melalui *website* :

<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/index.php?pga=0.7172&ss=1.1245&s1=0.5737&tl=20&kelas=2&range=7#grafik>



**Gambar 2.3** Desain Spektra Indonesia

### 2.3.2 Klasifikasi Situs

Penerapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah dilapangan dan dilaboratorium. Berdasarkan sifat-sifat situs harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF. Adapun tabel klasifikasi per situs yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	NATAU $\bar{N}_{ch}$	$\hat{S}_u$ (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	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	15 sampai 50	50 sampai 100
	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 $\hat{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: 32. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 33. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 34. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3m$ ) 35. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5m$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$ ) 36. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35m$ dengan $S_u < 50$ kPa		

Catatan :N/A = tidak dapat dipakai

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

### 2.3.3 Koefisien-Koefisien Situs

Penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek ( $S_{ms}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{m1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

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

$$S_{m1} = F_v \times S_1 \quad (2.2)$$

Dimana:

$S_s$  = Percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik

$S_1$  = Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik

Untuk menghitung nilai koefisien situs  $F_a$  dapat dilihat pada tabel 2.5 sedangkan untuk nilai  $F_v$  dijelaskan dalam Tabel 2.6.

**Tabel 2.5** Koefisien Situs  $F_a$

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

Sumber SNI 1726 : 2019, Tabel-6, Hal 34

**Tabel 2.6** Koefisien Situs  $F_v$

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

Sumber SNI 1726 : 2019, Tabel-6, Hal 34

### 2.3.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 parameter SDS dan Sm harus ditentukan melalui perumusan berikut :

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

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

Dimana:

$S_{DS}$  = Parameter percepatan spektral desain pada periode pendek

$S_{D1}$  = Parameter percepatan spektral desain pada periode 1 detik

### 2.3.5 Spektrum Respon Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 kurva spektrum desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.4 dan mengikuti ketentuan berikut:

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum percepatan desain,  $S_a$  harus diambil dari persamaan :

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

- b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  sama dengan SDS;
- c. Untuk periode lebih besar dari  $T_S$  tetapi lebih kecil dan atau sama dengan  $T_L$ , respons spectral percepatan desain,  $S_a$  diambil berdasarkan persamaan berikut :

$$S_a \frac{SD1}{T} \quad (2.6)$$

Dimana:

$S_{DS}$  = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode Pendek

$S_{D1}$  = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode 1 detik

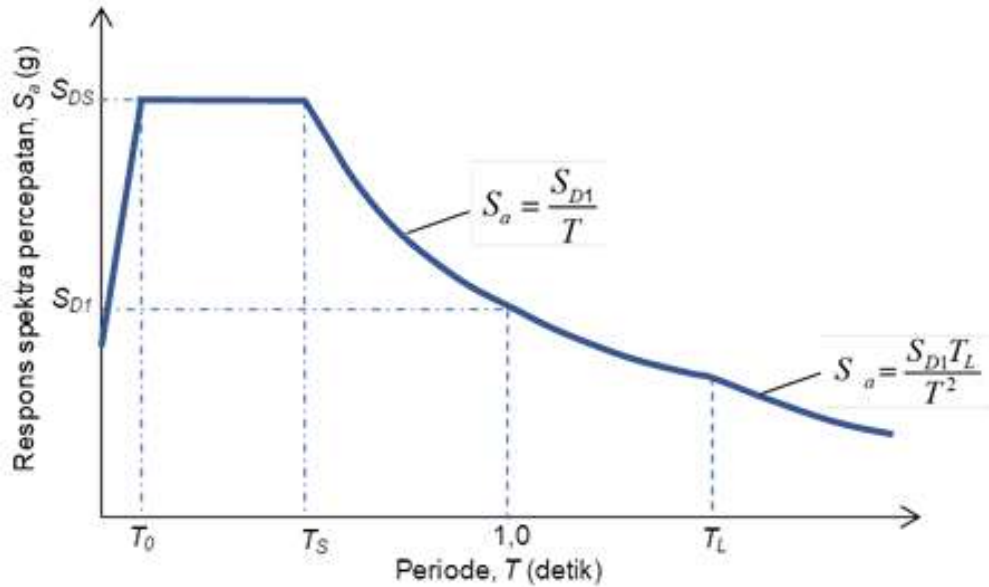
$T$  = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} T_S = \frac{sd1}{sds}$$

$T_L$  = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada

Grafik respons spectrum diatur dalam SNI 1726:2019.

Kordinat grafik respons spectrum (RS) meliputi periode (detik) pada sumbu-X dan percepatan (g) pada sumbu-Y seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Spektrum Respon Desain

## 2.4 Preliminary Design

Preliminary design merupakan rancangan awal yang berfungsi untuk menunjukkan jenis komponen, dimensi, material, serta faktor-faktor lain yang memengaruhi struktur yang direncanakan. Pada tahap ini, rancangan tersebut belum dapat dianggap sebagai acuan utama dalam pelaksanaan struktur. Komponen yang dirancang meliputi sloof, kolom, pelat, dan balok. Untuk mendapatkan dimensi penampang yang optimal, maka besar gaya-gaya yang bekerja pada struktur perlu diketahui analisa balok maupun kolom (Manurung et al., 2025).

### 2.4.1 Perencanaan Dimensi *Tie-Beam*

#### A. *Tie-beam*

Untuk menentukan perencanaan awal *Tie-beam* ditentukan dengan perbandingan kekakuan kolom dengan kekakuan *Tie-beam*, dimana kekakuan *Tie-beam* harus melebihi kekakuan kolom.

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan } \textit{Tie-beam} &\geq \text{Kekakuan Kolom} \\ K = 1/L &\geq K = 1/L \end{aligned} \quad (2.7)$$

## 2.4.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Kolom adalah elemen struktur vertikal yang berfungsi menyalurkan beban dari pelat dan balok ke pondasi, yang selanjutnya diteruskan ke tanah. Pada perencanaan kolom menggunakan metoda aturan dengan ketentuan yang berlaku pada SNI 1727:2020 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.

Beberapa ketentuan yang digunakan pada SNI 1727:2020 diantaranya sebagai berikut:

- Pasal E1, hal-32, Ketentuan Umum
- Pasal E2, hal-34, Panjang Efektif
- Pasal E3, hal-34, Tekuk Lentur pada Komponen Struktur tanpa Elemen Langsing
- Pasal E4, hal-35, Tekuk Torsi dan Tekuk Torsi Lentur Siku Tunggal dan Komponen Struktur tanpa Elemen Langsing
- Pasal E5, hal-37, Komponen Struktur Tekan Siku Tunggal
- Pasal E6, hal-38 Komponen Struktur Tersusun
- Pasal E7, hal-41 Komponen Struktur dengan Elemen Langsing

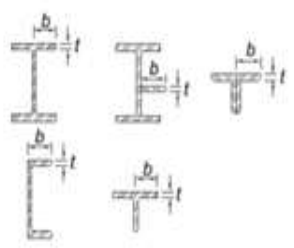
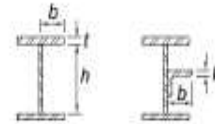
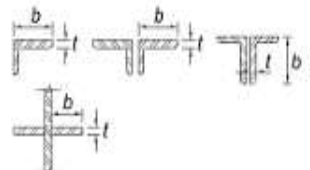



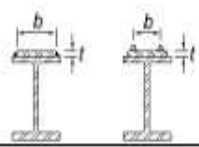


## 2.4.3 Perencanaan Dimensi Balok

### A. Balok Induk

Balok induk adalah elemen struktur yang berperan sebagai pemikul momen utama dengan fungsi menyalurkan beban dari pelat ke kolom. Perencanaan dimensi Balok Baja menggunakan metode *DTI (Direct Tension Indicator)*. Jika terdapat komdisi dimana penampang **Tidak Mampu** memikul gaya yang bekerja maka dilakkan tinjauan penampang dengan menggunakan pengekang (*stiffner*), dengan dilakukannya beberapa pemeriksaan seperti kelangsingan, elemen penampang (Tekuk Lokal), keadaan batas leleh, keadaan batas tekuk torsi lateral, dan pemeriksaan kekuatan dari penampang yang akan digunakan.

Adapun ketentuan untuk menentukan dimensi pada balok baja merujuk pada ketentuan SNI 1729:2020, tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, dapat dilihat pada Tabel 2.7-2.8:

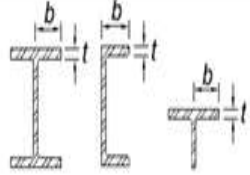
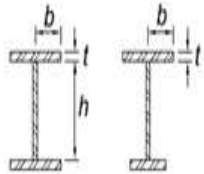
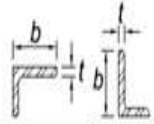
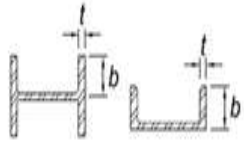

**Tabel 2.7** Rasio Lebar Terhadap Tebal: Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Aksial Tekan

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal $\lambda_t$ (nonlangsing/langsing)	Contoh
Elemen tidak diperkaku	1	Sayap Profil I gilas panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I gilas panas, kaki berdiri bebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus, sayap kanal, dan sayap T	$b/t$	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Sayap profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	$b/t$	$0,64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]	
	3	Kaki siku tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak diperkaku lainnya	$b/t$	$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	Badan T	$d/t$	$0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elemen diperkaku	5	Badan profil I simetris ganda dan penampang profil I tersusun dan kanal	$h/t_w$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Dinding PSR persegi panjang	$b/t$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara baris-baris pengencang atau las	$b/t$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Semua elemen diperkaku lainnya	$b/t$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	PSR bulat	$D/t$	$0,11 \frac{E}{F_y}$	

[a]  $k_c = 4\sqrt{h/t_w}$ , tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,35 atau lebih besar dari 0,76 dalam perhitungan.

Sumber SNI 1729:2020, Tabel B4. 1a, hal-16

**Tabel 2.8** Rasio Lebar Terhadap Tebal: Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Lentur.

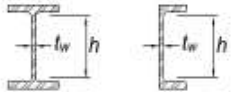
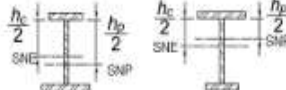
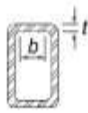
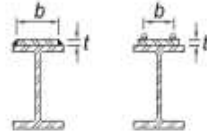
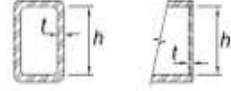


	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal		Contoh
				$\lambda_p$ (kompak/ (nonkompak)	$\lambda_r$ (nonkompak/ langsing)	
Elemen tidak diperkaku	10	Sayap profil I gilas panas, kanal, dan T	$b/t$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Sayap profil tersusun bentuk I simetris ganda dan tunggal	$b/t$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	[a] [b] $0,95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$	
	12	Kaki siku tunggal	$b/t$	$0,54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Sayap semua profil I dan kanal yang mengalami lentur terhadap sumbu lemah	$b/t$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Badan T	$d/t$	$0,84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,52 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Sumber SNI 1729:2020, Tabel B4. 1b, hal-17

#### B. Balok anak

Pada Balok anak menggunakan ukuran dimensi eksisting dari bangunan asli, yaitu pada bangunan gedung pelayanan BPKB Polda Sumatera Barat TA.2025

**Tabel 2.8** Rasio Lebar terhadapTebal: Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Lentur (lanjutan)

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal		Contoh
				$\lambda_p$ (kompak/ nonkompak)	$\lambda_r$ (nonkompak/ langsing)	
Elemen tidak diperkaku	15	Badan profil I simetris ganda dan kanal	$h/t_w$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Badan profil I simetris tunggal	$h_c/t_w$	$\frac{h_c \sqrt{E}}{h_e \sqrt{F_y}} [c]$ $\left(0,54 \frac{M_c}{M_y} - 0,09\right)^2$ $\leq \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$	
	17	Sayap PSR persegi panjang	$b/t$	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara baris-baris pengencang atau las	$b/t$	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Badan PSR persegi panjang dan boks	$h/t$	$2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	PSR bundar	$D/t$	$0,07 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,31 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	21	Sayap penampang boks	$b/t$	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
<p><sup>[a]</sup> <math>k_c = 4\sqrt{h/t_w}</math> tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,35 maupun lebih besar dari 0,76 dalam perhitungan.</p> <p><sup>[b]</sup> <math>F_L = 0,7F_y</math> untuk komponen struktur profil I badan langsing dan lentur sumbu mayor pada komponen struktur profil I tersusun dengan badan kompak dan nonkompak dan <math>S_{xt}/S_{xc} \geq 0,7</math>; <math>F_L = F_y S_{xt}/S_{xc} \geq 0,5F_y</math> untuk lentur sumbu mayor pada komponen struktur profil I tersusun dengan badan kompak dan nonkompak dan <math>S_{xt}/S_{xc} &lt; 0,7</math>; <math>S_{xt}, S_{xc}</math> = modulus penampang elastis dimaksudkan untuk sayap tarik dan tekan, in.<sup>3</sup> (mm<sup>3</sup>).</p>						

Sumber SNI 1729:2020, Tabel B4. 1b, hal-18

## 2.5 Ketentuan Perencanaan Pembebanan Struktur

Pada perencanaan pembebanan struktur pada bangunan ini digunakan beberapa acuan standar sebagai berikut:

- a. Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (SNI 1729:2020).
- b. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847:2019).
- c. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung (SNI1726:2019).
- d. Beban desain minimum dan desain terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2020).

### 2.5.1 Pembebanan

Berdasarkan peraturan-peraturan diatas, struktur sebuah gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap beban-beban berikut :

- a. Beban Mati (*Dead Load*), dinyatakan dengan lambang DL.
- b. Beban Hidup (*Live Load*), dinyatakan dengan lambang LL.
- c. Beban Gempa (*Earthquake Load*), dinyatakan dengan lambang E.
- d. Beban Angin (*Wind Load*), dinyatakan dengan lambang W.
- e. Beban nosional.

### 2.5.2 Deskripsi Pembebanan

Pada bangunan ini terdapat beberapa beban yang bekerja diantaranya adalah sebagai berikut:

#### 1. Beban Mati (DL)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektur dan struktur lainnya (Saputra et al., 2018).

#### 2. Beban Hidup (LL)

Beban yang dianggap atau diperhitungkan sebagai beban hidup pada struktur gedung ini adalah, beban hidup yang ada selama masa layan.

Beban hidup yang direncanakan adalah sebagai berikut:

#### 37. Beban hidup pada lantai gedung

Beban hidup yang digunakan mengacu pada standar pedoman pembebanan yang ada yaitu sebesar  $250 \text{ kg/m}^2$ .

### 38. Beban hidup pada atap/dak

Beban hidup yang digunakan mengacu pada standar pedoman pembebanan yang ada yaitu sebesar 100 kg/m<sup>2</sup>.

### 3. Beban Gempa (E)

Beban gempa adalah beban yang berasal dari gaya inersia bangunan dalam arah horizontal yang disebabkan oleh adanya percepatan tanah akibat gempa (ground acceleration). Untuk menghitung beban gempa dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Geser dasar seismik } V = C_s \times W \quad (2.8)$$

$$C_s = \text{SDS}/(R/I_e) \quad (2.9)$$

Dimana:

$C_s$  = Koefisien Respon Seismik

$R$  = Faktor Modifikasi Respon

$I_e$  = Faktor Keutamaan Gempa

$W$  = Berat Sendiri Seismik efektif

Perhitungan gaya lateral ekuivalen menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F = \frac{w(z^k) \times v}{\sum w(z^k)} \quad (2.10)$$

Dimana :

$Z$  = Tinggi lantai Gedung

$K$  = Faktor eksponen

$W$  = Berat seismik efektif

$V$  = Gaya geser dasar seismik

$F$  = Gaya lateral ekuivalen

### 2.5.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan adalah penjumlahan beberapa jenis beban yang bekerja pada struktur secara bersamaan sesuai dengan kondisi yang direncanakan. Kombinasi ini mempertimbangkan faktor keamanan dan beban maksimum yang dipikul selama masa layannya. Kombinasi pembebanan digunakan untuk memastikan bahwa struktur mampu menahan berbagai variasi beban sesuai dengan ketentuan standar desain sebagai berikut :

- a. Kuat perlu  $U$  untuk beban mati (DL), harus sama dengan  $U = 1,4DL$
- b. Kuat perlu  $U$  untuk beban mati (DL), beban hidup (LL), dan juga beban hidup diatas  $Lr$  atau beban hujan (R), paling tidak harus sama dengan  $U = 1,2DL+1,6LL+0,5(Lr+R)$  (2.11)
- c. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa E harus diperhitungkan dalam perencanaan. Maka nilai kuat perlu  $U$  harus diambil sebagai berikut:

$$U = 1,2DL+Ev+Eh+DL \text{ atau;} \quad (2.12)$$

$$U = 0,9 DL+Ev+Eh \quad (2.13)$$

Dimana:

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

$Lr$  = Beban Atap

R = Beban Hujan

$E_v$  = Beban Gempa Vertikal

$E_h$  = Beban Gempa Horizontal

## 2.6 Analisa Struktur

Analisa struktur dilakukan setelah mendapatkan hasil dari preliminary design berupa dimensi dan mutu dari elemen-elemen struktur tersebut. Langkah analisa diawali dengan pemodelan pada *software* ETABS. Pemodelan dilakukan 3 (tiga) dimensi. Diawali dengan penginputan data material dan dimensi penampang yang akan digunakan. Penggambaran akan dilakukan dengan data material dan dimensi penampang yang telah diinputkan sebelumnya. Melakukan penginputan beban yang terjadi pada struktur tersebut dan dilanjutkan dengan melakukan analisis struktur dengan memberi perintah "*run now*" pada *software* tersebut. Pada tahap ini akan bisa dilihat hasil analisis berupa gaya dalam, perpindahan dan lain-lain.

## 2.7 Analisa dan Desain *Tie-Beam* dan Balok

### 2.7.1 Teori Dasar Perhitungan Tulangan Lentur *Tie-Beam*

Rekapitulasi momen dan gaya geser pada *Tie-Beam*, gaya momen yang ditampilkan merupakan tinjauan 2 beban untuk desain penulangan *Tie-Beam*, yaitu Tanah tidak memikul beban, sehingga design *Tie-Beam* berdasarkan berat sendiri

dan dinding bata, dan Akibat penurunan penurunan diambil  $1/500 L$ . Acuan desain dan perhitungan: (SNI 2847:2019, Pasal 18.63.2).

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk merencanakan tulangan tulangan rangkap pada Tie-Beam, sebagai berikut:

**Step 1.** Tinjauan berdasarkan berat sendiri Tie-Beam dan berat tembok sepanjang L

$$Q_{tot} : q \text{ tembok} + q \text{ Tie-Beam} \quad (2.14)$$

$$M_{tumpu} : Q.L^2/12 \quad (2.15)$$

$$M_{lapangan} : Q.L^2/24 \quad (2.16)$$

$$M_u : 1.4 \times M_{tumpu} \quad (2.17)$$

**Step 2.** Tinjauan akibat penurunan pondasi

$$\Delta = \frac{1}{500} L \quad (2.18)$$

$$M = \frac{6.EB.I.\Delta}{L^2} \quad (2.19)$$

Dimana:

$\Delta$  = Perubahan yang terjadi

$M$  = Momen yang terjadi

$L$  = Panjang Bentang

$E$  = Modulus Elastisitas beton

$I$  = Inersia penampang beton

Menurut **SNI 2847 – 2019 pasal 18.6.3.2** ketentuan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif dari muka joint tersebut. Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang di sepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint tersebut.

**Step 3.** Menghitung As Tulangan

$$A_{spositif} : [\rho_{positif} \times b \times d] \quad (2.20)$$

$$A_{snegatif} : [\rho_{negatif} \times b \times d] \quad (2.21)$$

$$\text{Luas 1 Tul. Desain Positif} : 1/4 \pi.D^2 \quad (2.22)$$

$$\text{Luas 1 Tul. Desain Negatif} : 1/4 \pi.D^2 \quad (2.23)$$

$$\text{Jumlah Tul. Positif (n)} : A_{spositif} / \text{luas tul} \quad (2.24)$$

$$\text{Jumlah Tul. Negatif (n)} : A_{snegatif} / \text{luas tul} \quad (2.25)$$

**Step 4.** Chek Asumsi Awal untuk Faktor reduksi  $\phi$

- Positif

$$\text{Luas Tul. Positif Terpasang} : [n.A_{sdpositif}] \quad (2.26)$$

$$\text{Tinggi Balok Tegangan (a)} : [A_{spositif}.f_y/0.85.f_c'.b] \quad (2.27)$$

$$\text{Tinggi Garis Netral (c)} : [a/\beta] \quad (2.28)$$

$$\text{Regangan Positif Baja } (\epsilon_s) : [0.003][d-c]/[c] \quad (2.29)$$

$$\text{Regangan Leleh Baja } (\epsilon_y) : [f_y/E_s] \quad (2.30)$$

- Negatif

$$\text{Luas Tul. Negatif Terpasang} : [n.A_{sdnegatif}]$$

$$\text{Tinggi Balok Tegangan (a)} : [A_{snegatif}.f_y/0.85.f_c'.b]$$

$$\text{Tinggi Garis Netral (c)} : [a/\beta]$$

$$\text{Regangan Positif Baja } (\epsilon_s) : [0.003][d-c]/[c]$$

$$\text{Regangan Leleh Baja } (\epsilon_y) : [f_y/E_s]$$

#### Step 5. Chek Kapasitas Momen

$$\text{Momen Nominal Positif} : [A_s.f_y[d-a/2]] \quad (2.31)$$

$$\text{Perbandingan Kapasitas} : \mu \leq \phi.M_n \quad (2.32)$$

### 2.7.2 Teori Dasar Perhitungan Tulangan Geser Tie-Beam

Dalam proses desain tulangan geser pada balok dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V_c = 0.17.\lambda\sqrt{f'_c}.b.w.d \quad (2.33)$$

Setelah mendapat nilai  $v_c$  selanjutnya periksa syarat kemampuan penampang dalam menerima beban geser dengan persamaan berikut :

$$V_u \leq \phi(V_c + 0.66\sqrt{f'_c}.b.w.d) \quad (2.34)$$

Klasifikasi nilai  $V_u$ , terdapat beberapa kategori yang akan digunakan dalam menentukan kebutuhan tulangan geser balok dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

a. Cek kategori 1

$$V_u \leq 0,5 \phi v_c \quad (2.35)$$

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

b. Cek kategori 2

$$0,5 \phi v_c \leq V_{u1} \leq \phi V \quad (2.36)$$

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

$$V_s \text{ min} = 0,006 \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d \geq 0,45 \cdot bw \cdot d \quad \text{dan} \quad (2.37)$$

$$A_v \text{ min} = 0,062 \sqrt{f'c} \cdot \frac{bw^s}{f_{yt}} \geq \frac{(0,35 \text{ } bw^s)}{f_{yt}} \quad (2.38)$$

Dengan spasi (S) maksimum tulangan geser:

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \quad (2.39)$$

c. Cek kategori 3

$$0,5 v_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_s \text{ min}) \quad (2.40)$$

Kuat geser  $V_s$  min:

$$A_v \text{ min} = 0,062 \sqrt{f'c} \cdot \frac{bw^s}{f_{yt}} \text{ atau } V_s \text{ min} = 0,35bw \cdot d \quad (2.41)$$

Luas tulangan geser:

$$A_v \text{ min} = 0,062 \sqrt{f'c} \cdot \frac{bw^s}{f_{yt}} \text{ atau } A_v \text{ min} = \frac{0,35bw^s}{f_y} \quad (2.42)$$

d. Cek kategori 4

$$0,5 (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \phi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d) \quad (2.43)$$

Nilai gaya geser dari tulangan :

$$V_s = \frac{V_u - \phi}{\phi} \quad (2.44)$$

Luasan tulangan geser :

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d} \quad (2.45)$$

e. Cek kategori 5

$$5 \left( V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d \right) \leq V_u \leq \phi \left( V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d \right) \quad (2.46)$$

Menghitung  $V_s$  rencana berdasarkan kategori yang telah ditentukan dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (2.47)$$

Luasan tulangan geser:

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (2.48)$$

Menentukan jarak tulangan geser dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S \leq \frac{D}{2} \leq 300mm \quad (2.49)$$

Melakukan pengecekan terhadap syarat ketentuan desain tulangan ( $V_n$ ) terhadap gaya geser *ultimate* ( $V_u$ )

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.50)$$

## 2.8 Analisa dan Desain Kolom

### 2.8.1 Dasar Teori Perhitungan Kolom Baja

Kekuatan tekan desain,  $\phi_c P_n$ , dan kekuatan tekan izin,  $P_n \Omega_c$ , ditentukan sebagai berikut.

Kekuatan tekan nominal,  $P_n$ , harus diambil dari nilai terendah yang diperoleh berdasarkan pada keadaan batas tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk torsi-lentur yang berlaku (SNI 1729:2020, Pasal E1, hal-32).

$$\phi_c = 0,90 \text{ (DFBT)} \quad (2.51)$$

Profil yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.9:

Panjang efektif,  $L_c$ , untuk perhitungan kelangsingan komponen struktur,  $L_c/r$ , harus ditentukan sesuai dengan Bab C atau Lampiran 7.

Dimana :






$K$  = faktor panjang efektif

$L_c = KL$  = panjang efektif komponen struktur, in. (mm)

$L$  = panjang tak terbreis lateral pada komponen struktur tersebut, in. (mm)

$r$  = radius girasi, in. (mm)

Tabel 2.9 Pemilihan untuk Penerapan Profil

Penampang Melintang	Tanpa Elemen Langsing		Dengan Elemen Langsing	
	Penampang pada Bab E	Keadaan Batas	Penampang pada Bab E	Keadaan Batas
	E3 E4	FB TB	E7	LB FB TB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB

SNI 1729:2020, Tabel E1.1 Tabel Pemilihan untuk Penerapan Profil Bab E

**Catatan Pengguna:** Untuk komponen struktur yang didesain berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif,  $L_c r$ , sebaiknya tidak melebihi 200.

**Catatan Pengguna:** Panjang efektif,  $L_c$ , dapat ditentukan melalui metode-metode selain penggunaan faktor panjang efektif,  $K$ .

Kekuatan tekan nominal,  $P_n$ , harus ditentukan berdasarkan pada keadaan batas berupa tekuk torsi dan tekuk torsi lentur :

- Untuk komponen struktur simetris ganda yang mengalami torsi terhadap pusat geser.

$$F_e = \left( \frac{\pi^2 EC_w}{L_c z^2} + GJ \right) \left( \frac{1}{I_x + I_y} \right) \quad (2.52)$$

- Untuk komponen struktur simetris tunggal yang mengalami torsi terhadap pusat geser dengan  $y$  adalah sumbu simetri.

$$F_e = \left( \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \quad (2.53)$$

Melakukan pengecekan terhadap syarat ketentuan kuat tekan desain ( $\phi_c P_n$ ) terhadap gaya atau beban yang bekerja ( $P_u$ )

$$P_u < \phi_c P_n \quad (2.54)$$

- c. Pada SNI 03-1729-2002, pasal 7.6.1 memberikan daftar nilai terfaktor panjang tekuk untuk berbagai kondisi tumpuan ujung dari suatu kolom. Nilai k ini diperoleh dengan mengasumsikan bahwa kolom tidak mengalami goyangan atau translasi pada ujung-ujung tumpuannya. Dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Garis putus menunjukkan posisi kolom pada saat tertekuk						
	$k$ teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0
$k$ disain	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Keterangan	jepit	sendi	rol tanpa rotasi	ujung bebas		

← Yang digunakan dalam desain

**Gambar 2.5** Nilai terfaktor panjang tekuk pada tumpuan ujung kolom

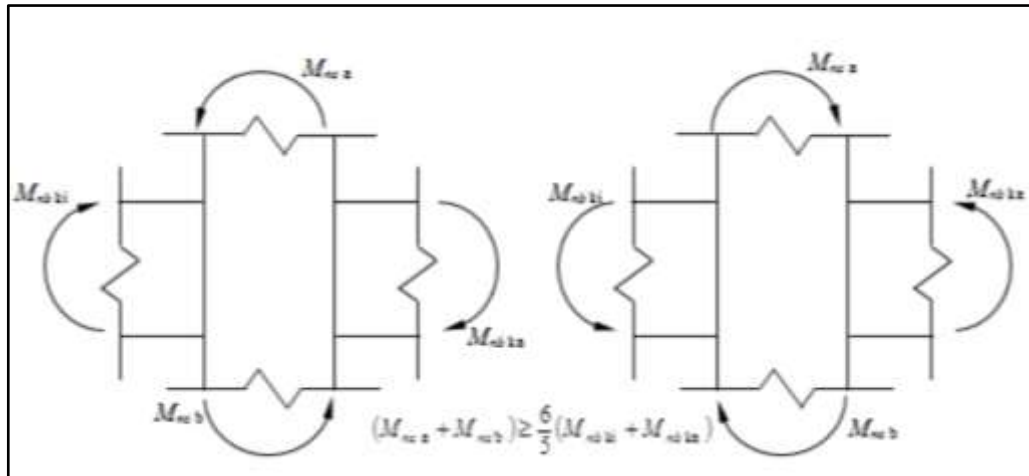
## 2.9 Analisa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah struktur yang didesain yang cukup menahan gempa, dimana sistem ini memiliki tingkat daktilitas penuh, sistem ini harus digunakan pada daerah dengan tingkat risiko gempa tinggi, prinsip dari sistem ini yaitu strong coloumn weak beam, tahan terhadap geser dan memiliki pendetailan yang khusus (Pandaleke et al., 2013). (Honarto et al., 2019)

Perhitungan konsep SRPMK menggunakan rumus sebagai berikut:

$$(M_{nc} a + M_{nc} b) \geq \frac{6}{5} (M_{nb} k_i + M_{nb} k_a) \quad (2.55)$$

Berdasarkan rumus yang diatas dapat lebih dipahami melalui penerapan dari Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Konsep kolom kuat-balok lemah (SCWB)