

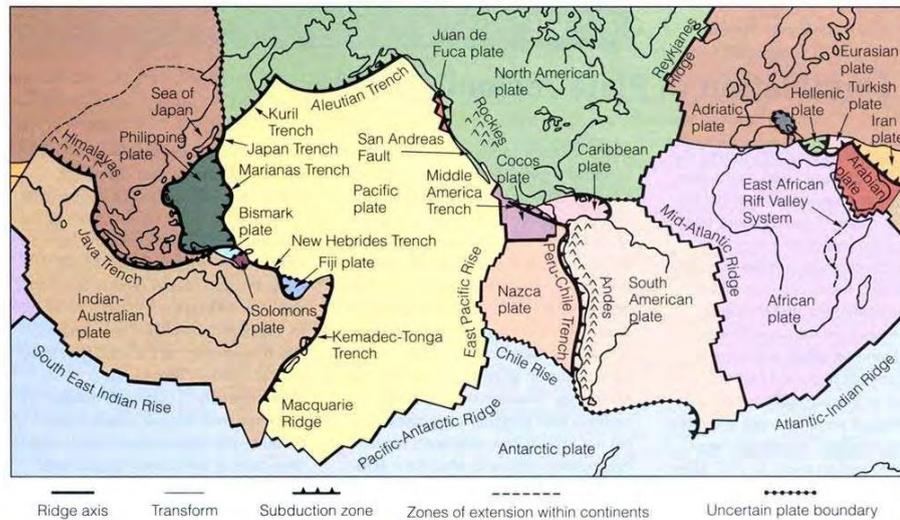
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan peristiwa terjadinya getaran tanah pada permukaan bumi. Sebagaimana bencana alam lainnya, fenomena gempa bumi sulit untuk diprediksi waktu dan lokasi kejadiannya. Gempa bumi utamanya diakibatkan oleh pergerakan lempeng-lempeng tektonik bumi (Ani, 2009). Ada juga gempa bumi yang disebabkan oleh fenomena-fenomena lain, seperti aktivitas vulkanik gunung berapi dan ledakan akibat tumbukan meteor, namun dampak dan skalanya lebih kecil akibat gempa bumi tektonik.

Gempa bumi tektonik pada umumnya terjadi di wilayah perbatasan antara lempeng-lempeng bumi (*plate boundary*), walaupun dalam sejumlah kasus ada juga yang terjadi di tengah-tengah lempeng (*intra-plate*). Lapisan litosfer yang terdiri dari lempeng-plat tektonik, bergerak dalam arah tertentu akibat adanya driving force yang timbul karena adanya konveksi termal. Pergerakan lempeng bumi demikian ada yang saling menumbuk (*collision*), menyusup (*subduction*), menggeser (*slip fault*), dan saling menjauh. Adanya tumbukan / subduksi / geseran antar lempeng kemudian menimbulkan energi yang besar. Energi tersebut selanjutnya masih terakumulasi di daerah sekitar perbatasan lempeng. Gempa bumi tektonik terjadi akibat lepasnya akumulasi energi yang timbul akibat pergerakan antar lempeng

Gelombang gempa kemudian merambat di dalam tanah (*Primary Wave* dan gelombang rambat gempa dibedakan menjadi *Rayleigh Wave* dan *Love Wave*. *Rayleigh Wave* dan *Love Wave* merupakan gelombang gempa yang mengakibatkan dislokasi pada permukaan tanah dan kerusakan pada struktur.



Gambar 2. 1 Peta Lempeng Dunia

Peta lempeng dunia menunjukkan bahwa Indonesia terletak di antara tiga lempeng utama bumi, yaitu: 1) Lempeng Eurasia; 2) Lempeng Indo-Australia; dan 3) Lempeng Pasifik. Selain itu, di Indonesia juga banyak ditemui patahan-patahan aktif, seperti patahan Opak (Yogyakarta), Semangko (Lampung), dan Lembang (Jawa Barat). Adanya patahan menimbulkan dislokasi tanah yang lebih besar bila terjadi gempa bumi (Khoirunnas, 2013). Oleh karena itu, wilayah Indonesia memiliki kerawanan yang tinggi terhadap gempa bumi.

2.2 Struktur Tahan Gempa

Filosofi utama dari perancangan struktur tahan gempa ialah mencegah jatuhnya korban jiwa. Struktur tahan gempa bukanlah suatu jenis struktur yang mampu menahan gaya gempa dengan baik sehingga mencegah terjadinya kerusakan pada struktur, tetapi lebih menitikberatkan pada kemampuan respons struktur terhadap gempa. Perencanaan struktur dengan kriteria pembebanan gempa yang sesuai dengan peraturan desain seismik yang berlaku, kemudian permodelan struktur yang dikombinasikan dengan elemen struktur tambahan untuk meningkatkan ketahanan gempa, dianalisa melalui sejumlah metode untuk mengukur kinerja struktur dalam merespons gaya-gaya gempa.

Desain struktur tahan gempa juga bertujuan untuk meminimalisir kerusakan yang ditimbulkan akibat beban gempa, membatasi ketidaknyamanan yang timbul akibat gempa, dan menjamin tetap berlangsungnya fungsi vital dari bangunan itu sendiri. Agar struktur dapat bertahan menghadapi gaya gempa yang kuat, maka perilaku struktur haruslah bersifat duktail agar dapat menoleransi gaya yang timbul setelah struktur mencapai kondisi ultimit.

Kriteria desain bangunan tahan gempa dewasa ini didasarkan pada *Model Performance Based Design* yang dirancang pertama kali dalam *Action Plan on Performance Based Design – FEMA 349*, yang diterbitkan oleh *FEMA (Federal Emergency Management Agency)* ("Action Plan on Performance Based Design Fema," n.d.). *Performance Based Design* menetapkan empat kriteria desain bagi bangunan tahan gempa, di antaranya: *Operational* (bangunan diharapkan tetap beroperasi setelah terjadinya gempa); *Immediate Occupancy* (bangunan diharapkan dapat segera digunakan / dihuni kembali); *Life Safety* (kerusakan bangunan dirancang agar tidak sampai menimbulkan korban jiwa); dan *Collapse Prevention* (boleh terjadi kerusakan pada struktur, namun tidak hingga terjadi keruntuhan / kolaps total). Penerapan kriteria desain di atas tergantung pada rasio umur rencana bangunan terhadap kala ulang gempa rencana.

Berdasarkan jenis gempa yang terjadi, ada tiga konsep utama terkait respons struktur terhadap gaya gempa, yaitu,

- a) sistem struktural harus mampu menahan gempa berintensitas rendah tanpa adanya kerusakan elemen struktural.
- b) Sistem struktural harus mampu menahan gempa berintensitas sedang dengan kerusakan ringan.
- c) Sistem struktural harus mampu menahan gempa berintensitas tinggi tanpa mengalami keruntuhan / collapse.

Sistem struktur tahan gempa yang baik harus sesuai dengan kerawanan gempa yang terdapat di wilayah struktur. Selain itu, aspek kontinuitas dan integritas struktur juga perlu diperhatikan. Sistem struktur tahan gempa yang sering diaplikasikan pada bangunan di antaranya adalah: penggunaan sistem truss

pada struktur (*belt truss dan outrigger system*), pemanfaatan kekuatan peredam (*damper system*), dan pengaturan isolasi struktur terhadap tanah (*base isolation system*).

2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen

Struktur rangka pemikul momen adalah suatu sistem struktur berupa portal atau rangka ruang yang terdiri dari balok dan kolom dimana komponen-komponen struktur dan join-joinnya bekerja secara bersama untuk menahan gaya-gaya yang bekerja melalui. Pada dasarnya SRPM memiliki konsep desain "strong column weak beam" yang berarti keruntuhan yang diperbolehkan terjadi terlebih dahulu adalah balok kemudian kolom. Karena pada umumnya struktur kolom menanggung beban dari beberapa balok sehingga apabila kolom gagal terlebih dahulu maka akan ada lebih dari satu balok yang hampir pasti juga akan gagal (Wahyu, 2022). Sesuai dengan namanya elemen struktur balok dan kolom di desain untuk memikul momen yang terjadi. Hubungan balok kolom juga perlu dirancang khusus karena join tersebut juga merupakan elemen struktur yang menerima gaya setelah balok (Tajunnisa YChadaffi MRamadhaniawan V, 2014)

. Hubungan antar balok akan mempengaruhi kekakuan portal / rangka. Struktur rangka pemikul momen dibagi menjadi tiga bagian yaitu:

a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil tapi memiliki kekuatan yang besar, oleh karena itu desain SRPMB dapat mengabaikan persyaratan Strong Column Weak Beam yang dipakai untuk mendesain struktur yang mengandalkan daktilitas yang tinggi. Sistem ini masih jarang digunakan untuk wilayah gempa yang besar namun efektif untuk wilayah gempa yang kecil. Faktor Reduksi Gempa (R) = 3,0 (manurung, 2015).

b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah adalah suatu metode perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen yang menitik beratkan kewaspadaannya terhadap kegagalan struktur akibat keruntuhan geser. Pada SNI 03-2847-2002 (Tata Cara Perhitungan Struktur Beton

untuk Bangunan Gedung), SRPMM dijelaskan secara tersendiri pada pasal 23.10. Pada pasal tersebut, dijelaskan tata cara perhitungan beban geser batas berikut pemasangan tulangan gesernya. Kemampuan penampang dalam mengantisipasi perbalikan momen juga disyaratkan pada peraturan tersebut. Faktor Reduksi Gempa (R) = 5,0 (juanda rizky, 2019).

c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus adalah sistem struktur dimana gaya lateral ditahan oleh struktur yang bersifat daktail. Daktail atau daktilitas merupakan kemampuan suatu struktur untuk mengalami simpangan pasca-elastik secara berulang dalam skala besar sehingga dapat berdeformasi dengan tetap mempertahankan kekuatan agar struktur dapat tetap berdiri.

Keadaan ini membantu bangunan untuk kembali ke bentuk semula meskipun telah mengalami guncangan yang kuat. Daktilitas bangunan struktur beton didapatkan dengan pendetailan penulangan yang ketat, oleh sebab itu dinamakan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus. Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen khusus (SRPMK) direncanakan untuk bersifat daktail sehingga desain SRPMK menggunakan sendi plastis yang diupayakan dapat untuk menyerap kekuatan gempa.

Setiap sendi plastis harus memenuhi standar kekuatan, daktilitas hingga disipasi sehingga kekuatan dapat tersalurkan oleh struktur baja karena pada dasarnya, Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen merupakan struktur yang dirancang untuk menahan beban gempa yang mana sistem SRPMK memiliki skala daktail penuh yang didesain lebih kuat agar mampu mengalami deformasi. Menurut SNI 2847-2019, SRPMK dirancang untuk memiliki elemen lentur pada balok dan dilengkapi dengan tulangan longitudinal yang difungsikan untuk menahan beban kekuatan gempa yang disebabkan oleh perluasan beton bertulang (SNI-2847-2019, 2019b).

Penerapan desain bangunan SRPMK sendiri digunakan untuk daerah daerah yang memiliki resiko terjadi nya gempa dengan nilai faktor tertinggi. Pada umumnya desain bangunan SRPMK diterapkan pada daerah yang memiliki resiko terjadi gempa pada zona 5 dan 6 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan tinggi. Faktor reduksi dari gempa yaitu (R) = 8,5 (manurung, 2015).

2.4 Konsep Desain

Prosedur dan ketentuan umum perencanaan mengacu pada SNI 1726-2019, SNI 03-2847-2019 dan SNI 03-1727-2020 dengan memperhitungkan beberapa ketentuan . konsep desain dari gedung perencanaan yaitu dengan struktur menggunakan beton bertulang dengan metode struktur penahan gempa menggunakan Struktur Rangka Pemikul Momen khusus.

2.4.1 Gempa rencana dan kategori gedung

Penentuan gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan Gedung dan non Gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya sehingga probabilitas terjadinya batas pada 2 % selama umur gedung 50 tahun. Pengaruh gempa rencana itu harus dikalikan oleh suatu faktor keutamaan gedung. Faktor keutamaan ini untuk menyesuaikan periode ulang. Gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung. Faktor keutamaan gedung ini bergantung pada berbagai kategori gedung dan bangunan ("SNI 1726-2019")

2.4.2 Konfigurasi struktur

Langkah awal dari perencanaan struktur gedung ialah menentukan apakah gedung yang akan dirancang termasuk gedung yang beraturan atau tidak beraturan. Ketidakberaturan struktur gedung akan diklasifikasikan Mengacu pada konfigurasi vertical dan horizontal dari struktur bangunan gedung tersebut berdasarkan ("SNI 1726-2019")

2.5 Ketentuan Khusus Elemen Struktur Beton SRPMK

Untuk mengetahui apakah suatu struktur menggunakan ketentuan Khusus Komponen Struktur Beton SRPMK Berdasarkan SNI 2847 2019

- Ketentuan Batasan dimensi balok SRPMK

Ketentuan Batasan dimensi balok SRPMK diatur dalam SNI 2847-2019; pasal 18.6.2.1 yaitu:

1. Bentang bersih harus $l_n \geq 4Dd$

2. Lebar balok penampang harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ atau 250 mm.
 3. Proyeksi lebar balok yang melampau lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75 c_1$ pada masing masing sisi kolom
- Ketentuan dimensi Kolom SRPMK

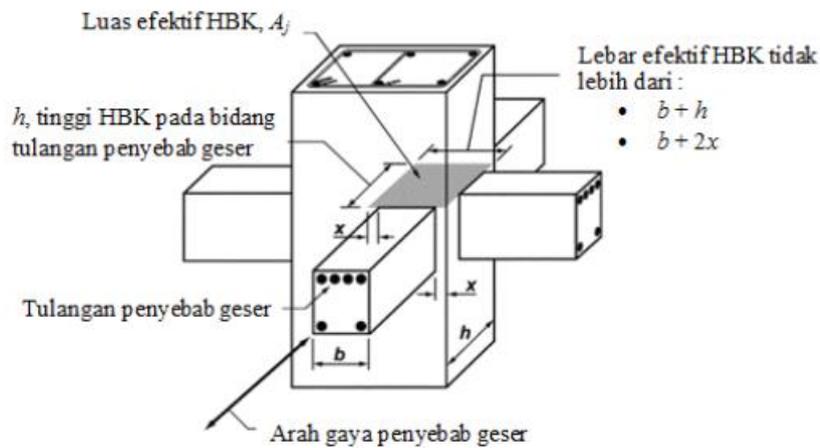
Ketentuan Batasan dimensi kolom SRPMK diatur dalam SNI 2847-2019; pasal 18.7.2.1 yaitu :

1. Dimensi penampang terkecil diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300MM
 2. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari $0,4$
- Ketentuan HBK struktur SRPMK

Ketentuan sambungan balok dan kolom (Hubungan balok dan kolom) dari struktur SRPMK diatur berdasarkan SNI 2847-2019; pasal 18.8 yaitu:

1. Gaya gaya pada tulangan longitudinal balok di muka *joint* harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan Tarik lentur sebesar $1,25 f_y$.
2. Tulangan longitudinal balok yang dihentikan didalam suatu kolom harus diteruskan ke muka terjauh dari inti kolom terkekang dan harus disalurkan dalam kondisi Tarik.
3. Bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui joint balok-kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal (normalweight). Untuk beton ringan (lightweight), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan.
4. Tinggi joint h tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok balok yang merangka pada *joint* tersebut dan yang menyebabkan geser pada joint Sebagian dari sistem pemikul gaya seismik.
5. Luasan penampang efektif A_j dalam suatu *joint* (HBK) harus dihitung dari tinggi *joint* kali lebar *joint* efektif. Tinggi joint harus sebesar lebar

kolom (h). lebar efektif *joint* harus selebar kolom, kecuali ada balok yang lebih lebar (LESMANA, 2021).



Gambar 2. 2 Luasan Efektif Pada joint HBK SRPMK.

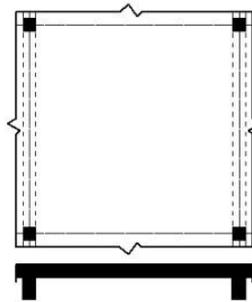
2.5.1 Mutu Beton

Sesuai dengan SNI 2847-2019 Pasal 21.1.4.2 kekuatan tekan beton (f_c') tidak boleh kurang dari 20 mpa. Kuat tekan 20 mpa atau lebih dipandang menjamin kualitas beton. Untuk perencanaan gedung ini digunakan kuat tekan beton (f_c') sebesar 30 mpa. (SNI-2847-2019, 2019b)

2.5.2 Pelat Beton Bertulang

Pelat beton bertulang yaitu struktur tipis yang dibuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus pada suatu struktur. Ketebalan bidang pelat ini relatif sangat kecil apabila dibandingkan dengan bentang panjang atau lebar bidangnya. Pelat ini sangat kaku dan arahnya horizontal, sehingga pada bangunan gedung pelat ini berfungsi sebagai diafragma atau unsur pengaku horizontal yang sangat bermanfaat untuk mendukung ketegaran balok portal (Asroni Ali, 2010). Berdasarkan system penulangannya pelat dibagi menjadi dua yaitu :

a) sistem pelat satu arah



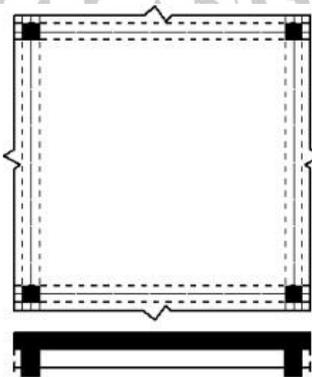
Gambar 2. 3 Pelat Satu arah

Sistem pelat yang hanya ditumpu di kedua sisinya, maka pelat tersebut akan melentur mengalami lendutan dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan. Beban akan didistribusikan oleh pelat dalam satu arah yaitu ke arah tumpuan. Apabila rasio bentang panjang terhadap bentang pendek lebih besar atau sama dengan 2, maka hampir 95% beban akan dilimpahkan dalam arah bentang pendek, Pelat akan menjadi pelat satu arah.

Tabel 2. 1 Momen plat satu arah

Koefisien Momen Panel Luar	Koefisien Momen Panel Dalam
$M_u = \frac{qul^2}{24}$ (tumpuan)	$M_u = \frac{qul^2}{11}$ (tumpuan)
$M_u = \frac{qul^2}{14}$ (lapangan)	$M_u = \frac{qul^2}{16}$ (lapangan)
$M_u = \frac{qul^2}{10}$ (tumpuan)	$M_u = \frac{qul^2}{11}$ (tumpuan)

b) sistem pelat dua arah



Gambar 2. 4 Pelat Dua arah

Struktur Pelat beton yang ditopang di keempat sisinya. Rasio antara bentang panjang terhadap bentang pendeknya kurang dari 2, maka pelat tersebut adalah sistem pelat dua arah. Dalam hal ini analisis boleh diasumsikan bahwa pelat merupakan balok lebar atau pendek, yang bersamasama dengan kolom di atas dan bawahnya membentuk portal kaku. Peraturan SNI memberikan beberapa metode pendekatan dalam melakukan analisis dan desain suatu sistem struktur pelat dua arah salah satunya yaitu:

- Metode Perencanaan Langsung (Direct Design Method, DDM) Metode ini merupakan rangkuman dari pendekatan ACI untuk mengevaluasi dan mendistribusikan momen total pada panel slab dua arah.

Berikut ini adalah batasan penggunaan metode desain langsung:

1. Pada masing-masing arah minimum ada tiga bentang menerus.
2. Perbandingan antara bentang yang panjang dengan bentang yang pendek pada satu panel tidak boleh melebihi 2,0.
3. Panjang bentang yang bersebelahan dalam masing-masing arah tidak boleh berbeda dari sepertiga bentang yang panjang.
4. Kolom dapat mempunyai offset maksimum 10% dari bentang dalam arah offset dari kedua sumbu antar garis pusat kolom yang bersebelahan.
5. Semua beban yang hanya akibat beban gravitasi dan terbagi merata seluruh panel. Beban hidup tidak boleh melebihi tiga kali beban mati.
6. Apabila panel tersebut ditumpu oleh balok pada semua sisinya, maka kekakuan balok dalam dua arah yang saling tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,2 dan tidak boleh lebih besar dari 5,0.

Momen statis terfaktor total (M_o) untuk suatu bentang harus ditentukan pada suatu lajur yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel pada setiap sisi garis pusat tumpuan. Jumlah mutlak momen positif dan negatif rata-rata dalam setiap arah tidak boleh kurang dari:

$$M_o = \frac{q_u L^2 n}{8} \dots \dots \dots (2-1)$$

Keterangan :

M_o = Momen total statik (Nm)

L2 = Rencana lebar pelat per meter (m)

Ln = Jarak bentang bersih pelat (m)

Tabel 2. 2 Distribusi Momen Total Terfaktor Pada Pelat Dua Arah

	Tepi Eksterior Tak Terkekang	Pelat Dengan Diantara Semua Tumpuan	Pelat Tanpa Balok Diantara Tumpuan Interior		Tepi Eksterior Tertekan Penuh
			Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi	
Momen Terfaktor Negatif Interior	0.75	0.7	0.7	0.7	0.65
Momen Terfaktor Positif	0.63	0.57	0.52	0.5	0.35
Momen Terfaktor Eksterior	0	0.16	0.26	0.3	0.65

Sumber : SNI 1726-2019

2.5.3 Balok

Balok adalah salah satu elemen struktur pada SRPM yang berfungsi untuk menahan gaya gravitasi mati dan hidup, serta menyalurkan gaya lateral dari satu elemen struktur vertical ke struktur yang lain. Tata cara komponen balok tertera didalam SNI 2847 : 2019 Pasal 21. Berikut ini adalah beberapa syarat yang tercantum dalam pasal tersebut:

- Gaya tekan aksial terfaktor $P_u < A_g \cdot f_c / 10$.
- Pada setiap irisan penampang komponen struktur lentur, sekurang-kurangnya harus ada dua batang tulangan atas dan dua batang tulangan bawah yang dipasang menerus
- Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya
- Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terhaser yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut
- Bentang bersih komponen struktur l_n harus lebih dari empat kali tinggi efektif balok.

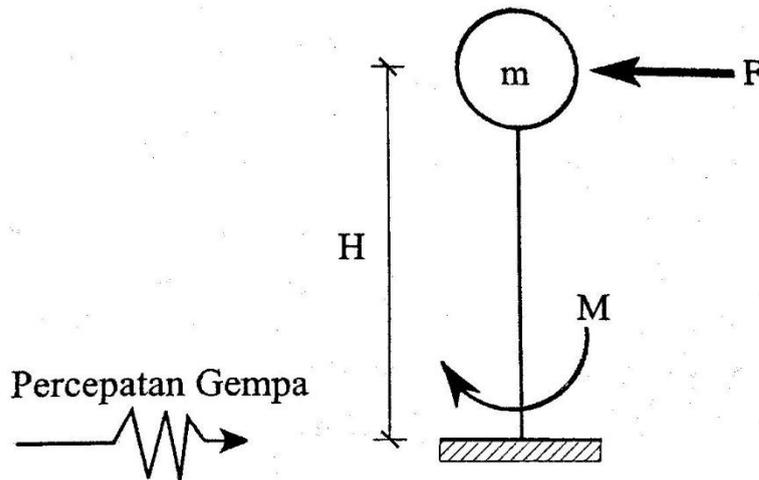
- Lebar komponen b_w harus melebihi $0,3 h$ atau 250 mm .
- Lehar komponen struktur (b_w), tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu.
- $0,75$ kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu.
- rasio tulangan, ρ , tidak boleh melebihi $0,025$.
- Sambungan lewatan tulangan lentur diizinkan hanya jika tulangan sengkang atau spiral disediakan sepanjang panjang sambungan dengan jarak sepanjang:
 - a. $d/4$
 - b. 100 mm
- Sambungan tidak boleh dilewatkan pada area sendi plastis
- Panjang sendi Plastis diambil nilai terbesar antara:
 - a. $L_n/4$
 - b. $h \times 2$
- Sengkang pertama diletakan pada jarak 50 mm dari muka kolom
- Jarak sengkang tidak boleh melebihi nilai
 - a. $d/4$
 - b. $6 \times D \text{ tul}$
 - c. 150 mm

(SNI-2847-2019, 2019b) batang tekan vertical dari rangka struktur yang menahan gaya dari balok dan slab dan meneruskannya ke pondasi. Kolom adalah salah satu elemen tekan yang memiliki peranan yang penting pada suatu bangunan, Karena runtuhnya suatu kolom dapat mengakibatkan runtuhnya suatu lantai atau runtuh total suatu struktur

2.5.4 Kolom

Kolom adalah elemen struktur yang menerima gaya gempa paling besar dibandingkan dengan elemen lainnya. Hal ini mengingat bahwa posisi kolom yang tegak lurus dengan arah gempa dan memiliki peran sebagai tumpuan utama dari massa bangunan, Sehingga disaat terjadi gaya gempa yang tegak lurus dengan sumbu batangnya, maka akan bekerja sebuah gaya yang berpusat pada tiap massa

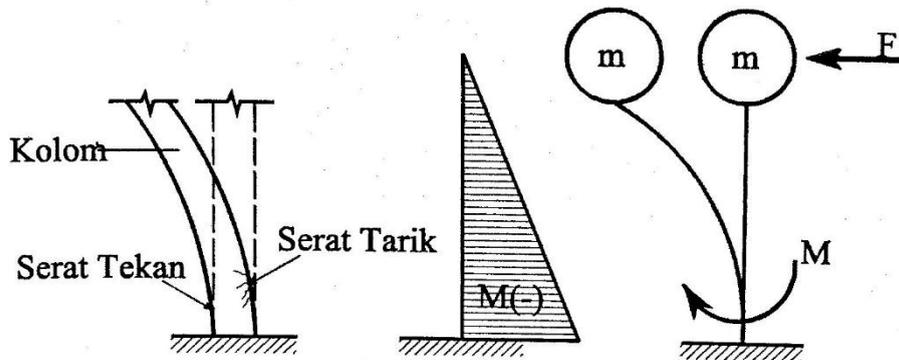
lantai yang seolah - olah membentuk gaya momen dengan panjang lengan dari gaya setinggi kolom itu sendiri, seperti pada gambar berikut :



Gambar 2. 5 Mekanisme dasar dasar terbentuknya momen pada kolom akibat gaya lateral

dapat dilihat sebuah kolom sederhana dengan kekakuan k dan tinggi h , memikul sebuah mass m pada bagian atasnya. Disaat tidak terjadi gempa, gaya yang bekerja pada kolom hanyalah beban aksial yang berasal dari massa m dan momen yang dihasilkan relatif kecil atau bahkan bisa diabaikan. Namun disaat terjadi percepatan gempa EQ, maka akan muncul sebuah gaya F (sesuai kaidah fisika dasar $F = m.a$) yang berpusat pada massa m yang terletak pada puncak kolom. Pada kondisi tersebut kolom dalam kondisi perletakkan jepit sehingga dengan adanya jarak pada ketinggian tertentu, seolah- olah muncul momen M yang diakibatkan adanya gaya F dan lengan momen h pada bagian bawah kolom. Pada kasus ini, kolom merupakan struktur kantilever sehingga tidak terdapat momen pada puncak kolom. Beda halnya dengan pada bagian bawah kolom, dikarenakan perletakkan jepit (karena pada umumnya perletakkan kolom jepit) maka akan muncul besaran momen yang sangat bear sebanding dengan F , m , h , k dan a (percepatan EQ). Mekanisme inilah yang membuat kolom memiliki peran sangat penting disaat

gempa terjadi. Diagram momen yang dihasilkan dari mekanisme sederhana diatas terlihat seperti pada Gambar berikut :



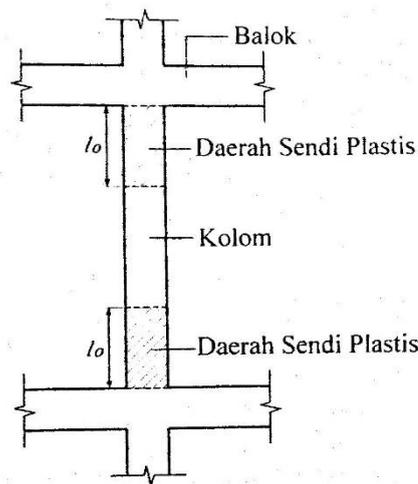
Gambar 2. 6Diagram momen pada dasar kolom akibat gaya lateral gempa

Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa disaat kolom mengalami gaya gempa dari Kiri ke kanan maka akan muncul gaya dari sebelah Kanan yang kemudian mendorong kolom tersebut ke arah kiri. Kondisi demikian menghasilkan momen positif pada bagian tumpuan kolom, Dalam kondisi momen positif tersebut, bagian sisi kanan Kolom akan mengalami tarik dan bagian sisi Kiri kolom akan mengalami tekan Keadaan in diasumsikan bila gaya lateral yang datang dari satu arah dan hanya terjadi sekali. *lalu bagaimana dengan gava gempa?*. Seperti yang telah dibahas diawal bahwa gaya gempa merupakan fenomena gerakan yang terjadi bolak-balik yang membuat struktur bergoyang selama terjadi gempa. Maka dari itu diperlukan perhatian khusus dalam perencanaan struktur. khususnya struktur kolom

Selain memikul beban gempa pada arah lateral. kolom juga sebagai element struktur vertikal 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 clemen kolom. Beban yang ditransfer oleh baloktergantug bagaimana balok itu dikekang Kedalam kolom. Bila balok hanva diletakkan begitu saja pada Kolom tapa ada kekangan yang berarti, maka yang diterima oleh kolom hanya berupa beban aksial (perletakkan bersifat sendi/rol). Namun bila balok dikekang dengan kuat Kedalam kolom dengan mekanisme jepit, maka bukan saja gaya vertikal 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 elemen kolom pada struktur gedung memikul kombinasi gaya dalam yaitu gaya aksial dan momen,

Struktur elemen kolom terbilang cukup Kompleks, Hal ini dikarenakan banyaknya gaya/momen yang bekerja pada kolom, baik dari luar kolom (balok) ataupun dari kolom itu sendiri. Gaya/ momen yang berasal dari Kolom dapat berupa pengaruh *delta effect* dan eksentrisitas yang tidak terduga dalam proses pelaksanaan. Dalam proses desain Kolom struktur tahan gempa, perhatian terhadap daerah sendi plastis sangatlah penting. Seperti halnya pada balk, sendi plastis kolom terletak pada ujung tumpuan kolom dengan panjang (l_o) tertentu sesuai peraturan syaratkan, seperti yang terlihat pada Gambar :



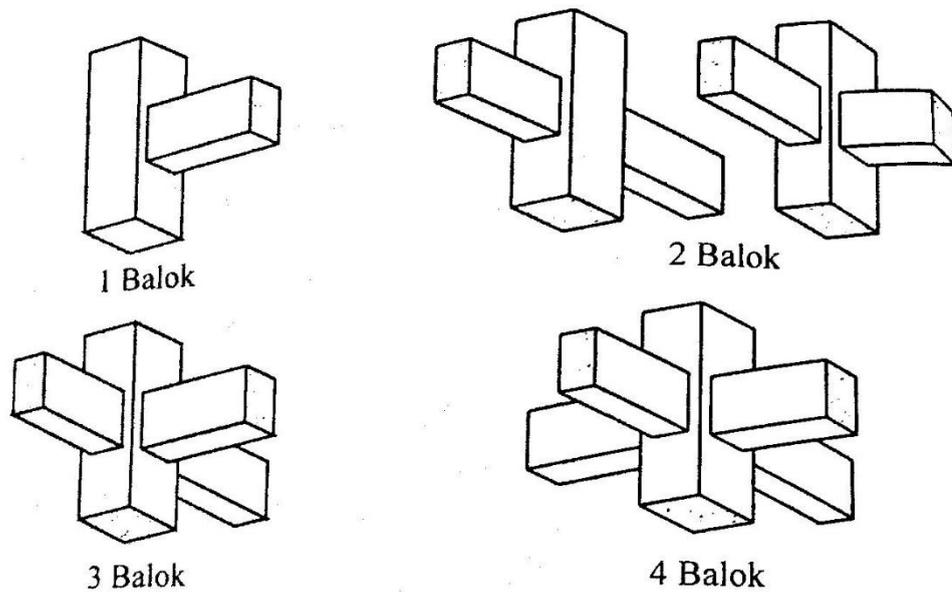
Gambar 2. 7Daerah sendi plastis pada kolom.

Pada daerah tersebut (l_o), perlu dilakukan *detailing* khusus, guna memberikan efek kekangan yang cukup. Sehingga saat terjadi gempa struktur kolom tidak mengalami kegagalan pada daerah sendi plastisnya. Istilah *detailing* mengandung arti bahwa pada daerah sendi plastis (l_o) akan didesain tulangan lentur dan tulangan geser dengan syarat-syarat khusus, berbeda dengan perhitungan kolom pada umumnya. Proses ini melibatkan syarat-syarat yang terdapat dalam SNI 2847 yang harus dipenuhi. Proses *detailing* terhadap daerah sendi plastis kolom meliputi:

1. Pengaturan dan persyaratan dimensi penampang kolom

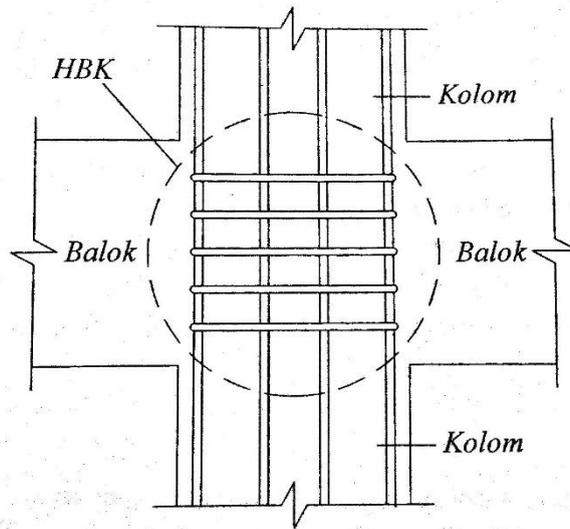
2. Pengaturan dan persyaratan luasan tulangan lentur.
3. Pengaturan dan persyaratan luasan tulangan geser.
4. Pengaturan dan persyaratan jumlah kaki sengkang.
5. Pengaturan dan persyaratan panjang kaitan/ penyaluran.

Pada prinsipnya, sendi plastis kolom merupakan daerah yang akan menerima momen and geser yang sangat bear. Momen tersebut terutama berasal dari gaya bolak- balik akibat beban gempa. Dengan adanya fenomena beban bolak- balik dari gempa inilah yang mengharuskan perlu adanva desain Khusus pada daerah tersebut agar beton bertulang pada kolom tetap bisa bertahan selama terjadi gempa. Usaha yang dilakukan adalah memberikan kekangan yang kuat agar inti beton pada daerah plastis tidak hancur. Kekangan in dapat berupa jumlah dan jarak tulangan geser yang digunakan, yaitu lebih banyak dan lebih rapat. Jadi meskipun kolom mengalami momen negatif atau momen positif secara bergantian akibat beban gempa bolak- balik, kolom akan tetap kuat atau minimal kolom tidak hancur. Selain pengaruh dari kekangan tulangan geser pada kolom, pengaruh keberadaan balok pada kolom juga memiliki andil yang sangat penting. Adapun jenis kekangan balok pada kolom yang ada pada konstruksi gedung seperti pada Gambar 2.8 Keberadaan balok pada kolom, secara otomatis memberikan dampak signifikan, selain menambah beban (aksial dan momen) juga mempengaruhi faktor kekakuan kolom itu sendiri. Kolom yang memiliki balok dikeempat sisinya akan lebih kaku dibandingkan dengan kolom yang memiliki jumlah balok kurang dari empat sisinya. Keberadaan balok juga akan mempengaruhi desain hubungan balok kolom atau dikenal dengan istilah HBK (hubungan balok dan Kolom)



Gambar 2. 8 macam macam kekangan balok terhadap kolom.

Salah satu ciri khas dari struktur kolom pada struktur bangunan tahan gempa (SRPMM & SRPMK) adalah adanya desain atau perhitungan HBK dari kolom. Desain pada kolom berupa perhitungan gaya geser yang terjadi pada inti hubungan balok kolom berdasarkan tulangan yang terpasang baik pada kolom maupun yang terpasang pada balok. Dikarenakan perhitungan momen berdasarkan tulangan yang terpasang pada kolom dan balok, hasil desain tulangan sengkang pada HBK ini relatif lebih banyak dan lebih rapat. Sehingga desain harus memperhatikan proses pengerjaan dilapangan, agar apa yang direncanakan bisa terlaksana dengan baik. Adapun ilustrasi HBK secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Hbungan Balok Dan Kolom (HBK)

Persyaratan untuk kolom diatur dalam komponen struktur rangka momen khusus yang dikenai beban aksial dan beban lentur. Berikut persyaratan yang ada pada

SNI 2847 2019 pasal 21.6:

- Gaya tekan aksial terfaktor $P_u < A_g \cdot f_c / 10$.
- Dimensi penampang terpendek, diukur garis lurus yang melalui pusat geometri tidak boleh kurang dari 300 mm.
- Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.
- Spasi tulangan transversal kolom tidak boleh melebihi :
 1. $\frac{1}{4}$ dimensi kolom terkecil
 2. $6 \times D$ tul
 3. S_0 Mengacu pada persamaan : (SNI-2847-2019, 2019b)

2.6 Pembebanan SNI 1726-2019

Beban-beban pada hakekatnya adalah seetiap faktor yang menimbulkan resultan dalam bentuk tegangan dan regangan di dalam struktur. Gaya beban dapat berupa aksi terpusat, merata, momen, terbagi merata, tidak merata, simetri, antisimetri dan sebagainya. Sementara itu penggolongan beban yang didasarkan pada sifat-sifat alamiahnya dapat dirinci sebagai berikut: (1) beban mati; (2) beban hidup; (3) beban

angin; (4) Beban Gempa. Beban yang terjadi pada bangunan harus ditinjau dan diperhitungkan sedetail mungkin agar Bangunan tidak mengalami keruntuhan atau *overload*.

2.6.1 Beban Mati

Beban mati (*dead load*) adalah beban yang memiliki besar yang konstan dan terdapat pada satu posisi tertentu. Beban mati terdiri dari berat sendiri struktur yang sedang ditinjau dan unsur - unsur tamhahan lain atau peralatan tetap yang tidak terpisahkan dengan gedung. Untuk berat beban mati ini diambil dari hrosur tentang spesifikasi harang/hehan yang ditinjau. Untuk mendesain sebuah struktur harus memperkirakan berat atau beban mati dari berbagai elemen struktur yang akan digunakan dalam analisis. Unsur tambahan pada beban mati meliputi sistem perpipaan, jaringan listrik, penutup lantai, serta plafon..Perkiraan berat struktur harus relevan dan dapat diperoleh dari rumus dan tabel yang terdapat di dalam referensi buku dan Standar Nasional Indonesia (SNI).

Tabel 2. 3Berat Sendiri Bahan Bangunan Dan Komponen Gedung

Bahan Bangunan	Berat
Baja	7850 kg/m ³
Beton	2200 kg/m ³
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Kayu (kelas I)	1000 kg/m ³
Pasir (kering udara)	1600 kg/m ³
Komponen Gedung	Berat
Spesi dari semen, per cm tebal	21 kg/m ²
Dinding bata merah 1/2 batu	250 kg/m ²
atap genting	50 kg/m ²
Penutup lantai ubin per tebal	24 kg/m ²

2.6.2 Beban Hidup

*Seluruh beban yang terjadi akibat penggunaan suatu gedung yang didalamnya terdapat benda -benda yang dapat dipindah , mesin mesin yang merupakan bagian yang terpisahkan dari struktur. Beban hidup setiap gedung atau bahkan ruangan berbeda -beda tergantung pada aktifitas yang ada pada ruangan tersebut karena pada dasarnya beban hidup tidak konstan dan bisa berubah

-ubah selama umur gedung tersebut. Namun perubahan beban hidup harus diatasi oleh fungsi utama ruangan yang telah didesain dan tidak boleh melebihi kapasitas desain.

Tabel 2. 4Beban Hidup Lantai Gedung Sekolah

Hunian atau Penggunaan	Merata (kn/m ²)	Terpusat (kN)
Sekolah		
Ruang kelas	1,92	4,5
Koridor di atas lantai pertama	3,83	4,5
Koridor lantai pertama	4,79	4,5
Bak-Bak/ <i>scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses	-	0,89
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	11,97	35,6
Tangga dan jalan keluar	4,79	-
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	1,92	-

2.6.3 Beban Gempa

Beban lateral yang disebabkan oleh gempa di setiap tempat berbeda-beda yang bergantung pada beberapa faktor diantaranya adalah faktor keutamaan bangunan, kondisi tanah, percepatan perambatan tanah, dan sistem struktur yang digunakan. Perencanaan beban gempa di Indonesia diatur dalam SNI 1726 2012. Peraturan memuat ketentuan - ketentuan koefisien yang telah ditetapkan. Peraturan perencanaan beban gempa pada gedung-gedung di Indonesia yang berlaku saat ini diatur dalam SNI 1726:2019. Pada peraturan ini dijelaskan tentang faktor-faktor yang berhubungan dengan perhitungan untuk analisis beban gempa sebagai berikut:

a. Geografis

Perencanaan beban gempa pada sebuah gedung tergantung dari lokasi Gedung tersebut dibangun. Hal ini disebabkan karena wilayah yang berbeda memiliki percepatan batuan dasar yang berbeda pula.

b. Faktor Keutamaan Gempa

Faktor ini ditentukan berdasarkan jenis pemanfaatan gedung. Gedung dengan kategori resiko I dan II memiliki faktor keutamaan gedung

1, untuk kategori resiko III memiliki faktor 1,25, dan kategori resiko IV memiliki faktor 1.5 dapat dilihat pada tabel.

c. Kategori Desain Seismik

Pembagian kategori desain seismik dari rendah ke tinggi yaitu A,B,C,D,E,F. Penentuan kategori ini dapat dilihat pada tabel.

d. Sistem Penahan gaya Seismik

Struktur dengan sistem penahangaya seismik memiliki faktor reduksi gempa atau koefisien modifikasi respon (R), faktor kuat lebih sistem (ϕ), dan faktor pembesaran defleksi (C_d) yang berbeda-beda sesuai dengan tabel.

2.6.7 Kombinasi Pembebanan

Mengacu pada SNI 1727: 2019:

a. Kombinasi ultimate, pasal 2.3.2 Kombinasi ini digunakan untuk perhitungan tulangan

- $U = 1,4D$
- $U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = 1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (Lr \text{ atau } 0,5W)$
- $U = 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = 1,2D + 1,0E + L + 0,2S$
- $U = 0,9D + 1,0W$
- $U = 0,9D + 1,0E$

b. Kombinasi layan, pasal 2.4.1

Kombinasi ini digunakan untuk perhitungan pondasi dan struktur baja

- $U = D$
- $U = D + L$
- $U = D + Lr \text{ atau } S \text{ atau } R$
- $U = D + 0,75L + 0,75 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$
- $U = D + 0,75L + 0,75(0,6W) + 0,75 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$

- $U = D + 0,75L + 0,75(0,7E) + 0,75S$
- $U = 0,6D + 0,6W$
- $U = 0,6D + 0,7E$

dimana,

D = beban mati

L = beban hidup

E = beban gempa

W = beban angin

Lr = beban hidup atap

R = beban hujan

S = beban salju

2.7 Metode Analisis Dinamis

Di dalam SNI 1726:2019 telah dijelaskan secara detail tahapan analisa gempa untuk bangunan gedung. Tahapan analisa inilah yang akan menentukan aman atau tidaknya sebuah struktur ketika menerima beban gempa ditinjau dari simpangan horizontal yang dihasilkan lalu dibandingkan dengan simpangan horizontal yang diizinkan. Untuk mengetahui keamanan dari sistem struktur yang digunakan pada suatu gedung terhadap kemampuan menahan gaya lateral akibat gempa perlu dilakukan analisa gempa. Berdasarkan SNI 1726:2019, terdapat analisa beban gempa berupa analisa dinamis. Dalam desain struktur tahan gempa, analisis dinamis dilakukan apabila diperlukan evaluasi dengan akurasi yang lebih dari beberapa gaya gempa yang bekerja pada struktur.

Dalam struktur bangunan tingkat tinggi dan bentuk struktur dengan bentuk konfigurasi tidak menentu, arah gaya gempa yang terjadi tidak dapat diprediksi. Dengan analisis dinamis, kita dapat memperkirakan arah gaya gempa sesuai elastisitasnya. Untuk menentukan elastisitas, terdapat beberapa cara yaitu Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*), dimana memerlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respons (*Response Spectrum Modal Analysis*), dimana memerlukan respons tertinggi dari setiap ragam getar yang didapat dari Spektrum Respons Rencana (*Design Spectra*).

2.7.1 Linear Time History Analysis

Metode *Linear Time History Analysis* adalah metode analisa beban gempa yang memakai rekaman gempa asli (*ground motion*) yang didapatkan secara langsung dari alat pendeteksi gempa (*seismograph*). Metode tersebut diatur pada SNI 1726-2019 pasal 7.9.2 halaman 78. Prosedur yang paling utama dari metode ini adalah proses penyetaraan intensitas gempa yang diketahui sebagai

spectra matching method. Apabila melakukan analisa metode *linear time history*, kriteria desain struktur yang digunakan sama dengan metode *response spectrum analysis*. Hanya saja berbeda di pembebanan gempa, yang diatur secara lengkap dalam SNI 1726-2019 pasal 7.9.2 halaman 78. Untuk analisa dengan *time history*, perlu memperhitungkan pengaruh torsi tak terduga pada simpangan antar tingkat.

2.7.2 Response Spectrum Analysis

Response spectrum adalah metode gempa yang didapatkan dari rekaman riwayat percepatan dari model sistem derajat kebebasan tunggal (*single degree of freedom*) yang dibebani beban gempa berupa rekaman gempa asli (*ground motion*). Rekaman riwayat yang digunakan merupakan *plot* dari nilai maksimum (kecepatan, percepatan, dan perpindahan) dari periode yang berbeda. Dengan begitu terbentuk sebuah kurva yang dikenal sebagai *response spectrum*. Metode ini dijelaskan secara lengkap dalam SNI 1726-2019 pasal 7.9.1 halaman 77. Untuk analisa dengan *response spectrum*, tidak perlu memperhitungkan pengaruh torsi tak terduga pada simpangan antar tingkat.

2.7.3 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 4.1.2 tentang berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa (I_e). Untuk kategori risiko gempa dikelompokkan menjadi empat kategori yang ditinjau dari segi penggunaan gedung yang terdapat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. 5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung 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 risiko I, II, III, dan 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 perbelanjaan mall ➤ Bangunan industri ➤ Fasilitas manufaktur 	II

- Pabrik

Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan struktur, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Bioskop
- Gedung pertemuan
- Stadion
- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas penitipan anak
- Penjara
- Bangunan untuk orang jompo

Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Pusat pembangkit listrik biasa
- Fasilitas penanganan air
- Fasilitas penanganan limbah

Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah

III

Tabel 2. 6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
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 ketika terjadi kebocoran	III
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:	IV
➤ Bangunan-bangunan monumental	

- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
 - 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, 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
- Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV

Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 4.1.2

2.7.4 Menentukan Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Setelah mengetahui kategori risiko gempa dilakukan penentuan faktor keutamaan gempa pada tabel berikut ini:

Tabel 2. 7 Nilai Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I	1,00
II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 4.1.2

2.7.5 Menentukan Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 5.3, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m. Dengan begitu, sifat-sifat tanah harus diidentifikasi oleh seorang ahli geoteknik. Apabila sifat tanah yang memadai tidak tersedia untuk penentuan kelas situs, maka kelas situs SE harus digunakan sesuai dengan persyaratan 0, kecuali otoritas yang berwenang atau data geoteknik menunjukkan situs termasuk dalam kelas situs lainnya. Untuk kelas situs SA dan kelas situs SB tidak

diperkenankan bila terdapat lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit pondasi dan permukaan batuan dasar lebih dari 3 m.

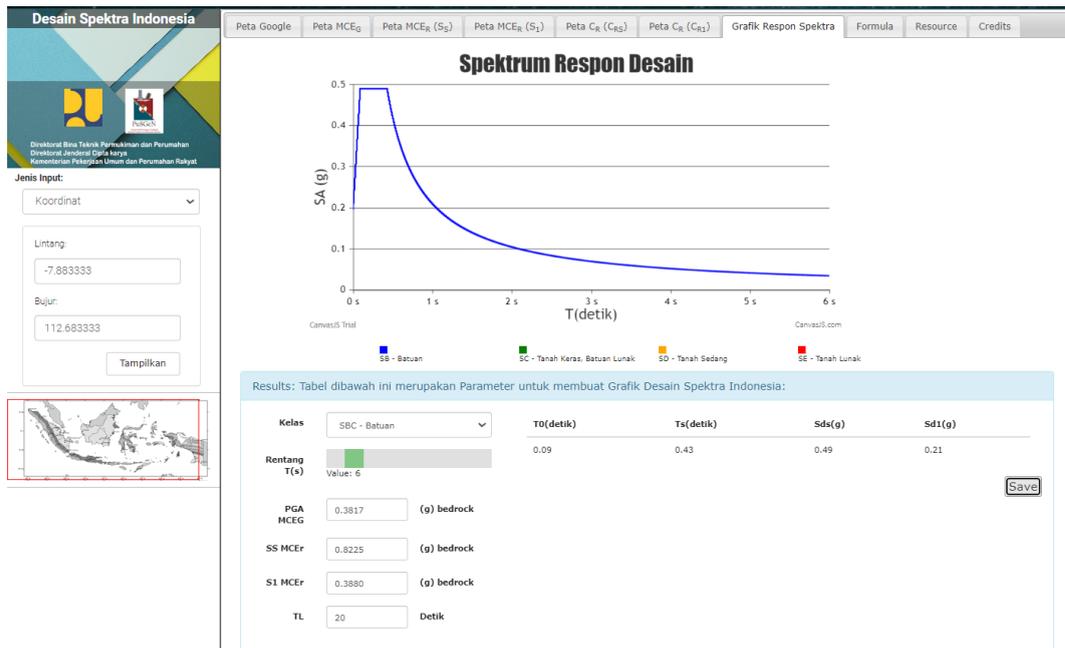
Tabel 2. 8 Tabel Klasifikasi Situs

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
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:		
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	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 sensitive, tanah teresementasi 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 		

Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 5.3

2.7.6 Parameter Respon Spektral Desain

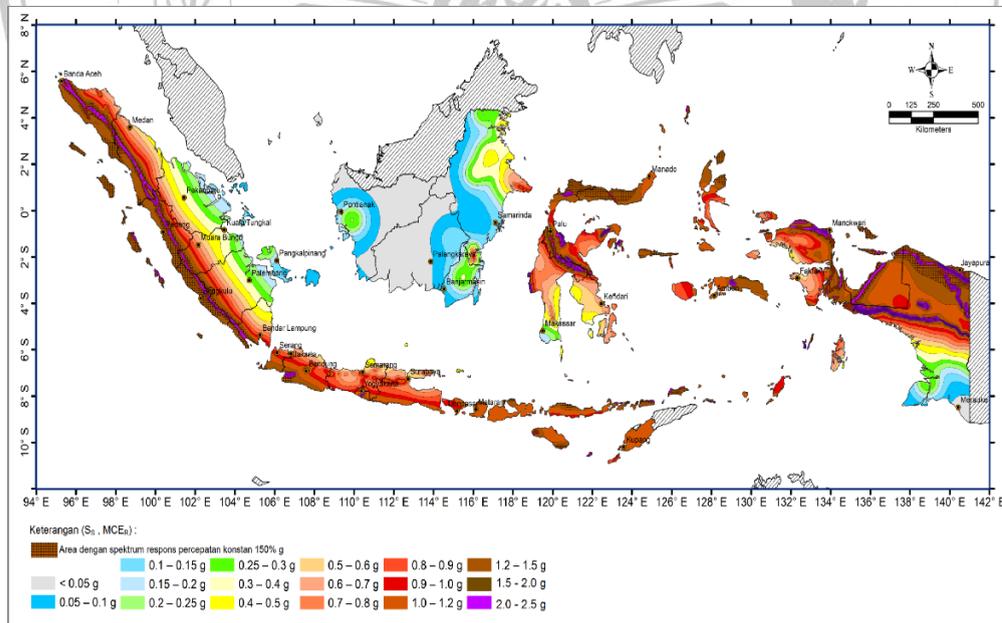
Setelah menentukan kelas situs, maka dilakukan penentuan nilai parameter percepatan spectral desain. Berdasarkan SNI 1726-2019, Target respons spektra MCER dengan redaman 5 %, harus dikembangkan dengan menggunakan prosedur pada 0 atau 0. S_1 untuk parameter respons percepatan spektral dari peta periode 1 detik dan S_s untuk parameter respons percepatan spectral dari peta periode pendek 0,2 detik. Nilai S_1 dan S_s dapat dicari menggunakan aplikasi yang dikeluarkan oleh Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman (Puskim).



Gambar 2. 10 Desain Spektral Percepatan Gempa

Sumber: puskim.go.id

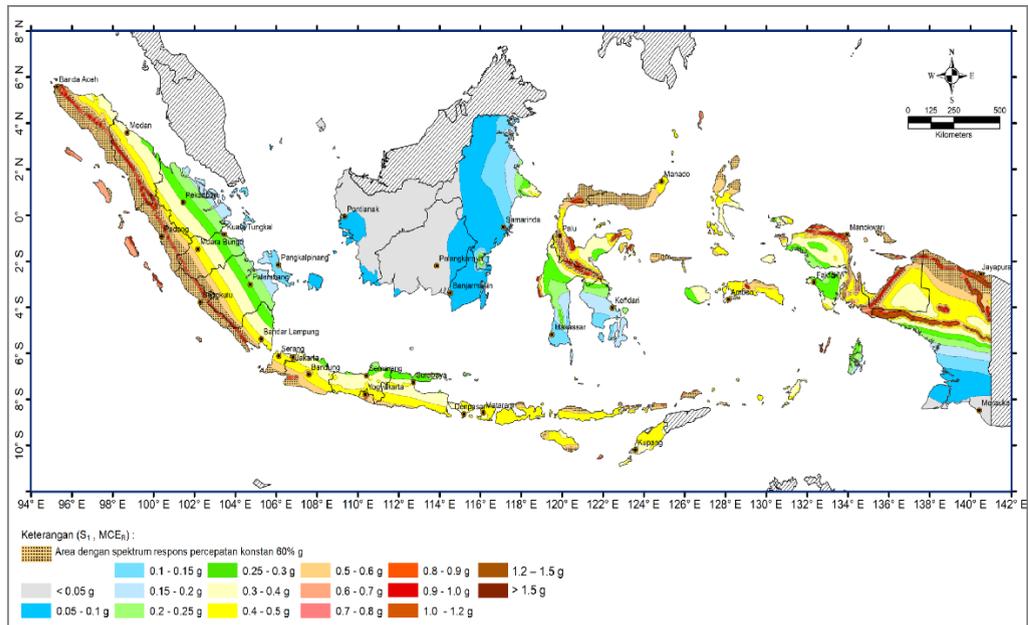
Berikut adalah gambar untuk peta MCEr S_g seperti dibawah ini:



Gambar 2. 11 Peta MCEr S_g

Sumber: litbang.pu.go.id

Berikut adalah gambar untuk peta MCER S₁ seperti dibawah ini:



Gambar 2. 12Peta MCER S₁

Sumber: litbang.pu.go.id

2.7.7 Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER)

Pada SNI 1726-2019 Pasal 6.2 tentang penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, dibutuhkan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, ditentukan dengan rumus dibawah ini:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2.73)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (2.74)$$

Keterangan:

F_a = getaran periode pendek

F_v = getaran periode 1 detik

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

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik

Untuk koefisien situs F_a dan F_v mengikuti pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 9 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertargeter (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)					

Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 6.2

Catatan:

SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 2. 10 Koefisien Situs F_y

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertargeter (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Tabel 2. 11 Koefisien Situs F_y (Lanjutan)

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertargeter (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,6$
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 6.2

Catatan:

SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

2.7.8 Perhitungan Parameter Percepatan Gempa Desain

Menurut SNI 1726-2019 Pasal 6.3 tentang parameter percepatan gempa desain di permukaan tanah, apabila prosedur spesifik-situs digunakan untuk menentukan gerak tanah seismik desain sesuai respon spektrum desain maka diperlukan parameter yang ditentukan dengan rumus dibawah ini:

- a) Parameter spektrum respon untuk gempa desain pada waktu periode pendek 0,2 detik (S_{MS}).

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} \dots\dots\dots (2.73)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen

S_{MS} = parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

- b) Parameter spektrum respon untuk gempa desain pada waktu periode 1 detik (S_{M1}).

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} \dots\dots\dots (2.74)$$

Keterangan:

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen

S_{M1} = percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

2.7.9 Spektrum Respons Desain

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.4, apabila spektrum respons desain diperlukan dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka langkah-langkah yang harus dilakukan ada sebagai berikut:

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

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2.75)$$

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 , spektrum respons percepatan desain (S_a) diambil berdasarkan persamaan

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.76)$$

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

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots (2.77)$$

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

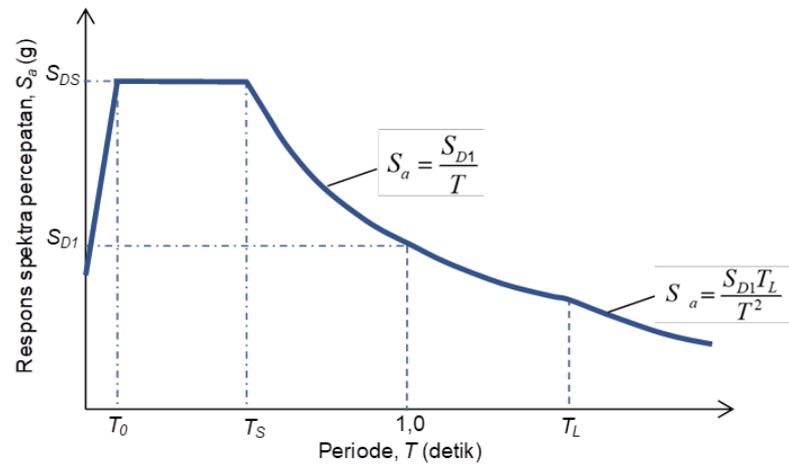
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1,0 detik

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.78)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.79)$$

T_L = peta transisi periode panjang



Gambar 2. 13 Spektrum Respons Desain

Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 6.4

Berdasarkan nilai S_{DS} yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya, maka perlu ditentukan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek menurut tabel di bawah ini:

Tabel 2. 12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 6.5

Selain itu, berdasarkan nilai S_{D1} yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya, maka perlu ditentukan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik menurut tabel di bawah ini:

Tabel 2. 13 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 Pasal 6.5