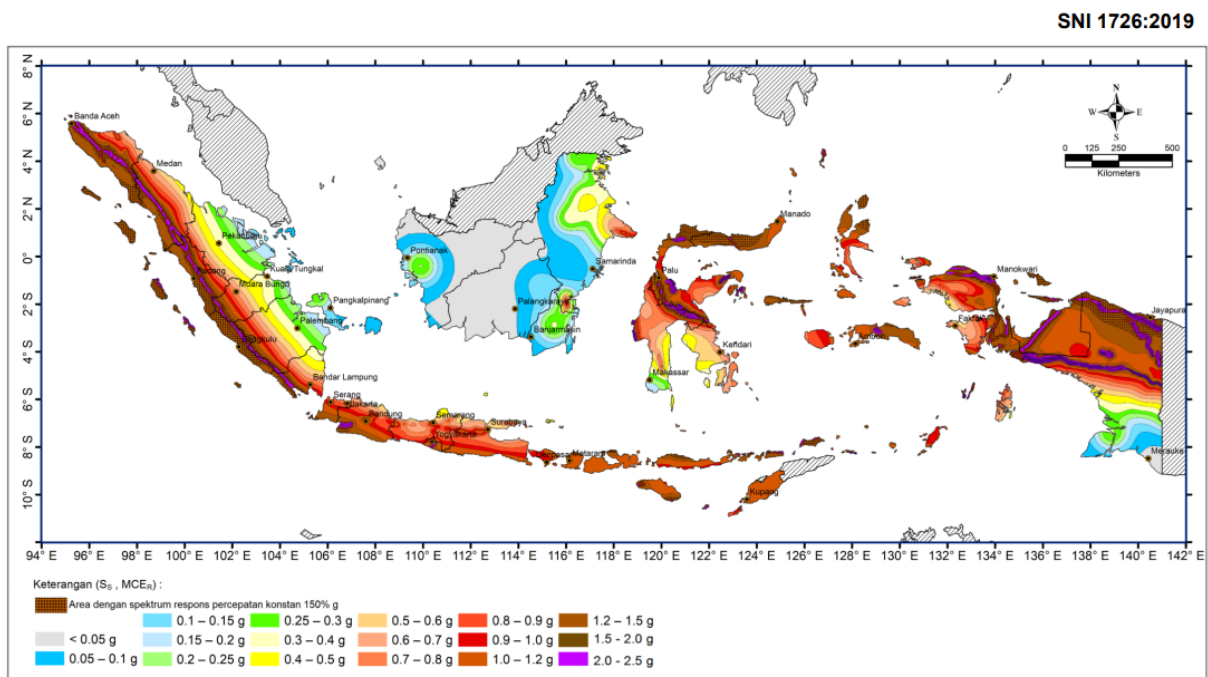


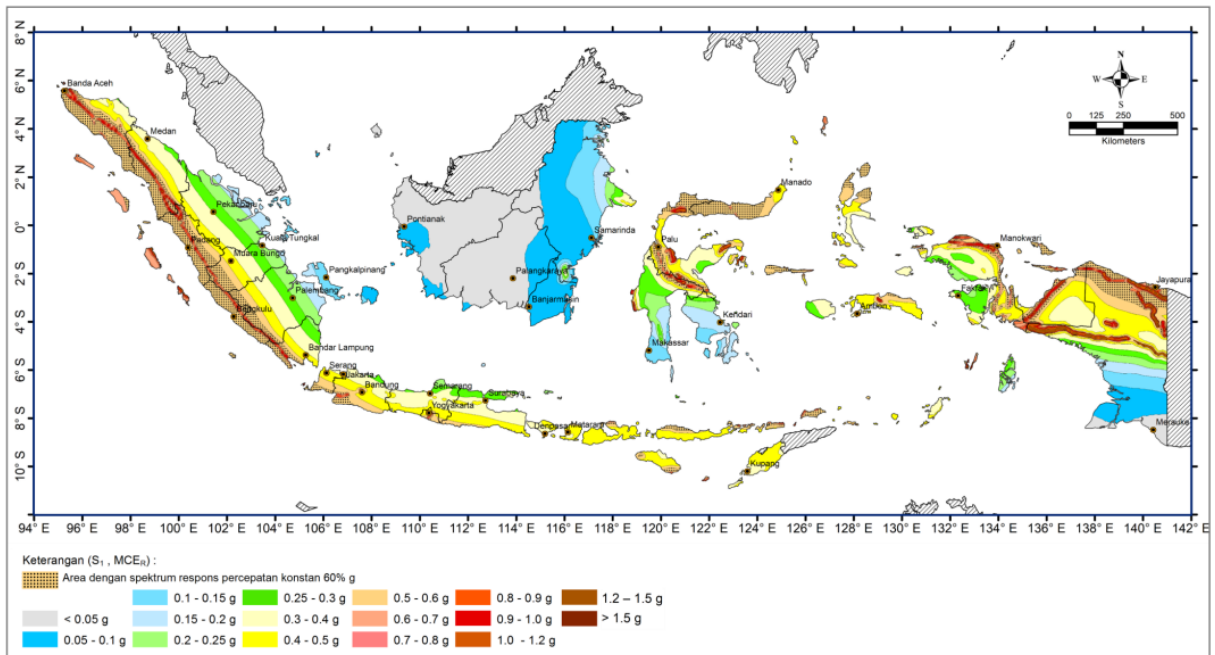
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Wilayah Gempa

Secara umum, seluruh wilayah Indonesia diketahui rawan terhadap gempa bumi mengingat letak geografis Indonesia yang berada di antara tiga lempeng tektonik aktif utama dunia (Indo-Australia, Pasifik dan Eurasia) dunia yang masih aktif bergerak. Gempa bumi merupakan peristiwa berupa terjadinya getaran akibat pergerakan yang terjadi dalam inti bumi akibat adanya pelepasan energi secara tiba-tiba yang dapat menimbulkan gelombang seismik yang menyebabkan terjadinya getaran pada permukaan bumi (Bahri dan Mungkin, 2019). Sebagaimana tercantum dalam SNI 1726-2019 Pasal 6.1.2 wilayah gempa ditetapkan berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik). Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 15, klasifikasi wilayah gempa didasarkan dengan menggunakan peta gempa berwarna dimana setiap warna menunjukkan parameter S_s dan S_1 yang berbeda untuk tiap besaran spektrum respon percepatan.



Gambar 2. 1 Parameter Gerak Tanah S_s , Peta MCE_R Wilayah Indonesia



Gambar 2. 2 Parameter Gerak Tanah S_1 , Peta MCE_R Wilayah Indonesia

Dalam peta zonasi gempa wilayah Indonesia (Gambar 2.1 dan Gambar 2.2), besaran parameter percepatan batuan dasar diwakili oleh setiap warna mulai dari warna biru cerah yang menunjukkan parameter terendah dan warna merah kecoklatan yang menunjukkan parameter yang paling tinggi. Daerah yang tidak berwarna (abu-abu) menunjukkan daerah yang tidak terpengaruh oleh gempa karena terletak jauh dari lempeng tempat pusat gempa bumi terjadi. Guna mencari nilai percepatan batuan dasar yang lebih akurat pada tiap kota atau titik koordinat tertentu, dapat dilihat melalui *link* <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id> yang dapat diakses dalam *website* Desain Spektra Indonesia.

2.2 Sistem Ganda

Sebagaimana disebutkan dalam SNI 1726-2019, sistem ganda merupakan sistem struktur dengan rangka ruang lengkap untuk memikul beban gravitasi, sedangkan tahanan terhadap gempa disediakan oleh kombinasi sistem rangka pemikul momen dan dinding geser. Pada sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu memikul sekurang-kurangnya 25% gaya seismik desain. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser. Struktur yang direncanakan dengan sistem ganda memiliki kemampuan yang tinggi dalam memikul gaya geser akibat adanya interaksi antara portal dengan dinding geser. Interaksi tersebut terjadi karena adanya perilaku defleksi yang berbeda dari kedua sistem tersebut (Soares, 2020).

Dalam SNI 1726 disebutkan bahwa sistem ganda terdiri dari 3, yaitu:

1. Rangka ruang memikul seluruh beban gravitasi.
2. Pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah dan mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral.
3. Kedua sistem harus direncanakan mampu memikul beban lateral secara bersama-sama dengan memperhatikan interaksi sistem ganda suatu sistem struktur dimana gaya-gaya lateralnya dipikul oleh rangka ruang pemikul momen yang bersifat daktail dan dinding geser dengan kekakuan relatifnya.

Struktur portal sebagai penahan gempa tidak efisien untuk membatasi defleksi lateral akibat gaya gempa, karena dimensi portal akan bertambah besar jika gedung direncanakan dengan bertingkat banyak. Dinding geser sebagai dinding struktural sangat efektif dalam memikul gaya lateral karena kekuatan dinding geser dapat mengontrol simpangan horizontal yang terjadi, selain itu dinding geser juga dapat mengontrol stabilitas struktur secara keseluruhan (Laksmi, 2019).

2.3 Dinding Geser

2.3.1 Klasifikasi Dinding Geser

Dinding geser merupakan struktur vertikal yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi. Adapun fungsi utama dari dinding geser adalah untuk menahan beban-beban lateral seperti gaya gempa dan angin (Nashor, 2018). Letak dinding geser pada struktur bangunan gedung bergantung dari beberapa faktor diantaranya tinggi bangunan dan simetrisitas bangunan. Dinding geser pada struktur biasanya menggunakan mutu beton diatas $f_c' 30$ MPa. (Sukma, 2018). Berdasarkan fungsi dan letaknya, dinding geser diklasifikasikan ke dalam tiga jenis, yaitu:

1. *Bearing Wall*

Merupakan dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga memakai dinding pembatas antar bagian yang dekat.

2. *Frame Wall*

Yaitu dinding geser yang berguna dalam menahan beban lateral dan beban gravitasi yang beraasal dari portal bangunan. Tembok tersebut dapat dibangun diantara baris kolom.

3. *Core Wall*

Merupakan dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam bangunan gedung. Dinding yang terletak di kawasan inti memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.

2.3.2 Fungsi Dinding Geser

Fungsi utama dari dinding geser yaitu sebagai penguat dan pengaku. Dinding geser diharapkan mampu memberikan kekakuan struktur dan menyerap gaya geser yang besar seiring dengan semakin tingginya suatu struktur bangunan gedung. Selain itu, dinding geser juga berfungsi untuk menahan pengaruh gaya lateral berupa goyangan-goyangan yang terjadi pada bangunan akibat beban gempa.

2.3.3 Elemen Struktur Dinding Geser

Pada umumnya, dinding geser dikategorikan berdasarkan geometrinya sebagai berikut (Imran dalam Sukma, 2018):

1. *Flexural Wall*

Dinding langsing (*flexural wall*) yaitu dinding geser dengan rasio $hw/\ell w \geq 2$, dimana desain dinding dikontrol terhadap perilaku lentur.

2. *Squat Wall*

Dinding pendek (*squat wall*) yaitu dinding geser dengan rasio $hw/\ell w \leq 2$, dimana desain dinding dikontrol terhadap perilaku lentur.

3. *Coupled Shear Wall*

Dinding berangkai (*coupled shear wall*) yaitu dimana momen guling akibat gaya gempa ditahan oleh sepasang dinding geser yang dihubungkan dengan balok penghubung sebagai gaya tarik dan tekan yang bekerja pada tiap-tiap dasar dinding tersebut.

2.3.4 Perilaku Dinding Geser

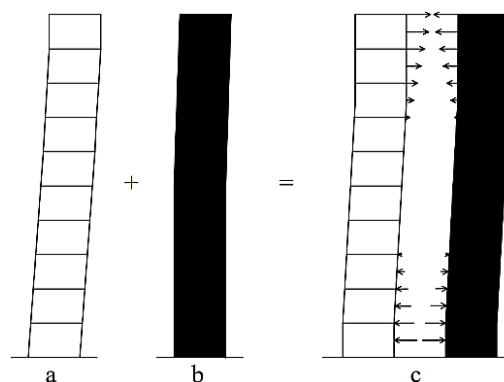
Dinding geser merupakan suatu subsistem gedung yang berfungsi untuk menahan gaya lateral akibat beban gempa. Keruntuhan yang terjadi pada dinding geser dapat diakibatkan karena terjadinya sendi plastis pada kaki dinding. Seiring dengan semakin tingginya suatu bangunan gedung, maka nilai simpangan horizontal yang terjadi akibat gaya gempa akan semakin besar, oleh sebab itu digunakan dinding geser pada struktur bangunan tinggi guna menambah kekakuan struktur sehingga nilai simpangan yang terjadi dapat berkurang. Dinding

geser juga berfungsi untuk mereduksi momen yang diterima oleh struktur rangka sehingga dimensi elemen-elemen struktur dapat dibuat lebih efisien pada struktur bangunan tinggi akibat gaya lateral yang terjadi. Kemampuan dinding geser dalam menahan gaya lateral, torsi dan momen guling tergantung dari konfigurasi, orientasi dan lokasi dinding geser pada suatu bangunan gedung.

2.3.5 Perilaku Struktur Rangka Dinding Geser

Semakin tinggi suatu bangunan gedung, penggunaan struktur rangka saja untuk menahan gaya lateral akibat beban gempa menjadi kurang ekonomis karena membuat dimensi struktur balok dan kolom yang dibutuhkan untuk menahan gaya gempa menjadi semakin besar. Oleh sebab itu, untuk meningkatkan kekuatan struktur terhadap gaya lateral dapat digunakan kombinasi antara rangka pemikul momen dengan dinding geser (sistem ganda). Dalam sistem ganda, dinding geser dan kolom struktur akan dihubungkan secara kaku oleh balok-balok pada setiap lantainya (Nashor, 2018).

Dengan adanya hubungan yang kaku antara balok, kolom dan dinding geser secara menyeluruh pada bangunan, maka struktur rangka dan dinding geser akan bekerja sama dalam menahan beban yang bekerja baik itu beban gravitasi maupun beban gempa. Selain itu, simpangan yang dihasilkan akan jauh berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah lantai pada bangunan. Besarnya simpangan keseluruhan yang terjadi pada sistem rangka kaku dinding geser diperoleh dengan cara menggabungkan perilaku kedua elemen tersebut seperti yang terdapat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Struktur Gabungan Portal dan Dinding Geser

a. Deformasi Mode Geser untuk Rangka Kaku

Pada suatu struktur rangka kaku, sudut deformasi terbesar terjadi pada dasar struktur dimana terjadi geser maksimum.

b. Deformasi Mode Lentur untuk Dinding Geser

Pada suatu struktur dinding geser, sudut deformasi terbesar terjadi pada bagian atas bangunan karena sistem dinding geser memberikan tingkat kekakuan paling kecil pada bagian atas bangunan.

c. Interaksi antara Rangka Kaku dan Dinding Geser

Perbedaan sifat defleksi antara struktur rangka kaku dengan dinding geser membuat dinding geser menahan simpangan rangka kaku pada bagian bawah, sehingga geser akibat gaya lateral akan diterima oleh sistem rangka pada bagian atas bangunan dan dipikul oleh dinding geser pada bagian bawah bangunan.

2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 3.50.4, dijelaskan bahwa sistem rangka pemikul momen merupakan sistem struktur rangka yang elemen-elemen struktur dan sambungannya menahan beban-beban lateral melalui mekanisme lentur. Seperti yang telah dikemukakan oleh Prof. Ir. Rachmat Purwono, M.Sc dalam bukunya “Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa”, sistem rangka pemikul momen adalah suatu sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur dan *jointnya* menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Sistem rangka pemikul momen terbagi menjadi 3 (Karisoh dkk., 2018), yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) atau elastik penuh, untuk daerah dengan kategori desain seismik A dan B. Keuntungan dari Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) adalah biaya yang murah dan arsitektural yang sederhana. Sedangkan kerugian dari sistem ini yaitu struktur sangat beresiko untuk mengalami keruntuhan apabila sewaktu-waktu terjadi perubahan kondisi alam yang mempengaruhi kondisi tanah yang ada.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) atau daktail parsial, untuk daerah dengan kategori desain seismik A, B dan C. Keuntungan dari Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yaitu arsitektural yang sederhana dan tidak membutuhkan banyak perkuatan. Sedangkan kerugian dari sistem ini yaitu apabila terjadi perubahan kondisi alam yang mempengaruhi kondisi tanah yang ada, maka struktur dapat beresiko untuk mengalami kegagalan.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) atau daktilitas tinggi, untuk daerah dengan kategori desain seismik D, E dan F. Keuntungan dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yaitu arsitektural yang sederhana. Sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah pada pendetailan yang kompleks sehingga dapat mempersulit pengerjaan.

2.5 Persyaratan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Dalam ketentuan SRPMK, terdapat pendetailan khusus yang bertujuan untuk memastikan bahwa respon inelastis dari struktur bersifat daktail (Patrisko dkk., 2018). Adapun prinsip dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) antara lain yaitu:

1. *Strong column weak beam*, yaitu kuat lentur kolom direncanakan 1,2 kuat lentur balok sehingga kolom tidak mengalami leleh terlebih dahulu sebelum balok dengan harapan agar menghasilkan struktur bangunan yang stabil sekalipun beberapa komponen mengalami kerusakan akibat gempa. Apabila struktur bangunan memiliki kolom yang lemah, maka simpangan antar lantai yang terjadi akan cenderung terpusat pada satu lantai, namun apabila suatu struktur bangunan memiliki kolom yang sangat kuat maka simpangan antar lantai akan tersebar merata.
2. Menghindari kegagalan geser pada balok, kolom dan sambungan dengan cara pendekatan desain kapasitas, dimana gaya geser yang diperhitungkan tidak hanya gaya geser yang berasal dari beban gravitasi, melainkan juga mempertimbangkan beban geser yang berasal dari kapasitas momen maksimum balok pada saat balok mengalami yielding (kehilangan sifat elastis). Kegagalan geser terutama yang terjadi pada kolom akan berakibat fatal bagi struktur mengingat kemampuan satu kolom untuk menumpu semua lantai yang berada di atasnya.
3. Pendetailan khusus yang bertujuan untuk mendapatkan hasil struktur yang bersifat daktail. Adapun beberapa pendetailan dalam SRPMK antara lain yaitu:
 - Kekuatan geser dari beton (V_c) pada saat analisa kekuatan geser pada balok diabaikan, terutama pada balok dengan gaya aksial kecil, sehingga gaya geser hanya ditahan oleh tulangan.
 - Tulangan sengkang dipasang rapat pada bagian struktur yang mengalami kelelahan, terutama pada daerah hubungan balok-kolom.
 - Pendetailan pada daerah sambungan dilakukan untuk mencegah kegagalan pada daerah itu sendiri.

2.5.1 Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Adapun persyaratan untuk perencanaan komponen lentur dalam Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang mengacu pada SNI 2847-2019 diantaranya:

1. Pasal 9.6.1.2

As min harus lebih besar dari $\frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b_w \cdot d$ dan $\frac{1,4}{f_y} \cdot b_w \cdot d$

2. Pasal 18.6.1

Gaya tekan aksial terfaktor $P_u < \frac{A_g \cdot f_c'}{10}$

3. Pasal 18.6.2.1

Balok harus memenuhi persyaratan berikut:

- Bentang bersih $\ell_n \geq 4d$.
- Lebar penampang b_w harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm.
- Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing kolom.

4. Pasal 18.6.3.1

- Balok-balok harus memiliki setidaknya dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang.
- Rasio tulangan ρ baik untuk tulangan atas maupun bawah tidak boleh melebihi $0,025$.

5. Pasal 18.6.3.2

- Kekuatan M_{nr}^+ pada muka *joint* $> (1/2)M_{nr}^-$ pada muka *joint* tersebut.
- Kekuatan M_{nr}^- dan M_{nr}^+ pada sebarang penampang di sepanjang bentang komponen struktur $> (1/4)M_n \max$ pada muka kedua *joint*.

6. Pasal 18.6.3.3

- Sambungan lewatan tulangan longitudinal diizinkan apabila sengkang pengegang atau spiral dipasang sepanjang sambungan lewatan.
- Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung-lewatan harus $< (d/4)$ dan < 100 mm.
- Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada lokasi dalam *joint*; dalam jarak $2 \times$ tinggi balok dari muka *joint*; dalam jarak $2 \times$ tinggi balok dari penampang kritis dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.

7. Pasal 18.6.4.1

Sengkang pengegang harus dipasang pada daerah balok berikut:

- Sepanjang jarak yang sama dengan $2h$ balok yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang di kedua ujung balok.

- Sepanjang jarak yang sama dengan $2h$ balok pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.

8. Pasal 18.6.4.4

Senggang pengegang pertama harus ditempatkan ≤ 50 mm dari muka kolom penumpu. Spasi senggang pengegang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari ketentuan berikut:

- $d/4$
- $6 \times$ diameter terkecil batang tulangan lentur utama, tidak termasuk tulangan longitudinal samping
- 150 mm

9. Pasal 18.6.4.6

Bila sengkang pengegang tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi $\leq (d/2)$ sepanjang bentang balok.

10. Pasal 18.6.4

- Batas atas pada spasi sengkang pengegang paling kecil adalah $(d/4)$, diameter 8 untuk batang longitudinal, $24 \times$ diameter sengkang pengegang, dan 300 mm.
- Spasi tulangan longitudinal yang tertumpu secara lateral tidak boleh melebihi 350 mm.

11. Pasal 18.6.5.1

Gaya geser 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.

12. Pasal 18.6.5.2

Tulangan transversal sepanjang daerah yang diidentifikasi dalam 18.6.4.1 harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana kedua persyaratan di bawah terpenuhi:

- Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai 18.6.5.1 mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
- Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $\frac{A_g \cdot f_c'}{20}$

2.5.2 Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Adapun persyaratan untuk perencanaan komponen terkena beban lentur dan aksial pada sistem rangka pemikul momen khusus yang mengacu pada SNI 2847-2019 antara lain:

1. Pasal 18.7.2.1

Kolom-kolom harus memenuhi persyaratan berikut:

- Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.
- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya $\geq 0,4$.

2. Pasal 18.7.3.2

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$.

$\sum M_{nc}$ adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\sum M_{nb}$ adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*.

3. Pasal 18.7.3.3

Apabila persamaan dalam pasal 18.7.3.2 tidak dipenuhi pada suatu *joint*, kekuatan dan kekakuan lateral kolom yang merangka ke dalam *joint* tersebut harus diabaikan pada saat menghitung kekuatan dan kekakuan struktur.

4. Pasal 18.7.4.1

Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$.

5. Pasal 18.7.4.3

Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal.

6. Pasal 18.7.5.1

Panjang ℓ_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara persyaratan berikut:

- Tinggi kolom pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi
- $(1/6)$ tinggi bersih kolom
- 450 mm

7. Pasal 18.7.5.3

Spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari persyaratan berikut:

- (1/4) dimensi terkecil penampang kolom.
- 6 x diameter tulangan longitudinal kecil.
- S_0 yang dihitung dengan persamaan $S_0 = 100 + \left(\frac{350-hx}{3}\right)$

Nilai S_0 tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm.

8. Pasal 18.7.5.7

Jika tebal selimut beton di luar tulangan transversal pengekang yang ditetapkan berdasarkan 18.7.5.1, 18.7.5.5, dan 18.7.5.6 melebihi 100 mm, maka harus disediakan tulangan transversal tambahan dengan tebal selimut beton tidak melebihi 100 mm dan spasi tidak melebihi 300 mm.

2.5.3 Joint Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Detailing hubungan balok dan kolom memerlukan perhatian khusus mengingat pada pertemuan sambungan balok kolom memiliki konsentrasi tegangan yang tinggi apabila terkena gaya gempa. Dalam persyaratan umum SNI 2847-2019 terdapat beberapa pasal yang menjelaskan terkait detailing hubungan balok kolom, diantaranya:

1. Pasal 18.8.2.1 menyebutkan bahwa gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka joint harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25f_y$.
2. Pasal 18.8.2.3 menjelaskan bahwasanya apabila 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 untuk beton normal (*normalweight*). Untuk beton ringan (*lightweight*), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan.
3. Pasal 18.8.4.1 tertulis bahwa kekuatan geser V_n joint harus sesuai dengan Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Kekuatan Geser Nominal *Joint* V_n

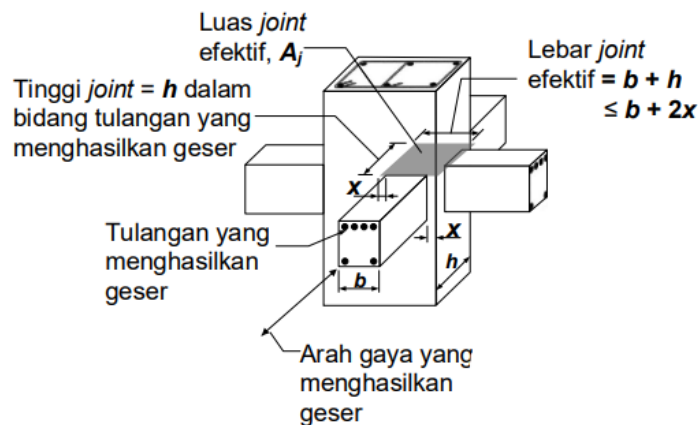
Konfigurasi <i>Joint</i>	V_n
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya.	$1,7\lambda \sqrt{f'c'} A_j$
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan.	$1,2\lambda \sqrt{f'c'} A_j$
Untuk kasus-kasus lainnya.	$1,0\lambda \sqrt{f'c'} A_j$

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 18.8.4.1 Pasal 18.8.4.1)

4. Pasal 18.8.3.2 menyebutkan bahwa apabila 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.

5. Pasal 18.8.3.3 menjelaskan bahwa 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*.
6. Pasal 18.8.5.4 menyatakan bahwa tulangan lurus yang berhenti pada *joint* harus melewati inti terkekang kolom atau elemen batas. Semua bagian ℓ_d yang tidak berada di dalam inti terkekang harus diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali.



Gambar 2. 4 Luas *Joint* Efektif

2.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko bangunan gedung merupakan kategori yang membedakan setiap gedung berdasarkan jenis pemanfaatannya dan juga risiko kerugian yang diterima apabila terjadi suatu kegagalan struktur. Pengaruh gempa rencana terhadap berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung harus dikalikan suatu faktor keutamaan gempa (I_e). Kategori risiko juga menjadi salah satu pertimbangan dalam penentuan kategori desain seismik. Dalam SNI 1726-2019, kategori risiko bangunan gedung dan faktor keutamaan gempa dijelaskan dalam Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2. 2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan 	I

Tabel 2. 2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa
(lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	
<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"> • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartmen/rumah susun • Pusat perbelanjaan/mall • Bangunan industry • Fasilitas manufaktur • Pabrik 	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"> • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpangan, 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"> • Bangunan-bangunan monumental 	IV

Tabel 2. 2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa
(lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> • Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan • Rumah ibadah • Rumah sakit dan fasilitas Kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat • Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya • Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat • Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat. • Struktur tambahan (termasuk Menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, Menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang termasuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	

(Sumber : SNI 1726-2019 Tabel 3 Pasal 4.1.2)

Tabel 2. 3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726-2019 Tabel 4 Pasal 4.1.2)

2.7 Klasifikasi Situs

Sebagaimana tercantum dalam SNI 1726-2019 Pasal 5.1, klasifikasi situs digunakan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Profil tanah pada suatu situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 2.4, berdasarkan profil lapisan tanah 30 m paling atas.

Tabel 2. 4 Klasifikasi 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

Tabel 2. 4 Klasifikasi Situs
(lanjutan)

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti SNI 1729-2019)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersedimentasi lemah • Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) • Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) • Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa 		

CATATAN : N/A = tidak dapat dipakai
(Sumber : SNI 1726-2019 Tabel 5 Pasal 5.3)

2.8 Analisis Respons Situs untuk Tanah Kelas Situs SF

Apabila terdapat kondisi yang terpenuhi dari beberapa kondisi di bawah, maka situs tersebut harus diklasifikasikan kedalam kelas situs SF. Dalam SNI 1726-2019 pasal 5.3.1 tertulis bahwa analisis respons situs untuk tanah kelas situs SF harus dilakukan, jika tidak, pengecualian-pengecualian di bawah terpenuhi. Adapun kondisi-kondisi yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Tanah yang rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat seismik seperti mudah likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersedimentasi lemah;

Pengecualian : Untuk struktur bangunan dengan periode getar fundamental $\leq 0,5$ detik, analisis respons spesifik-situs tidak diperlukan dalam menentukan percepatan spectral untuk tanah yang berpotensi likuifaksi. Sebagai gantinya, klasifikasi situs dapat ditentukan menggunakan nilai F_a dan F_v terbesar untuk situs kelas SD atau SE yang ditentukan dari Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

2. Lempung kadar organik tinggi dan/atau gambut, dengan ketebalan, $H > 3$ m;

3. Lempung dengan plastisitas yang sangat tinggi dengan ketebalan, $H > 7,5$ m, dengan indeks plastisitas $PI > 75$);

Pengecualian : Analisis respons spesifik-situs tidak diperlukan untuk tanah lempung kategori ini jika kedua persyaratan berikut terpenuhi: (i) Nilai nilai F_a dan F_v ditentukan dari Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 untuk kelas situs SD atau SE dikalikan dengan faktor yang meningkat secara linear dari 1,0 pada $PI = 75$ sampai dengan 1,3 untuk $PI = 125$ dan 1,3 untuk $PI > 125$; dan (ii) Nilai S_{DS} dan S_{D1} yang didapat dari faktor skala F_a dan F_v tidak melebihi nilai batas atas untuk kategori desai seismik B yang ditentukan pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8.

4. Lempung lunak atau lempung dengan kekuatan sedang yang memiliki ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa.

Pengecualian : Analisis respons spesifik-situs tidak diperlukan untuk lempung kategori ini jika kedua persyaratan berikut terpenuhi: (i) Nilai F_a dan F_v ditentukan dari Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 untuk kelas situs SE; dan (ii) Nilai S_{DS} dan S_{D1} yang didapat dari faktor skala F_a dan F_v tidak melebihi nilai batas atas untuk kategori desain seismik kategori B yang ditentukan pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8.

Tabel 2. 5 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

CATATAN : (a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

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

Tabel 2. 6 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektra 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

Tabel 2. 6 Koefisien Situs, F_v
(lanjutan)

Kelas Situs	Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Terpetakan pada Periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
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)					

CATATAN : (a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

(Sumber : SNI 1726-2019 Tabel 7 Pasal 6.2)

2.9 Menentukan Respon Spektra

Respon spektra merupakan suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik antara periode getar struktur T dan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan tempa tertentu. Dalam perencanaan suatu bangunan, diperlukan respon spektra sebagai suatu konsep pendekatan (Belo, 2015). Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 6.2, diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode pendek 0,2 detik dan periode 1 detik untuk menentukan respon spektra percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah. Adapun parameter respon spektra percepatan pada periode pendek 0,2 detik dan periode 1 detik yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut:

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

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

Keterangan:

S_{MS} = Parameter respon spektra percepatan pada periode pendek 0,2 detik

S_{M1} = Parameter respon spektra percepatan pada periode 1 detik

F_a = Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek 0,2 detik

F_v = Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik

S_s = Parameter respon spektra percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek 0,2 detik

S_1 = Parameter respon spektra percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik

Dalam perumusan di atas, besarnya nilai koefisien situs F_a dan F_v ditentukan berdasarkan Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

Setelah besarnya nilai parameter respon spektra percepatan pada periode pendek 0,2 detik dan periode 1 detik diketahui, maka seismik selanjutnya yaitu menentukan besarnya nilai

parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}). Parameter percepatan spektra desain merupakan parameter yang akan dimasukkan ke dalam perencanaan koefisien respons seismik dan kategori desain seismik. Parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) harus ditentukan melalui perumusan berikut:

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

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

Adapun prosedur penentuan respon spektra desain berdasarkan SNI 1726-2019 dibuat dengan mengikuti ketentuan berikut:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain (S_a) harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.5)$$

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 spektra percepatan desain, S_a , diambil dari persamaan:

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

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

$$S_a = \frac{SD1 \cdot TL}{T^2} \quad (2.7)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode pendek 0,2 detik

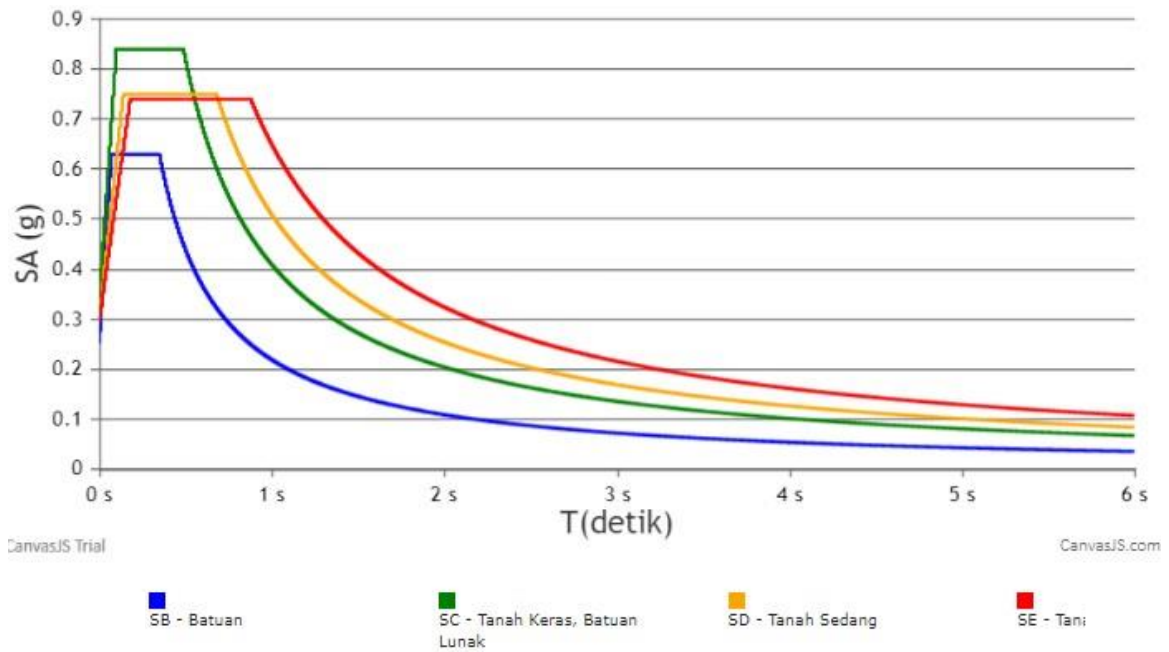
S_{D1} = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{SD1}{SDS} \quad (2.8)$$

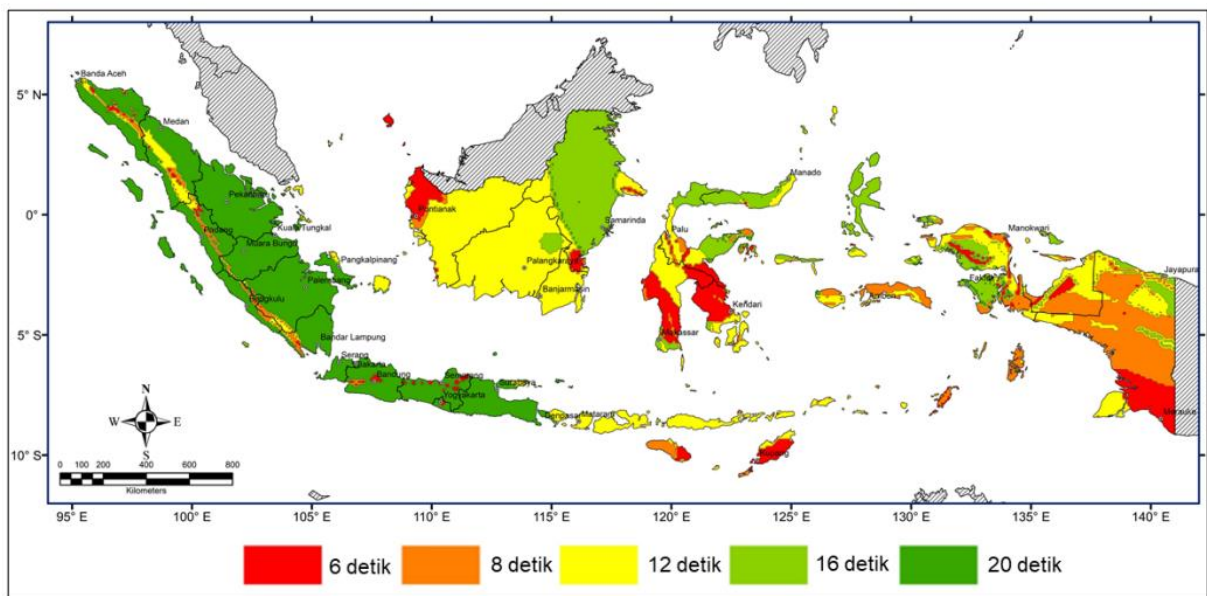
$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \quad (2.9)$$

T_L = Peta transisi periode panjang



Gambar 2. 5 Spektrum Respon Desain
 (Sumber : <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id>)

SNI 1726:2019



Gambar 2. 6 Peta Transisi Periode Panjang, TL, Wilayah Indonesia

2.10 Kategori Desain Seismik

Menurut Belo (2015), kategori desain seismik merupakan kategori yang menentukan jenis sistem rangka yang akan digunakan dalam perencanaan sesuai dengan nilai S_{DS} , S_{D1} dan

kategori risiko gedung. Untuk menentukan kategori desain seismik suatu wilayah dapat dilakukan dengan mengacu pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang memiliki faktor S_1 lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Sedangkan untuk Struktur dengan kategori risiko IV yang memiliki faktor S_1 lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Tabel 2. 7 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek 0,2 Detik

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 Tabel 8 Pasal 6.5)

Tabel 2. 8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	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 Tabel 9 Pasal 6.5)

Berdasarkan SNI 1726-2019, dijelaskan apabila nilai S_1 kurang dari 0,75 maka kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan berdasarkan Tabel 2.7 saja, selain itu juga terdapat beberapa ketentuan yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Pada masing-masing dua arah seismik S_{SI} , perkiraan periode fundamental struktur yang digunakan , T_a , yang ditentukan adalah kurang dari $0,8T_s$.
2. Pada masing-masing dua arah seismik S_{SI} , periode struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s .
3. Koefisien respons seismik, C_s yang dipakai yaitu menggunakan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.10)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektra desain dalam rentang periode pendek

R = Koefisien modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan gempa

4. Diafragma seismik S_{SI} adalah kaku, untuk diafragma yang fleksibel, jarak antar elemen seismik pemikul gaya seismik tidak melebihi 12 m.

2.11 Perencanaan Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dampak dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa. Dalam perencanaan suatu bangunan tahan gempa tentu perlu dilakukan perencanaan terhadap beban gempa pada wilayah tersebut, dengan begitu diharapkan struktur tidak akan mengalami kegagalan pada saat terjadi gempa.

2.11.1 Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental merupakan komponen yang cukup penting untuk diketahui dalam proses perancangan struktur tahan gempa karena periode fundamental yang akan menentukan besarnya beban gempa yang akan diaplikasikan dalam perancangan sstruktur. Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2.1, periode fundamental pendekatan harus ditentukan dengan perumusan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (2.11)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefien C_t dan x ditentukan dari Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku 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 Tabel 18 Pasal 7.8.2.1)

2.11.2 Distribusi Gaya Gempa

Pencarian nilai distribusi gaya gempa dilakukan berdasarkan gaya geser dasar seismik, V , yang dibagi sepanjang tinggi struktur gedung ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (2.12)$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.3 gaya seismik lateral (F_x), di sebarang tingkat harus ditentukan menurut persamaan berikut:

$$F_x = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum W_i \cdot h_i^k} \cdot V \quad (2.13)$$

Keterangan:

F_x = gaya seismik lateral

w_i & w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (w) yang ditempatkan pada tingkat i atau x

h_i & h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur, $T_a \leq 0,5$ maka $k = 1$, dan $T_a > 0,5$ maka $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

2.11.3 Batasan Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai merupakan pergeseran posisi (defleksi) yang terjadi antara pusat massa sebuah lantai dengan lantai lainnya akibat dari adanya penyerapan beban yang dialami oleh suatu struktur. (Belo, 2015). Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1 menjelaskan bahwa simpangan antar lantai desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin (Δ_a) seperti yang disyaratkan pada Tabel 2.10 berikut.

Tabel 2. 10 Simpangan Antar Lantai Tingkat Izin, $\Delta_a^{a,b}$

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

(Sumber : SNI 1726-2019 Tabel 20 Pasal 7.12.1)

Tujuan dari pemberian batasan simpangan ini adalah agar struktur tidak terlalu melentur dan juga tidak terlalu kaku, karena struktur yang terlalu melentur memberikan efek tidak nyaman bagi penghuni sedangkan struktur yang terlalu kaku tidak bisa memberikan adanya tanda-tanda kerusakan struktur sehingga memberikan efek tidak aman bagi para penghuni gedung.

2.11.4 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 4.2.2.1, tertulis bahwa struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen pondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama dengan atau lebih dari pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi berikut:

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

2.12 Perencanaan Struktur Sekunder

Struktur sekunder yaitu bagian struktur gedung yang tidak menahan kekuatan secara penuh, namun tetap mengalami tegangan-tegangan akibat pembebanan yang mengenai bagian struktur tersebut secara langsung. Adapun dalam perencanaan struktur sekunder, komponen-komponen yang direncanakan antaralain adalah komponen pelat dan balok anak. Perencanaan struktur sekunder mengacu pada peraturan SNI 2847-2019 dengan ketentuan sebagai berikut:

2.12.1 Perencanaan Pelat Satu Arah

1. Pasal 7.3.1.1

Untuk pelat solid nonprategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat h tidak boleh kurang dari batas minimum pada Tabel 7.3.1.1 SNI 1726-2019, kecuali jika hasil hitungan pada batas lendutan 7.3.2 SNI 1726-2019 terpenuhi.

Tabel 2. 11 Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Nonprategang

Kondisi Tumpuan	h Minimum
Tumpuan sederhana	$\ell/20$
Satu ujung menerus	$\ell/24$

Tabel 2. 11 Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Nonprategang
(lanjutan)

Kondisi Tumpuan	h Minimum
Kedua ujung menerus	$\ell/28$
Kantilever	$\ell/10$

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 7.3.1.1 Pasal 7.3.1.1)

2. Pasal 7.3.1.1.1

Untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada Tabel 2.10 harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$.

3. Pasal 7.3.1.1.2

Untuk pelat nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m³, persamaan pada Tabel 2.10 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari:

- $1,65 - 0,0003w_c$
- 1,09

4. Pasal 7.3.3.1

Batas regangan tulangan pada pelat nonprategang yaitu ϵ_t sekurang-kurangnya 0,004.

5. Pasal 7.4.2.1

Momen terfaktor untuk pelat yang dibangun menyatu dengan tumpuan, M_u di tumpuan diperkenankan dihitung pada muka tumpuan.

6. Pasal 7.4.3.1

Geser terfaktor untuk pelat yang dibangun menyatu dengan tumpuan, V_u di tumpuan diperkenankan dihitung pada muka tumpuan.

7. Pasal 7.4.3.2

Geser terfaktor untuk penampang antara muka tumpuan dan penampang kritis yang terletak sejauh d dari permukaan tumpuan untuk pelat nonprategang atau $h/2$ dari muka tumpuan untuk pelat prategang harus dirancang untuk memenuhi V_u pada penampang kritis jika persyaratan berikut terpenuhi:

- Reaksi perletakan, dalam arah geser yang terjadi, menimbulkan tekan ke daerah ujung pelat.
- Beban yang diberikan pada atau dekat permukaan atas pelat.
- Tidak ada beban terpusat antara muka tumpuan dan penampang kritis.

8. Pasal 7.5.1.1

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ termasuk kesua persyaratan di bawah. Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan.

- $\phi M_n \geq M_u$
- $\phi V_n \geq V_u$

9. Pasal 7.6.1.1

Luas minimum tulangan lentur, A_s min, harus disediakan sesuai dengan Tabel 2.12.

Tabel 2. 12 A_s min untuk Pelat Satu Arah Nonprategang

Tipe Tulangan	f_y , MPa	A_s min	
Batang ulir	< 420	0,0020 A_g	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari:	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			0,0014 A_g

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 7.6.1.1 Pasal 7.6.1.1)

10. Pasal 7.6.3.1

Luas minimum tulangan geser, A_v min, harus disediakan pada semua penampang dimana $V_u > \phi V_c$.

11. Pasal 7.7.2.3

Spasi maksimum s untuk tulangan ulir harus kurang dari 3h dan 450 mm.

12. Pasal 7.7.3.3

Tulangan harus diteruskan melewati titik dimana tulangan tersebut tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur dengan jarak setidaknya yang terbesar dari d dan 12 d_b , kecuali pada tumpuan sederhana dan kantilever.

13. Pasal 7.7.3.5

Tulangan tarik lentur tidak boleh diputus di daerah tarik, kecuali memenuhi ketiga persyaratan berikut:

- $V_u \leq (2/3) \phi V_n$ pada titik putus (*cutoff*).
- Untuk tulangan D36 atau yang lebih kecil, luas tulangan yang diteruskan dua kali lipat dari luas yang dibutuhkan untuk lentur pada titik putus dan $V_u \leq (3/4) \phi V_n$.
- Luas sengkang berlebih yang diperlukan untuk geser disediakan di sepanjang pemutusan tulangan atau kawat sejarak $\frac{3}{4}d$ dari titik pemutusan tulangan. Luas sengkang berlebih harus tidak boleh kurang dari $W/0,41b_{ws}/f_{yr}$. Spasi s tidak boleh melebihi $d/(8\beta_b)$.

14. Pasal 7.7.8.3

Pada tumpuan sederhana dan titik balik, d_b untuk tulangan tarik momen positif harus dibatasi sedemikian rupa sehingga ℓ_d dapat memenuhi kedua persyaratan di bawah. Jika tulangan terputus melewati garis tengah tumpuan dengan ujung kait standar atau pengankuran mekanis yang setidaknya setara dengan kait standar, maka kedua persyaratan di bawah tidak perlu dipenuhi.

- $\ell_d \leq (1,3M_n / V_u + \ell_a)$ jika ujung tulangan dikekang oleh reaksi tekan.
- $\ell_d \leq (M_n / V_u + \ell_a)$ jika ujung tulangan tidak dikekang oleh reaksi tekan.

2.12.2 Perencanaan Pelat Dua Arah

1. Pasal 8.3.1.1

Untuk pelat nonprategang tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimum 2, ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan pada Tabel 2.13.

Tabel 2. 13 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm)

f_y , MPa	Tanpa Drop Panel			Dengan Drop Panel		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi		Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 8.3.1.1 Pasal 8.3.1.1)

2. Pasal 8.3.1.2

Untuk pelat nonprategang dengan balok membentang di antara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan h harus memenuhi batasan pada Tabel 2.14.

Tabel 2. 14 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan pada Semua Sisinya

α_{fm}	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b)
		125	(c)

Tabel 2. 14 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan pada Semua Sisinya
(lanjutan)

α_{fm}	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{fy}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	(d)
		90	(e)

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 8.3.1.2 Pasal 8.3.1.2)

3. Pasal 8.5.1.1

Untuk setiap beban kombinasi terfaktor yang berlaku, kekuatan desain harus memenuhi $\phi S_n \geq U$, dan mencakup keempat persyaratan di bawah. Hubungan antara pengaruh beban harus dipertimbangkan.

- $\phi M_n \geq M_u$ di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah.
- $\phi M_n \geq \gamma_f M_{sc}$ dalam b_{pelat} .
- $\phi V_n \geq V_u$ di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah untuk geser satu arah.
- $\phi v_n \geq v_u$ pada penampang kritis.

4. Pasal 8.6.1.1

Luas minimum tulangan lentur, $A_{s \text{ min}}$, harus disediakan di dekat muka tarik pada arah bentang yang ditinjau sesuai Tabel 2.15.

Tabel 2. 15 $A_{s \text{ min}}$ untuk Pelat Dua Arah Nonprategang

Jenis Tulangan	fy , MPa	$A_{s \text{ min}}$, mm ²	
Batang ulir	< 420	0,0020 A_g	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari:	$\frac{0,0018 \times 420}{fy} A_g$
			0,0014 A_g

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 Pasal 8.6.1.1)

5. Pasal 8.7.2.2

Untuk pelat solid nonprategang, spasi maksimum s tulangan ulir longitudinal harus yang terkecil dari 2h dan 450 mm pada penampang kritis, dan yang terkecil dari 3h dan 450 mm pada penampang lainnya.

2.12.3 Balok Anak

Komponen balok anak adalah komponen yang berguna untuk mencegah lendutan pada pelat akibat luasan pelat yang terlalu besar sehingga dibutuhkan balok anak untuk meminimalisasikan besarnya lendutan yang terjadi (Nashor, 2018).

2.12.4 Balok Penggantung Lift

Beban yang bekerja pada balok penumpu merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, selain itu juga akibat bandul pemberat + perlengkapan. Dalam PPIUG 1983 Pasal 3.3.(3) tertulis bahwa beban keran yang membenani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah dengan berat muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan menurut rumus berikut:

$$\psi = (1 + k_1 \cdot k_2 \cdot v) \geq 1,15$$

Keterangan:

ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15

k_1 = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/det

k_2 = koefisien yang bergantung pada sifat-sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan dapat diambil sebagai berikut:

- Pada mesin listrik biasa atau mesin-mesin lain dengan sifat-sifat yang sejenis $k_2 = 1,0$
- Pada mesin sangkar asinkron dan mesin termis dengan kopling $k_2 = 1,3$
- Pada mesin dengan pembatas percepatan otomatis:
 - Dengan alat cengkeram $k_2 = 0,75$
 - Dengan alat kait $k_2 = 0,50$

2.13 Perencanaan Struktur Primer

Struktur primer merupakan komponen utama yang berfungsi untuk menahan beban gravitasi dan beban lateral (beban gempa). Adapun dalam perencanaan struktur primer, komponen-komponen yang direncanakan antarara lain adalah komponen balok induk, kolom dan dinding geser. Perencanaan struktur sekunder mengacu pada peraturan SNI 2847-2019 dengan ketentuan sebagai berikut:

2.13.1 Perencanaan Balok Induk

1. Pasal 9.3.1.1

Tinggi balok minimum untuk balok nonprategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan

keseluruhan pelat h tidak boleh kurang dari batas minimum pada Tabel 2.16.

Tabel 2. 16 Tinggi Minimum Balok Nonprategang

Kondisi Perletakan	Minimum h
Perletakan sederhana	$\ell/16$
Menerus satu sisi	$\ell/18,5$
Menerus dua sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 9.3.1.1 Pasal 9.3.1.1)

2. Pasal 9.3.1.1.1

Untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada Tabel 2.16 harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

3. Pasal 9.3.1.1.2

Untuk balok nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m^3 , persamaan pada Tabel 2.16 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari $1,65 - 0,0003w_c$ dan 1,09.

4. Pasal 9.3.3.1

Untuk balok nonprategang dengan $P_u < 0,10 \cdot f_c'$. A_g , ϵ_t sekurang-kurangnya 0,004.

5. Pasal 9.5.1.1

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ meliputi keempat persyaratan di bawah. Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan.

- $\phi M_n \geq M_u$
- $\phi V_n \geq V_u$
- $\phi T_n \geq T_u$
- $\phi P_n \geq P_u$

6. Pasal 9.7.6.2.2

Spasi maksimum tulangan geser harus sesuai dengan Tabel 2.17.

Tabel 2. 17 Spasi Maksimum Tulangan Geser

V_s	Maksimum s, mm		
		Balok Nonprategang	Balok Prategang
$\leq 0,33 \sqrt{f_c'} bw d$	Terkecil dari:	$d/2$	$3h/4$
		600	
$> 0,33 \sqrt{f_c'} bw d$	Terkecil dari:	$d/4$	$3h/8$
		300	

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 9.7.6.2.2 Pasal 9.7.6.2.2)

7. Pasal 9.7.6.3.2

Tulangan torsi longitudinal harus diteruskan sekurang-kurangnya ($b_t + d$) melewati titik yang disyaratkan oleh analisis.

8. Pasal 9.7.6.3.3

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi $p_h/8$ dan 300 mm.

9. Pasal 9.7.6.4.3

Spasi tulangan transversal harus tidak melebihi sekurang-kurangnya ketiga persyaratan berikut:

- $16d_b$ tulangan longitudinal
- $48d_b$ tulangan transversal
- Dimensi terkecil balok

2.13.2 Perencanaan Kolom

1. Pasal 10.3.1.3

Untuk kolom dicor secara monolitik dengan dinding beton, batas luar penampang kolom efektif tidak boleh diambil lebih besar dari 40 mm di luar tulangan transversal.

2. Pasal 10.5.1.1

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang ditetapkan, kekuatan desain pada semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$, termasuk keempat persyaratan berikut. Interaksi antara efek beban harus dipertimbangkan.

- $\phi P_n \geq P_u$
- $\phi M_n \geq M_u$
- $\phi V_n \geq V_u$
- $\phi T_n \geq T_u$

3. Pasal 10.6.1.1

Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata-rata $f_{pc} < 1,6$ MPa, luas tulangan longitudinal harus sekurang-kurangnya $0,01A_g$, namun tidak boleh melebihi $0,08A_g$.

4. Pasal 10.6.2.1

Luas minimum tulangan geser, $A_{v \min}$ harus disediakan di semua wilayah dimana $V_u > 0,5 \phi V_c$.

5. Pasal 10.6.2.2

Bila tulangan geser diperlukan, $A_{v \text{ min}}$ harus lebih besar dari:

- $0,062 \sqrt{f'c'} \frac{bw s}{f_{yt}}$
- $0,35 \frac{bw s}{f_{yt}}$

6. Pasal 10.7.3.1

Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata-rata $f_{pe} < 1,6 \text{ MPa}$, jumlah minimum tulangan longitudinal adalah:

- Tiga dalam sengkang ikat segitiga
- Empat dalam sengkang ikat segi empat atau lingkaran
- Enam dalam sengkang spiral atau untuk kolom pada sistem pemikul momen khusus dalam sengkang spiral melingkar

7. Pasal 10.7.6.5.2

Spasi maksimum tulangan geser harus sesuai dengan Tabel 2.18.

Tabel 2. 18 Persyaratan Spasi Maksimum Tulangan Geser

V_s	Maksimum s, mm		
		Balok Prategang	
$\leq 0,33 \sqrt{f'c'} bw d$	Terkecil dari:	Balok Nonprategang	
		$d/2$	$3h/4$
		600	
$> 0,33 \sqrt{f'c'} bw d$	Terkecil dari:	$d/4$	$3h/8$
		300	

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 10.7.6.5.2 Pasal 10.7.6.5.2)

2.13.3 Dinding Struktural Khusus

Dinding struktural khusus merupakan suatu dinding struktural yang memiliki tingkat daktilitas penuh dan harus digunakan untuk struktur bangunan yang termasuk ke dalam kategori desain seismik D, E dan F. Menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.10 mengatur mengenai dinding struktural khusus dan semua komponennya termasuk balok kopel dan pilar dinding yang merupakan sistem pemikul gaya seismik. Adapun persyaratan untuk dinding struktural khusus diantaranya:

1. Pasal 18.10.2.1

Rasio tulangan badan (*web*) terdistribusi, ρ_ℓ dan ρ_t , pada dinding struktural tidak boleh kurang dari 0,0025. Kecuali bila V_u tidak melebihi $0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'}$. ρ_ℓ dan ρ_t diizinkan

untuk direduksi sesuai 11.6 SNI 2847-2019. Spasi tulangan untuk masing-masing arah pada dinding struktural tidak boleh melebihi 450 mm. Tulangan yang memberi kontribusi pada V_n harus menerus dan harus didistribusikan sepanjang bidang geser.

2. Pasal 18.10.2.2

Paling sedikit dua lapis tulangan harus digunakan pada suatu dinding jika $V_u > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}$ atau $h_w/\ell_w \geq 2,0$, dimana h_w dan ℓ_w merupakan tinggi dan panjang dari dinding secara keseluruhan.

3. Pasal 18.10.2.3

Tulangan dinding struktural harus dapat disalurkan atau disambung-lewatkan agar mampu mencapai kekuatan leleh tarik f_y sesuai 25.4, 25.5 SNI 2847-2019, dan ketiga persyaratan berikut:

- Tulangan longitudinal harus diteruskan sejauh minimal $0,8\ell_w$ di luar batas dimana tulangan tersebut tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur, kecuali pada bagian atas dinding.
- Pada lokasi dimana pelelehan tulangan longitudinal mungkin terjadi akibat perpindahan lateral, panjang penyaluran tulangan longitudinal harus dihitung untuk dapat mengembangkan $1,25f_y$ dalam kondisi tarik.
- Sambungan mekanis tulangan harus memenuhi 18.2.7 SNI 2847-2019 dan sambungan las tulangan harus memenuhi 18.2.8 SNI 2847-2019.

4. Pasal 18.10.3

Gaya desain V_u harus diperoleh dari analisis beban lateral dengan menggunakan kombinasi beban terfaktor.

5. Pasal 18.10.4.1

V_n dinding struktural tidak boleh melebihi $V_n = A_{cv} (\alpha_c \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} + \rho_t \cdot f_y)$ dimana koefisien α_c adalah 0,25 untuk $h_w/\ell_w \leq 1,5$; 0,17 untuk $h_w/\ell_w \geq 2,0$, dan bervariasi secara linier antara 0,25 dan 0,17 untuk h_w/ℓ_w antara 1,5 dan 2,0.

6. Pasal 18.10.4.2

Pada 18.10.4.1, nilai rasio h_w/ℓ_w yang digunakan untuk menghitung V_n pada segmen-segmen dinding haruslah nilai terbesar dari rasio h_w/ℓ_w untuk dinding keseluruhan dan untuk segmen dinding yang ditinjau.

7. Pasal 18.10.4.3

Dinding harus memiliki tulangan geser terdistribusi dalam dua arah ortogonal pada bidang

dinding. Jika h_w/ℓ_w tidak melebihi 2,0, rasio tulangan ρ_ℓ tidak boleh kurang dari rasio tulangan ρ_t .

8. Pasal 18.10.4.4

Untuk semua segmen vertikal dinding yang secara bersama menahan gaya lateral, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari $0,66 \cdot A_{cv} \sqrt{f'c'}$, dimana A_{cv} adalah luas bruto penampang dinding yang dibatasi tebal badan dan panjang penampang. Untuk masing-masing segmen vertikal dinding individu, V_n tidak boleh lebih besar dari $0,83 \cdot A_{cw} \sqrt{f'c'}$, dimana A_{cw} adalah luas penampang segmen vertikal dinding individu yang ditinjau.

9. Pasal 18.10.4.5

Untuk segmen dinding horizontal dan balok kopel, V_n tidak boleh lebih besar dari $0,83 \cdot A_{cw} \sqrt{f'c'}$, dimana A_{cw} adalah luas penampang beton segmen dinding horizontal atau balok kopel.

10. Pasal 18.10.5.1

Dinding struktural dan bagian-bagian dari dinding tersebut yang mengalami kombinasi beban lentur dan aksial harus didesain sesuai 22.4 SNI 2847-2019. Beton dan tulangan longitudinal yang terangkur dengan baik dalam lebar efektif sayap, elemen batas, dan badan dinding harus dianggap efektif. Pengaruh bukaan dinding harus ditinjau.

11. Pasal 18.10.5.2

Kecuali bila analisis yang lebih detail dilakukan, lebar efektif sayap harus diperlebar dari muka badan dinding yang ditinjau sejauh jarak yang sama dengan nilai terkecil dari setengah jarak antara badan dinding-dinding yang bersebelahan dan 25% tinggi total dinding.

12. Pasal 18.10.6.2

Dinding atau pilar-pilar dinding dengan $h_w/\ell_w \geq 2,0$ yang secara efektif menerus dari dasar struktur hingga sisi paling atas dinding dan didesain untuk mempunyai penampang kritis tunggal untuk lentur dan beban aksial harus memenuhi kedua persyaratan berikut atau harus didesain sesuai 18.10.6.3.

- Daerah tekan harus ditulangi dengan elemen batas khusus bila $c \geq \frac{\ell_w}{600 (1,5 \cdot \delta_u / h_w)}$ dan c sesuai nilai tinggi sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal, yang konsisten dengan arah perpindahan desain δ_u . Rasio δ_u/h_w harus ditetapkan tidak kurang dari 0,005.
- Bila elemen batas khusus disyaratkan oleh persyaratan di atas, tulangan transversal elemen batas khusus harus diperpanjang pada arah vertikal, di atas dan di bawah

penampang kritis dengan jarak minimal nilai terbesar dari ℓ_w dan $M_u/4V_u$, kecuali yang diizinkan berdasarkan 18.10.6.4 (poin 7) SNI 2847-2019.

13. Pasal 18.10.6.3

Dinding-dinding struktural yang tidak didesain sesuai 18.10.6.2 harus memiliki elemen-elemen batas khusus pada daerah batas dan daerah tepi-tepi sekeliling bukaan dari dinding-dinding struktural dimana tegangan tekan serat ekstrim maksimum, akibat kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa, E , melebihi $0,2 f_c'$. Elemen batas khusus dapat dihentikan pada lokasi dimana tegangan tekan yang dihitung kurang dari $0,15 f_c'$. Tegangan-tegangan harus dihitung berdasarkan beban-beban terfaktor menggunakan model elastik linier dan sifat-sifat penampang bruto. Untuk dinding-dinding dengan sayap, lebar efektif sayap yang digunakan harus sesuai 18.10.5.2 SNI 2847-2019.

14. Pasal 18.10.6.4

Bila elemen-elemen batas khusus diperlukan oleh 18.10.6.2 atau 18.10.6.3, maka seluruh persyaratan berikut harus dipenuhi:

- Elemen batas harus diperpanjang pada arah horizontal dari serat tekan terluar sejauh minimal nilai terbesar dari $c - 0,1\ell_w$ dan $c/2$, dimana c adalah tinggi sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang sesuai dengan δ_u yang ditinjau.
- Lebar daerah tekan lentur, b , sepanjang jarak horizontal yang dihitung dengan persyaratan di atas, termasuk sayap bilamana ada, harus diambil minimal $h_u/16$.
- Untuk dinding atau pilar-pilar dinding dengan $h_w/\ell_w \geq 2,0$ yang secara efektif menerus dari dasar struktur hingga sisi paling atas dinding, yang didesain memiliki penampang kritis tunggal untuk beban-beban lentur dan aksial, dan dengan $c/\ell_w \geq 3/8$, lebar daerah tekan lentur b disepanjang daerah yang dihitung berdasarkan 18.10.6.4 (poin pertama) harus lebih besar dari atau sama dengan 300 mm.
- Pada penampang-penampang bersayap, elemen batas harus termasuk lebar sayap efektif yang mengalami tekan dan harus diperpanjang minimal 300 mm ke dalam badan dinding.
- Tulangan transversal elemen batas harus memenuhi 18.7.5.2 (a) hingga (c) dan 18.7.5.3, kecuali bila nilai h_x dalam 18.7.5.2 SNI 2847-2019 tidak melebihi nilai terkecil antara 350 mm dan dua pertiga ketebalan elemen batas, dan spasi tulangan transversal sesuai 18.7.5.3(a) SNI 2847-2019 harus diambil sepertiga dari dimensi terkecil elemen batas.
- Jumlah tulangan transversal harus sesuai Tabel 2.19.

Tabel 2. 19 Tulangan Transversal untuk Elemen Batas Khusus

Tulangan Transversal	Persamaan yang Berlaku		
A _{sh} /s _{b_c} untuk sengkang pengekang persegi	Nilai terbesar dari	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$	(a)
		$0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}}$	(b)
ρ _s untuk spiral ataupun sengkang pengekang lingkaran	Nilai terbesar dari	$0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$	(c)
		$0,12 \frac{f_c'}{f_{yt}}$	(d)

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 18.10.6.4 Pasal 18.10.6.4)

- Bila penampang kritis terjadi di dasar dinding, maka tulangan transversal elemen batas pada dasar dinding harus diperpanjang ke dalam sistem tumpuan sejauh minimal ℓ_d , sesuai 18.10.2.3 SNI 2847-2019, yang dihitung berdasarkan tulangan longitudinal terbesar pada elemen batas khusus. Bila elemen batas khusus berhenti pada fondasi telapak, fondasi rakit atau pile cap, tulangan transversal elemen batas khusus harus menerus paling sedikit 300 mm ke dalam sistem-sistem fondasi tersebut, kecuali jika diperlukan perpanjangan yang lebih besar berdasarkan 18.13.2 SNI 2847-2019.
- Tulangan horizontal pada badan dinding harus diperpanjang masuk sedalam 150 mm pada tepi dinding. Tulangan tersebut harus diangkur dalam inti terkekang pada elemen batas menggunakan kait standar atau tulangan berkepala agar mencapai f_y . Bila panjang zona elemen batas terkekang cukup memadai untuk menyalurkan tulangan horizontal badan, dan $A_v f_y / s$ tulangan badan tidak melebihi $A_{sh} f_y / s$ tulangan transversal elemen batas yang dipasang 38nelasti dengan tulangan horizontal badan, maka tulangan horizontal badan tersebut dapat dihentikan tanpa kait standar atau kepala.

15. Pasal 18.10.6.5

Bila elemen batas khusus tidak diperlukan sesuai 18.10.6.2 atau 18.10.6.3, maka kedua persyaratan berikut harus dipenuhi:

- Jika rasio tulangan longitudinal pada elemen batas dinding melebihi $2,8/f_y$, maka tulangan transversal pada elemen batas tersebut harus memenuhi 18.7.5.2 (a) hingga (c) SNI 2847-2019, disepanjang jarak yang dihitung sesuai 18.10.6.4 (poin pertama). Spasi arah longitudinal pada tulangan transversal tersebut tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 200 mm dan $8d_b$ batang tulangan lentur utama terkecil, kecuali spasi tersebut tidak melebihi nilai terkecil dari 150mm dan $6d_b$ di dalam zona sejauh nilai terbesar antara ℓ_w

dan $M_u/4V_u$ di atas dan di bawah penampang kritis di mana pelelehan tulangan longitudinal dapat terjadi akibat perpindahan lateral 39nelastic yang ditinjau.

- Kecuali bila V_u pada bidang dinding lebih kecil dari $0,83 \cdot A_{cw} \lambda \sqrt{f'c'}$, maka tulangan horizontal yang berhenti pada tepi-tepi dinding struktural tanpa elemen batas harus memiliki kait standar yang melingkupi tulangan tepi atau tulangan tepi tersebut harus dilingkupi dalam sengkang U yang memiliki ukuran dan spasi yang sama dengan, serta disambung-lewatkan pada, tulangan horizontal tersebut.

2.14 Perencanaan Pondasi

Pondasi merupakan sebuah media bangunan yang berfungsi sebagai pemikul beban baik beban bangunan itu sendiri maupun beban luar yang bekerja pada bangunan menuju ke lapisan tanah di sekitarnya (Canacki dkk. dalam Febriantoro dkk., 2018). Dalam menjalankan perannya sebagai sub-struktur, pondasi memikul beban yang cukup besar untuk menahan beban bangunan (Chomaedhi dkk. dalam Febriantoro dkk., 2018). Kekuatan tanah yang menerima penyaluran beban gaya oleh pondasi juga perlu diperhitungan dengan baik sehingga dapat meminimalisir terjadinya penurunan (*settlement*) yang terjadi (Hakam dkk. dalam Febriantoro dkk., 2018).

2.14.1 Klasifikasi Pondasi

Takaredase (2019) menyatakan bahwa secara umum, pondasi terdiri dari 2 macam, antara lain:

1. Pondasi dangkal, yaitu pondasi yang bisa digunakan apabila lapisan tanah dengan kondisi yang baik dan terletak tidak terlalu dalam dari permukaan. Pondasi dangkal memiliki nilai ekonomis yang tinggi selain karena konstruksi yang mudah, juga karena material yang diperlukan tidak terlalu banyak. Adapun jenis-jenis dari pondasi dangkal diantaranya terdiri dari pondasi setempat, pondasi lanjur/menerus, pondasi *full plat*, pondasi cakar ayam dan pondasi *strauzst pile*.
2. Pondasi dalam, yaitu pondasi yang digunakan pada permukaan tanah dengan tingkat daya dukung tanah rendah. Pondasi jenis ini dapat mentransfer beban dari struktur atas menuju lapisan tanah yang lebih dalam hingga mencapai kedalaman tertentu dimana tingkat daya dukung tanah sudah cukup tinggi dan kuat untuk menahan beban struktur. diantaranya terdiri dari pondasi tiang pancang dan pondasi *bore pile*.

2.14.2 Pondasi Tiang Pancang

Nasarani (2014) menyebutkan bahwa pondasi tiang pancang merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang berfungsi untuk menyalurkan beban bangunan melewati lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah menuju ke tanah dengan daya dukung yang lebih tinggi yang berada pada posisi lebih dalam, selain itu pondasi tiang pancang juga dapat digunakan untuk menahan gaya angkat akibat gaya apun air tanah, gaya lateral maupun gaya gempa. Penggunaan pondasi tiang pancang pada tanah lunak umumnya dilakukan guna menghindari penurunan yang berlebihan, sedangkan untuk menahan gaya lateral dilakukan dengan penggunaan tiang miring. Pondasi tiang pancang kebanyakan dibuat secara pabrikasi sebelum kemudian dikirim ke lokasi pembangunan proyek untuk mengalami proses pemancangan. Jenis pondasi tiang pancang banyak dipergunakan untuk lokasi dengan tingkat daya dukung tanah yang rendah (Sardjono dalam Wiratmoko dkk., 2019).

Adapun perumusan daya dukung ultimit menurut Meyerhoff dinyatakan dengan rumus:

$$Q_u = \frac{q_c \cdot A_b}{3} + \frac{JHL \cdot K}{5} \quad (2.14)$$

$$Q_{ult} = \frac{\sum Q_u}{n} \quad (2.15)$$

Keterangan:

q_c = Nilai conus

A_b = Luas penampang (m^2)

JHL = Jumlah hambatan lekat dari data CPT (Kg/cm)

K = Keliling tiang (m)

Q_u = Nilai daya dukung tanah (ton)

Q_{ult} = Nilai daya dukung maksimum (ton)

Apabila tiang pancang bekerja dalam kelompok, maka kekuatannya menjadi tidak sebesar saat bekerja sendirian. Adapun beberapa rumus koreksi yaitu sebagai berikut:

1. Merencanakan tiang pancang kelompok

Jarak antar tiang pancang dirumuskan sebagai berikut:

$$1,5D \leq S \leq 3,5D \quad (2.16)$$

Jarak tepi tiang pancang dirumuskan dengan:

$$D \leq S_1 \leq 1,5 \quad (2.17)$$

2. Kontrol kebutuhan tiang pancang

$$P_{\text{ijin satu tiang}} = \frac{Cn \cdot A}{n1} + \frac{JHP \cdot K}{n2} \quad (2.18)$$

$$n = \frac{\sum P}{P_{\text{ijin}}} \quad (2.19)$$

$$P_{\text{group}} = \eta \cdot P_{\text{ijin satu tiang}} \quad (2.20)$$

$$P_{\text{tiang max}} = \frac{\sum P}{n} + \frac{\sum Mx \cdot Y}{\sum Y^2} + \frac{\sum My \cdot X}{\sum X^2} < P_{\text{ijin group}} \quad (2.21)$$

3. Faktor Efisiensi

$$\eta = 1 - \text{arc. Tg} \frac{D}{S} \cdot \frac{m(n-1) + n(m-1)}{90 \cdot m \cdot n} \quad (2.22)$$

4. Daya dukung pondasi kelompok menurut Converse Labare

$$Q_{\text{tiang}} = \eta \cdot P_{\text{ijin}} \cdot P_{\text{max}} \quad (2.23)$$

5. Cek kekuatan

$$P_{\text{max}} < P_{\text{ijin}} \cdot \eta \quad (2.24)$$

Keterangan:

V = Beban vertikal yang dipikul kaki kolom (Ton atau Kg)

Mx = Momen arah sumbu x (tm atau Kgm)

My = Momen arah sumbu y (tm atau Kgm)

n = Jumlah tiang pancang dalam kelompok

$\sum X^2$ = Jumlah kuadrat dari absis

$\sum Y^2$ = Jumlah kuadrat dari ordinat

S = Jarak antar tiang pondasi

D = Diameter tiang pancang

m = Jumlah tiang pancang dalam satu kolom

n = Jumlah tiang pancang dalam satu baris

2.14.3 Perencanaan *Pilecap*

Pada saat merencanakan *pilecap*, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah kekuatan gaya geser nominal yang harus lebih besar dari gaya geser *pilecap* yang terjadi agar *pilecap* dinyatakan memenuhi syarat. Adapun besarnya kuat geser yang terjadi disumbangkan oleh beton dan diambil nilai terkecil sesuai dengan persyaratan yang disyaratkan dalam SNI 2847-2019 sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta \cdot c} \right) \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_0 \cdot d \quad (2.25)$$

$$V_c = 0,083 \left(\frac{A_s \cdot d}{b_0} + 2 \right) \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_0 \cdot d \quad (2.26)$$

$$V_c = 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_0 \cdot d \quad (2.27)$$

Keterangan:

β = Rasio dari sisi Panjang terhadap sisi pendek pada kolom (h/b)

b_0 = Keliling dari penampang kritis pada *pilecap* (mm)

d = Tinggi efektif (mm)

A_s = 20 untuk kolom sudut, 30 untuk kolom tepi, 40 untuk kolom interior

λ = Faktor modifikasi untuk beton normal = 1, berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 19.2.4.2