

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gambaran Umum**

Dalam perencanaan sebuah gedung bertingkat, semakin tinggi gedung tersebut maka beban akibat gaya lateral akan semakin tinggi juga. Untuk merencanakan gedung bertingkat yang tahan gempa secara dasar bahwa gedung bertingkat itu ketika gempa bumi terjadi maka gedung bertingkat tersebut dapat menahan, menyalurkan, dan meredam gaya gempa tersebut sehingga gedung bertingkat tidak terjadi keruntuhan atau roboh.

Oleh karena itu, digunakan standar-standar dalam perencanaan struktur gedung bertingkat pada wilayah gempa tinggi. Untuk standar beton struktural bangunan gedung, yaitu SNI 2847-2019 lalu untuk tata cara perencanaan struktur bangunan gedung dan non gedung tahan gempa, yaitu SNI 1726-2019. Pada wilayah gempa tinggi digunakan suatu sistem, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Konsep yang digunakan dalam perencanaan struktur ini ialah Konsep *Strong Column Weak Beam*. (Himawan : 2005)

#### **2.2 Beton Bertulang**

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton dan tulangan baja yang bekerja sama untuk menopang beban yang ada. Tulangan baja memberikan beton dengan kekuatan tarik yang melekat. Selain itu, tulangan baja dapat memikul beban tekan seperti yang digunakan pada elemen kolom beton. Beton dihasilkan dari pencampuran material-material seperti, agregat halus, agregat kasar, semen, dan air. Agregat halus dan kasar berfungsi sebagai pengisi dalam suatu campuran beton, sedangkan semen berfungsi sebagai pengikat dan air berfungsi untuk pencampur bahan bahan yang telah menyatu. (Agus Setiawan : 2016)

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul didalam sistem. (Dipohusodo, 1999:12).

Menurut Mc Cormac (2004), ada banyak kelebihan dari beton sebagai struktur bangunan diantaranya adalah:

1. Beton memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan lain;

2. Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, bahkan merupakan bahan struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air. Pada peristiwa kebakaran dengan intensitas rata-rata, batang-batang struktur dengan ketebalan penutup beton yang memadai sebagai pelindung tulangan hanya mengalami kerusakan pada permukaannya saja tanpa mengalami keruntuhan;
3. Beton bertulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi;
4. Beton biasanya merupakan satu-satunya bahan yang ekonomis untuk pondasi telapak, dinding basement, dan tiang tumpuan jembatan;
5. Salah satu ciri khas beton adalah kemampuannya untuk dicetak menjadi bentuk yang beragam, mulai dari pelat, balok, kolom yang sederhana sampai atap kubah dan cangkang besar;
6. Di bagian besar daerah, beton terbuat dari bahan-bahan lokal yang murah (pasir, kerikil, dan air) dan relatif hanya membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja, yang mungkin saja harus didatangkan dari daerah lain.

Lebih lanjut, Mc Cormac (2004), juga menyatakan kekurangan dari penggunaan beton sebagai suatu bahan struktur yaitu:

1. Beton memiliki kuat tarik yang sangat rendah, sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik;
2. Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton tetap ditempatnya sampai beton tersebut mengeras;
3. Rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat. Ini akan sangat berpengaruh pada struktur bentang panjang dimana berat beban mati beton yang besar akan sangat mempengaruhi momen lentur;
4. Rendahnya kekuatan per satuan volume mengakibatkan beton akan berukuran relatif besar, hal penting yang harus dipertimbangkan untuk bangunan-bangunan tinggi dan struktur-struktur berbentang panjang;
5. Sifat-sifat beton sangat bervariasi karena bervariasinya proporsi campuran dan pengadukannya. Selain itu, penuangan dan perawatan beton tidak bisa ditangani seteliti seperti yang dilakukan pada proses produksi material lain seperti baja dan kayu lapis.

Tabel 2.1 Tebal Selimut Beton (SNI 2847-2019)

Paparan	Komponen Struktur	Tulangan	Selimut (mm)
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Semua	Batang D19 hingga D57	50
		Batang D16, Kawat $\varnothing$ 13 atau D13 dan yang lebih kecil	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Batang D43 dan D57	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil	20
	Balok, kolom, pedestal dan batang tarik	Tulangan utama, sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengekang	40

(Sumber : SNI 2847-2019 Pasal 20.6, Tabel 20.6.1.3.2, Halaman 460)

Pada **Tabel 2.1** Tentang Tebal Selimut Beton (SNI 2847-2019) menjelaskan bahwa tebal selimut beton dapat dipengaruhi oleh jenis komponen struktur, jenis tulangan, dan paparan kepada beton. Selimut beton sendiri direncanakan agar tulangan pada struktur beton bertulang terutama pada struktur yang berada di lingkungan agresif dan bebas sehingga selimut beton sangat penting adanya sebagai pelindung tulangan pada beton bertulang. Pada perencanaan struktur sekunder ini, seperti pelat lantai, pelat atap, pelat bordes, digunakan tebal selimut beton 20 mm dan menggunakan diameter tulangan 10-12 mm. Balok anak, balok induk, dan jua kolom menggunakan selimut beton 40 mm dengan kondisi tidak kontak dengan tanah. Struktur bawah seperti sloof menggunakan tebal selimut beton 50 mm dikaenakan sloof kontak langsung dengan tanah dengan diameter tulangan yang digunakan 25 mm. Tebal selimut *Pile Cap*, yaitu 75 cm hal ini dikarenakan *Pile Cap* berhubungan langsung dan permanen dengan tanah.

### 2.3 Standar Perencanaan Pembebanan

Perencanaan pembebanan ini digunakan beberapa acuan standar sebagai berikut:

- 1) Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (SNI 2847-2019);
- 2) Standar Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2019);
- 3) Pedoman Perencanaan Pembebanan (SNI 1727-2020);

### 2.4 Pembebanan

Beban rencana maupun beban yang terjadi harus mampu ditopang oleh rangkaian struktur, seperti pondasi, kolom, dan balok karena struktur tersebut yang akan menopang lalu menyalurkan beban-beban ke tanah. Pembebanan dibagi menjadi dua, yaitu Beban Gravitasi yang dapat berasal dari beban mati dan beban hidup pada struktur sekunder (pelat dan balok anak).

Struktur bangunan harus direncanakan agar dapat menahan beban-beban tersebut. Beban-beban yang berdasarkan standar-standar, yaitu :

1. Beban Mati (Dead Load), dinyatakan dengan lambang DL
2. Beban Hidup (Live Load), dinyatakan dengan lambang LL
3. Beban Gempa (Earthquake Load), dinyatakan dengan lambang E
4. Beban Angin (Wind Load), dinyatakan dengan lambang W.

#### 2.4.1 Beban Mati (DL)

Beban mati merupakan beban yang berasal dari berat sendiri dan atau unsur bangunan. Beban mati ini berasal dari elemen-elemen, yaitu di antaranya :

- Beton = 2400 kg/m<sup>3</sup>
- Spesi Keramik = 21 kg/m<sup>3</sup>
- Plafond dan Penggantung = 18 kg/m<sup>3</sup>
- Plumbing = 10 kg/m<sup>3</sup>
- Dinding <sup>1</sup>/<sub>2</sub> bata = 250 kg/m<sup>3</sup>

#### 2.4.2 Beban Hidup (LL)

Beban hidup disebabkan karena adanya aktivitas di atasnya. Beban hidup yang direncanakan, yaitu :

- a) Beban Hidup pada Lantai Gedung

SNI 1727-2020 = 250 kg/m<sup>2</sup> (Gedung Hotel/Apartemen)

b) Beban Hidup pada Atap Gedung

SNI 1727-2020 = 100 kg/m<sup>2</sup>

c) Beban Hidup pada Gedung Pertemuan

SNI 1727-2020 = 400 kg/m<sup>2</sup>

### 2.4.3 Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada struktur akibat tekanan yang ditimbulkan oleh pergerakan angin. Beban angin sangat tergantung pada lokasi dan ketinggian struktur. Tekanan tiupan minimum harus diambil sebesar 25 kg/m<sup>2</sup>, kecuali untuk pekerjaan yang terletak dekat dengan laut hingga 5 km dari pantai, minimumnya adalah 40 kg/m<sup>2</sup>. Perencanaan beban angin berpedoman pada SNI 1727:2019 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

### 2.4.4 Beban Gempa (E)

Beban gempa adalah beban yang disebabkan karena adanya aktivitas tanah dan lempeng bumi, yaitu gempa bumi. Gempa bumi merupakan fenomena alam yang tidak dapat diprediksi kapan terjadinya dan seberapa besar beban gempa bumi tersebut. Jika suatu bangunan tidak direncanakan tahan gempa maka setiap terjadi gempa bumi akan terjadi yang namanya bencana alam.

Meski beban gempa tidak dapat diprediksi, beban gempa dapat direncanakan. Sesuai dengan peraturan SNI 1726-2019. Analisis struktur terhadap beban gempa pada gedung dapat dilakukan dengan metode analisis respon spektrum, peta parameter  $S_s$  dan  $S_1$  sehingga dapat diketahui Kriteria Desain Seismik.

Terdapat dua jenis beban gempa, yaitu beban gempa statik ekuivalen dan beban gempa dinamis. Beban gempa statik ekuivalen dilakukan dengan cara meng-ekivalen-kan beban gempa dan di-input beban gempa statiknya di setiap lantainya dengan menggunakan program struktur, sedangkan beban gempa dinamis dengan mengumpulkan faktor-faktor ataupun parameter-parameter yang sesuai dengan lokasi perencanaan lalu di-input beban gempa dinamis di setiap lantainya dengan menggunakan program struktur. Pada perencanaan gedung apartemen ini, digunakan analisa beban gempa dengan menggunakan beban gempa dinamis pada Kota Manado.

### 2.4.3.1 Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa (*Ie*)

Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung merupakan kategori yang menggolongkan tiap perencanaan gedung berdasarkan fungsinya. Penentuan kategori risiko bangunan ini dapat mempengaruhi penentuan kategori desain seismik. Pada perencanaan tugas akhir ini, yaitu direncanakan gedung apartemen yang jika ditinjau dari **Tabel 2.3** memiliki nilai Kategori Risiko = II (Gedung Apartemen/Rumah Susun).

Tabel 2.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"><li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li><li>- Fasilitas sementara</li><li>- Gudang penyimpanan</li><li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li></ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"><li>- Perumahan</li><li>- Rumah toko dan rumah kantor</li><li>- Pasar</li><li>- Gedung perkantoran</li><li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li><li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li><li>- Bangunan industri</li><li>- Fasilitas manufaktur</li><li>- Pabrik</li></ul>	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"><li>- Bioskop</li><li>- Gedung pertemuan</li><li>- Stadion</li><li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li><li>- Fasilitas penitipan anak</li><li>- Penjara</li><li>- Bangunan untuk orang jompo</li></ul>	
Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan daMPak ekonomi yang besar dan/atau	III

<p>gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran)</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV

(Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 4.1, Tabel 3, Halaman 24-25)

Tabel 2.3 Faktor Keutamaan Gempa

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

Setelah didapatkan nilai Kategori Risiko dari **Tabel 2.2** lalu dicocokkan pada **Tabel 2.3** tentang Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ ), yang di mana Kategori Risiko II mendapatkan nilai  $I_e$  sebesar 1,0.

#### 2.4.3.2 Kelas Situs

Pada tahap ini merupakan tahap untuk penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan **Tabel 2.4**.

Berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam

Tabel 2.4 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$v_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$S_u$ (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	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $\omega \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa		

(Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 4.1, Tabel 4, Halaman 25)

<b>SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)</b>	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> <li>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan indeks plasitisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> </ul> Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa
---	---

**CATATAN :** N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 5.1, Tabel 5, Halaman 29-30)

Pada **Tabel 2.4** tentang Klasifikasi Situs, digunakan untuk menentukan jenis tanah daerah perencanaan. Untuk melakukannya dibutuhkan data berupa SPT, berupa nilai N-SPT. Setelah itu dilakukan rata-rata nilai N-SPT, pada perencanaan ini didapatkan nilai  $N > 50$  yang di mana tanah perencanaan dikategorikan SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak). Perhitungan dan pembahasan lebih lanjut mengenai klasifikasi situs dapat dilihat pada BAB VI.

#### 2.4.3.3 Parameter Percepatan Gempa ( $S_s$ dan $S_1$ )

Untuk 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:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \dots\dots\dots (2.2)$$

**Keterangan:**

$S_s$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek;

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

Setelah mendapatkan parameter-parameter di atas, dilanjutkan dengan mencari parameter  $F_a$  dan  $F_v$  dengan mengolah parameter  $S_s$  dan  $S_1$ . Koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  mengikuti **Tabel 2.5** dan **Tabel 2.6** di bawah ini :

Tabel 2.5 Koefisien Situs,  $F_a$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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 <sup>(a)</sup>					

(Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 6.2, Tabel 6, Halaman 34)

Tabel 2.6 Koefisien Situs,  $F_v$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek 1 detik, $S_1$					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS <sup>(a)</sup>					

(Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 6.2, Tabel 6, Halaman 34-35)

Menentukan nilai  $F_a$  dan  $F_v$  dapat menggunakan data dari aplikasi maupun web [rsa.ciptakarya.com](http://rsa.ciptakarya.com). dan dapat juga dilakukan dengan cara manual, dengan menggunakan rumus dan langkah-langkah seperti di bawah ini :

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek,  $S_{DS}$  dan pada periode 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$SD_s = \frac{2}{3} SMS \dots\dots\dots(2.3)$$

$$SD_1 = \frac{2}{3} SM_1 \dots\dots\dots(2.4)$$

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu ketentuan di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = SD_s \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots(2.5)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ ;
3. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , respons spektral percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{SD_1}{T} \dots\dots\dots(2.6)$$

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

$$S_a = \frac{SD_1 \cdot T_L}{T^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

**Keterangan :**

- $S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek
- $SD_1$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik
- $T$  = periode getar fundamental struktur

**2.4.3.4 Kategori Desain Seismik Struktur**

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada **Tabel 2.7** dan **Tabel 2.8**.

Pada perencanaan ini, dengan mengolah data-data di atas Kota Manado dapat dikategorikan Kategori Desain Seismik (KDS) D. Dengan didapatkannya KDS D di Kota Manado ini sehingga dapat juga disimpulkan bahwa Kota Manado berada pada daerah gempa tinggi. Oleh karena itu, perlu direncanakan struktur tahan gempa.

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter  $S_{DS}$

Nilai	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 1726-2019 Pasal 6.5, Tabel 9, Halaman 37)

Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter  $S_{DI}$

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

(Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 6.5, Tabel 9, Halaman 37)

#### 2.4.3.5 Faktor $R$ , $C_d^b$ , dan $\Omega_d^c$ untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2019, penentuan untuk pemilihan sistem struktur penahan gaya seismik ditentukan dengan mendapatkan nilai-nilai parameter-parameter berikut:

- Faktor koefisien modifikasi respons ( $R^a$ )
- Faktor kuat lebih sistem ( $C_d^b$ )
- Faktor pembesaran defleksi ( $\Omega_d^c$ )
- Faktor batasan tinggi sistem struktur

Tabel 2.9 Faktor  $R$ ,  $C_d^b$ , dan  $\Omega_d^c$  untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $C_d^b$	Faktor pembesaran defleksi, $\Omega_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>	8	3	5 1/2	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 1/2	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 1/2	TB	TI	TI	TI	TI

Keterangan : TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diizinkan

(Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 7.2, Tabel 12, Halaman 49-51)

Pada **Tabel 2.9** tentang Faktor R,  $Cd^b$ , dan  $\Omega d^c$  untuk sistem pemikul gaya seismik digunakan untuk menentukan nilai-nilai faktor R,  $Cd^b$ , dan  $\Omega d^c$ . Perencanaan ini termasuk pada Kategori Desain Seismik (KDS) D dan menggunakan Sistem Pemikul Gaya Seismik jenis Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus sehingga didapatkan nilai Faktor R = 8,  $Cd^b = 3$ , dan  $\Omega d^c = 5,5$ . dan Batasan Sistem Struktur Dan Batasan Tinggi Struktur (TB) yang berarti SRPMK tidak dibatasi perihal ketinggian struktur.

#### 2.4.3.6 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Periode fundamental struktur, T, dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T, tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dari **Tabel 2.10**. Pada perhitungan fundamental struktur (T) jika dihasilkan > melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ), maka perencanaan beban gempa digunakan beban gempa dinamis. Beban gempa dinamis dapat diperoleh datanya dengan menggunakan respon spektra kota yang dituju dengan mengakses aplikasi maupun web [rsa.ciptakarya.com](http://rsa.ciptakarya.com).

Tabel 2.10 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

(Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 7.8, Tabel 17, Halaman 72)

#### 2.4.3.7 Periode Fundamental

Untuk menentukan periode fundamental alami (T), dapat menggunakan secara langsung periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ). Perhitungan periode pendekatan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \dots\dots\dots(2.8)$$

**Keterangan :**

$C_t$  = Koefisien dari nilai parameter periode pendekatan berdasarkan SNI 1726-2019.

$h_n$  = Ketinggian struktur dalam satuan (m) di atas dasar sampai tingkat terakhir struktur.

Tabel 2.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

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

(Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 7.8, Tabel 18, Halaman 72)

Dengan meninjau **Tabel 2.11** didapatkan nilai  $C_t$  sebesar 0,0466 dan  $x$  sebesar 0,9 untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

#### 2.4.3.9 Batas Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai rencana ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin ( $\Delta_a^{a,b}$ ). Persyaratan ini dilakukan untuk mencegah terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton, serta mencegah kerusakan-kerusakan non-struktural bangunan yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan penghuni bangunan. Simpangan antar lantai izin ( $\Delta_a^{a,b}$ ) menurut SNI 1726-2019 tersaji pada **Tabel 2.12** di bawah ini :

Tabel 2.12 Simpangan Antar Tingkat Izin  $\Delta_a^{a,b}$

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 tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020 h_{sx}$	$0,020 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
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 : SNI 1726-2019 Pasal 7.12, Tabel 20, Halaman 88)

Untuk perhitungan simpangan dapat melihat pada BAB VI tentang Beban Gempa.

#### 2.4.3.10 Kombinasi Pembebanan

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai di bawah. Kombinasi pembebanan merupakan faktor keamanan untuk beban struktur. Pengaruh adanya satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismik harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan.

Berdasarkan pada SNI 1726-2019 Pasal 4 2.2 kombinasi pembebanan yang dipakai, yaitu :

- Kombinasi 1 = 1,4 DL
- Kombinasi 2 = 1,2 DL + 1,6 LL – 0,5 (Lr atau R)
- Kombinasi 3 = 1,2 DL + 1,6 (Lr atau R) + (L atau 0,5 W)
- Kombinasi 4 = 1,2 DL + 1,0 W + 0,5 (Lr atau R)
- Kombinasi 5 = 1,2 DL ± 1,0 E + LL
- Kombinasi 6 = 0,9 DL + 1,0 W
- Kombinasi 7 = 0,9 DL + 1,0 E

#### Keterangan :

DL = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap;

LL = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain

Lr = Pengaruh beban hidup di atap

E = Beban gempa

W = Beban angin

#### 2.5 Struktur Sekunder

Struktur sekunder merupakan struktural pendukung struktur primer yang terdiri dari pelat. Pelat terdapat berbagai macam, yaitu pelat lantai, pelat lantai tangga, dan pelat atap. Struktur sekunder direncanakan hanya untuk menerima beban lentur. Struktur sekunder tidak direncanakan untuk menahan beban gempa. Meskipun begitu, struktur sekunder harus tetap bisa bertahan ketika gempa terjadi agar tidak memakan korban jiwa para penghuni gedung. (Maria Yuliana dan Soerjandani Priantoro : 2021)

### 2.5.1 Pelat

Pelat pada umumnya menggunakan pelat beton bertulang. Dengan penggunaan sistem pelat beton bertulang, pelat dapat memiliki sifat kaku yang dapat mendukung kekuatan dari balok. (Mayanti dan Nurmaidah : 2021) Pelat merupakan struktur tipis yang bidang arahnya horizontal dan menahan beban vertikal. Pada SNI 2847-2019 terdapat dua jenis pelat, yaitu Pelat Satu Arah (*One Way Slab*) dan Pelat Dua Arah (*Two Way Slab*). Untuk mengategorikan kedua jenis pelat tersebut dapat menggunakan syarat sebagai berikut :

$$\text{Pelat Satu Arah} = \frac{l_y}{l_x} > 2, \quad \text{sedangkan} \quad \text{Pelat Dua Arah} = \frac{l_y}{l_x} < 2$$

**Keterangan :**  $l_y$  = Panjang bentang arah y,  $l_x$  = Panjang bentang arah x

### 2.6 Struktur Primer

Struktur primer terdiri atas kolom dan balok induk yang kekakuannya sangat berperan penting. Struktur primer sangat diperlukan dalam memikul beban-beban yang terjadi, baik itu beban sendiri maupun beban luar. Berikut merupakan syarat-syarat pendetailan dan ketentuan yang diatur pada SNI 2847-2019 untuk (SRPMK). (Okta Chandra : 2020)

#### 2.6.1 Komponen Struktur Lentur pada SRPMK (SNI 2847-2019)

Dalam mendesain komponen struktur lentur harus berdasarkan dengan SNI 2847-2019 pasal 18.6.1 sampai 18.6.5 yang berbunyi :

Tabel 2.13 Persyaratan Komponen Lentur

	<b>KDS D, E, dan F</b>
	<b>Pasal 18.6.1</b>
<b>Umum</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gaya tekan aksial <math>P_u &lt; A_g \cdot f'_c / 10</math> ..... (2.9)</li> <li>2. Bentang Bersih <math>\geq 4</math> x tinggi efektif</li> <li>3. Lebar komponen <math>b_w &gt; 0,3h</math> dan <math>b_w \geq 250</math> mm</li> <li>4. Diberi jarak = Lebar penumpu c2 atau <math>0,75</math> x keseluruhan struktur penumpu c1 (dimensi kolom terbesar) ditambah jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan atau lebih kecil dari : <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Lebar komponen struktur penumpu c2</li> <li>b. <math>0,75</math> x dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu c1</li> </ol> </li> </ol>

<b>Tulangan Longitudinal</b>	<b>Pasal 18.6.3.1</b>
	<p>1. Luas tulangan tidak boleh kurang dari :</p> $\frac{bw \cdot \sqrt{f'c'}}{f_y} bw \cdot d \text{ dan } \frac{1,4}{f_y} bw \cdot d \dots\dots\dots (2.10)$ <p>2. Syarat batas rasio penulangan <math>p &lt; 0,025</math></p> <p>3. Paling sedikit harus disediakan 2 tulangan menerus sisi atas dan bawah</p>
	<b>Pasal 18.6.3.2</b>
	<p>1. Momen positif pada muka joint <math>\geq \frac{1}{2}</math> momen negatif pada joint</p> <p>2. Momen negatif atau positif <math>\geq \frac{1}{4}</math> momen maksimum pada joint</p>
<b>Sambungan Lewatan</b>	<p>1. Sambungan lewatan tulangan longitudinal diizinkan jika sengkang pengekang atau spiral dipasang sepanjang sambungan lewatan</p> <p>2. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung-lewatkan <math>&lt; d/4</math> dan <math>&lt; 100</math> mm (tidak boleh melebihi nilai terkecil)</p> <p>3. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada lokasi :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Dalam joint hubungan balok dan kolom</li> <li>b. Dalam jarak 2 x tinggi balok dari muka joint</li> <li>c. Dalam jarak dua kali tinggi balok dari penampang kritis di mana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik</li> </ol>
<b>Tulangan Transversal</b>	<p>1. Sengkang harus dipasang pada :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung balok</li> <li>b. Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik</li> </ol>

	<p style="text-align: center;"><b>Pasal 18.6.4.4</b></p> <p>2. Sengkang pengekang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu. Spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. <math>d/4</math></li> <li>b. 6x diameter terkecil batang tulangan lentur utama, tidak termasuk tulangan longitudinal samping yang disyaratkan pasal 9.7.2.3</li> <li>c. 150 mm</li> </ol>
	<p style="text-align: center;"><b>Pasal 18.6.4.5</b></p>
	<p>3. Bila diperlukan sengkang pengekang, sengkang pengekang tersebut harus didesain untuk menahan geser sesuai pasal 18.6.5</p> <p style="text-align: center;"><b>Pasal 18.6.4.6</b></p> <p>4. Bila sengkang pengekang tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempu pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari <math>d/2</math> sepanjang bentang balok.</p> <p>5. Sengkang yang diperlukan untuk menahan geser harus berupa sengkang sepanjang panjang komponen struktur seperti poin 1</p> <p>6. Sengkang pengekang pada balok diizinkan terdiri dari dua batang tulangan: yaitu sebuah sengkang yang mempunyai kait gempu pada kedua ujungnya dan ikat silang sebagai penutup. Ikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan longitudinal yang sama harus memiliki kait 90 derajat yang dipasang selang-seling pada sisi yang berlawanan dari komponen struktur lentur. Jika batang tulangan longitudinal yang ditahan oleh ikat silang dikekang oleh pelat hanya pada satu sisi komponen struktur lentur, maka kait 90 derajat dari ikat silang harus ditempatkan pada sisi tersebut.</p>

(Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 18.6.1 – 18.6.4.6 , Halaman 378-382)

## 2.6.2 Komponen Struktur yang Menerima Kombiasi Lentur dan Beban Aksial pada SRPMK (SNI 2847-2019 Pasal 18.7)

Dalam mendesain komponen struktur yang menerima lentur dan beban aksial dalam hal ini struktur yang menerima beban lentur dan aksial adalah kolom, sedangkan beban lentur diberikan kepada balok dan disalurkan beban lentur kepada kolom. Oleh karena itu, kolom harus berdasarkan dengan SNI 2847-2019 pasal 18.7.2.1 sampai 18.7.5.3 yang berbunyi :

Tabel 2.14 Persyaratan Komponen Lentur dan Aksial

	<b>KDS D, E, dan F</b>
<b>Umum</b>	<b>Pasal 18.7.2.1</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Beban aksial tekan berfaktor <math>P_u &gt; A_g \cdot f'_c / 10</math> ..... (2.11)</li> <li>2. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri <math>b_w &lt; 300</math> mm.</li> <li>3. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya <math>b_w/h &gt; 0,4</math></li> </ol>
<b>Kekuatan</b>	<b>Pasal 18.7.3.2</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kekuatan lentur kolom harus memenuhi : <math>\sum M_{nc} \geq (1,2)\sum M_{nb}</math> di mana <math>\sum M_{nc}</math> adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolomkolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di mukamuka joint. <math>\sum M_{nb}</math> = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.</li> <li>2. Kekuatan lentur harus dijumlahkan sedemikian hingga momenmomen kolom berlawanan dengan momen-momen balok. Persamaan <math>\sum M_{nc} \geq (1,2)\sum M_{nb}</math> harus dipenuhi untuk momenmomen balok yang bekerja pada kedua arah pada bidang vertikal rangka yang ditinjau</li> </ol>
	<b>Pasal 18.7.3.3</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Jika persyaratan diatas tidak dipenuhi pada suatu joint, kekuatan dan kekakuan lateral kolom yang</li> </ol>

	merangka ke dalam joint tersebut harus diabaikan saat menghitung kekuatan dan kekakuan struktur. Kolomkolom ini harus memenuhi pasal 18.14
<b>Tulangan Memanjang</b>	<b>Pasal 18.7.4.1</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Luas tulangan longitudinal <math>A_{st} &gt; 0,01A_g</math> dan <math>&lt; 0,06 A_g</math>.</li> <li>2. Sambungan mekanis harus memenuhi pasal 18.2.7 dan sambungan las pasal 18.2.8. Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal yang memenuhi pasal 18.7.5.2 dan pasal 18.7.5.3</li> </ol>
<b>Tulangan Transversal</b>	<b>Pasal 18.7.5.1</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tulangan transversal yang disyaratkan 18.7.5.2 hingga 18.7.5.4 harus dipasang sepanjang <math>\ell_o</math> dari masing-masing muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastik. Panjang <math>\ell_o</math> tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara : <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Tinggi kolom pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi</li> <li>b. <math>1/6</math> tinggi bersih kolom</li> <li>c. 450 mm</li> </ol> </li> <li>2. Tulangan transversal harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpuk (overlap), sengkang pengekang bundar, atau sengkang pengekang persegi, dengan atau tanpa ikat silang. Setiap</li> </ol>

tekukan ujung sengkang pengegang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar. Ikat silang dengan ukuran batang tulangan yang sama atau yang lebih kecil dari diameter sengkang pengegang diizinkan sesuai batasan pasal 25.7.2.2. Ikat silang yang berurutan harus diselang-seling ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang. Jika digunakan sengkang pengegang persegi ataupun ikat silang, tulangan transversal tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal sesuai pasal 25.7.2.2 dan pasal 25.7.2.3. Tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi  $h_x$  antara tulangan longitudinal di sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengegang  $< 350$  mm. Ketika  $P_u > 0,3 A_g \cdot f_c'$  atau  $f_c' > 70$  MPa pada kolom dengan sengkang pengegang, setiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang pengegang ataupun oleh kait gempa, dan nilai  $h_x$  tidak boleh lebih dari 200 mm.  $P_u$  harus merupakan gaya tekan terbesar yang konsisten dengan kombinasi beban terfaktor termasuk  $E$ .

**Pasal 18.7.5.3**

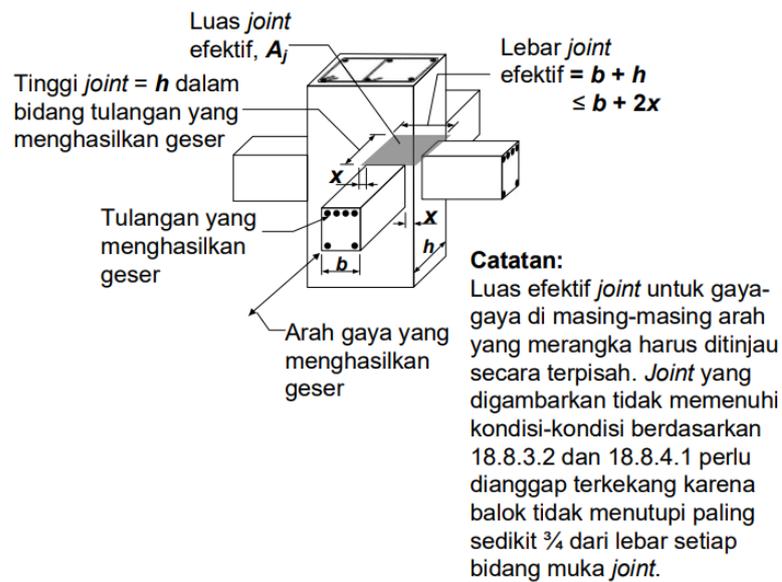
3. Spasi tulangan tansversal tidak melebihi nilai terkecil dari :
  - a.  $\frac{1}{4}$  dimensi terkecil penampang kolom

	<p>b. 6 x dimensi tulangan longitudinal terkecil</p> <p>c. <math>S_o</math> yang dihitung dengan <math>S_o = 100 + \left(\frac{350-hx}{3}\right)</math>          Nilai <math>S_o</math> tidak boleh <math>&gt; 150</math> mm dan tidak perlu kurang <math>&lt; 100</math> mm ..... (2.12)</p> <p>4. Jumlah tulangan transversal yang diisyaratkan dalam persamaan di bawah ini harus disediakan kecuali bila jumlah yang lebih besar diisyaratkan pada pasal 18.7.5.4</p> <p>a. Luas penampang total sengkang persegi, <math>A_{sh}</math>, tidak boleh kurang dari :</p>
	<p><math>A_{sh} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \frac{f_c'}{f_{yt}}</math> dan <math>A_{sh} = 0,9 \frac{f_c'}{f_{yt}}</math> .... (2.13)</p> <p>5. panjang <math>\ell_o</math> yang ditetapkan dalam point 1, kolom harus diberi tulangan sengkang yang memenuhi pasal 25.7.2 hingga pasal 25.7.4 dengan spasi <math>s</math> tidak melebihi nilai terkecil dari 6 x diameter tulangan longitudinal terkecil dan 150 mm, kecuali bila jumlah tulangan transversal yang lebih besar disyaratkan oleh pasal 18.7.4.3 atau pasal 18.7.6</p> <p>6. Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku yang tak menerus, seperti dinding. Karena pada pembahasan ini tidak menggunakan dinding kaku jadi syarat dapat diabaikan</p> <p>7. Jika tebal selimut beton di luar tulangan transversal pengekan yang ditetapkan berdasarkan 1, 5 dan 6 melebihi 100 mm, maka harus disediakan tulangan transversal tambahan dengan tebal selimut beton tidak melebihi 100 mm dan spasi tidak melebihi 300 mm.</p>

(Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 18.7.2.1 – 18.7.5.3 , Halaman 384-391)

### 2.6.3 Hubungan Balok Kolom

Hubungan Balok-Kolom atau biasa disebut HBK adalah daerah pertemuan antara kolom dan balok, daerah ini merupakan daerah yang harus didetailkan secara baik. Hal ini disebabkan oleh, terdapat risiko terjadinya sendi plastis. Untuk mendesain Hubungan Balok-Kolom dapat memperhatikan persyaratan SNI 2847-2019 di bawah ini :



Gambar 2.1 Hubungan Balok Kolom

Tabel 2.15 Hubungan Balok dan Kolom

	<b>KDS D, E, dan F</b>
	<b>Pasal 18.8.2.</b>
<b>Umum</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka joint harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah <math>1,25.f_y</math></li> <li>2. Tulangan longitudinal balok yang dihentikan di dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka terjauh dari inti kolom terkekang dan harus disalurkan dalam tarik sesuai pasal 18.8.5 dan dalam tekan sesuai pasal 25.4.9</li> <li>3. Bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui joint balok-kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang</li> </ol>

	<p>dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok</p>
<p><b>Kekuatan Geser</b></p>	<p><b>Pasal 18.8.4</b></p>
	<p>1. Beton berat normal, <math>V_a</math> joint tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari nilai yang ditetapkan sebagai :</p> <p>a. Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya <math>1,7\lambda \sqrt{f'c} A_j</math> ..... (2.14)</p> <p>b. Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan <math>1,2 \lambda \sqrt{f'c} A_j</math> .....(2.15)</p> <p>c. Untuk kasus-kasus lainnya <math>1,0 \lambda \sqrt{f'c} A_j</math> ..(2.16)</p>
<p><b>Tulangan Transversal</b></p>	<p><b>Pasal 18.8.3</b></p>
	<p>1. Tulangan transversal joint harus memenuhi 18.7.5.2, 18.7.5.3, 18.7.5.4, dan 18.7.5.7, kecuali sebagaimana yang diizinkan 18.8.3.2</p> <p>2. Bila pada keempat sisi joint terdapat balok yang merangka kepadanya dan bila lebar dari setiap balok tersebut setidaknya tiga perempat lebar kolom, maka jumlah tulangan yang diperlukan. diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang disyaratkan diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok <math>h</math> yang terendah yang merangka pada joint tersebut.</p> <p>3. Tulangan balok longitudinal di luar inti kolom harus dikekang dengan tulangan transversal yang melewati kolom yang memenuhi persyaratan spasi dari pasal 18.6.4.4</p>

**Pasal 18.8.5**

1. Untuk tulangan D10 hingga D36 yang ujungnya diberi kait standar, panjang penyaluran untuk beton normal tidak boleh kurang dari yang terbesar dari :
  - a.  $8d_b$
  - b. 150 mm
  - c. panjang yang diisyaratkan oleh persamaan berikut :  $d_h = f_y.d_b / 5,4\sqrt{f_c}$  ..... (2.17)
  - d. Kait 90° standar harus ditempatkan dalam inti terkekang kolom atau elemen batas, dengan kait ditekuk ke dalam joint
2. Untuk tulangan D10 hingga D36, panjang penyaluran tulangan tarik  $d$  untuk tulangan lurus tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara :
  - a. 2,5 kali panjang sesuai 18.8.5.1 bila beton yang dicor di bawah tulangan tersebut tidak melebihi 300 mm
  - b. 3,25 kali panjang sesuai pasal 18.8.5.1 bila tinggi beton yang dicor bersamaan dibawah batang tulangan melebihi 300 mm
3. Tulangan lurus yang berhenti pada joint harus melewati inti terkekang kolom atau elemen batas. Semua bagian  $d$  yang tidak berada di dalam inti terkekang harus diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali.

(Sumber : SNI 1726-2019 Pasal 18.8.2 – 18.8.5, Halaman 392-397)

**2.6.4 Strong Column Weak Beam**

Praja (2020) menyatakan, terdapat beberapa metode penerapan sistem SCWB (*Strong Column and Weak Beam*) pada struktur bangunan. Adapun metode yang dapat digunakan adalah sebagai berikut.

Pertama, dalam perencanaan struktur bangunan gedung, dimensi kolom harus direncanakan lebih besar perbandingannya terhadap dimensi balok. Metode ini merupakan prinsip dasar perencanaan mengenai estimasi dimensi dalam preliminary analisis.

Kedua, desain kapasitas kolom harus lebih besar dari kapasitas balok, dengan menggunakan konsep ini maka diharapkan bahwa kolom tidak akan mengalami kegagalan terlebih dahulu sebelum balok. Tulangan lentur harus dipilih sedemikian sehingga persyaratan terpenuhi. Sedangkan rasio tulangan harus dipilih sehingga terpenuhi syarat :  $0,01 < \rho_g < 0,06$ .

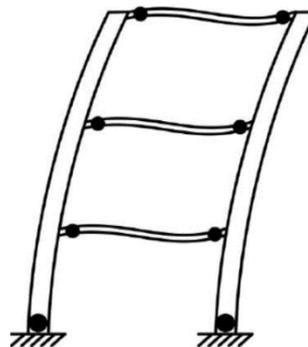
Hal ini akan membuat bangunan tetap berdiri, meskipun balok sudah mengalami sendi plastis sehingga penghuni masih memiliki waktu yang cukup untuk menyelamatkan diri meskipun gempa besar terjadi.

$$\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5} \sum M_{nb} \dots\dots\dots(2.18)$$

**Keterangan :**

$\sum M_{nc}$  = jumlah kuat lentur nominal kolom yang merangka pada suatu hubungan balok-kolom (HBK). Kuat lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang sesuai dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau yang menghasilkan nilai kuat lentur yang terkecil

$\sum M_{nb}$  = jumlah kuat lentur nominal balok yang merangka pada suatu hubungan balok-kolom (HBK).



Gambar 2.2 Konsep *Strong Column Weak Beam*

**2.7 Struktur Pondasi**

Pondasi adalah struktur bagian bawah pada suatu proyek konstruksi yang berfungsi untuk menyalurkan beban vertikal dari kolom dan juga beban horizontal dan disalurkan menuju ke bawah tanah. Pondasi merupakan kunci dari keberhasilan sebuah proyek konstruksi, karena pondasi menahan seluruh beban di atasnya yang telah disalurkan menuju

arah bawah. Oleh karena itu, pondasi harus direncanakan dengan baik agar dapat menghasilkan struktur bangunan yang kuat. (Christin dan Revo : 2018)

### 2.7.1 Tiang Pancang

Menurut Bowles, (1993) pondasi tiang pancang ialah merupakan sebuah tiang yang dipancangkan ke dalam tanah sampai kedalaman tertentu dengan tujuan untuk mentransmisikan beban dari struktur atas ke tanah pendukung. Material tiang pancang ini bisa berbahan dari kayu, baja, maupun beton. Pondasi tiang pancang digunakan apabila kedalaman tanah kerasnya berada pada kedalaman yang sangat dalam.

Dalam peraturan SNI 2847-2019 pasal 13.4.2 yang berbunyi, Ketebalan total *Pile Cap* harus sedemikian rupa sehingga tinggi efektif tulangan bawah tidak kurang dari 300 mm. Momen dan gaya geser terfaktor harus diizinkan untuk dihitung dari reaksi setiap tiang yang diasumsikan terkonsentrasi pada titik pusat penampang tiang.

Perumusan daya dukung *ultimate* pada sebuah pondasi, yaitu :

$$Q_{sp} = \frac{1}{FK} (f_b \cdot A_b + U \sum_{i=1}^n l_i f_{si}) \dots\dots\dots(2.19)$$

**Keterangan :**

- Qsp = daya dukung vertikal yang diijinkan
- FK = faktor keamanan (1-3)
- Fb = tahanan ujung tiang (ton/m<sup>2</sup>)
- Ab = luas penampang ujung tiang (m<sup>2</sup>)
- U = keliling tiang (m)
- Li = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (m)
- Fsi = intensitas tahanan geser gempa (ton/m<sup>2</sup>)

Adapun cara untuk menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil uji sondir sebagai berikut :

1. Panjang ekuivalen dari penetrasi tiang
  - N rata-rata pada jarak 8D ke atas dari ujung N1
  - N rata-rata pada jarak 4D dari ujung tiang N2
  - N rata-rata  $N = \frac{N1+N2}{2} \dots\dots\dots(2.20)$
2. Menghitung gaya geser dinding tiang pancang dengan perhitungan :
  - a. Menentukan harga rata-rata N bagi lapisan-lapisan tanah
  - b. Mmemperkirakan gaya geser dinding tanah

c. Menghitung sumbangan gaya geser tiang

Total gaya geser maksimum pada dinding tiang :

$$Q_f = U \sum l_i f_{si} \dots \dots \dots (2.21)$$

$$Q_{sp} = 1 SF (Q_p + Q_f) \dots \dots \dots (2.22)$$

Daya dukung tiang pancang diambil nilai terkecil antara kekuatan bahan atau kekuatan tanah

3. Merencanakan tiang pancang kelompok

Menghitung jarak tiang ini berdasarkan dari Dirjen Bina Marga Departemen PU sebagai berikut :

$$1,5D \leq S \leq 3,5D \dots \dots \dots (2.23)$$

Jarak tepi tiang pancang

$$D \leq S_1 \leq 1,5 \dots \dots \dots (2.24)$$

4. Kontrol kebutuhan tiang pancang

$$n = \sum p / p_{ijin} \dots \dots \dots (2.25)$$

p tiang yang diizinkan :

$$P = \frac{\sum p}{n} \pm \frac{m_y \times X_{maks}}{\sum x^2} \pm \frac{m_x \times Y_{maks}}{\sum y^2} \dots \dots \dots (2.26)$$

$$P_{maks} = \frac{\sum p}{n} \pm \frac{m_y \times X_{maks}}{\sum x^2} \pm \frac{m_x \times Y_{maks}}{\sum y^2} < P_{ijin} \dots \dots \dots (2.27)$$

$$P_{min} = \frac{\sum p}{n} \pm \frac{m_y \times X_{maks}}{\sum x^2} \pm \frac{m_x \times Y_{maks}}{\sum y^2} > 0 \dots \dots \dots (2.28)$$

Daya dukung pondasi kelompok menurut Converse Labarre :

$$Q_{tiang} = \eta \times P_{ijin} \times P_{maks} \dots \dots \dots (2.29)$$

$$\text{Effisiensi } (\eta) = 1 - \left( \text{arc } \theta \left( \frac{D}{S} \right) \right) \cdot \left( \frac{m(n-1) + n(m-1)}{m.n.90} \right) \dots \dots \dots (2.30)$$

5. Cek kekuatan

$$P_{maks} < (P_{ijin} \times \eta) \dots \dots \dots (2.31)$$

**2.7.2 Pile Cap**

Menurut Pamungkas dan Harianti (2013: 87) jarak tiang mempengaruhi ukuran *Pile Cap*. Jarak tiang pada kelompok tiang biasanya diambil  $2,5D \sim 3 D$ , di mana D adalah diameter tiang. Merencanakan tebal *pilecap* harus memenuhi syarat bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser *pilecap* yang terjadi. Menurut persyaratan SNI 2847-2019, yaitu pada pasal :

**SNI-2847-2019 pasal 13.4.2**, Ketebalan pondasi telapak diatas lapisan tulangan bawah tidak boleh kurang dari 300 mm untuk pondasi telapak diatas pancang.

**SNI-2847-2019 pasal 20.6**, Tebal selimut beton minimum untuk beton yang dicor langsung diatas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah adalah 75 mm

Kuat geser yang terjadi disumbangkan oleh beton sesuai dengan SNI 2847-2019 dan diambil nilai terkecil dari :

$$1. V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots(2.32)$$

$$2. V_c = 0,083 \left(\frac{A_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots(2.33)$$

$$3. V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots(2.34)$$

**Keterangan :**

$\beta$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom (h/b)

d = tinggi efektif (mm)

b<sub>o</sub> = keliling dari penampang kritis pada pilecap (mm)

A<sub>s</sub> = 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi dan 20 untuk kolom sudut

$$\phi V_c > \sum p_t \dots\dots\dots(2.35)$$