

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa kejadian getaran tanah pada permukaan gempa bumi. Gempa bumi terjadi biasanya di daerah antara lempengan-lempengan bumi (*plat boundary*), meskipun dalam beberapa kejadian ada yang terjadi ditengah tengah lempeng (*intra plate*). Lapisan litosfer yang terdiri dari lempengan-lempengan tersebut mengapung pada interior / mantel bumi dimana mantel bumi ini merupakan suatu lapisan yang berbentuk cairan plastis.

Gempa bumi atau pergeseran tiba tiba lapisan tanah dibawah permukaan bumi terdiri dari 3 jenis pergerakan dari lempengan bumi yaitu,bergerak saling mendekat (*sub duction type*), bergerak saling menjauhi(*collusion type*) dan saling bergeser (*shear type*).

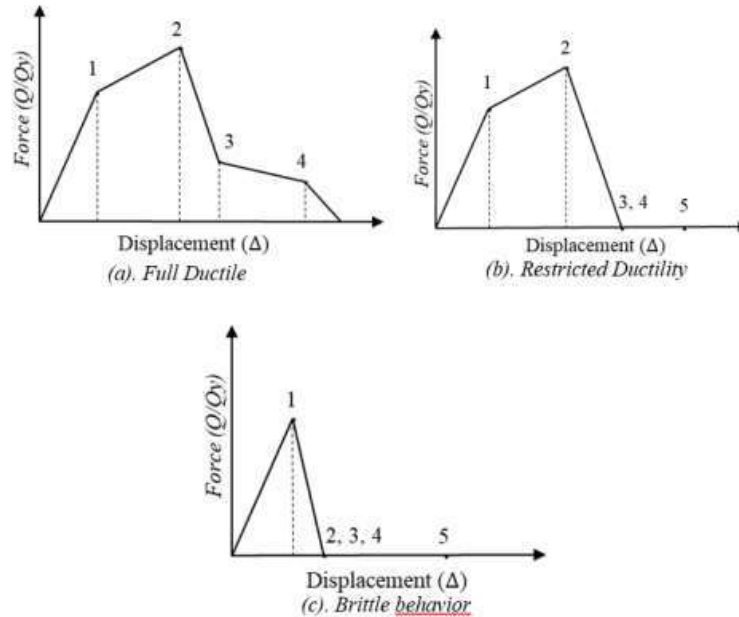
Ketika pergeseran terjadi, maka timbul gelombang tanah yang menjauhi pusat gempa ke segala arah. Ketika gelombang tersebut mencapai pada permukaan bumi, maka getarannya akan sangat kecil untuk dapat dirasakan, namun juga dapat juga cukup besar sehingga meruntuhkan bangunan.

Prinsip dasar untuk merencanakan bangunan yang tahan gempa yaitu bangunan tersebut tidak ada kerusakan struktur atau kerusakan yang fatal sehingga mampu mengurangi korban jiwa bahkan tidak adanya korban jiwa saat terjadi gempa bumi.beton bertulang menjadi material yang sangat penting dibidang konstruksi.

2.2 Struktur Beton Bertulang

Secara umum, beton terbentuk dari campuran semen, pasir (agregat halus), kerikil (agregat kasar) dan air. Proses kimiawi yang terjadi dalam campuran tersebut akhirnya menghasilkan material yang dikenal dengan istilah beton. Beton merupakan material yang sangat kuat khususnya dalam menerima tekan. Namun dibalik kelebihan tersebut, beton sangat mudah retak atau pecah bila mengalami tegangan Tarik. S dengan istilah beton bertulang (*reinforced concrete*). Selain itu, beton juga mempunyai sifat yang daktail dimana, Daktilitas adalah kemampuan element struktur (balok, kolom, wall) untuk berdeformasi hingga melewati batas elastisnya (mencapai batas plastis) tanpa mengalami keruntuhan. Semakin tinggi

tingkat daktilitas suatu struktur maka semakin daktail struktur tersebut dan sebaliknya semakin rendah tingkat daktilitas maka struktur tersebut semakin getas (hancur secara tiba-tiba tanpa ada peringatan visual). Adapun force-displacement terkait perilaku daktilitas sebuah struktur dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Force-Displacement Relationship
(Sumber: Yudha Lesmana, 2021)

Pada gambar 2.1 (a) terlihat hubungan perilaku daktilitas penuh (full ductility) pada struktur bangunan gedung. pada kurva terlihat garis 0-1 yang mengandung arti bahwa struktur pada kondisi tersebut masih dalam perilaku elastis. Perilaku ini ditandai dengan kembalinya struktur gedung ke posisi semula saat beban gempa telah berakhir dan tidak terjadi kerusakan pada struktur utama. Bila beban gempa terus bertambah, aka struktur akan masuk dlaam fase berikutnya yang ditandai garis 1-2 yang berupa fase plastis (non-elastis). Pada fase ini element struktur mengalami perilaku plastis dan mengalami permanent drift akibat beban gempa. Hal ini berarti bila beban gempa telah berakhir, struktur tidak akan kembali keposisi semula atau telah terjadi kerusakan pada elemen struktur utama yang berfungsi memikul beban lateral. Setelah struktur memasuki fase plastis, struktur akan memasuki fase selanjutnya yaitu terlihat pada garis 2-3. Pada fase ini struktur

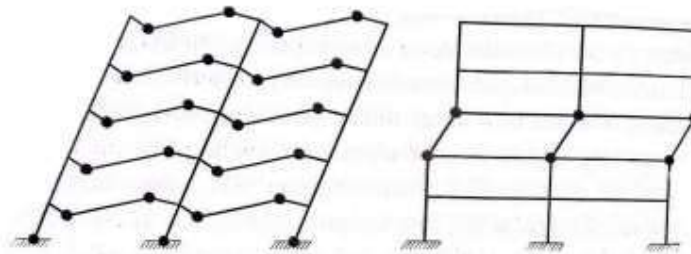
dikarenakan telah terjadi kerusakan permanen pada elemen struktur. Selanjutnya struktur akan memasuki fase garis 3-4 yang dimana dalam kondisi ini struktur sudah tidak memiliki kekuatan dalam memikul beban lateral namun masih mampu memikul beban gravitasi. Fase terakhir adalah garis 4-5 yang merupakan fase kuruntuhan. Dalam fase ini struktur sudah tidak memiliki kekuatan untuk memikul beban gravitasi atau kehilangan kekuatan untuk memikul beban vertical, sehingga struktur sudah dinyatakan runtuh. Dengan perilaku seperti ini, struktur dikategorikan dengan daktilitas penuh (full ductility) dengan nilai daktilitas (displacement ductility) sebesar $\mu = 3,5 - 8,0$.

Pada gambar 2.1 (b) terlihat perilaku struktur yang termasuk kategori restricted ductility (daktilitas terbatas). Pada fase ini, perilaku masih bersifat daktai yang terdiri dari fase elastis dan plastis. Dengan kata lain, perilaku pada gambar 2.1 (b) hampir sama dengan gambar 2.1 (a), namun yang menjadi perbedaan adalah setelah fase plastis yaitu struktur langsung kehilangan kekuatan menahan beban lateral dan beban gravitasi. Sehingga struktur berangsur-angsur kehilangan kekuatan dan kemudian runtuh (titik 3, 4, 5). Dengan perilaku seperti ini, struktur dikategorikan dengan daktilitas terbatas (restricted ductility) dengan nilai daktilitas (restricted ductility) sebesar $\mu = 1,5 - 3,5$.

Berbeda dengan dua perilaku sebelumnya, pada gambar 2.1 (c), struktur berperilaku getas (brittle) atau tidak daktail, (non-ductile). Perilaku seperti ini diharapkan tidak pernah terjadi pada struktur bangunan. Hal ini dikarenakan struktur akan mengalami keruntuhan secara tiba-tiba tanpa adanya peringatan berupa lendutan atau deformasi berlebih pada elemen struktur yang terlihat secara visual (kasat mata). Hal ini bisa dilihat pada garis 0-1 yang dimana struktur masih dikategorikan aman. Namun bila beban bertambah, maka fase selanjutnya adalah fase keruntuhan (1-2, 3, 4, 5). Secara tiba-tiba struktur langsung kehilangan kekuatan dalam memikul beban lateral dan gravitasi. Dalam fase tersebut, kondisi struktur sudah dipastikan dalam keadaan runtuh secara tiba-tiba karena tidak memiliki fase plastis.

Pada struktur rangka (yang terdiri dari balok dan kolom serta hubungan balok kolom sebagai komponen struktur primer), konsep daktilitas diwujudkan

berupa 9 adanya sendi plastis pada ujung-ujung balok, kolom dan shear wall. Dengan kata lain, sendi plastis ini yang akan berperan pada struktur bangunan gedung, seperti terlihat dalam gambar 2.2



Gambar 2. 2 Pola sendi plastis; (a) pola keruntuhan yang diharapkan; (b) Fenomena *soft story* terjadi pada struktur Gedung
(Sumber: Yudha Lesmana, 2021)

Pada struktur beton bertulang, mekanisme sendi plastis diwujudkan dengan cara mendesain ujung-ujung komponen struktur primer dengan memasang tulangan transversal dan tulangan longitudinal sesuai standar yang disyaratkan oleh SNI 2847-2019. Salah satu perbedaan mendasar konsep SRPMK (daktilitas tinggi) dibandingkan dengan desain konsep SRPMB atau SRPMM adalah kuantitas tulangan transversal (tulangan geser) pada SRPMK lebih banyak dan lebih rapat. Hal ini dilakukan guna memberikan efek kekangan yang cukup pada daerah sendi plastis agar saat terjadi gempa, struktur tidak mengalami kegagalan dan mampu menyerap energi gempa. Dengan kata lain, peran tulangan transversal yang rapat dapat mencegah terjadinya buckling pada tulangan longitudinal akibat beban gempa.

2.3 Konsep Elemen Struktur Tahan Gempa

2.3.1 Konsep Balok Struktur Tahan Gempa

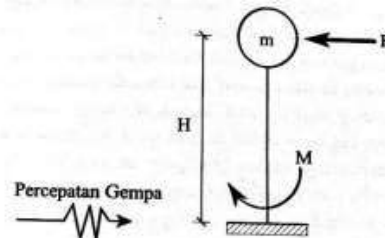
Balok adalah elemen horizontal ataupun miring yang Panjang dengan ukuran lebar serta tinggi yang terbatas. Balok berfungsi untuk menyalurkan beban dari pelat. Pada umumnya balok dicetak secara monolit dengan pelat lantai, sehingga akan membentuk balok penampang T pada balok interior dan balok penampang L pada balok-balok tepi.

Dalam perencanaan gedung tahan gempa, peran balok tidak saja memikul beban gravitasi, namun juga memikul beban lateral (gempa) yang diterima oleh struktur gedung. Kondisi ini mengharuskan adanya penyesuaian pada elemen balok

guna mengantisipasi distribusi momen pada alok yang berubah secara drastic. Perubahan distrubusi momen ini terjadi dikarenakan beban gempa yang berlangsung sangat cepat dan bergerak bolak balik. Bila fenomena beban bolak balik dari gempa tidak diantisipasi, maka dapat dipastikan belok yang di desain akan hancur meskipun balok tersebut mempu memikul beban gravitasi. Maka dari itu, desain struktur tahan gempa pada elemen balok sangat diperlukan dalam proses dedain struktur gedung.

2.3.2 Konsep Umum Kolom Struktur Tahan Gempa

Kolom adalah elemen struktur yang menerima gaya gempa paling besar dibandingkan dengan elemen lainnya. Hal ini mengingatkan bahwa posisi kolom yang tegak lurus dengan arah gempa dan memiliki peran sebagai tumpuan utama dari masa bangunan. Sehingga di saat terjadi gaya gempa yang tegak lurus dengan sumbu batangnya, maka akan bekerja sebuah gaya yang berpusar pada setiap massa lantai yang seolah-olah membentuk gaya momen dengan Panjang lengan gaya setinggi kolom itu sendiri, seperti Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Mekanisme Dasar Terbentuknya Momen pada Kolom Akibat Gaya Lateral Gempa
(Sumber: Yudha Lesmana, 2021)

Selain memikul beban gempa pada arah lateral, kolom juga sebagai elemen struktur vertical yang menyalurkan beban ke pondasi. Beban yang dipikul berasal dari struktur yang menumpu pada kolom, yang berupa elemen struktur lentur (balok). Secara umum, beban dari pelat ditransfer ke dalam elemen balok kemudian dari balok akan dilanjutkan ke elemen kolom. Beban yang ditransfer oleh balok tergantung bagaimana balok itu dikekang kedalam kolom. Bila balok hanya diletakkan begitu saja pada kolom tanpa ada kekangan yang berarti, maka yang diterima oleh kolom hanya berupa beban aksial (perletakan sendi/rol). Namun bila balok dikekang dengan kuat kedalam kolom dengan mekanisme jepit, maka bukan saja gaya vertical yang ditransfer namun juga ada besaran momen yang dibebankan

pada ujung elemen struktur kolom. Pada kondisi umum, sifat hubungan balok dan kolom pada struktur gedung adalah bersifat jepit, sehingga pada elemen kolom pada struktur gedung memikul kombinasi gaya dalam yaitu gaya aksial dan momen.

2.4 Pembebanan Struktur

Pembebanan merupakan faktor yang dapat membuat tegangan dan regangan pada suatu struktur. Gaya beban terdiri dari berbagai macam jenis diantaranya beban terpusat, beban merata, momen, dll, perencanaan pembebanan struktur bangunan menggunakan acuan sebagai berikut :

1. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2019);
2. Pedoman Perencanaan Pembebanan Minimum pada Gedung (SNI 1727-2013)

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

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

2.4.1 Dead Load (DL)

Beban mati dalam Analisis struktur, umumnya, beban ini didefinisikan sebagai beban mati yang dimodelkan secara fisik pada software, misalkan: balok, kolom, pelat, atau dinding geser. Dengan kata lain, perencana tidak perlu menghitung secara manual, cukup memodelkan dengan benar pada software sesuai dimensi, jenis, material dan berat jenis.

2.4.2 Super Imposed Dead Load (SIDL)

Beban mati tambahan (Super Imposed Dead Load) umumnya digunakan sebagai beban mati yang tidak dimodelkan secara fisik pada software, misal beban tembok, pagar, partisi, keramik, elektrik, saluran dst. Dengan kata lain beban ini harus di input kan secara manual ke dalam model. Adapun beban Super Imposed Dead Load yang diperhitungkan dalam kasus ini adalah:

- Super Imposed Dead Load (pada Lantai)

Berat keramik (1 cm) = 24 Kg/m²

Berat Spesi (2 cm) = 42 Kg/m²

Plafon + Penggantung = 17 Kg/m²

Instalasi Listrik = 10 Kg/m²

Pipa Air Bersih & kotor = 10 Kg/m²

Berat Total = 103 Kg/m²

- Super Imposed Dead Load (pada balok)

Beban Tembok = 80 Kg/m²

2.4.3 Live Load (LL)

Beban hidup yang diperhitungkan adalah beban hidup selama masa layan. Beban hidup selama masa konstruksi tidak diperhitungkan karena diperkirakan beban hidup masa layan lebih bsar daripada beban hidup pada masa konstruksi. Beban hidup yang direncanakan berdasarkan SNI 1727-2013; Tabel 4-1 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Beban Hidup

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/mm ²)	Terpusat lb (Kn)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses	50 (2,4)	2000 (8,9)
Ruang Kantor	100 (4,79)	2000 (8,9)
Ruang Komputer		
Gedung persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang Pertemuan	100 (4,79)	
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan		
Panggung Pertemuan	100 (4,79)	
Lantai Podium	150 (7,18)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/mm ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor	100 (4,79)	
Lantai Pertama	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Lantai Lain		
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2×2 in (50 × 50 mm)		300 (1,33)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi/Parkir	40 (1,92)	
Mobil penumpang saja		

Truk dan bus		
Heliped	60 (2,87) tidak boleh direduksi	
Rumah sakit;	60 (2,87)	1000 (4,45)
Ruang operasi, laboratorium	40 (1,92)	1000 (4,45)
Ruangan pasien	80 (3,83)	1000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama		

Tabel 2.1 Beban Hidup (Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/mm ²)	Terpusat lb (Kn)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan	100 (4,79)	1000 (4,45)
Ruang baca	50 (2,4)	1000 (4,45)
Ruang penyimpanan	80 (3,83)	1000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama		
Pabrik	125 (6,00)	1000 (8,9)
Ringan	250 (11,97)	3000 (13,4)
Berat		
Gedung perkantoran:	100 (4,79)	1000 (4,45)
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban	50 (2,4)	1000 (4,45)
Yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian	80 (3,83)	1000 (4,45)
Lobi dan koridor lantai pertama		
Kantor		1000(
Koridor di atas lantai pertma		
Lembaga hukum		
Blok sel	40(1,92)	
Koridor	100(4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, kolam renang, dan penggunaan yang sama	75 (3,59)	
Bangsai dansa dan ruang dansa	100(4,79)	
Gimnasium		
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100(4,79)	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)		
Rumah tinggal	10(0,48)	
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)	20(0,96)	
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa Gudang	30(1,44)	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan Gudang	40(1,92)	
Loteng yang dapat didiami dengan Gudang		
Semua ruang kecuali tanffa dan balkon	40(1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	100(4,79)	
Ruang <i>public</i> dan koridor yang melayani mereka		
Atap		
Atap dadar, berbubung, dan, lengkung	20(0,96)	
Atap digunakan untuk taman atap	100(4,79)	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain		
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk truk	250(11,97)	8000(3,56)
Tangga dan jalan keluar	100(4,79)	300
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40(1,92)	300

Gedung diatas langit langit	20 (0,96)
Gudang penyimpanan barang sebelum disalurkan ke pengencer (jika diantisipasi menjadi gudaang penyimpanan, harus dorancang untuk beban lebih berat)	
Ringan	125(6,00)
Berat	250(111,97)

2.4.4 Beban Gempa

Beban gempa merupakan pembebanan yang berasal dari percepatan getaran yang terjadi pada tanah ketika gempa terjadi. Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, perlu diketahui percepatan yang terdapat di batuan dasar/tanah. Perencanaan gedung yang tahan gempa harus mengacu pada SNI 1726:2019. Perencanaan bangunan tahan gempa. dibagi menjadii 2, yaitu (Nasution, .2009):

a. Motode Analisis Statik

Analisis pendisainann struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statiiis, dalam prinsiPy merupakan menggantikan gaya - gaya horizontal. yang bekerja dalam struktur akibat pergerakan tanah denganbeberapa gaya statiiis yang ekivalen, dengan tujuan penyederhanaan dan kemudahan di dalam perhitungan. Metode ini disebut Metode Gaya Lateral Ekiivalen (Equivalent Lateral Force Method). metode yang digunakan ini diasumsiikan bahwa gaya horizontal yang ditentukan oleh gempa yang bekerja dalam suatu elemen strukturr, besarnya tingkat diitentukan berdasarkan hasil perkaliian antara konstanta berat atau masa dari elemen struktur tersebut.

b. Metode Analisis Dinamis

Analisis dinamis untuk pendisainan struktur tahan gempa dilakukan kalau diperlukan evaluasi dengan akurasisasi lebih dari beberapa gaya gempa yangbekerja dalam struktuur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa.

Dalam struktur bangunan tingkat tinggi dan bentuk struktur dengan bentuk atau tidak menentunya konfigurasi yang dimiliki. sedangkan Analisis dinamis dapat kital bentuk dengan memperkirakan elastisitas. Berbagai cara elastis dibedakan Analisis Ragam Riwayat Waktu (TimeHistori Modal Analysis), dimana dalam cara tersebut diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respons. (Response Spectrum Modal Analysis), diimana dalam cara ini respons

tertinggi dari tiap ragam getar. yang terjadi didapat dari Spektrum Respons Rencanaa (Design Spectra).

Berikut merupakan langkah-langkah perencanaan ketahanan gempa metode statik ekuivalen untuk gedung berdasarkan SNI 1726:2019:

2.4.4.1 Menentukan Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang timbul akibat percepatan getaran tanah pada saat gempa terjadi. Untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa menurut SNI 03-1726-2019 adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 2 Kategori Risiko 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"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori, III,IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbenalajaan - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur 	II
<p>Gedung dan non gedung 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 gawa darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara III 	III
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kategori 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 pengembangan listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III
<p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori IV, (termasuk tapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, prosesn,</p>	

penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang di isyaratkan.

(Sumber: SNI 1726-2019)

Berdasarkan table di atas bangunan apartemen termasuk **Kategori Resiko II**.

2.4.4.2 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Berdasarkan pasal 12.2 SNI 1726:2019, factor keutamaan gempa pada struktur bangunan gedung apartemen, factor keutamaan gempa I_e harus diambil sebesar 1,0 yaitu dengan Ketrngori Resiko II

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)

2.4.4.3 Parameter Percepatan Sprektal Gempa (S_s & S_1)

Nilai percepatan spectral MCE (Maximum Credible Earthquake) dengan kala ulang 2.500 tahun, pada periode pendek (S_s) dan $T = 1$ detik (S_1) diperoleh dari gambar 15 SNI 1926 : 2019 (untuk kelas situs SB / Batuan) website Desain Spektra Indonesia (pu.go.id).

2.4.4.4 Klasifikasi Situs

Penentuan kategori desain seismic suatu bangunan dan amplifikasi percepatan gempa pada suatu situs bangunan, memerlukan klasifikasi situs tersebut terlebih dahulu. Klasifikasi situs diatur dalam table 5 SNI 1726:2019.

Tabel 2. 4 Klasifikasi Situs

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB(batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 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

Indeks plastisitas $PI > 20$
 Kadar air, $W > 40 \%$
 Kuat geser niralir $su < 25$ kPa

SF (Tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknisik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tesementasi lemah Lempung sangat organik da gambut (ketebalan H > 3 m) Lempung berpaltisitas tinggi (ketebalan H > 7,5 m dengan indeks plastisitas PI >75) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan H > 35m dengan su < 50kPa
---	--

.(Sumber: SNI 1726-2019)

2.4.4.5 Menentukan Parameter Percepatan Gempa (SM1 dan SMS)

Jembatan Untuk menentukan renpons spectral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda (Fa) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (Fv). Parameter sprectum renspons percepatan pada perioda pendek (SMS) dan perioda 1 detik (SM1) yang

disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1$$

Dimana:

S_s = parameter respons sprektal percepatan gempa MCE pada periode pendek

S_1 = parameter respons prektal percepatan gempa MCE pada periode 1 detik.

2.4.4.6 Parameter Percepatan Sprektal Desain

Parameter percepatan sprektal desain untuk periode pendek (SDS) dan periode 1 detik (SD1), ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut,

$$SDS = \frac{2}{3} \cdot S_{MS}$$

$$SD1 = \frac{2}{3} \cdot S_{M1}$$

2.4.4.7 Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismic suatu struktur diatur oleh pasal 6.5 SNI 1726-2019, dimana penentuan kategori desain seismic berdasarkan nilai SDS, D1, dan kategori resiko struktur. Kategori desain seismic yang digunakan adalah yang kategori desain seismic tertinggi yang ditentukan berdasarkan SDS dan SD1.

Tabel 2. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Perepatan pada Periode Pendek

Nilai S _{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
S _{DS} < 0,167	A	A

Tabel 2. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Perepatan pada Periode Pendek (Lanjutan)

Nilai S _{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
0,167 ≤ S _{DS} < 0,33	B	C
0,33 ≤ S _{DS} < 0,50	C	D
0,50 ≤ S _{DS}	D	D

Tabel 2. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Perepatan pada Periode 0,1 detik

Nilai S _{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
S _{D1} < 0,167	A	A
0,167 ≤ S _{D1} < 0,33	B	C
0,33 ≤ S _{D1} < 0,50	C	D
0,50 ≤ S _{D1}	D	D

2.4.4.8 Spektrum Respons Desain

Langkah awal dalam menentukan spektrum respons desain adalah menentukan T₀ dan T_S, yang dapat diperoleh melalui persamaan,

$$T_0 = 0,2 \frac{SD_1}{SDS}$$

$$T_D = \frac{SD_1}{SDS}$$

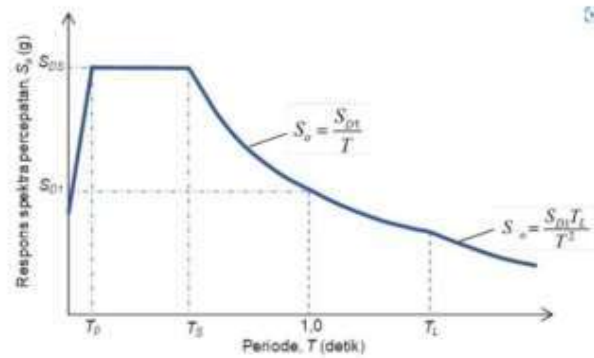
Kurva spektrum respons desain dikembangkan berdasarkan dengan ketentuan sebagai berikut:

- Untuk periode yang lebih kecil dari T₀, spektrum respons percepatan desain, S_a diambil berdasarkan persamaan, S_a = SDS . (0,4 + 0,6 T / T₀)
- Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T₀ dan lebih kecil dari atau dengan T_S, S_a sama dengan SDS.

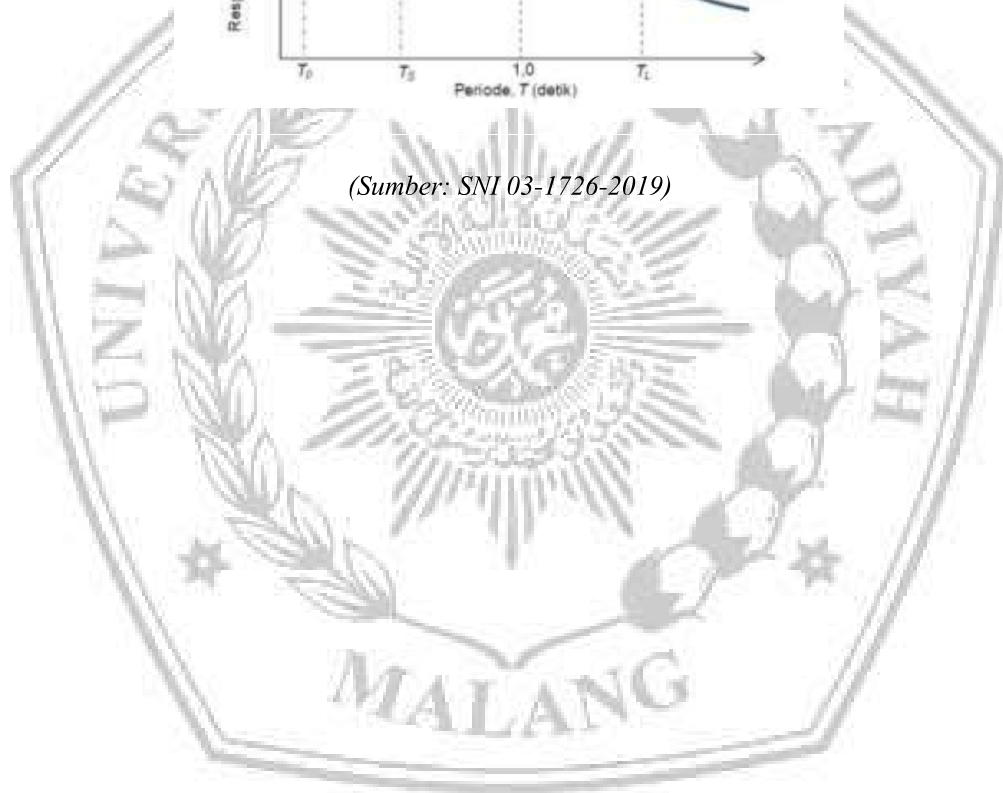
- c) Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain S_a , diambil.

Berdasarkan persamaan,

$$S_a = \frac{SD1.TL}{T^2}.$$



(Sumber: SNI 03-1726-2019)



2.4.4.9 Penentuan Periode Fundamental (Mode Pertama)

Periode fundamental struktur dalam arah yang diuji harus diperoleh menggunakan property struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang diuji. Periode fundamental pendekatan, T_a , diperoleh berdasarkan persamaan,

$$T_{amin} = C_r \cdot h_n \cdot x$$

$$T_{amax} = C_u \cdot T_a$$

Dimana, h_n = ketinggian struktur (m). C_r dan C_u ditentukan berdasarkan Tabel 17 dan Tabel 18 SNI 1726-2019.

Tabel 2. 7 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter Percepatan respons spectral desain pada 1 detik, SD 1	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,3	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

Tabel 2. 8 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismic yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismic ;		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bracing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bracing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3m:

$$T_a = 0,1 N$$

Dimana, N = Jumlah tingkat

2.4.4.10 Nilai R, Cd, dan Ω_0

Nilai R (koefisien modifikasi respons), Cd (factor pembesaran defleksi), dan Ω_0 (factor kuat lebih sistem) ditentukan berdasarkan Tabel 12 SNI 1726-2019 dengan mengacu pada jenis penahan gaya seismic yang digunakan. Perencanaan Apartemen Green Laur menggunakan sistem rangka pemikul momen rangka beton bertulang pemikul momen khusus, sehingga kombinasi sistem perangkai dalam arah yang berbeda sebagai berikut:

Tabel 2. 9 Faktor (R), (Ω_0), (Cd) untuk penahan gempa

Sistem rangka pemikul gaya seismic	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_0	Faktor pembesaran defleksi C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
				Kategori desain seismic				
				B	C	D	E	F
Sistem Rangka Pemikul Momen								
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	48	30	TB
Rangka baja pemikul momen menengah	$4\frac{1}{2}$	3	4	TB	TB	10^k	TI^k	TI^k
Rangka baja pemikul momen biasa	$3\frac{1}{2}$	3	3	TB	TB	TI^l	TI^l	TI^l
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
Rangka baja beton komposisi pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB

2.4.4.1 Koefisien Respons Seismik (Cs) dan Gaya Dasar Seismik (V)

Koefisien Respons Seismik (Cs) Untuk menentukan nilai (Cs) ditentukan dengan persamaan berikut ini:

- $CS = SDS (R I_e)$
- $CS_{max} = SDS T (R I_e) \quad CS_{min} < CS < CS_{max}$
- $CS_{min} = 0,044.SDS.I_e \geq 0,01$

Keterangan :

SDS = parameter percepatan spektrum dalam rentang periode 0,2 detik

SD1 = Parameter percepatan spektrum dalam rentang periode 1,0 detik

R = Faktor modifikasi respons I_e = Faktor Keutamaan Gempa T = Periode fundamental pendekatan

2. Gaya Dasar Seismik (V)

Setelah nilai C_s didapatkan, maka gaya geser seismic dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respons seismic

W = Berat bobot bangunan (kN)

2.4.4.1 Distribusi Vertikal Gaya Gempa (F_x)

Gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V$$

Dimana;

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad \text{dan} \quad C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_n^k}{\sum_{n=1}^k w_i \cdot h_n^k}$$

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

w_i dan w_x = bagian dari berat seismic efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

k = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

- $k = 1$, untuk struktur yang mempunyai perioda 0,5 detik atau kurang
- $k = 2$, untuk struktur yang mempunyai perioda 2,5 detik atau lebih
- k harus sebesar 2 atau harus diinterpolasi linier 1 dan 2, $i =$ untuk struktur yang mempunyai perioda 0,5 dan 2,5 detik

2.4.5 Beban Kombinasi

Struktur, komponen, dan pondasi harus direncanakan sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari bahan terfaktor dalam kondisi berikut:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,6 (L \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6L (L \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,02 + L + 0,5 (L \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E + L + 0,5S$
6. $0,9D + 1,0E$
7. $0,9D + 1,0E$

2.5 Sistem Penahan Gempa

Sistem rangka pemikul momen atau Momen Resisting Frame merupakan suatu beban lateral khususnya beban gempa ditransfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Peran balok, kolom dan sambungan sangat penting, yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur, sistem ini terbagi menjadi 3 yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Dalam perencanaan bangunan ini digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah yang akan di bahas pada subbab berikut.

2.5.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Sistem Rangka pemikul Momen Khusus adalah sistem pemikul khusus dimana struktur rangka beton bertulang direncanakan berperilaku daktail penuh artinya semua kapasitas daktilitas strukturnya dikerahkan secara maksimal dan harus digunakan untuk bangunan yang dikenakan KDS D, E, F (Kategori Desain Struktur D, E, F).

2.5.1.1 Ketentuan Perencanaan Struktur Pemikul Momen Menengah

Berdasarkan Perencanaan Struktur Pemikul Momen menengah (SRPMM) diatur dalam SNI 2847-2019: Pasal 18.4 Hal-369. Adapun poin-poin penting yang terkandung didalam pasal tersebut adalah sebagai berikut :

- Ketentuan minimum Tulangan Minimum Menerus

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 18.4.2.1 Hal-369, disebutkan bahwa balok harus memiliki paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang

menerus sepanjang kedua sisi atas dan bawah. Dan luas tulangan menerus tersebut harus lebih besar sama dengan seperempat luasan maksimum tulangan bawah. Selain itu, Tulangan yang menerus tersebut harus diangkur untuk mencapai kekuatan leleh tariknya pada muka tumpuan.

- Ketentuan Momen Kapasitas pada Balok

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 18.4.2.2 Hal-369, kekuatan momen positif pada muka *joint* harus lebih besar sama dengan sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka *joint* tersebut. Hal tersebut bisa dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$M(+)\geq\frac{1}{3}M(-)$$

Selain itu, masih dalam pasal yang sama, kekuatan momen positif (+) dan momen negatif $M(-)$ pada semua penampang disepanjang bentang balok tidak boleh kurang dari seperlima momen maksimum yang terdapat pada kedua tumpuan atau dapat dinyatakan dalam bentuk

$$M(+)\text{ atau }M(-)\geq\frac{1}{5}M_{max}$$

- Ketentuan gaya geser desain (V_u) balok SRPMM

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 18.4.2.3. Hal-369, nilai geser desain untuk balok harus memiliki setidaknya nilai terkecil diantara nilai berikut

- a) Gaya geser yang terkait dengan momen nominal ujung balok berdasarkan tulangan yang terpasang. persamaan yang bisa digunakan adalah :

$$V_u = \frac{M_{nl}(\pm) + M_{nr}(\pm)}{l_n} + \frac{w_u l_n}{2}$$

Dimana :

- V_u = Gaya geser desain elemen balok
- M_{nl} = Momen nominal balok ujung sebelah kiri
- M_{nr} = Momen nominal balok sebelah kanan
- w_u = Beban Gravitasi
- l_n = Bentang bersih balok

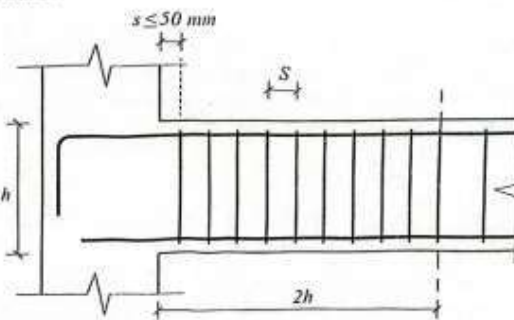
- b) Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain termasuk E, dengan E ditetapkan sebesar dua kali nilai yang dipersyaratkan SNI 1726-2019. Adapun persamaan kombinasi yang dimaksud adalah :

$$U = 1,2D + 2,0E + L$$

$$U = 0,9D + 2,0E$$

- Ketentuan sengkang pada ujung balok

Ketentuan sengkang pada ujung balok diatur berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 18.4.2.4 ; Hal-370. Pada pasal tersebut dinyatakan bahwa sengkang tertutup harus disediakan sepanjang tidak kurang dari $2h$ (sendi plastis) diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Selain itu, sengkang pertama ditempatkan tidak lebih dari 50mm dari muka tumpuan. Adapun ilustrasinya dapat dilihat pada gambar berikut.



Selain itu (masih dalam pasal yang sama), diatur pula jarak antara tulangan sengkang sepanjang $2h$ yang dimana spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $d/4$, $\text{Ø}24$ sengkang dan 300mm

- Ketentuan sengkang pada ujung balok

Ketentuan spasi sengkang disepanjang balok harus dipasang tidak lebih dari $d/2$. Dengan kata lain, jarak maksimum sengkang balok SRPMM adalah $d/2$. Hal ini diatur berdasarkan SNI 2847:2019; Pasal 18.4.2.5; Hal-370 dimana :

$$S_{\max} = \frac{d}{2}$$

- Ketentuan gaya geser desain pada kolom

Ketentuan gaya geser desain dari elemen kolom SRPMM diatur berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 18.4.3; Hal-371. Pada pasal tersebut diatur bahwa gaya geser desain harus tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara (a) dan (b) :

- a) Gaya geser yang terkait dengan momen nominal ujung kolom berdasarkan tulangan yang terpasang. persamaan yang bisa digunakan adalah persamaan (3.1)

- b) Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban terfaktor E , dengan $\Omega_0 E$ sebagai pengganti E . Adapun besaran nilai $\Omega_0 = 3,0$. Adapun persamaan kombinasi yang dimaksud adalah :

$$U = 1,2D + 3,0E + L$$

$$U = 0,9D + 3,0E$$

- Ketentuan sengkang pada ujung kolom

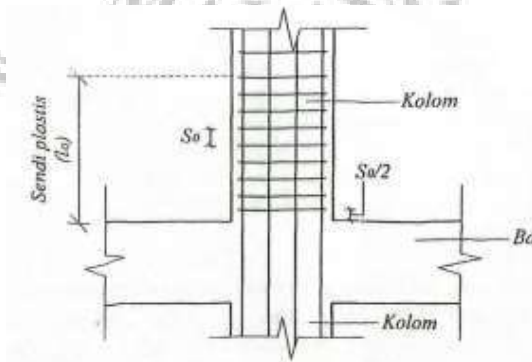
Ketentuan sengkang pada ujung kolom diatur berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 18.4.3.3; Hal-372. Pada pasal tersebut diatur bahwa sengkang tertutup harus dipasang dengan spasi S_0 sepanjang l_0 dari muka *joint*. Dan sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $S_0 / 2$ dari muka *joint*. Adapun ilustrasinya dapat dilihat pada gambar 3.2. Adapun nilai spasi S_0 tidak boleh melebihi nilai terkecil dari (a) hingga (d) :

- 8 kali diameter batang tulangan ; $S_0 \leq 8D_b$
- 24 kali diameter batang tulangan sengkang; $S_0 \leq 24\phi_b$
- Setengah dimensi penampang terkecil kolom ; $S_0 \leq \frac{1}{2} h$
- Sebesar $S_0 \geq 300$

Sedangkan nilai l_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari (e), (f) dan (g)

- Seperenam tinggi bersih kolom
- Dimensi maksimum penampang kolom
- Sebesar 450

Adapun spasi tulangan sengkang diluar panjang l_0 , harus memenuhi SNI 2847-2019; Pasal 10.7.6.5.2; Hal-223



(Sumber: Yudha Lesmana, 2021)

- Ketentuan HBK struktur SRPMM

Ketentuan sambungan balok kolom/hubungan balok-kolom (HBK) dari struktur SRPMM diatur berdasarkan SNI 2847-2019; pasal 18.4.4; Hal 373. Pada pasal tersebut disebutkan bahwa HBK Struktur SRPMM bisa merujuk SNI 2847-2019; Pasal 15; Hal-279

Pada pasal tersebut diatur terkait *joint* balok-kolom dan pelat-kolom. Dan diatur khusus terkait HBK dari struktur SRPMM dapat dilihat pada SNI 2847-2019: Pasal 15.2.2; Hal-279. Pada pasal tersebut dinyatakan bahwa apabila beban gempa menyebabkan terjadinya transfer momen pada *joint* balok-kolom maka gaya geser diakibatkan transfer momen tersebut harus dipertimbangkan.

Pada SNI 2847-2019; Pasal 15.4.2 diatur bahwa luasan minimum tulangan transversal pada setiap arah harus diambil nilai terbesar dari :

$$0,062 \sqrt{f'c} \frac{bs}{fyt}$$

Atau

$$0,35 \frac{bs}{fyt}$$

selain itu, pada SNI 2847-2019; Pasal 15.4.2.1; Hal-281 disebutkan bahwa luasan tulangan transversal harus didistribusikan sepanjang tinggi kolom dan tidak kurang dari balok tertinggi. Dan pada SNI 2847-2019; Pasal-281 diatur juga spasi tulangan geser yang dipasang pada HBK, yaitu tidak boleh melebihi setengah tinggi dari balok dengan tinggi terkecil (balok yang merangka pada *joint* tersebut).