

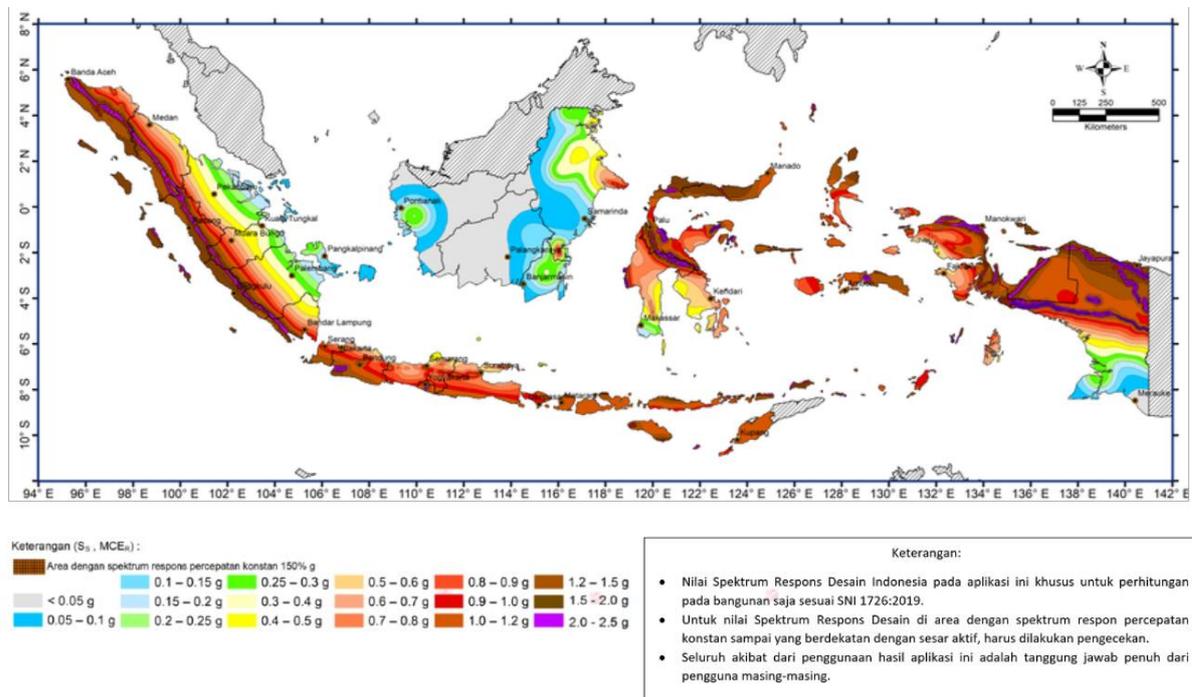
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Wilayah Gempa

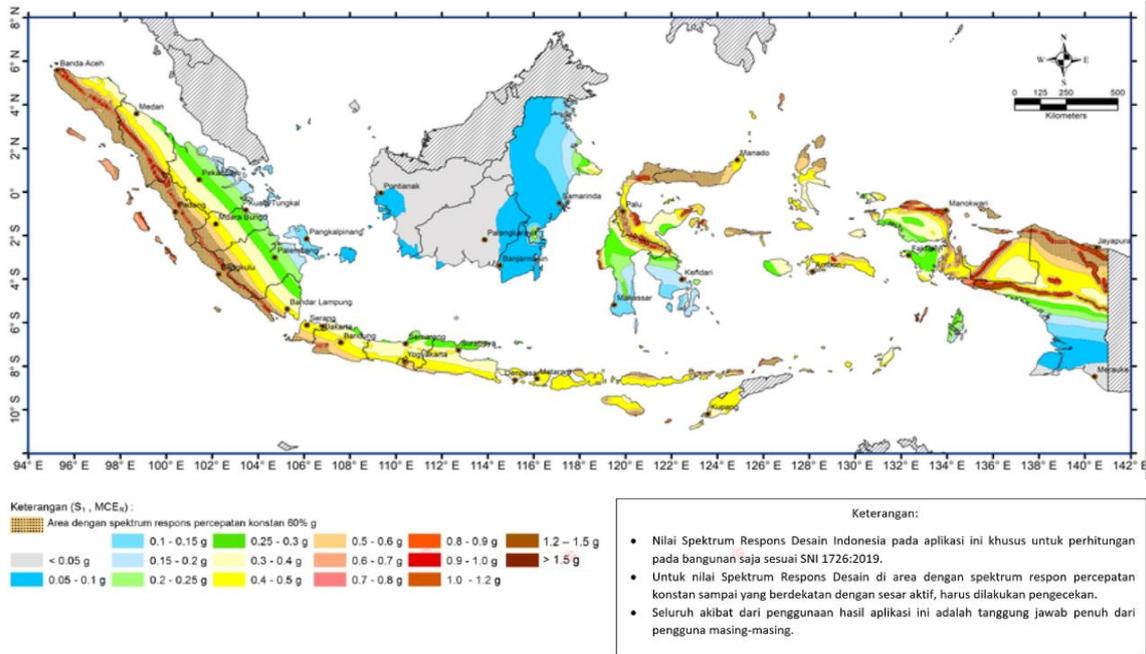
Berdasarkan SNI-1726-2019 pasal 6, wilayah gempa ditetapkan berdasarkan parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun ( $MCE_R$ , 2% dalam 50 tahun).

Untuk klasifikasi wilayah gempa, peta gempa terbaru ini menggunakan warna-warna yang menunjukkan parameter  $S_s$  dan  $S_1$  untuk setiap besaran spektrum respon percepatan. Untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan pada Gambar 2.1 Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 detik ( $S_s$ ) dan Gambar 2.2 Peta Respons Spektra Percepatan 1 detik ( $S_1$ ).



**Gambar 2.1** Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 detik ( $S_s$ )

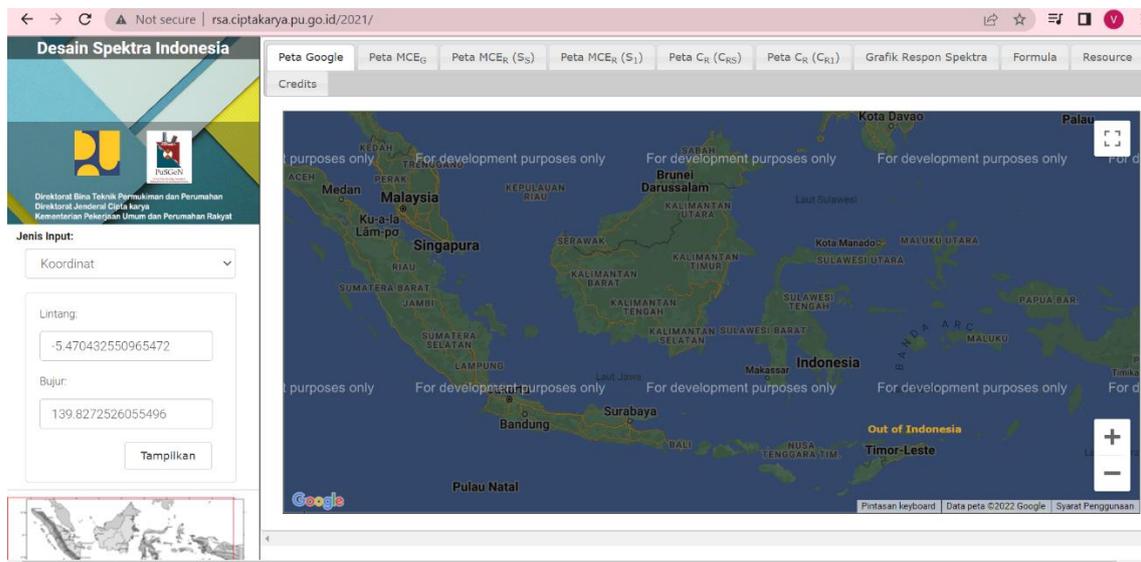
*Sumber:* <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>



**Gambar 2.2** Peta Respons Spektra Percepatan 1 detik (S<sub>1</sub>)

**Sumber:** <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>

Dalam peta zona seismik ini, masing-masing warna mewakili ukuran suatu parameter Percepatan batu dari terendah ke tertinggi. Daerah yang tidak berwarna (area abu-abu) adalah daerah yang tidak terkena gempa karena letaknya jauh dari lempeng benua yang menjadi pusat gempa. Untuk mengetahui nilai percepatan batuan di setiap kota yang lebih akurat dari peta di atas, dapat dilakukan analisa menggunakan program bantu Desain Spektra Indonesia, yang dapat ditemukan di situs web: <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>, dengan tampilan seperti pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Desain Spektra Indonesia

Selain nilai percepatan batuan, dalam program bantu Desain Spektra Indonesia juga dapat diketahui nilai parameter, faktor amplifikasi hingga periode getar untuk tiap-tiap daerah yang ditinjau.

## 2.2. Resiko Gempa Tinggi

Pada wilayah resiko gempa tinggi bila terjadi gempa maka kekuatan getar gempa yang sampai di permukaan dapat merusak struktur bangunan. Kekuatan gempa pada setiap daerah berbeda-beda dikarenakan berbeda pula respon spektrumnya. Dalam hal ini faktor sifat tanah dan profil tanah juga menyebabkan tiap kota berbeda-beda, dengan itu perlu dilakukan klasifikasi berdasarkan jenis tanah wilayah setempat.

### 2.2.1. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs ini terdapat penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs yang memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Berdasarkan profil tanah lapisan 10 meter paling atas sesuai dengan pasal 5.3 SNI 1726-2019. Klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Kualifikasi Situs

| 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                           | $\geq 100$        |
| SD (tanah sedang)                                                                                                          | 175 sampai 350                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 15 sampai 50                  | 15 sampai 100     |
| SE (tanah lunak)                                                                                                           | <175                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <15                           | <15               |
|                                                                                                                            | Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:<br>1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ ,<br>2. Kadar air, $w \geq 40\%$ ,<br>3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa                                                                                  |                               |                   |
| SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0) | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:<br>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifikasi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah<br>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) |                               |                   |

**Sumber:** SNI 1726-2019, Pasal 5.3

### 2.2.2. Menentukan Respon Spektra

Dalam SNI 1726-2019 pasal 6.2, disebutkan bahwa untuk penentuan respons spectral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismic pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter respons spectral percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

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

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

Keterangan:

$S_s$  = Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek, 0,2 detik.

$S_1$  = Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1 detik.

Dengan koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  mengikuti Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

**Tabel 2.2** 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, $S_s$ |              |              |             |              |                |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|----------------|
|             | $S_s \leq 0,25$                                                                                                                                             | $S_s = 0,25$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s = 1,25$ | $S_s \geq 1,5$ |
| 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, pasal 6.2

Catatan:

SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.10.1.

**Tabel 2.3** Kualifikasi Situs ( $F_v$ )

| Kelas Situs | Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$ |             |             |             |             |                |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
|             | $S_1 \leq 0,1$                                                                                                                                | $S_1 = 0,2$ | $S_1 = 0,3$ | $S_1 = 0,4$ | $S_1 = 0,5$ | $S_1 \geq 0,6$ |
| 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          | $SS^{(a)}$                                                                                                                                    |             |             |             |             |                |

*Sumber: SNI 1726-2019, pasal 6.2*

Catatan:

SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.10.1.

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots \dots \dots (2.4)$$

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.4, bila spektrum respon desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 2.4 spektrum respons desain, dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

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

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots \dots \dots (2,5)$$

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,  $S_a$ , di ambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots \dots \dots (2,6)$$

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

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots \dots \dots (2,7)$$

Keterangan:

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

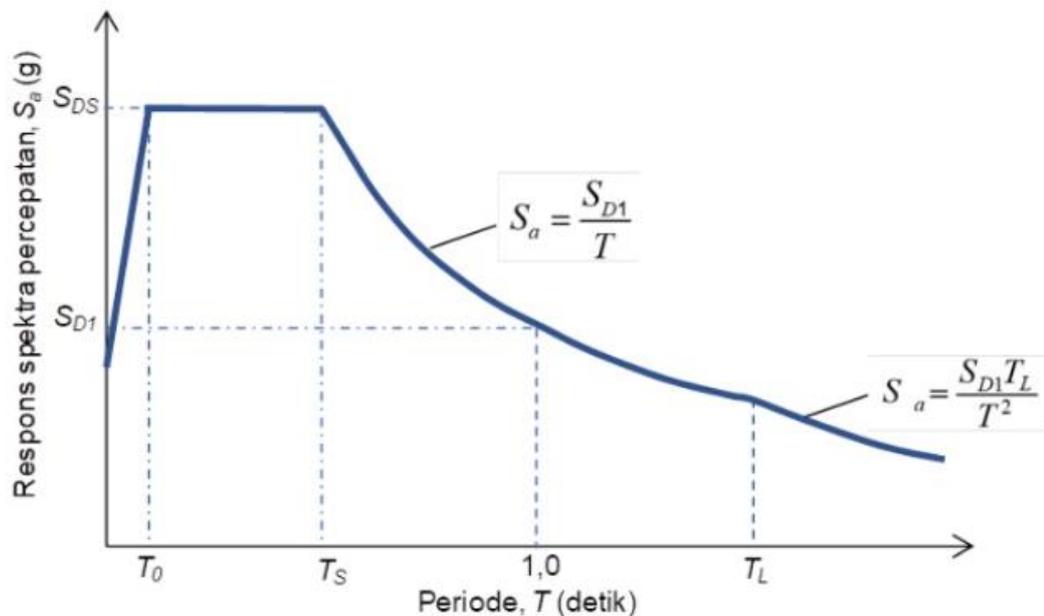
$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

$T$  = Periode getas fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2,8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2,9)$$

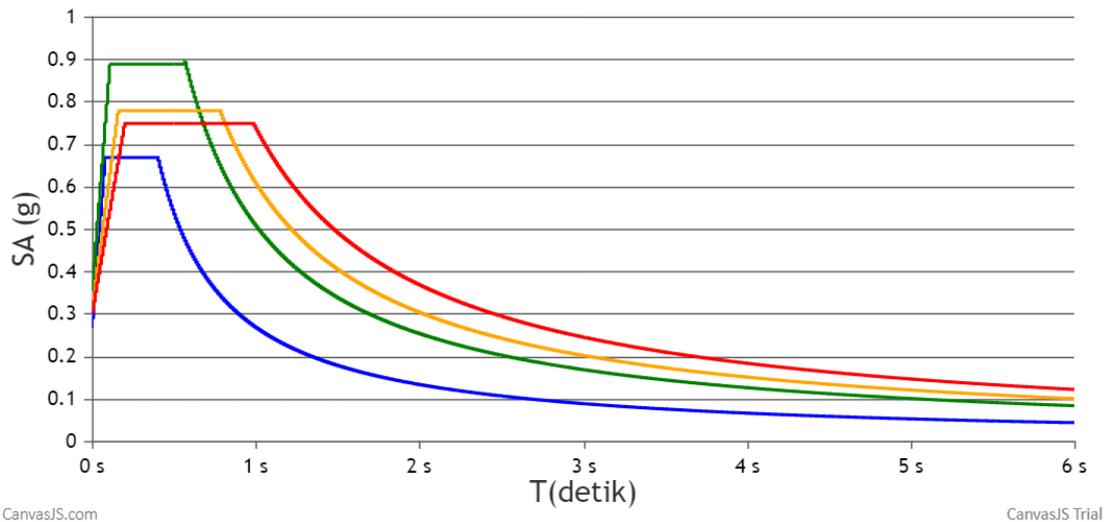
$T_L$  = peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Spektrum Respons Desain

Kurva spektrum respons desain dapat ditemukan melalui link <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> kurva ini menggambarkan fungsi dari percepatan respons spektrum ( $S$ ) terhadap periodenya ( $T$ ). Dapat dilihat pada Gambar 2.5 grafik respon spektra yang berlokasi di Yogyakarta.

## Spektrum Respon Desain



| Kelas | T0(detik) | Ts(detik) | Sds(g) | Sd1(g) |
|-------|-----------|-----------|--------|--------|
| SB    | 0.08      | 0.40      | 0.67   | 0.27   |
| SC    | 0.11      | 0.57      | 0.89   | 0.51   |
| SD    | 0.16      | 0.78      | 0.78   | 0.61   |
| SE    | 0.20      | 0.99      | 0.75   | 0.74   |

**Kelas** Semua v

**Rentang T(s)**   
Value: 6

**PGA MCEG** 0.4905 **(g) bedrock**

**SS MCEr** 1.1070 **(g) bedrock**

**S1 MCEr** 0.5070 **(g) bedrock**

**TL** 6 **Detik**

**Jenis Input:** Koordinat v

Lintang: -7.8

Bujur: 110.35

**Gambar 2.5** Grafik Respon Spektra Lokasi Yogyakarta

### 2.3. Beton Bertulang

Berdasarkan SNI 2847-2019, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Peningkatan kekuatan beton sebesar 16% pada umur 1 hari, 40% pada umur 3 hari, 65% pada umur 7 hari, 90% pada umur 14 hari, dan akan mencapai 99% kekuatan pada umur 28 hari. Karena kekuatan beton 99% pada umur 28 hari, hasil ini sangat mendekati kekuatan akhir yang dapat dicapai sebenarnya dalam waktu 1 atau 2 tahun kemudian, sehingga pengujian kuat tekan beton dapat dilakukan hanya dalam umur 28 hari.

Sifat utama dari beton, yaitu sangat kuat terhadap beban tekan, tetapi juga bersifat getas/mudah patah atau rusak terhadap beban tarik. Sedangkan sifat utama besi tulangan, yaitu kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Dari sifat utama tersebut, maka jika kedua bahan (beton dan besi bertulang) dipadukan menjadi satu-kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beton bertulang memiliki keuntungan dan kerugian seperti pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Keuntungan dan Kerugian Beton Bertulang

| <b>Kelebihan</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Kekurangan</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.</li><li>- Mampu memikul beban yang berat.</li><li>- Tahan terhadap gempa dan temperatur yang tinggi.</li><li>- Biaya pemeliharaan yang kecil.</li><li>- Ukuran lebih kecil jika dibandingkan dengan beton tak bertulang atau pasangan batu.</li><li>- Sebagai lantai dasar/pondasi pada tanah yang jelek/lembek sangat baik.</li><li>- Menyerap/menginstolir suara.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.</li><li>- Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.</li><li>- Tidak dapat dibongkar pasang /dipindahkan.</li><li>- Berat konstruksi besar jika dibandingkan dengan konstruksi kayu/baja.</li><li>- Bongkaran tidak dapat dipakai kembali.</li></ul> |

## 2.4. Sistem Rangka Pemikul Momen

Menurut buku “Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa” oleh Prof. Ir. Rachmat Purwono, M.Sc dalam tugas akhir Jose Manuel Freitas Belo (2015) menyatakan bahwa perencanaan struktur beton bertulang tahan gempa menggunakan sistem rangka pemikul momen adalah suatu sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur dan *joint-jointnya* menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial.

Ciri-ciri SRPM adalah beban lateral khususnya gempa, ditransfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom, jadi peranan sambungan balok-kolom sangat penting. SRPM dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), untuk daerah yang berada di wilayah gempa kecil dengan kategori disain seismik (KDS) A dan B.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), untuk daerah yang berada di wilayah gempa sedang dengan kategori disain seismik (KDS) A, B dan C.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), untuk daerah yang berada di wilayah gempa tinggi dengan kategori disain seismik (KDS) A, B, C, D, E, dan F.

Sistem Rangka Pemikul Khusus (SRPMK) adalah desain struktur beton bertulang dengan pendetailan yang menghasilkan struktur yang fleksibel (memiliki daktilitas yang tinggi), yaitu mampu mengalami siklus respon inelastik pada saat menerima beban gempa rencana.

Pemilihan metode pada perencanaan SRPMK ini memiliki keuntungan yaitu tidak memerlukan dinding geser (*shearwall*), ataupun breasing vertikal maupun diagonal, banyaknya sendi plastis yang memiliki kapasitas yang besar untuk memancarkan gaya gempa. SRPMK berfungsi mengontrol kelelahan yang terjadi di bagian struktur yang direncanakan mengalami kondisi leleh. Jika balok terkena momen akibat gaya gravitasi relatif lebih kecil dari akibat momen gaya gempa, maka kelelahan pada balok akan terjadi di tepi-tepi balok dekat kolom. Hal ini mengalami siklus dari momen negatif dan momen positif saat struktur bergerak ke arah kanan- kiri.

Sebaliknya, jika momen akibat gaya gravitasi relatif lebih besar dari momen akibat gaya gempa, sendi plastis akan berpindah agak di tengah balok. Saat berkebalikan, sendi plastis akan berpindah ke sisi lainnya, namun bila tidak sampai ditepi balok. Hal ini membuat sendi plastis tidak mengalami momen yang berkebalikan sehingga menyebabkan deformasi yang

terus bertambah. Perilaku ini dapat dihindari bila momen akibat gaya gempa lebih besar dari momen akibat gaya gravitasi. Untuk membentuk sendi plastis tersebut adalah dengan cara memperlemah bagian balok (*Strong Column Weak Beam*), sendi plastis dipasang pada lokasi tertentu dalam bentangan balok dan kolom agar dapat berperilaku duktail. Sendi plastis dipasang sesuai ketentuan sebagai berikut:

1. Sendi plastis balok dipasang pada ujung kanan dan ujung kiri dengan jarak  $2h$  dari tepi kolom dengan  $h$  adalah tinggi penampang balok.
2. Sendi plastis kolom dipasang pada ujung-ujung kolom atas dan bawah. Sendi plastis kolom dipasang pada jarak  $l_o$  dari muka joint dengan ketentuan sebagai berikut:

$$l_o \geq 1/6 \text{ dari tinggi bersih kolom}$$

$$l_o \geq \text{dimensi terbesar penampang kolom}$$

$$l_o \geq 450 \text{ mm}$$

Struktur SRPMK diharapkan memiliki tingkat daktilitas yang tinggi, yaitu mampu menerima mengalami siklus respon inelastic pada saat menerima beban gempa rencana. Pendetailan dalam ketentuan SRPMK adalah untuk memastikan bahwa respon inelastis dari struktur bersifat duktail. Prinsip ini terdiri dari 3 :

1. Strong-Column/weak beam
2. Menghindari kegagalan geser pada balok, kolom dan joint
3. Pendetailan yang memungkinkan perilaku duktail

## **2.5. Analisa Beban Lateral Rencana**

Analisa beban lateral rencana sesuai dengan SNI 1726-2019 yang mengatur tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Ada beberapa hal yang menjadi perhatian, yaitu faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan dan kategori desain seismik.

### **2.5.1. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan**

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 4.1.2, kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai dengan Tabel 2.5 yaitu pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa  $I_e$  menurut Tabel 2.5. Struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur

bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

**Tabel 2.5** Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

| Jenis pemanfaatan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Kategori risiko |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <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               |
| <p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <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              |
| <p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <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>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | III             |
| <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <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> | III             |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <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 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 kendaraan darurat</li> <li>- 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</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p> | IV |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

**Tabel 2.6** Faktor Keutamaan Gempa

| Kategori risiko | Faktor keutamaan gempa, $I_e$ |
|-----------------|-------------------------------|
| I atau II       | 1,00                          |
| III             | 1,25                          |
| IV              | 1,50                          |

*Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 4.1.2*

### 2.5.2. Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti SNI 1726-2019 pasal 6.5. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_I$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E.

**Tabel 2.7** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon 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 1726-2019 pasal 6.5*

Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_I$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya,  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ .

**Tabel 2.8** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode 1 Detik

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

*Sumber: SNI 1726-2019 pasal 6.5*

- **Penetapan (KDS) Kategori Desain Seismik Struktur**

Perencanaan struktur bangunan harus menetapkan kategori desain seismik sesuai dengan lokasi perencanaan pembangunan struktur. Saat menetapkan kategori harus sesuai dengan SNI 2847-2019 yang merujuk pada SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Struktur yang memiliki kategori desain seismik D, E atau F harus memenuhi pasal 18.2.2 hingga 18.2.8 dan 18.12 hingga 18.14.

- **Beton dan Tulangan pada Rangka Momen Khusus**

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.2.5 dan 18.2.6. kekuatan tekan maksimum yang disyaratkan untuk beton ringan dapat digunakan dalam perhitungan desain

struktural dibatasi hingga 35 MPa. Penggunaan tulangan longitudinal dengan kekuatan yang jauh lebih tinggi dari yang diasumsikan dalam desain akan menyebabkan tegangan geser dan lekatan yang tinggi pada saat momen leleh terjadi. Oleh karena itu, batas atas terletak pada kekuatan leleh aktual dari baja tulangan paduan-rendah (*low-alloy*) termasuk didalamnya Mutu 420 dan Mutu 550.

## 2.6. Konsep Desain

Pokok-pokok pedoman atau persyaratan umum analisa dan desain bangunan yang terkena beban gempa harus sesuai dengan SNI terbaru, sebagai berikut:

### 1. Mutu Bahan

Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) sesuai SNI-2847-2013 pasal 21.1.4.2 bahwa kuat tekan beton yang dipakai tidak boleh kurang dari 20 MPa. Kuat tekan 20 MPa atau lebih dipandang menjamin kualitas beton. Untuk perencanaan gedung ini digunakan kuat tekan beton ( $f_c'$ ) sebesar 35 MPa.

### 2. Kategori Desain Seismik

Kategori untuk perencanaan gedung ini memakai kategori D dalam SNI 1726-2019 bisa disebut dalam gempa Resiko Gempa Tinggi.

### 3. Ketentuan Umum Syarat Pendetailan

Untuk daerah dengan kategori desain D, E dan F dalam SNI 1726-2012 peraturan yang berlaku selain SNI 2847 pasal 3 s/d 20 ditambah pasal 23.2 s/d 23.8 yang merupakan pendetailan khusus untuk sistem penahan gempa.

### 4. Jenis Tanah Setempat

Menurut data tanah yang terlampir Kategori Gedung menurut SNI 1726-2019 tabel 3, gedung ini termasuk "Gedung Apartemen/rumah susun" dengan Faktor Keutamaan (II) 1,0.

### 5. Konfigurasi Struktur Gedung

Untuk gedung yang tidak beraturan (tonjolan di luar gedung utama lebih dari 25%) yang telah diatur dalam SNI 03-1726-2002 pasal 4.2.2. Untuk analisa gempa yang digunakan yaitu Analisa Statik Ekuivalen diatur dalam SNI 1726-2012 pasal 6.

## 6. Sistem Struktur

Karena perancangan gedung ini pada kategori D, maka perhitungan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan harus memenuhi persyaratan desain pada SNI-2847-2019 pasal 18.2.3. hingga 18.2.8, 18.6 dan 18.8.

**Tabel 2.9** Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem pemikul gaya sesismik

| Sistem pemikul gaya seismik                   | Koefisiensi modifikasi respons, $R^a$ | Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$ | Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$ | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup> |    |       |       |       |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|-------|-------|-------|
|                                               |                                       |                                        |                                     | Kategori desain seismik                                                     |    |       |       |       |
|                                               |                                       |                                        |                                     | B                                                                           | C  | $D^e$ | $E^e$ | $F^f$ |
| <b>Sistem rangka pemikul momen</b>            |                                       |                                        |                                     |                                                                             |    |       |       |       |
| Rangka beton bertulang pemikul momen khusus   | 8                                     | 3                                      | $5\frac{1}{2}$                      | TB                                                                          | TB | TB    | TB    | TB    |
| Rangka beton bertulang pemikul momen menengah | 5                                     | 3                                      | $4\frac{1}{2}$                      | TB                                                                          | TB | TI    | TI    | TI    |
| Rangka beton bertulang pemikul momen biasa    | 3                                     | 3                                      | $2\frac{1}{2}$                      | TB                                                                          | TI | TI    | TI    | TI    |

*Sumber: SNI 1726-2019, Tabel 12*

**Catatan:** TB = Tidak dibatasi      TI = Tidak diizinkan

## 7. Eksentrisitas Rencana ( $e_d$ )

Eksentrisitas rencana  $e_d$  antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat dihitung menurut SNI 1726 Ps 5.4.3. dimana pusat massa gedung ini adalah gaya gempa dinamik (pengaruh gempa yang sesungguhnya di tiap join-join akibat gerakan tanah), sedangkan pusat rotasi adalah titik pada lanantai yang ditinjau yang bila suatu beban horizontal bekerja padanya, lantai tersebut tidak berotasi, tetapi hanya bertransasi.

## 8. Syarat Kekakuan Komponen Struktur (Syarat Permodelan)

Suatu struktur harus memiliki kekakuan yang cukup sehingga pergerakannya dapat dibatasi. Kekakuan struktur dapat diukur dari besarnya simpangan antar lantai, kekakuan bahan dipengaruhi oleh modulus elastisitas bahan dan ukuran elemen struktur. Dan modulus elastisitas berbanding lurus dengan kekuatan bahan, maka semakin kuat bahan maka bahan tersebut juga semakin kaku.

## 9. Pengaruh Arah Pembebanan Gempa

Pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama (kritis) harus dianggap 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%.

## 10. Integritas Struktur

### a. Komponen Lentur

Komponen lentur SRPMK di atur dalam SNI 2847-2019 Pasal 18.6.

### b. Komponen Terkena Beban Lentur dan Aksial

Komponen terkena beban lentur dan aksial SRPMK diatur dalam SNI 2847-2019 pasal 18.7

### c. Hubungan Balok Kolom (HBK)

Syarat pendetailan HBK di atur dalam SNI 2847-2019 pasal 18.8

### d. Kuat Geser

Untuk komponen lentur gaya geser rencana diatur dalam SNI 2847-2019 pasal 18.8

## 2.7. Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Sistem Perencanaan struktur gedung tahan gempa, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7 tentang persyaratan desain seismik struktur bangunan gedung adalah sebagai berikut:

### 1. Struktur atas dan struktur bawah

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.1, struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan bawah. Struktur atas adalah bagian dari suatu bangunan gedung yang berada di atas muka tanah. Struktur bawah adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang terletak di bawah muka tanah, yang terdiri dari struktur basemen, dan/atau struktur pondasinya.

### 2. Persyaratan dasar

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.1.1, struktur bangunan gedung harus memiliki sistem pemikul gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah seismik desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan perlu.

### 3. Desain komponen struktur, desain sambungan, dan batasan deformasi

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.1.2, komponen struktur individu termasuk yang bukan merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik, harus disediakan dengan

kekuatan yang cukup untuk menahan geser, gaya aksial, dan momen. Deformasi struktur tidak boleh melebihi batasan yang ditetapkan pada saat struktur tersebut dikenai gaya seismik desain.

#### **4. Lintasan beban dan keterhubungan yang menerus**

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.1.3, semua bagian struktur antara sambungan pemisah harus terhubung untuk membentuk lintasan menerus ke sistem pemikul gaya seismik, dan sambungan harus mampu menyalurkan gaya seismik ( $F_p$ ) yang ditimbulkan oleh bagian-bagian yang terhubung. Gaya desain sambungan tidak perlu melebihi gaya maksimum yang dapat disalurkan oleh sistem struktur ke sambungan.

#### **5. Sambungan ke tumpuan**

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.1.4, sambungan positif untuk menahan gaya horizontal yang bekerja parallel terhadap komponen struktur harus disediakan untuk setiap balok, girder, atau rangka batang, baik secara langsung ke elemen tumpuannya, atau ke pelat yang didesain sebagai diafragma. Sambungan harus mempunyai kekuatan desain minimum sebesar 5% dari total reaksi beban mati dan beban hidup.

#### **6. Desain fondasi**

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.1.5, fondasi harus didesain untuk menahan gaya yang dihasilkan dan mengakomodasi pergerakan yang disalurkan ke struktur dan fondasi oleh gerak tanah seismik desain. Sifat dinamik gaya, gerak tanah yang diperkirakan, dasar desain untuk kekuatan dan kapasitas disipasi energi struktur, serta sifat dinamik tanah harus disertakan penentuan kriteria desain fondasi. Beban mati diizinkan untuk menyertakan material timbunan dan perkerasan di atas fondasi. Sistem fondasi tidak boleh gagal terlebih dahulu daripada struktur atas.

#### **7. Persyaratan desain dan pendetailan material**

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.1.6, elemen struktur termasuk elemen fondasi harus memenuhi persyaratan desain dan pendetailan material.

## 2.8. Pemilihan Sistem Struktur

Sistem dasar pemikul gaya seismic lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan oleh faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  atau kombinasi sistem seperti dalam pasal 7.2.2, 7.2.3, dan 7.2.4 pada SNI 1726-2019. Masing-masing sistem terbagi berdasarkan tipe elemen vertikal pemikul gaya seismic lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur,  $h_n$ . Koefisien modifikasi respons  $R$ , faktor kuat lebih sistem,  $\Omega_0$ , dan faktor pembesaran simpangan lateral,  $C_d$ , yang harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain.

Setiap sistem pemikul gaya seismic yang dipilih harus didesain dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus untuk sistem tersebut sebagaimana ditetapkan dalam dokumen acuan yang berlaku seperti terdaftar dalam Tabel 12 pada pasal 7.2.2 SNI 1726-2019.

### 2.8.1. Prosedur Analisis

Analisis struktur yang disyaratkan oleh SNI 1726-2019 harus terdiri dari salah satu tipe yang diizinkan pada Tabel 2.10 dibawah ini.

**Tabel 2.10** Prosedur Analisis Yang Digunakan

| Kategori desain seismik | karakteristik struktur                                                                                                                                                 | Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0 | Analisis spektrum respons ragam pasal 0 | Analisis respons riwayat waktu seismik pasal 0 |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>B, C</b>             | Semua struktur                                                                                                                                                         | I                                       | I                                       | I                                              |
| <b>D, E, F</b>          | Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar                                                                                   | I                                       | I                                       | I                                              |
|                         | Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggian tidak melebihi 48,8 m                                                                                        | I                                       | I                                       | I                                              |
|                         | Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$                                                                         | I                                       | I                                       | I                                              |
|                         | Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidak beraturan horizontal tipe 2,3,4, atau 5 atau ketidak beraturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b | I                                       | I                                       | I                                              |
|                         | Semua struktur lainnya                                                                                                                                                 | TI                                      | I                                       | I                                              |

*Sumber: SNI 1726-2019 hal 68*

**Catatan:** I: Diizinkan, TI: Tidak Diizinkan

### 2.8.2. Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental struktur,  $T$  yang dimaksud adalah lamanya getaran gedung saat terjadi gempa di arah horizontal. Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \dots \dots \dots (2,10)$$

Keterangan:

$T_a$  = Periode fundamental pendekatan (detik)

$h_n$  = Ketinggian struktur (m)

$C_t$  dan  $x$  = Parameter periode pendekatan yang ditentukan pada tabel dibawah ini.

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

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

**Sumber:** SNI 1726-2019 pasal 7.8.2.1

### 2.8.3. Distribusi Gaya Gempa

Setelah menentukan periode fundamental pendekatan dari struktur bangunan, berikutnya menghitung distribusi gaya gempa yang berdasarkan beban geser dasar seismik yang terbagi disepanjang tinggi struktur gedung yang akan direncanakan.

$$V = C_s W \dots \dots \dots (2,11)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (2,12)$$

(SNI 1726-2019 pasal 7.8.1)

Keterangan:

$V$  = beban geser dasar seismik

$C_s$  = koefisien respon seismik

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respon desain periode pendek

$W$  = berat total gedung

$R$  = koefisien modifikasi respon

Beban geser dasar seismik dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi gaya gempa nominal statik ekuivalen  $F_i$  yang menangkap pusat massa lantai tingkat ke-I pada persamaan:

$$F_i = \frac{W_i \cdot Z_i^k}{\sum W \cdot Z^k} \cdot V \dots \dots \dots (2,13)$$

Keterangan:

$F_i$  = beban gaya gempa nominal statik ekuivalen.

$W_i$  = berat lantai I, dan beban hidup yang sesuai.

$Z_i$  = Elevasi pada lantai tingkat I, dapat diukur dari taraf penjepit lateral.

$k$  = eksponen yang terkait dengan periode struktur,  $T_a \leq 0,5$  maka  $k=1$  jika

$T_a \geq 0,5$  maka  $k=2$  atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

#### 2.8.4. Simpangan Horisontal Struktur

Gaya gempa yang bekerja pada sepanjang tinggi struktur bangunan mengakibatkan struktur mengalami simpangan ke arah horisontal, untuk besarnya simpangan horisontal sendiri perlu dihitung untuk menentukan periode alami fundamental struktur.

#### 2.8.5. Periode Alami Fundamental Struktur

Akibat gaya gempa terjadi disepanjang tinggi suatu bangunan, jadi struktur bangunan akan mengalami simpangan kearah horisontal. Besar nilai simpangan arah horizontal juga

perlu diperhitungkan untuk menentukan periode alami fundamental dari komponen strukturnya. Durasi getar digunakan disetiap arah dari bangunan, dihitung berdasarkan besarnya arah simpangan horisontal yang terjadi di suatu struktur bangunan akibat gaya gempa horisontal.

Simpangan horisontal dari suatu struktur bangunan dapat dihitung menurut analisis struktur secara manual, atau menggunakan program bantu struktur computer. Durasi getar alami fundamental ( $T_R$ ) dari struktur suatu gedung beraturan dalam arah tiap sumbu utama dapat ditentukan menggunakan rumus Rayleigh sebagai berikut:

$$T_R = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} \dots\dots\dots(2,14)$$

Keterangan:

$W_i$  = berat lantai ke-I

$d_i$  = simpangan horisontal lantai ke-I

$F_i$  = beban gempa nominal statik ekuivalen pada lantai ke-I

$g$  = percepatan gravitasi (9810 mm/det<sup>2</sup>)

$n$  = nomor lantai

Jika periode fundamental pendekatan  $T_a$  pada struktur gedung untuk menentukan percepatan respon spektra desain tiap 1 detik,  $S_{DI}$  nilainya tidak boleh melebihi 3,5 nilai yang dihitung menurut  $T_R$  diatas.

**2.8.6. Batas Simpangan Antar Tingkat**

Simpangan antar tingkat struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung diambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan antar gedung.

Simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) seperti ditentukan dalam pasal 7.12.11 tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ) seperti didapatkan dari Tabel 2.12 untuk semua tingkat.

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

**Sumber:** SNI 1726-2019 pasal 7.12.1

Catatan:

- $h_{sx}$  adalah tinggi tingkat dibawah tingkat-x
- Untuk sistem pemikul gaya seismic yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismic D, E, dan F, simpangan antar tingkat izin harus sesuai dengan persyaratan 7.12.1.1
- Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, praktisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisah struktur dalam pasal 7.12.3 tidak diabaikan
- Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser atau yang biasa disebut kopel dapat diabaikan.

## 2.9. Pembebanan

Perencanaan struktur harus dapat menyalurkan beban-bebannya menuju ke pondasi dengan baik tanpa keruntuhan, untuk beban-beban yang bekerja pada sebuah bangunan antara lain beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa seperti yang dijelaskan pada SNI 1727-2020. Terdapat beberapa jenis beban yang harus ditinjau yaitu:

### 1. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding praktisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta

peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Untuk melihat besarnya beban mati pada gedung dapat dilihat pada SNI 1727-2020.

## 2. Beban Hidup

Beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Untuk melihat besarnya beban hidup pada gedung dapat dilihat pada SNI 1727-2020 pasal 4.

## 3. Beban Gempa

Beban yang terjadi akibat pergerakan tanah yang disebabkan karena aktivitas gempa tektonik atau vulkanik, beban gempa yang terjadi pada gedung akan dihitung sebagai beban statik ekuivalen, perencanaan beban gempa yang terjadi menggunakan SNI 1726-2019.

### **2.9.1. 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 dibawah, 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 SNI 1726-2019 pasal 4.2.2.1 berikut adalah kombinasi pembebanan dasar:

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

Tidak termasuk faktor beban untuk  $L$  pada kombinasi 3 dan 4 yang telah diizinkan mengambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila beban hidup desain tak tereduksi ( $L_o$ ) dalam SNI 1727, lebih kecil atau sama dengan 4,78 kN/m<sup>2</sup>, tidak termasuk garasi atau ruang pertemuan publik.

Bila beban fluida  $F$  bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan sesuai nilai faktor beban yang sama dengan faktor beban untuk beban mati  $D$  pada kombinasi 1 hingga 4. Jika beban tanah  $H$  bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan sebagai berikut:

- a. Bila adanya beban  $H$  dapat memperkuat pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh  $H$  sesuai faktor beban = 1,6;
- b. Bila adanya beban  $H$  dapat memberi perlawanan terhadap pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh  $H$  sesuai faktor beban = 0,9 (jika bebannya bersifat permanen) atau dengan faktor beban = 0 (untuk kondisi lainnya).

## 2.10. Komponen Struktur Sekunder

Struktur sekunder merupakan komponen struktur yang dirancang hanya untuk menerima beban gravitasi saja dan tidak dirancang untuk menerima gaya lateral gempa, namun tetap mengalami tegangan-tegangan akibat pembebanan yang bekerja pada bagian tersebut secara langsung, ataupun tegangan akibat perubahan bentuk dari struktur primer (Brawijaya & Soerjandani, 2022). Bagian dari struktur sekunder meliputi plat lantai dan atap, tangga, dan balok penggantung lift.

### 2.10.1. Pelat

Pelat sendiri adalah elemen horizontal pada struktur yang mendukung beban mati maupun beban hidup yang menyalurkan ke rangka vertikal dari struktur, pelat didesain menerima beban lentur saja. Pada SNI 2847-2019 pelat terdapat 2 (dua) yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah. Pelat satu arah memiliki rasio panjang dan lebar lebih dari 2,5 sehingga beban pelat dipikul balok sejajar sedangkan pelat dua arah memiliki rasio panjang dan lebar kurang dari 2,5 sehingga beban pelat dipikul kedalam dua arah oleh empat balok disekeliling pelat.

Untuk memenuhi syarat lendutan, maka tebal plat harus memenuhi peraturan SNI 2847-2019 pasal 8.3.1.2 yaitu:

Untuk  $0,2 < a_{fm} \leq 2,0$  tebal pelat minimum ( $h$ ) tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (a_{fm} - 0,2)} \dots\dots\dots(2,15)$$

Untuk  $a_{fm} > 2,0$  tebal pelat minimum ( $h$ ) tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots(2,16)$$

Dalam segala hal tebal minimum dari pelat tidak boleh kurang dari harga berikut:

- 1) Untuk  $a_{fm} \leq 2,0$  ..... 125 mm
- 2) Untuk  $a_{fm} > 2,0$  ..... 90 mm

Keterangan:

$h$  = tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur (mm)

$\ell_n$  = panjang bentang bersih yang diukur antar muka tumpuan (mm)

$f_y$  = kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan (MPa)

$\beta$  = rasio dimensi panjang terhadap pendek dari pelat 2 arah

$a_{fm}$  = nilai rata-rata  $a_f$  untuk semua balok pada tepi panel

$a_f$  = rasio kekuatan lentur penampang balok terhadap kekuatan lentur lebar pelat yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel yang disebelahnya (jika ada) pada setiap sisi balok.

$$a_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \dots\dots\dots(2,17)$$

keterangan:

$E_{cb}$  = modulus elastisitas beton balok (MPa)

$I_b$  = momen inersia penampang bruto balok terhadap sumbu pusat ( $\text{mm}^4$ )

$E_{cs}$  = modulus elastisitas beton slab (MPa)

$I_s$  = momen inersia penampang bruto slab terhadap sumbu pusat yang ditentukan untuk menghitung  $a_f$  dan  $\beta_t$  ( $\text{mm}^4$ )

Dalam perencanaan pembangunan hotel ini pelat lantai dan pelat atap didesain sebagai pelat dua arah, karena pelat ditumpu pada keempat sisinya, sehingga lentur yang terjadi ditopang pada kedua arah dan didesain berdasarkan SNI 2847-2019.

### 2.10.2. Balok Anak

Komponen balok anak adalah komponen yang berguna mencegah lendutan pada pelat yang diakibatkan oleh luasan pelat yang terlalu besar. Meskipun berukuran lebih kecil daripada balok induk, penggunaan komponen ini sangat vital, khususnya untuk mendukung bentar kerja optimal dari pelat lantai. Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri balok anak dan semua beban pada pelat. Distribusi beban pada balok pendukung dapat dianggap sebagai beban segitiga pada jalur pendek serta beban trapesium pada lajur panjang.

Untuk memudahkan perhitungan, beban trapesium dan beban segitiga diubah menjadi beban merata ekuivalen ( $q_e$ ), sebagai berikut:

Ø Beban trapesium diubah menjadi beban merata ekuivalen,

$$q_{ek} = 1/2 q \cdot \left( \frac{l_x}{l_y^2} \right) \cdot (ly^2 - 1/3 lx^2) \dots \dots \dots (2,18)$$

Ø Beban segitiga diubah menjadi beban merata ekuivalen,

$$q_e = 1/3 q \cdot i_x \dots \dots \dots (2,19)$$

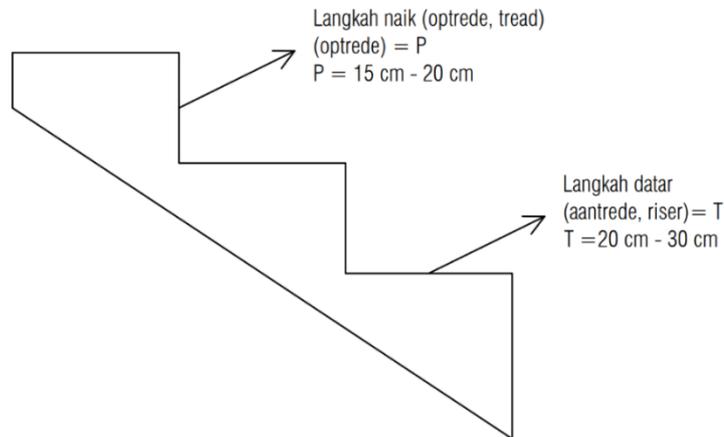
Catatan:  $L_x$  dan  $L_y$  adalah panjang bentang untuk segmen pelat

### 2.10.3. Tangga

Tangga merupakan salah satu bagian supplement dari bangunan yang berfungsi sebagai penghubung antar lantai pada bangunan bertingkat. Kenyamanan sebuah tangga harus memenuhi syarat-syarat teknis seperti pada Gambar 2.7, sebagai berikut:

1. Panjang pijakan datar (riser atau aantrede) berkisar antara 20 cm sampai dengan 30 cm, supaya langkahnya sesuai.
2. Tinggi pijakan (optrede) berkisar antara 15 cm sampai dengan 20 cm, supaya tidak terlalu tinggi mengangkat kaki terutama bagi anak-anak dan orang tua.

- Sudut kemiringan tangga berkisar 25 - 40 derajat, jika terlalu curam dapat mengganggu kenyamanan pengguna, seperti cepat lelah saat menaiki lantai berikutnya.



**Gambar 2.7** Syarat Teknis Perencanaan Tangga

Supaya berjalan dengan nyaman, maka harus dipenuhi syarat dua langkah ditambah panjang kaki rata =  $2T + P$  antara 58 cm sampai dengan 68 cm. Dalam pengukuran tersebut dapat didasarkan pada ukuran sebenarnya dari kaki dan langkah orang yang menggunakan. Selama perencanaan dilakukan harus diperhatikan bahwa jika, terlalu curam untuk dinaiki sekaligus, maka kita dapat mengimbangi dengan menyediakan bordes (lantai istirahat).

#### 2.10.4. Perencanaan Balok Penggantung Lift

Lift adalah angkutan transportasi vertikal yang digunakan untuk mengangkut orang atau barang. Pengaturan tata lift dapat dilihat dari setiap zona lift dapat melayani 10 – 15 lantai, dan pada zona ke 4 merupakan batas maksimum. Jika memerlukan zona lift lebih dari empat, maka harus menggunakan *sky lobby* (minimum dua lantai). Perencanaan yang dilakukan meliputi balok-balok yang berkaitan dengan mesin penggantung lift (Zayadi, Cahyono & Masyhudi, 2016).

- Beban yang bekerja pada balok penumpu.

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, dan akibat beban bandul pemberat + perlengkapan.

- Koefisien kejut beban oleh keran.

SNI 03-1727-1989 pasal 2.1.2 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang

diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau.

## **2.11. Komponen Struktur Primer**

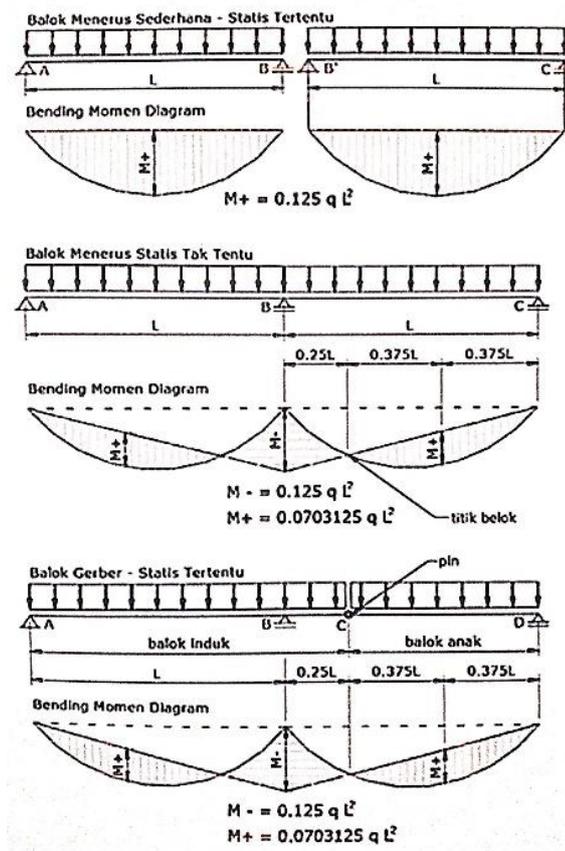
Struktur primer berperan sangat penting dalam memikul beban-beban yang terjadi, baik beban sendiri maupun beban dari luar seperti beban gempa. Komponen yang terdapat dalam struktur primer adalah balok induk dan kolom. Mendesain struktur primer harus didesain dengan baik agar kemungkinan keruntuhan akibat beban gempa dapat diperkecil (Brawijaya & Soerjandani, 2022). Dibawah ini akan diuraikan syarat-syarat pendetailan dan ketentuan untuk sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

### **2.11.1. Balok Induk**

Komponen balok atau struktur lentur harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847-2019 pasal 18.6 supaya penampangnya terbukti bekerja dengan baik. Tiap komponen harus cukup daktail dan cukup efisien untuk mentransfer momen ke kolom sesuai dengan pasal 18.7. Akan tetapi jika ada kolom yang terkena momen dan terkena beban aksial terfaktor  $< A_g F_c/10$  boleh didisain sebagai komponen lentur.

Balok induk merupakan penyangga struktur utama pada bangunan yang secara fisik mengikat kolom-kolom utama bangunan secara rigid. Seluruh gaya-gaya yang bekerja pada balok ini akhirnya didistribusikan ke pondasi melalui kolom bangunan.

Pada dasarnya balok dirancang untuk menahan beban lentur saja, tidak semua bidang komponen lentur harus sama dengan bidang lainnya, hal ini disebabkan beban komponen lentur, dimana luas  $1/4L$  pada balok terjadi momen negatif dan pada daerah lapangan terjadi momen positif. Reaksi pada pemasangan tulangan lentur pada daerah lentur ini berbeda pada daerah dengan momen positif dan daerah dengan momen negatif.



**Gambar 2.8** Momen yang terjadi pada balok akibat pembebanan

Dengan adanya momen seperti pada Gambar 2.8 yang terjadi pada balok maka kita dapat menganalisa daerah pada beton yang menerima gaya tekan dan mana yang menerima gaya tarik. Sehingga kita sebagai perencana tidak salah mengasumsikan yang akhirnya terjadi salah pemasangan penulangan.

Perencanaan pembangunan gedung hotel ini menggunakan balok beton bertulang rangkap. Balok tulangan rangkap adalah balok beton bertulang yang menggunakan baja tulangan pada bagian penampang yang menerima gaya tarik dan tekan. Keberadaan tulangan tekan dalam kasus ini adalah untuk membebaskan beton dari tekanan yang berlangsung secara terus menerus.

### 2.11.2. Kolom

Kolom adalah elemen struktur yang menerima kombinasi beban axial dan lentur (momen) harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847-2019 pasal 18.7. Beban axial yang terjadi berupa tekan, meskipun pada beberapa kasus, kolom bisa menerima beban axial tarik dan umumnya terletak vertikal pada bangunan. Biasanya kolom menerima beban momen

baik pada satu atau kedua sumbu pada potongan melintang dan momen ini dapat menghasilkan tegangan tarik pada sebagian potongan melintang tersebut.

Fungsi kolom sangat penting bagi struktur gedung, yang apabila terjadi kegagalan pada kolom maka gedung akan runtuh, sedangkan bila kegagalan hanya terjadi pada balok maka gedung belum tentu runtuh. Berdasarkan prinsip “*Capacity Design*” dimana kolom harus diberi cukup kekuatan, sehingga kolom-kolom tidak leleh lebih dahulu sebelum balok.

Oleh sebab itu kolom-kolom selalu didesign 20% lebih kuat dari pada balok-balok disuatu hubungan balok kolom (HBK). Kuat lentur kolom dihitung dari beban aksial terfaktor, konsisten dengan arah beban lateral, yang memberikan kuat lentur yang paling rendah. Untuk wilayah gempa (WG) zona 5 dan 6, ratio tulangan dikurangi dari 8% menjadi 6% untuk menghindari kongesti tulangan, sehingga mengurangi hasil pengecoran yang kurang baik. Ini juga untuk menghindari terjadinya tekanan geser besar dikolom. Biasanya, pemakaian ratio tulangan yang lebih besar dari 4% dianggap tidak praktis dan tidak ekonomis.

### 2.11.3. Komponen SRPMK yang dikenai Beban Lentur

Persyaratan ini mengacu pada SNI 2847-2019 pasal 18.6. Persyaratan komponen SRPMK yang dikenai beban lentur ini meliputi:

1. Pasal 18.6.2.1
  - a. Bentang bersih  $\ell_n \geq 4x$  tinggi efektif
  - b. Lebar komponen  $b_w > 0,3h$  dan  $b_w \geq 250$  mm
  - c. Diberi jarak = lebar penumpu  $c_2$  atau  $0,75$  x keseluruhan struktur penumpu  $c_1$  (dimensi kolom terbesar) ditambah jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan atau lebih kecil dari:
    - i. Lebar komponen struktur penumpu  $c_2$
    - ii.  $0,75$  x dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu  $c_1$
2. Pasal 18.6.3.1
  - a. Luas tulangan tidak boleh kurang dari:
$$\frac{b_w \sqrt{f_c'} }{f_y} b_w . d \text{ dan } \frac{1,4}{f_y} b_w . d$$
  - b. Syarat batas rasio penulangan  $p < 0,025$
  - c. Paling sedikit harus disediakan 2 tulangan menerus sisi atas dan bawah

3. Pasal 18.6.3.2
  - a. Momen positif pada muka joint  $\geq \frac{1}{2}$  momen negatif pada joint
  - b. Momen negative atau positif  $\geq \frac{1}{4}$  momen maksimum pada joint
  
4. Pasal 18.6.3.3
  - a. Sambungan lewatan tulangan longitudinal diizinkan jika Sengkang pengekang atau spiral dipasang sepanjang sambungan lewatan.
  - b. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung-lewatkan  $< d/4$  dan  $< 100$  mm (tidak boleh melebihi nilai kecil)
  - c. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada lokasi:
    - i. Dalam joint
    - ii. Dalam jarak 2 x tinggi balok dari muka joint
    - iii. Dalam jarak dua kali tinggi balok dari penampang kritis di mana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastis
  
5. Pasal 18.6.4.1
  - a. Sengkang harus dipasang pada:
    - i. Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung balok
    - ii. 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 elastis
  
6. Pasal 18.6.4.4
  - a. Sengkang pengekang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu. Spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:
    - i.  $d/4$
    - ii. 6 x diameter terkecil batang tulangan lentur utama, tidak termasuk tulangan longitudinal samping yang disyaratkan pasal 9.7.2.3
    - iii. 150 mm

7. Pasal 18.6.4.5

- a. Bila diperlukan sengkang pengekang, sengkang pengekang tersebut harus didesain untuk menahan geser sesuai 18.6.5

8. Pasal 18.6.4.6

- a. Bila sengkang pengekang tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang bentang balok.

Persyaratan kekuatan geser pada komponen lentur:

1. Gaya geser desain ( $V_e$ )

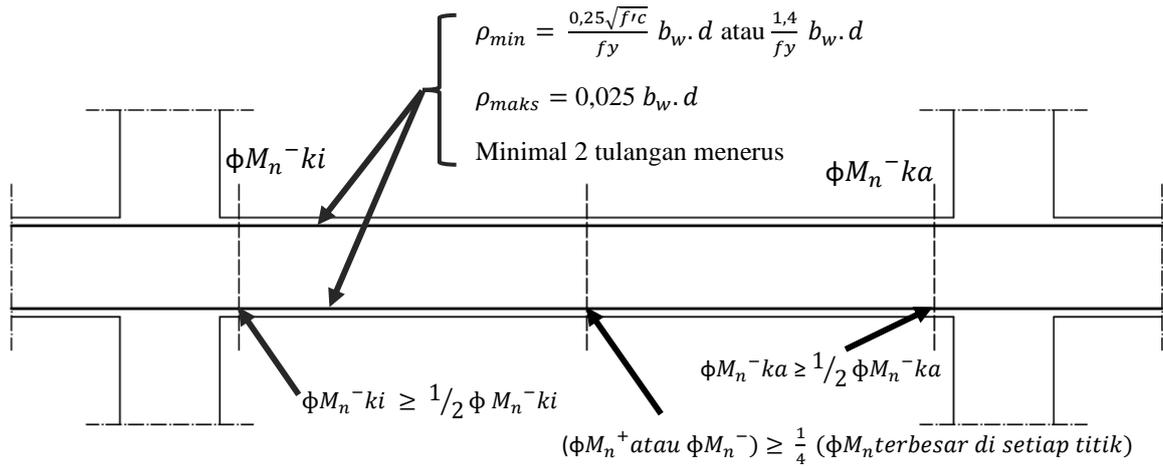
Desain  $V_e$  harus dihitung dari tinjauan gaya-gaya pada bagian balok di antara kedua muka joint. Momen-momen dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi,  $M_{pr}$ , harus diasumsikan bekerja pada muka-muka joint dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor di sepanjang bentangnya.

2. Tulangan transversal

Tulangan transversal didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c=0$ . Gaya geser akibat gempa yang dihitung mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut. Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g \cdot f_c' / 20$

A. Penulangan Lentur

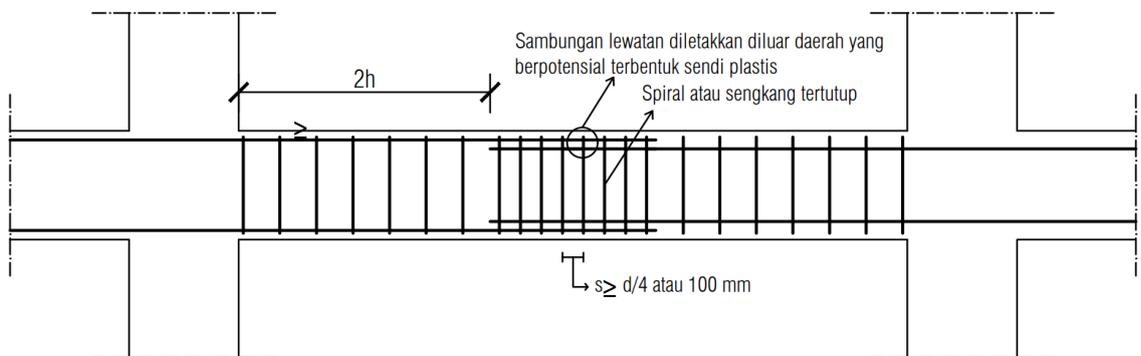
Penulangan untuk komponen lentur yang berada di kategori desain D, E dan F dengan syarat momen nominal pada muka kolom. Syarat ini menjamin kekuatan dan daktilitas bila terjadi lateral displacemen besar. Persyaratan yang mengharuskan paling sedikit 2 batang tulangan menerus disisi atas maupun bawah balok, dimaksudkan untuk keperluan pelaksanaan. Persyaratan penulangan komponen lentur pada KDS D, E, dan F dapat dilihat pada Gambar 2.9.



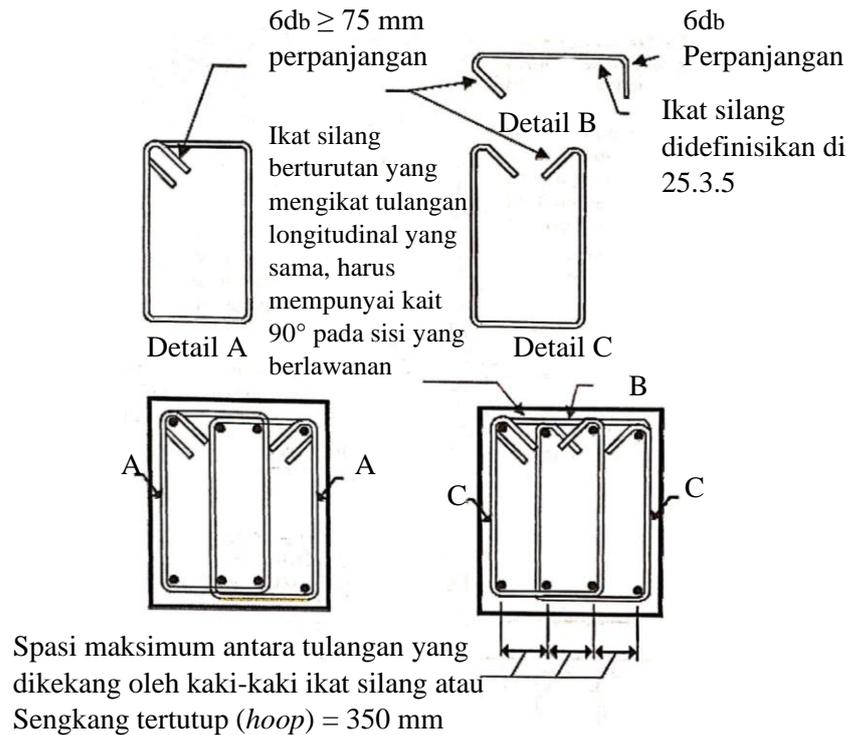
**Gambar 2.9** Persyaratan Penulangan Komponen Lentur pada Kategori Desain D, E, dan F  
*Sumber: Handout Struktur Beton Lanjutan, Universitas Pembangunan Jaya*

**B. Sambungan Lewatan (SL) Komponen Lentur**

Sambungan lewatan (SL) harus diletakkan diluar daerah sendi plastis. Bila dipakai SL, maka sambungan itu harus didisain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dikekang sebaik-baiknya dapat dilihat pada Gambar 2.10. Pada sambungan mekanikal boleh juga dipakai dan harus memenuhi ketentuan SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.4.



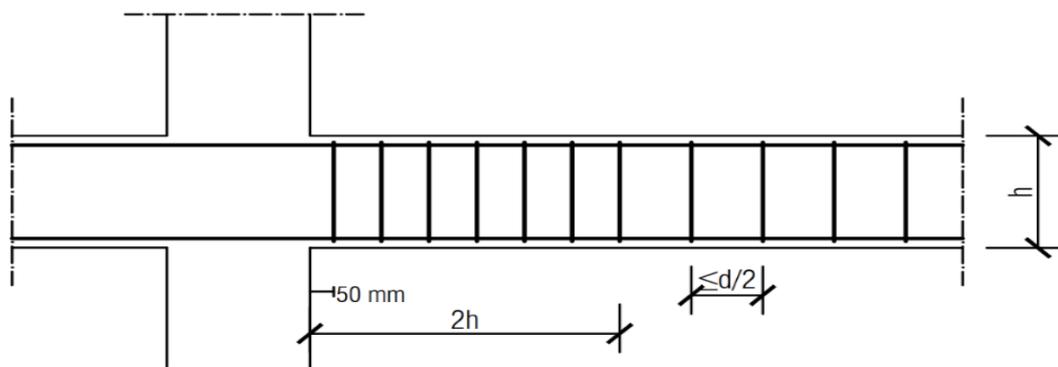
**Gambar 2.10** Persyaratan Sambungan Lewatan SRPMK  
*Sumber: Handout Struktur Beton Lanjutan, Universitas Pembangunan Jaya*



**Gambar 2.11** Persyaratan Sengkang Tertutup  
**Sumber:** SNI 2847-2019 pasal 18.6.4

### C. Tulangan Pengekang Komponen Lentur

Pengekangan yang cukup disyaratkan harus ada diujung-ujung komponen lentur yang kemungkinan besar akan terjadi sendi plastis untuk menjamin kemampuan daktilitasnya, bila terkena beban bolak-balik. Tulangan transversal perlu dipasang untuk menahan gaya melintang dan menghindarkan tulangan memanjang menekuk. Di wilayah gempa zona 5 dan 6, tulangan transversal tersebut harus terdiri dari hoops seperti pada Gambar 2.12. Sedangkan begel boleh digunakan untuk pengekang wilayah gempa zona 3 dan 5.



**Gambar 2.12** Persyaratan Tulangan Transversal  
**Sumber:** Handout Struktur Beton Lanjutan, Universitas Pembangunan Jaya

#### 2.11.4. Komponen SRPMK yang dikenai Beban Lentur dan Aksial

Persyaratan ini mengacu pada SNI 2847-2019 pasal 18.7. Komponen SRPMK yang dikenai beban lentur dan aksial yang membentuk sistem pemikul gaya seismik dan utamanya didesain untuk menahan gaya lentur, geser, dan aksial terfaktor  $P_u$  akibat dari segala kombinasi beban. Struktur yang didesain pada sub ini adalah kolom, dengan persyaratan ini meliputi:

1. Pasal 18.7.2.1
  - a. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis yang melalui pusat geometri  $> 300$  mm.
  - b. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya  $b_w/h > 0,4$
2. Pasal 18.7.3.2
  - a. Kekuatan lentur kolom harus memenuhi:
$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$
Dimana,  $\sum M_{nc}$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke di dalam *joint*, yang dievakuasi muka-muka *joint*.  $\sum M_{nb}$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievakuasi di muka-muka *joint*.
  - b. Kekuatan lentur harus dijumlahkan sedemikian hingga momen-momen kolom berlawanan dengan momen-momen balok. Persamaan  $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$  harus dipenuhi untuk momen-momen balok yang bekerja pada kedua arah pada bidang vertikal rangka yang ditinjau.
3. Pasal 18.7.3.3
  - a. Jika persyaratan diatas tidak dipenuhi pada suatu *joint*, kekuatan dan kekuatan lateral kolom yang merangka ke dalam *joint* tersebut harus diabaikan saat menghitung kekuatan dan kekuatan struktur. Kolom-kolom ini harus memenuhi pasal 18.14.
4. Pasal 18.7.4
  - a. Luas tulangan longitudinal  $A_{st} > 0,01 A_g$  dan  $< 0,06 A_g$
  - b. Pada kolom-kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.

- c. Sambungan mekanis harus memenuhi 18.2.7 dan sambungan las 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 18.7.5.2 dan 18.7.5.3.

5. Pasal 18.7.5

- a. Tulangan transversal yang diisyaratkan pada pasal 18.7.5.2 hingga 18.7.5.4 harus dipasang sepanjang  $\ell_0$  dari masing-masing muka *joint* dan pada kedua sisi seberang penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastik. Panjang  $\ell_0$  tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara:
- Tinggi kolom pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi
  - $\frac{1}{6}$  tinggi bersih kolom
  - 450 mm
- b. Tulangan transversal harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpang (overlap), sengkang pengekang bundar, atau sengkang pengekang persegi, dengan atau tanpa ikat silang. Setiap tekukan ujung sengkang pengekang 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 pengekang diizinkan sesuai batasan 25.7.2.2. Ikat silang yang berurutan harus diselang-seling ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang. Jika digunakan sengkang pengekang persegi ataupun ikat silang, tulangan transversal tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal sesuai 25.7.2.2 dan 25.7.2.3. Tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi  $h_x$  antara tulangan-tulangan longitudinal di sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengekang tidak boleh melebihi 350 mm. Ketika  $P_u > 0,3A_g f_c'$  atau  $f_c' > 70$  MPa pada kolom dengan sengkang pengekang, setiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang pengekang ataupun oleh kait gempap, dan nilai  $h_x$  tidak boleh lebih

dari 200 mm.  $P_u$  harus merupakan gaya tekan terbesar yang konsisten dengan kombinasi beban terfaktor termasuk  $E$ .

#### 6. Pasal 18.7.5.3

- a. Spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari:
  - i.  $\frac{1}{4}$  dimensi terkecil penampang kolom
  - ii.  $6x$  diameter longitudinal terkecil
  - iii.  $S_o$ , yang dihitung dengan  $S_o = 100 + \left(\frac{350-h_x}{3}\right)$
  - iv. Nilai  $S_o$  tidak boleh  $> 150$  mm dan tidak perlu  $< 100$  mm.
- b. Jumlah tulangan transversal yang diisyaratkan dalam persamaan dibawah ini harus disediakan kecuali bisa jumlah yang diisyaratkan pada pasal 18.7.5.4
  - i. Luas penampang total sengkang persegi,  $A_{sh}$  tidak boleh kurang dari:
$$A_{sh} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$$
$$A_{sh} = 0,9 \frac{f_c'}{f_{yt}}$$
- c. Panjang  $\ell_0$  yang ditetapkan dalam *point* 1, kolom harus diberi tulangan spiral atau sengkang yang memenuhi pasal 25.7.2. hingga 25.7.4 dengan spasi  $s$  tidak melebihi nilai terkecil dari  $6x$  diameter tulangan longitudinal dan 150 mm, kecuali bila jumlah tulangan transversal yang lebih besar diisyaratkan pada pasal 18.7.4.3 atau 18.7.6.
- d. 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.
- e. Jika tebal selimut beton diluar tulangan transversal pengekang yang ditetapkan berdasarkan persyaratan no 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.

Persyaratan kekuatan geser komponen lentur dan aksial

#### 1. Gaya desain

Gaya geser desain  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka-muka *joint* pada setiap ujung kolom. Gaya-gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang

mungkin terjadi,  $M_{pr}$ , di setiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor,  $P_u$ , yang bekerja pada kolom. Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan *joint* berdasarkan  $M_{pr}$  balok yang merangka ke *joint*. Nilai  $V_e$  tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

## 2. Tulangan Transversal

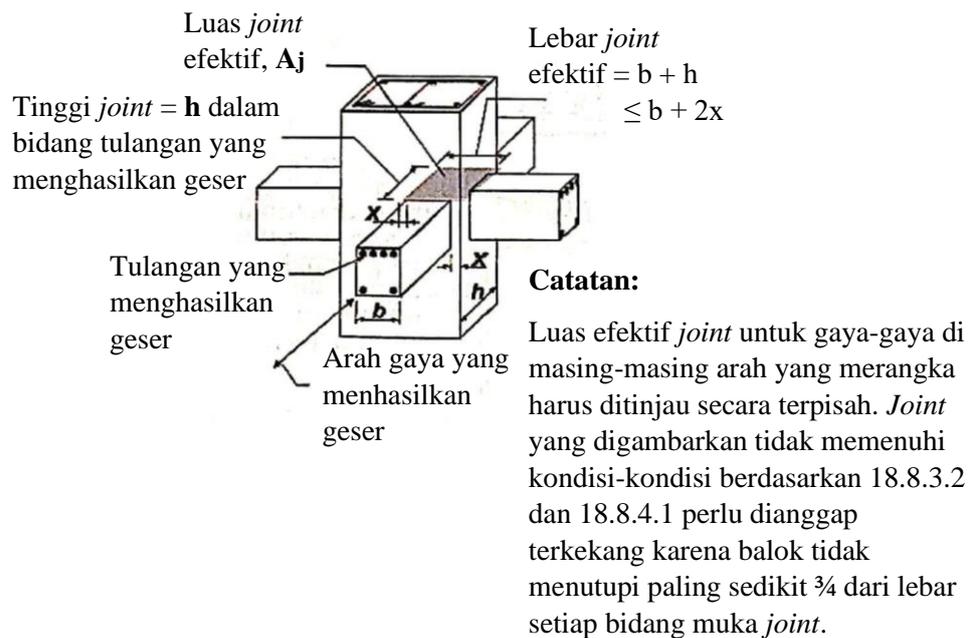
Tulangan transversal sepanjang  $\ell_o$  berdasarkan 18.6.4.1, harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  bila:

- a. Gaya geser akibat gempa berdasarkan 18.6.5.1 setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang  $\ell_o$ .
- b. Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f_c' / 20$ .

### 2.11.5. Hubungan Balok dan Kolom (HBK)

Daerah hubungan balok dan kolom merupakan daerah kritis pada suatu struktur rangka beton bertulang, yang harus didesain secara khusus untuk berdeformasi pada saat terjadi gempa kuat. Integritas menyeluruh SRPMK sangat bergantung terhadap sifat HBK. Penurunan HBK menghasilkan deformasi lateral besar yang bisa menimbulkan keruntuhan geser yang bersifat getas bahkan dapat menyebabkan kerusakan/kehancuran besar yang berlebih bahkan runtuh. Hubungan balok dan kolom adalah tempat bertemunya balok dan kolom yang panjang pengaruh daerah tersebut yaitu sepanjang resiko terjadinya sendi plastis.

Suatu balok yang merangka dalam suatu muka dianggap memberikan pengekangan/kekakuan pada *joint* bila balok tersebut menutupi paling sedikit tiga perempat muka *joint* seperti pada Gambar 2.13. Perpanjangan balok paling sedikit satu kali tinggi balok keseluruhan  $h$  melewati muka *joint* diizinkan untuk dianggap mencukupi untuk mengekang muka *joint* tersebut.



**Gambar 2.13** Luas *Joint* Efektif

**Sumber:** SNI 2847-2019 Pasal R18.8.4

Luas penampang efektif dalam suatu *joint*,  $A_j$ , harus dihitung dari tinggi *joint* kali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus sebesar lebar kolom,  $h$ . Lebar *joint* efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- a. Lebar balok ditambah tinggi *joint*
- b. Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

Menurut SNI 2847-2019 pasal 18.8, persyaratan detailing hubungan balok dan kolom yang meliputi:

1. Pasal 18.8.2
  - a. Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka *joint* harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah  $1,25f_y$ .
  - b. Tulangan longitudinal balok yang dihentikan di dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka terjauh dari inti kolom terkekang dan harus disalurkan dalam tarik sesuai 18.8.5 dan dalam tekan sesuai 25.4.9.

- c. Bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui *joint* balok-kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.
2. Pasal 18.8.3
- a. 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.
- b. 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 18.7.5.4 diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang disyaratkan 18.7.5.3 diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok  $h$  yang terendah yang merangka pada *joint* tersebut.
- c. Tulangan longitudinal balok yang berada di luar inti kolom harus dikekang oleh tulangan transversal yang menembus kolom dengan spasi sesuai 18.6.4.4, dan persyaratan 18.6.4.2 dan 18.6.4.3, jika pengekangan tersebut tidak diberikan oleh balok yang merangka ke dalam *joint*.
3. Pasal 18.8.4
- a. Beton berat normal,  $V_a$  *joint* tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari nilai yang ditetapkan sebagai:
- Untuk *joint* yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya  

$$1,7\lambda \sqrt{f_c'} A_j$$
  - Untuk *joint* yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan  $1,2 \lambda \sqrt{f_c'} A_j$
  - Untuk kasus-kasus lainnya  $1,0 \lambda \sqrt{f_c'} A_j$
4. Pasal 18.8.5
- a. Untuk tulangan D10 hingga D36 yang ujungnya diberi kait standar, panjang penyaluran untuk beton normal tidak boleh kurang dari yang terbesar dari:
- $8d_b$
  - 150 mm
  - Panjang yang diisyaratkan oleh persamaan berikut  $\ell_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \lambda \sqrt{f_c'}}$

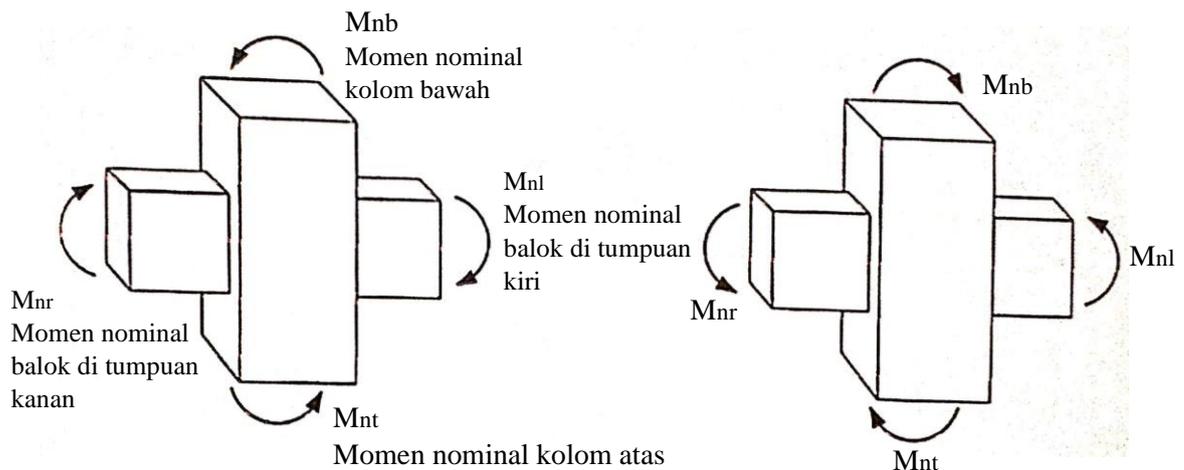
- iv. Kait 90° standar harus ditempatkan dalam inti terkekang kolom atau elemen batas, dengan kait ditekuk ke dalam *joint*
- b. Untuk tulangan D10 hingga D36, panjang penyaluran tulangan tarik  $\ell_d$  untuk tulangan lurus tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara:
  - i. 2,5 kali panjang sesuai 18.8.5.1 bila beton yang dicor di bawah tulangan tersebut tidak melebihi 300 mm
  - ii. 3,25 kali panjang sesuai 18.8.5.1 bila tinggi beton yang dicor bersamaan di bawah batang tulangan melebihi 300 mm.
- c. Tulangan lurus yang berhenti pada joint harus melewati inti terkekang kolom atau elemen batas. Semua bagian  $\ell_d$  yang tidak berada di dalam inti terkekang harus diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali.

#### **2.11.6. Strong Column Weak Beam (SCWB)**

Konsep perencanaan desain kolom kuat balok lemah atau yang dikenal dengan istilah *Strong Column Weak Beam* (SCWB) yaitu kemampuan kolom harus lebih besar 20% dari balok, supaya kolom tidak mengalami kondisi leleh terlebih dahulu sebelum balok (Huda & Utari, 2021). SCWB adalah salah satu inovasi desain struktur dengan cara membuat sistem struktur yang fleksibel yang mampu berdeformasi saat terjadi gempa. Konsep ini digunakan untuk memastikan tidak terjadinya sendi plastis pada kolom selama gempa terjadi dan diharapkan kolom tidak akan mengalami kegagalan terlebih dahulu sebelum balok. Konsep mekanis keruntuhan ini disebut mekanisme pergoyangan balok (*beam side sway mechanism*).

Perencanaan hotel Velins di Kota Yogyakarta yang menggunakan beton bertulang sistem rangka pemikul momen khusus mengacu pada peraturan gempa SNI 1726-2019 dan sistem *strong column weak beam* dipilih sebagai alternatif desain untuk memperhitungkan bahwa gedung tersebut juga dapat menerima gaya lateral yang diakibatkan oleh gempa yang dikombinasikan dengan peraturan struktur beton SNI 2847-2019 (Aditya, 2021).

Pada SNI 2847-2019 pasal 18.7.3 membatasi dengan  $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$  yang merupakan batas minimum yang diizinkan. Dimana,  $\sum M_{nc}$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka pada suatu hubungan balok kolom sesuai dengan arah gaya lateral yang ditinjau dan menghasilkan nilai  $M_n$  terkecil. Sedangkan  $\sum M_{nb}$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka. Dapat dilihat pada Gambar 2.14.



*Sumber: Setiawan, 2016*

**Gambar 2.14** Konsep *Strong Column Weak Beam (SCWB)*

Untuk perencanaan struktur dengan daktilitasi penuh, dilaksanakan dengan pendetailan khusus sehingga diperoleh kolom lebih kuat dari pada balok (SCWB). Hal ini memberikan keuntungan sebagai berikut:

1. Bahaya kestabilan akibat P-Delta lebih kecil.
2. Sendi plastis didalam balok dapat berfungsi dengan sangat baik yang memungkinkan terjadinya rotasi plastis yang besar.
3. Daktilitasi yang dituntut daripada balok yang menghasilkan daktilitasi struktur sebesar 4x pada umumnya mudah dipenuhi.

Beban bersifat siklis bolak balik, sehingga dapat menyebabkan penampang-penampang ujung balok di daerah sendi plastis mengalami momen positif dan negatif secara bergantian. Hal ini dapat mengakibatkan keretakan pada seluruh penampang beton di daerah sendi plastis, karena baik serat atas maupun bawah penampang pada gilirnya akan mengalami regangan tarik di luar batas kemampuan beton tersebut.

Keadaan balok yang lebih kuat daripada kolomnya akan menyebabkan mekanisme goyangan yang disertai pembentukan sendi-sendi plastis di dalam kolom-kolom struktur bangunan tersebut. pemakaian balok yang kuat pada umumnya hanya dapat diijinkan untuk struktur-struktur rendah karena:

1. Pemancaran energi yang terjadi terpusat di dalam sejumlah kecil kolom-kolom struktur, yang mungkin tidak memiliki cukup daktilisasi karena besarnya gaya-gaya aksial yang bekerja di dalamnya.
2. Daktilisasi yang dituntut dari kolom-kolom untuk mencapai factor daktilisasi  $\mu = 5,3$  akan sangat tinggi sehingga sulit untuk dipenuhi. Dari struktur yang ditinjau berupa portal 10 lantai dapat dijelaskan bahwa jika portal direncanakan dengan sistem balok lebih kuat daripada kolom maka apabila struktur terlanda gempa akan terbentuk sendi plastis pada kolom terlebih dahulu daripada baloknya. Terbentuknya sendi plastis yang pertama sampai yang kelima, portal belum mengalami keruntuhan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa portal tersebut akan runtuh apabila telah terjadi paling sedikit enam buah sendi plastis pada kolomnya.

## **2.12. Struktur Pondasi**

Sebelum menentukan jenis pondasi yang akan digunakan, terlebih dahulu harus diketahui kondisi tanah tempat bangunan akan didirikan. Untuk keperluan tersebut, maka akan dilakukan penyelidikan tanah (*soil investigation*).

Daya dukung tanah merupakan salah satu faktor penting dalam perencanaan pondasi beserta struktur di atasnya (Anwar, 2016). Pondasi dapat dihitung berdasarkan nilai CPT dan SPT yang diambil dari data hasil penyelidikan tanah di Yogyakarta. Dari data hasil “*Cone Penetration Test*” (CPT) dipelajari grafik yang menunjukkan besar tekanan tanah pada setiap kedalaman, juga dipelajari grafik hasil “*Standard Penetration Test*” (SPT) yang menunjukkan jumlah tumbukan dan jenis tanah dengan kedalamannya.

Pondasi adalah elemen beton struktural yang meneruskan beban dari struktur di atasnya ke tanah yang memikulnya. Pondasi juga dapat diartikan sebagai komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah, dan telapak pondasi berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Dasar pondasi harus diletakkan di atas tanah kuat pada kedalaman cukup tertentu, bebas dari lumpur, humus, dan pengaruh perubahan cuaca.

### **2.12.1. Pondasi Tiang Pancang**

Tiang pancang adalah bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan atau baja, yang digunakan untuk mentransmisikan beban-beban permukaan ketinggian permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah. Pondasi tiang pancang memiliki kelebihan antara lain

memiliki umur pondasi yang lebih panjang, mengurangi galian tanah, mampu memadatkan material tanah, serta lebih kuat dan kukuh.

Perencanaan pembangunan gedung hotel ini menggunakan pondasi tiang pancang berbentuk kotak. Pemilihan bentuk kotak pada tiang pancang dengan pertimbangan memiliki kapasitas dukung lebih besar dari pada tiang penampang bulat. Berdasarkan bentuk pemodelan yang memiliki efisiensi sangat kecil adalah model tiang penampang bulat pada tanah lempung, dan yang memiliki efisiensi sangat besar adalah tiang pancang penampang kotak pada tanah lempung (Sumampouw, 2018).

Pada tahapan ini dilakukan perencanaan tiang pancang dan poer yang mampu menahan struktur atas gedung. Daya dukung vertikal tiang dihitung berdasarkan kombinasi tahanan gesekan (*friction*) dan tahanan ujung (*end bearing*). Data tanah yang digunakan untuk perencanaan daya dukung didapat dari hasil SPT (Standart Penetration Test). Berikut merupakan langkah-langkah perencanaan pondasi tiang pancang berdasarkan hasil uji sondir ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

1. Perhitungan daya dukung sondir

Menentukan panjang ekivalen dari penetrasi tiang:

N rata-rata pada jarak 8D ke atas dari ujung  $\bar{N}_1$

N rata-rata pada jarak 4D dari ujung tiang  $\bar{N}_2$

N rata-rata  $\bar{N} = \frac{\bar{N}_1 + \bar{N}_2}{2}$  .....(2,20)

2. Tahanan Ujung (*End Bearing Pile*)

Tiang pancang berikut dihitung berdasarkan tahanan ujung serta memindahkan beban yang diterima ke lapisan tanah keras yang berada di bawahnya. Persamaan yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah terhadap tiang sebagai berikut:

$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} \cdot P}{n_1}$  .....(2,21)

Keterangan:

$Q_{tiang}$  = daya dukung keseimbangan tiang (kN)

$A_{tiang}$  = Luas permukaan tiang (m)

P = Nilai conus hasil sondir (kN/m)

n1 = 3 (Faktor keamanan).

### 3. Tahanan Gesekan (*Friction Pile*)

Apabila pemancangan tiang hingga lapisan tanah keras sulit dilaksanakan dikarenakan letaknya yang sangat dalam, dapat dipergunakan tiang pancang dengan daya dukung berdasarkan dengan perletakan antara tiang dengan tanah (*cleef*). Berikut merupakan persamaan daya dukung yang diijinkan terhadap tiang:

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{JHP \cdot O}{n_2} \dots\dots\dots(2,22)$$

Keterangan:

Qtiang = daya dukung keseimbangan tiang (kN)

JHP = total friction (kN/m)

O = keliling tiang pancang (m)

n2 = 5 (Faktor keamanan).

### 4. Tahanan Ujung dan Tahanan Gesekan (*End Bearing and Friction Pile*)

Apabila perhitungan tiang pancang didasarkan terhadap tahanan ujung dan hambatan pelekat, maka persamaan daya dukung yang diijinkan sebagai berikut:

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \cdot P}{n_1} + \frac{JHP \cdot O}{n_2} \dots\dots\dots(2,23)$$

### 5. Daya Dukung Tiang Pancang

Berikut merupakan perencanaan daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil sondir ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$P_{\text{tiang}} = \frac{40 \cdot A \cdot N_i}{n} \dots\dots\dots(2,24)$$

Keterangan:

Ni = nilai SPT pada kedalaman i (kg/cm<sup>2</sup>)

A = luas penampang tiang pancang (cm<sup>2</sup>)

n = angka keamanan (2-3)

6. Merencanakan tiang pancang kelompok

Persyaratan jarak tiang pancang ini (Prahastini, 2010) dapat dilihat sebagai berikut:

$$2,5D \leq S \leq 3D \dots\dots\dots(2,25)$$

Jarak tepi tiang pancang

$$1,5D \leq S \leq 2D \dots\dots\dots(2,26)$$

Keterangan:

S = Jarak antar tiang

D = Diameter tiang

7. Kontrol kebutuhan tiang pancang

$$n = \sum P / P_{ijin} \dots\dots\dots(2,27)$$

p tiang yang diizinkan:

$$P = \frac{\sum p}{n} \pm \frac{My \times X_{maks}}{\sum x^2} \pm \frac{Mx \times Y_{maks}}{\sum y^2} \dots\dots\dots(2,28)$$

$$P_{maks} = \frac{\sum p}{n} + \frac{My \times X_{maks}}{\sum x^2} + \frac{Mx \times Y_{maks}}{\sum y^2} < P_{ijin} \dots\dots\dots(2,29)$$

$$P_{min} = \frac{\sum p}{n} \pm \frac{My \times X_{maks}}{\sum x^2} \pm \frac{Mx \times Y_{maks}}{\sum y^2} > 0 \dots\dots\dots(2,30)$$

8. Daya dukung pondasi kelompok:

Berikut merupakan perencanaan daya dukung pondasi kelompok menurut Converse Labarre ditentukan dengan perumusan sebagai berikut :

$$Q_{tiang} = \eta \times P_{ijin} \times P_{maks} \dots\dots\dots(2,31)$$

$$9. \text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \left[ \text{arc } \theta \left( \frac{D}{S} \right) \cdot \left( \frac{m(n-1)+n(m-1)}{m.n.90} \right) \right] \dots\dots\dots(2,32)$$

Keterangan:

S = jarak antar tiang pondasi

D = diameter tiang pancang

m = jumlah tiang pancang dalam 1 kolom

n = jumlah tiang pancang dalam 1 baris

10. Cek kekuatan

$$P_{maks} < (P_{ijin} \times \eta) \dots\dots\dots(2,33)$$

**2.12.2. Perencanaan Pile Cap**

Dalam merencanakan tebal *pile cap*, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser pilecap yang terjadi.

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 22.6.5.2, kuat geser yang terjadi disumbangkan oleh beton diambil terkecil dari:

$$1. V_c = 0,33\lambda\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(2,34)$$

$$2. V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(2,35)$$

$$3. V_c = 0,083 \left( 2 + \frac{a_s d}{b_o} \right) \lambda\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(2,36)$$

Keterangan:

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

d = tinggi efektif (mm)

$b_o$  = keliling dari penampang kritis pada pile cap (mm)

$a_s$  = 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi dan 20 untuk kolom sudut

$$\phi V_c > \sum p_t \dots\dots\dots(2,37)$$