

## **BAB II**

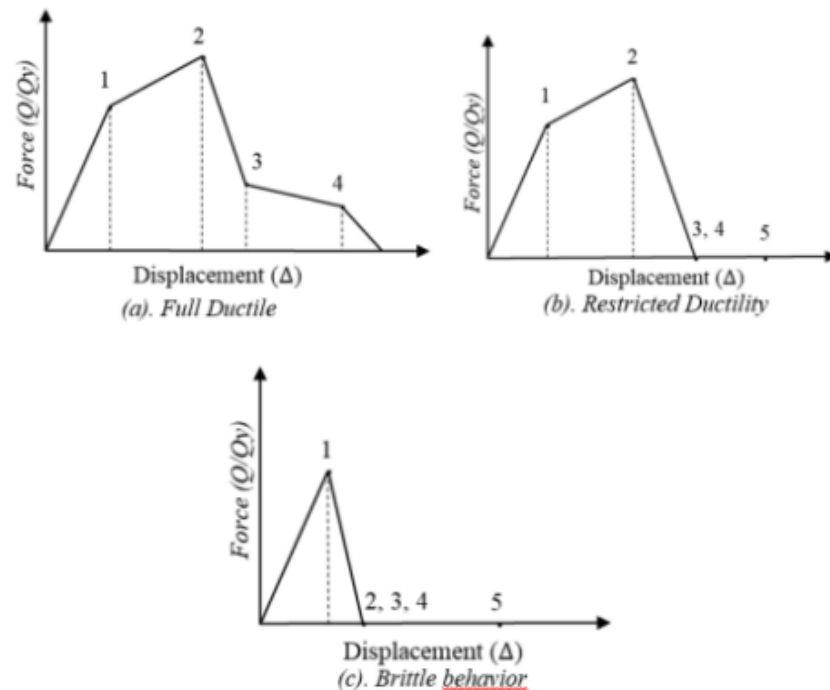
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi 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. Sehingga untuk menutup kelemahan terhadap Tarik tersebut kemudian ditambahkan baja tulangan kedalam beton. Karena pada dasarnya, baja adalah 'material yang sangat kuat terhadap Tarik. Kerjasama antara dua material yang berbeda ini membentuk sebuah material komposit yang sekarang dikenal dengan istilah beton bertulang (reinforced concrete). Dengan kata lain, beton bertulang merupakan Kerjasama antara dua material, yaitu beton dan baja tulangan. Pada saat beton bertulang memikul tegangan tekan, maka material beton akan mengambil porsi yang lebih besar, sedangkan disaat beton bertulang mengalami tegangan Tarik, maka tulangan baja yang akan berperan besar dalam memikul beban tersebut. Kombinasi yang lebih baik inilah yang menyebabkan beton bertulang menjadi material yang sangat penting dibidang konstruksi.

#### **2.2 Daktilitas Struktur Beton Bertulang**

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: Analisa dan desain struktur Tahan Gempa Beton Bertulang. Yuda Lesmana(2021)*

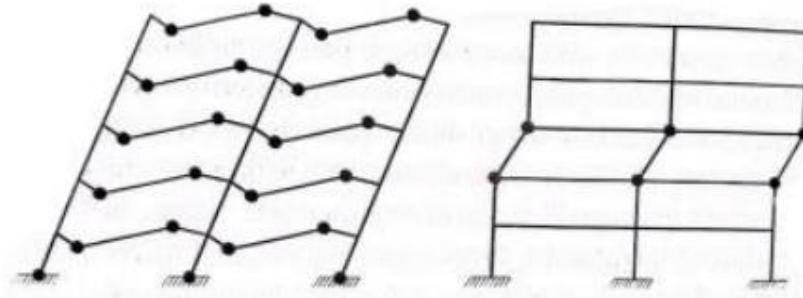
Pada gambar 2.1 (a) terlihat hubungan perilaku daktilitas penuh (full ductility) pada struktur bangunan gedung. pada kurva terlihat garis 0-1 yang mengandung arti bahwa struktur pada kondisi tersebut masih dalam perilaku elastis. Perilaku ini ditandai dengan kembalinya struktur gedung ke posisi semula 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 driftakibat beban gempa. Hal ini berarti bila beban gempa telah berakhir, struktur tidak akan Kembali keposisi semula atau telah terjadi kerusakan pada elemen struktur utama ayang berfungsi memikul beban lateral. Setelah struktur memasuki fase plastis, struktur akan memasuki fase selanjutnya yaitu terlihat pada garis 2-3. Pada fase ini struktur

mengalami penurunan kekuatan dalam menahan beban lateral dan beban gravitasi 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 keruntuhan. 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 daktil 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 daktil, (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 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: Analisa dan Desain Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang, Yuda 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**

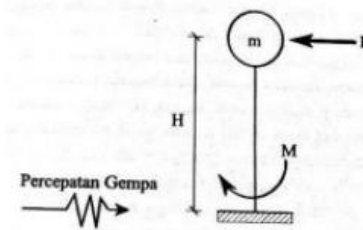
### **2.3.1 Konsep Balok Struktur Tahan Gempa**

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 distribusi 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 mampu 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: Analisa dan Desain Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang, Yuda 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**

Perencanaan pembebanan ini digunakan beberapa acuan standar 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 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 analisa 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/m<sup>2</sup>
  - Berat spesi (2 cm) = 24 kg/m<sup>2</sup>
  - Plafon + Penggantung = 17 Kg/m<sup>2</sup>
  - Instalasi Listrik = 10 Kg/m<sup>2</sup>
  - Pipa Air Bersih & kotor = 10 Kg/m<sup>2</sup>
  - Berat Total = 80 kg/m<sup>2</sup>
- Super imposed dead load (pada balok)
  - Beban Tembok = 80 kg/m<sup>2</sup>

### 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/m <sup>2</sup> )	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang Kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
Ruang Komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gedung persenjataan dan ruang latihan		
Ruang Pertemuan		
Kursi tetap (terikat dilantai)	100 (4,79)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	



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/m <sup>2</sup> )	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor Lantai Pertama Lantai lain	100 (4,79) Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100(4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in. x 2 in. (50 mmx50mm))		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada aera 1 in. x 1 in. (25mm x 25mm))		200 (0,89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40(1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasa 4.5	
Garasi/Parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1,92)	
Susunan tangga, rel pengamandan batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
Heliped	60 (2,87) tidak boleh direduksi)	
Rumah sakit:		
Ruang operasi, lapatorium	60 (2,87)	1000 (4,45)
Ruangan pasien	40(1,92)	1000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpusatakan		
Ruang baca	100 (4,79)	1000 (4,45)
Ruang penyimpanan	50 (2,4)	1000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00)	1000 (8,9)
Berat	250 (11,97)	3000 (13,4)
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan computer harus dirancang untuk beban	100 (4,79) 50 (2,4)	
Yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian Lobi dan koridor lantai pertama	80 (3,83)	1000 (8,9) 1000 (8,9)

Kantor		1000 (8,9)
Koridor di atas lantai pertama		
Lembaga hukum	40 (1,92)	
Blok sel	100 (4,79)	
Koridor		
Tempat rekreasi	75 (3,59)	
Tempat bowling, Kolam renang, dan penggunaan yang sama	100 (4,79)	
Bangsas dansa dan Ruang dansa		
Gimnasium	100 (4,79)	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79)	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87)	
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)	10 (0,48)	
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa Gudang	20 (0,96)	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan Gudang	30 (1,44)	
Loteng yang dapat didiami dengan Gudang	40 (1,92)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon		
Semua hunian rumah tinggal lainnya	40 (1,92)	
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Ruang public dan koridor yang melayani mereka		
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung		
Atap digunakan untuk taman atap		
Atap yang digunakan untuk tujuan lain		
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya awning dan kanopi	20 (0,96)	
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	100 (4,79)	
Rangka tumpu layer penutup	Sama seperti hunian dilayani	
	5 (0,24) tidak boleh di reduksi	200 (0,89)
Semua konstruksi lainnya	5 (0,24) tidak boleh di reduksi dan berdasarkan luas tributary dari atap yang ditumpu oleh rangka	2000 (0,89)
Komponen struktur atap utama, yang berbubung langsung dengan pekerjaan lantai		
Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi	20 (0,96)	300 (1,33)
Semua komponen struktur atap utama lainnya		
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		300 (1,33)
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1000 (,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (,45)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1000 (,45)
Bak-bak/scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)

Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	8000 (35,6)
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 diasntisipasi menjadi Gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat)		
Ringan	125 (6,00)	
Berat	250 (11,97)	

Sumber: SNI 1727-2013; Tabel 4-1

#### 2.4.4 Beban Gempa

Perencanaan bangunan tahan gempa merupakan mempertimbangkan frekuensi rata-rata, dalam suatu daerah berdasarkan data yang ada. Untuk bangunan yang tidak lebih dari 40 m. Analisis struktur yang ditentukan oleh seismik atau gempa, dapat dilakukan dengan metode beban gempa statik ekuivalen. Sementara untuk bangunan yang lebih tinggi dari 40 m. Analisis beban gempa statik ekuivalen perlu diverifikasi, dengan analisis dinamik. Perencanaan bangunan tahan gempa, dibagi menjadi 2, yaitu (Nasution, 2009):

##### a. Metode Analisis Statik

Analisis perdisainann struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statik, dalam prinsipnya merupakan menggantikan gaya-gaya horizontal yang bekerja dalam struktur akibat pergerakan tanah dengan beberapa gaya statik yang ekuivalen, dengan tujuan penyederhanaan dan kemudahan di dalam perhitungan. Metode ini disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (Equivalent Lateral Force Method). metode yang digunakan ini diasumsikan bahwa gaya horizontal yang ditentukan oleh gempa yang bekerja dalam suatu elemen struktur, besarnya tingkat ditentukan berdasarkan hasil perkalian antara konstanta berat atau masa dari elemen struktur tersebut.

##### b. Metode Analisis Dinamis

Analisis dinamis untuk perdisainan struktur tahan gempa dilakukan kalau diperlukan evaluasi dengan akurasi lebih dari beberapa gaya

gempa yang bekerja dalam struktur, 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 kita 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 Rencana (Design Spectra).

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

## 2.5 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 – Resiko Bangunan dan non Gedung**

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

<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Perumahan</li><li>• Rumah toko dan rumah kantor</li><li>• Pasar</li><li>• Gedung perkantoran</li><li>• Gedung apartemen/rumah susun</li><li>• Pusat perbelanjaan/mall</li><li>• Bangunan industri</li><li>• Fasilitas manufaktur</li><li>• Pabrik</li></ul>	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bioskop</li><li>• Gedung pertemuan</li><li>• Stadion</li><li>• Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li><li>• Fasilitas penitipan anak</li><li>• Penjara</li><li>• Bangunan untuk orang jompo</li></ul>	III

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

<p>listrik, tangka air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan</p>	
<p>darurat</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori risiko</li> </ul>	<p>IV</p>

*Sumber : SNI 03-1726-2019*

Berdasarkan table di atas bangunan rumah sakit termasuk **Kategori Resiko IV**.

### 2.5.1 Faktor Keutamaan Gempa (Ie)

Berdasarkan pasal 12.2 SNI 1726:2019, factor keutamaan gempa pada struktur bangonna gedung apartemen, factor keutamaan gempa Ie harus diambil sebesar 1,50 yaitu dengan Ketrgori Resiko IV

**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

### 2.5.2 Parameter Percepatan Spektal Gempa

Tujuan pasal ini adalah untuk menyediakan metode desain terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan geser gelincir (*sliding shear*) pada suatu bidang.

Kondisi ini termasuk bidang yang terbentuk oleh retak pada beton monolit, bidang kontak antara beton dan baja dan bidang yang dicor antara waktu berbeda (Birkeland and Birkeland 1996; Mattock and Hawkins 1972)

Konsep geser friksi ini mengansumsi bahwa retak akan selalu terjadi, dan bahwa tulangan harus disediakan melewati retak untuk menahan perpindahan relatif sepanjang retak tersebut.

Jika tulangan geser friksi tegak lurus terhadap bidang geser, kekuatan geser nominal pada asumsi bidang geser harus dihitung dengan ketentuan berikut:

$$\phi V_n = \phi \mu A_{vf} f_y$$

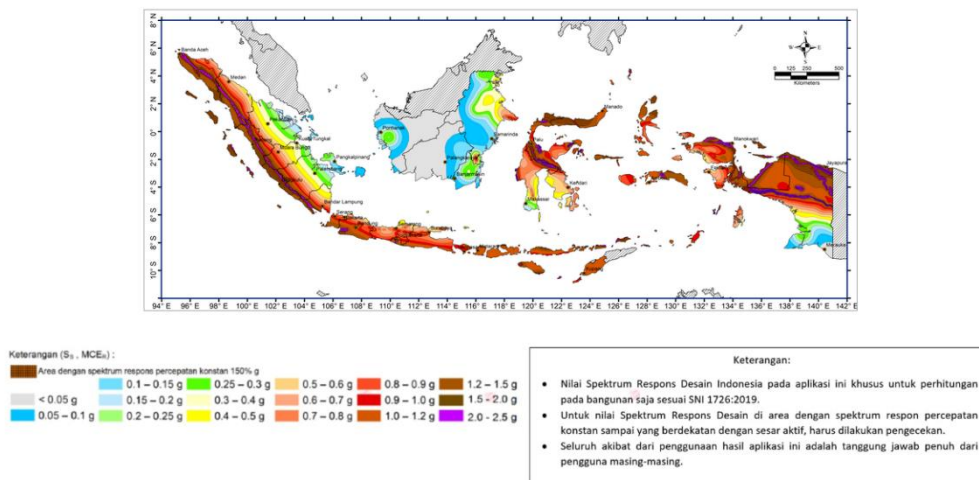
$$V_n = A_{vf} \phi f_y \mu$$

**Tabel 2.4** SNI -2847-2019 (Tabel 22.9.4.2)

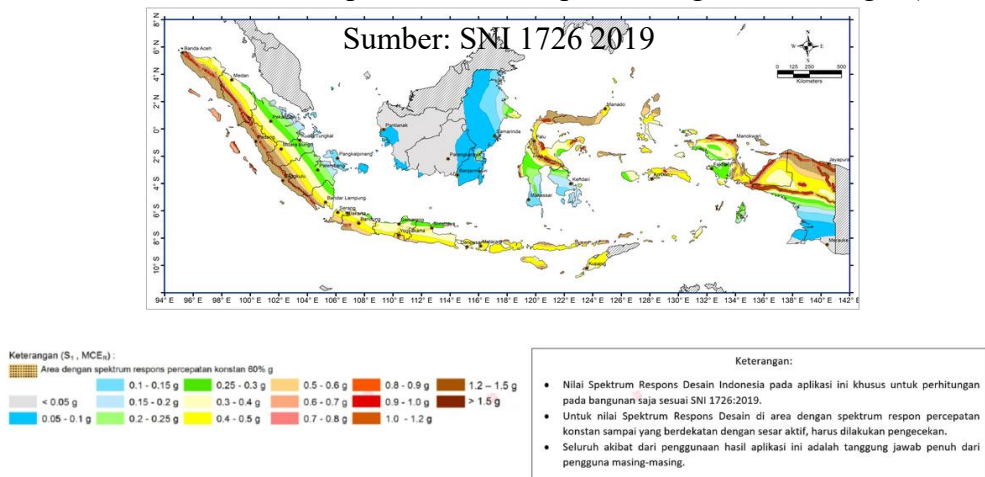
Kondisi Permukaan kontak	Koefisien friksi $\mu$	
Beton yang dicor secara monolit	1,4 $\lambda$	a)
Beton yang dicor di atas permukaan beton yang telah mengeras yang bersih, bebas material halus (laitance), dan secara sengaja dikasarkan sampaiu amplitudo penuh kira-kira 6 mm	1,0 $\lambda$	b)
Beton yang dicor di atas permukaan beton yang telah mengeras yang bersih, bebas material halus	0,6 $\lambda$	c)

(laitance), dan secara sengaja tidak dikasarkan		
Beton yang dicor di atas permukaan baja struktural yang bersih, tidak di cat dan dengan geser yang di transfer pada permukaan dengan stud berkepala, atau tulangan ukur, atau dengan tulangan ulir yang dilas, atau kawat	0,7 λ	d)

Pada gerak tanah seismic dan koefisien resiko dari gempa maksimum dari gempa yang di pertimbangkan (*Maximum Considered Earthquake, MCE*) yang dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 yang merupakan parameter respon spektral percepatan gempa MCER untuk periode 0,2 detik ( $S_s$ ) dan parameter respons spektral percepatan gempa MCER untuk periode 1,0 detik ( $S_1$ )



Gambar 2. 4  $S_s$  Gempa maksimum dipertimbang risiko tertarget (MCE<sub>R</sub>)



Gambar 2. 5  $S_1$  Gempa maksimum dipertimbang risiko tertarget ( $MCE_R$ )

Sumber: SNI 1726 2019

### 2.5.3 Menentukan Parameter Gempa (SMS dan SM1)

Setelah mendapatkan nilai dari  $S_1$  dan  $S_s$  maka tahap selanjutnya adalah menentukan nilai dari koefisien situs berdasarkan tabel berikut:

**Tabel 2.5** Koefien situs ( $F_a$ )

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s \leq 0,5$	$S_s \leq 0,75$	$S_s \leq 1,0$	$S_s \leq 1,25$	$S_s \leq 1,50$
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	$S_s^a$					

Sumber: SNI 1726 2019

**Tabel 2.6** Koefien situs ( $F_v$ )

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 \leq 0,2$	$S_1 \leq 0,3$	$S_1 \leq 0,4$	$S_1 \leq 0,5$	$S_1 \leq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$S_s^a$					

Sumber: SNI 1726 2019

Sehingga dapat ditentukan nilai dari parameter percepatan respons spektral MCE dengan rumus sebagai berikut :

- $S_1$  untuk parameter percepatan respons spektral MCE pada periode tinggi 1 detik

$$SM_1 = S_1 \times F_v \quad (2-1)$$

- $S_s$  untuk parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek 0,2 detik

$$SM_s = S_s \times F_a \quad (2-2)$$

Nilai parameter percepatan respons spektral dicari untuk menentukan kategori desain seismik bangunan dan didapatkan dari rumus:

- $S_1$  untuk parameter percepatan respons spektral MCE pada periode tinggi 1 detik

$$SD_1 = 2/3 SM_1 \quad (2-3)$$

- $S_s$  untuk parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek 0,2 detik

$$SD_s = 2/3 SM_s \quad (2-4)$$

#### 2.5.4 Kategori Desain Seismik

Rumah Sakit Jantung Kendari merupakan bangunan bertingkat dengan total 12 lantai dengan tinggi bangunan 70,38. Karena  $H > 40$  m maka digunakan periode 1 detik. sehingga tabel yang digunakan sebagai berikut:

**Tabel 2.7** Kategori Desain Seismik Periode 1 Detik

2	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726 2019

Pada SNI 1726 2019 percepatan spektral respons desain pada berbagai periode harus di tentukan dengan persamaan di bawah ini:

$$S_a = \frac{2}{3} S_{aM}$$

Dimana  $S_{aM}$  adalah percepatan spektral respons gempa  $MCE_R$  yang didapatkan dalam 0 atau 0. Percepatan spektral respons desain untuk berbagai periode tidak boleh diambil lebih kecil dari 80% nilai  $S_a$  yang ditentukan dalam 0,  $F_a$  dan  $F_v$  untuk kelas situs SA, SB, SC, SD, dan SE ditentukan dengan tabel 3.6 dan 3.7.

Untuk situs yang dikategorikan sebagai kelas situs SF, yang disyaratkan memerlukan analisis respons spesifikasi situs sesuai 0, percepatan spektral respons desain untuk setiap periode tidak boleh diambil lebih kecil dari 80% nilai  $S_a$  yang ditentukan untuk kelas situs SE yang mengacu pada 0.

Struktur juga harus desain untuk menahan pengaruh beban gempa berdasarkan anggapan tidak terjadi likuifaksi sesuai kelas tanah yang ditinjau.

- a) Faktor Koefisien Modifikasi Respons, Kuat Lebih Sistem, Pembebasan Defleksi

Nilai-nilai dari koefisien respon ( $R$ ), kuat lebih sistem ( $\Omega_0$ ), pembesaran defleksi ( $C_d$ ) dan dapat ditentukan setelah mengetahui kategori desain seismik. Karena ada perencanaan ulang ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), maka nilai-nilai koefisien adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.8** Faktor  $R$ ,  $\Omega_0$ ,  $C_d$  untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respon, $R^a$	Faktor Kuat Lebih Sistem, $\Omega_0^b$	Faktor Pembesaran Defleksi, $C_d^c$	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>

**D. Sistem Ganda Dengan Rangka Pemikul Khusus yang Mampu Menahan**

<b>Paling Sedikit 25% gaya Gempa yang Ditetapkan</b>									
1.	Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2,5	4	T B	T B	T B	T B	T B
2.	Rangka baja dengan bresing konsentrasi khusus	7	2,5	5,5	T B	T B	T B	T B	T B
3.	Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	T B	T B	T B	T B	T B
4.	Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	T B	T B	TI	TI	T I
5.	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2,5	4	T B	T B	T B	T B	T B
6.	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentrasi khusus	6	2,5	5	T B	T B	T B	T B	T B
7.	Dinding geser plat baja dan beton komposit	7,5	2,5	6	T B	T B	T B	T B	T B
8.	Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2,5	6	T B	T B	T B	T B	T B
9.	Dinding geser baja dan beton bertulang biasa	6	2,5	5	T B	T B	TI	TI	T I
10.	Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	3	5	T B	T B	T B	T B	T B
11.	Dinding geser batu bata bertulang menengah'	4	3	3,5	T B	T B	TI	TI	T I
12.	Rangka baja dengan bresing terkekanh terhadap tekuk	8	2,5	5	T B	T B	T B	T B	T B
13.	Dinding geser palt baha khusus	8	2,5	6,5	T B	T B	T B	T B	T B

Sumber: SNI 1726 2019

Keterangan:

TB = Tidak Dibatasi

TI = Tidak Diiijinkan

R = Faktor Modifikasi Respon

Cd = Faktor Pembesaran Defleksi

$\Omega_0$  = Faktor Kuat Lebih Sistem

Dari tabel ini diketahui bahwa sistem rangka pemikul momen khusus mampu menahan gaya gempa paling sedikit 25%

b) Periode fundamental pendekatan

Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) menurut SNI 1726 : 2019 pasal 7.8.2.1 bahwa untuk struktur dinding geser batu bata atau beton diijinkan untuk ditentukan dari persamaan berikut ini :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2-5)$$

dimana :

$h_n$  = Ketinggian struktur (m)

$C_t$  dan  $x$  = dapat dilihat ditabel 18 SNI 1726 2019

**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 diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksintris	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

Agar suatu bangunan tidak terlalu fleksibel periode waktu getar dibatasi. SNI 1726 2019

Dimana  $C_u$  didapat dari tabel 17 pada SNI 1726 2019 seperti pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2. 10** koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, SD1	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

c) Koefisien Respons Seismik ( $C_s$ ) dan Gaya Dasar Seismik ( $v$ )

- Koefisien Respons Seismik ( $C_s$ )

Untuk menentukan nilai  $C_s$  ditentukan dari rumus berikut:

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} hn \quad (2-6)$$

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 \times CD1 \times I_e \geq 0,01 \quad (2-7)$$

Nilai  $C_s$  hitung harus berada diantara  $C_s$  minimum dan  $C_s$  maksimum.  $C_s \text{ minimum} < C_s \text{ hitung} < C_s \text{ maksimum}$

Keterangan:

$R$  = Faktor modifikasi respons

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan

$T$  = Periode fundamental pendekatan

- Gaya Dasar seismik

Setelah mendapatkan nilai  $C_s$ , gaya dasar seismik dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \times w \quad (2-8)$$

Keterangan:

$I_e$  = koefisien respons seismik

$w$  = berat bobot bangunan (kN)

d) Distribusi Beban Gempa pada Struktur Bangunan

Gaya gempa lateral,  $F_x$  (kN) yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} \times V \quad (2-9)$$

Dimana:

$$C_{vx} = \frac{W_x \times h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \times h_i^k} \quad (2-10)$$

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 seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan dan dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$

$K$  = Eksponen yang terkait dengan periode struktur, berikut :

- $K=1$ , untuk struktur yang mempunyai periode 0,5 detik atau kurang
- $K=2$ , untuk struktur yang mempunyai periode 2,5 detik atau lebih
- $K$  harus diinterpolasi linear apabila mempunyai periode diantara 0,5 dan 2,5 detik

e) Metode Respon Spektrum

Dalam analisa perhitungan struktur digunakan metode respon spektrum menggunakan SNI 1726 tahun 2019 pasal 7.9 dimana dijelaskan seperti berikut:

1. Jumlah Ragam

Analisa harus dilakukan untuk menentukan ragam gelar alami untuk struktur analisa harus mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing masing arah

2. Parameter Respons

Nilai untuk setiap parameter desain yang berkaitan dengan gaya yang ditinjau, termasuk simpangan anatar lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk setiap ragam respon harus dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan spektrum respon dibagi dengan kuantitas ( $R/I_e$ ). Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar lantai harus dikalikan dengan kuantitas ( $C_d/I_e$ )

3. Parameter Respon Terkombinasi

Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat

jumlah kuadrat (SRSS) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC), sesuai dengan SNI 1726. Metode CQC harus digunakan untuk setiap nilai ragam dimana ragam berjarak dekat mempunyai korelasi silang yang signifikan diantar respon translasi dan torsi.

#### 4. Skala Nilai Desain Untuk Respons Terkombinasi

Geser dasar ( $V$ ) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horizontal menggunakan metode fundamental struktur yang dihitung  $T$  dalam masing-masing arah dan prosedur gaya lateral ekuivalen. Jika periode fundamental yang dihitung melebihi  $CuTa$ , maka  $CuTa$  harus digunakan sebagai pengganti dan  $T$  dalam arah itu, kombinasi respons untuk geser dasar ragam ( $Vt$ ) < 85% dari gaya geser dasar dihitung ( $V$ ), maka gaya harus dikalikan dengan 0,85 ( $V/Vt$ ).

## 2.6 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 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 Khusus yang akan di bahas pada subbab berikut.

### 2.6.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

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

Dalam prosedur perencanaan berdasarkan SNI Gempa, struktur bangunan tahan gempa pada prinsipnya boleh direncanakan terhadap beban gempa yang direduksi dengan suatu faktor modifikasi Respon Struktur (faktor R), yang merupakan representasi tingkat daktilitas yang memiliki struktur.

## 2.6.2 Dinding Geser

### a) Pengertian Dinding Geser (Shear Wall)

Dinding geser adalah struktur dinding vertikal yang digunakan untuk menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Dengan adanya Shear Wall yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut. Dinding geser biasanya ditempatkan di luar, di dalam ataupun berupa inti yang memuat ruang lift atau tangga, perencanaan dinding geser yang baik tidak terlepas dari pemilihan bentuk dinding, lokasi penempatannya pada denah serta bentuk ragam keruntuhannya.

### b) Klasifikasi Dinding Geser

Berdasarkan letak dan fungsinya, Shear Wall / dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis, yaitu:

1. Bearing Wall adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antara partemen yang berdekatan.
2. Frame Wall adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun di antara baris kolom bagian dalam.
3. Core Wall adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam gedung, yang biasanya di tangga atau poros lift, dinding kawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap ekonomis

Berdasarkan geometrisnya dinding geser dikategorikan sebagai berikut:

- 1) Flecural Wall (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio  $\geq$ , dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur.
- 2) Squat Wall (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio  $\leq$ , dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur.
- 3) Coupled Shear Wall (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding geser yang

dihubungkan dengan balok-balok penghubung sebagai gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar dinding tersebut.

Tulangan minimum

- 1) Rasio minimum luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton,  $\ell$ , harus:
  - (a) 0,0012 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan  $f_y$  tidak kurang dari 420 Mpa, atau
  - (b) 0,0015 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
  - (c) 0,0012 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besari dari  $\emptyset$ -16 atau D-16
- 2) Rasio luas tulangan horizontal terhadap luas beton,  $\ell$ , harus
  - (a) 0,0020 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan  $f_y$  tidak kurang dari 420 Mpa, atau
  - (b) 0,0025 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
  - (c) 0,0020 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besari dari  $\emptyset$ -16 atau D-16
- 3) Batasan Ketinggian Bangunan yang Ditingkatkan untuk Dinding Geser Beton Bertulang

Batasan ketinggian diijinkan untuk ditingkatkan dari 48 m sampai 72 m untuk struktur yang dirancang dengan kategori desain seismik D atau E. Apabila struktur mempunyai sistem penahan gaya gempa berupa dinding geser beton bertulang cetak-setempat khusus, struktur harus memenuhi persyaratan berikut:

- (a) Struktur tidak boleh mempunyai ketidak beraturan torsi yang berlebihan seperti didefinisikan dalam tabel 2.16 (ketidak beraturan struktur tipe 1b)
- (b) Dinding geser beton bertulang cetak-setempat khusus, pada semua bidang harus menahan tidak lebih dari 60 persen gaya gempa total dalam setiap arah, dengan mengabaikan pengaruh torsi tak terduga.
- (c) Pengankuran dinding struktural

Dinding struktural yang berfungsi sebagai penumpu beban vertikal atau penahan geser lateral untuk bagian struktur harus diangkurkan ke pelat atap dan seluruh pelat lantai serta elemen-elemen struktur yang memberikan tahanan lateral untuk dinding atau yang ditumpu oleh dinding.

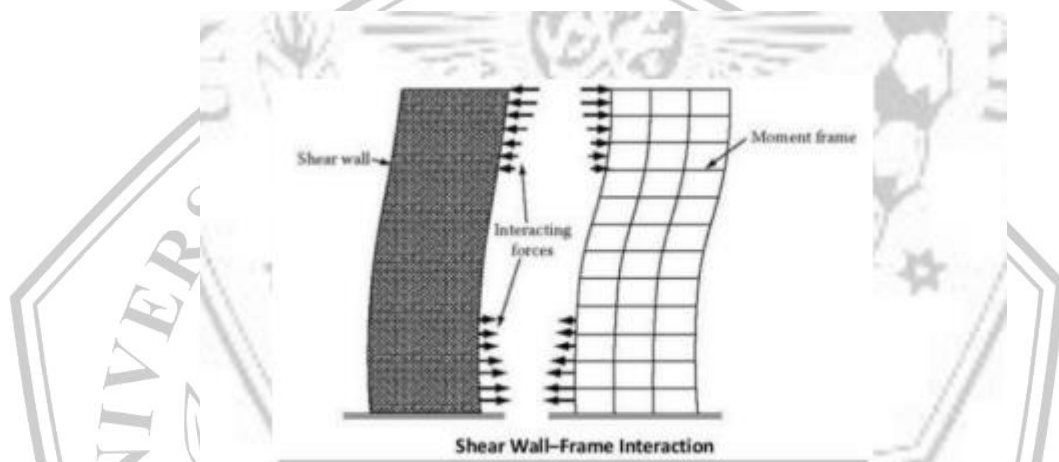
Angkur harus memberikan sambungan langsung antara dinding-dinding dan konstruksi pelat atap atau konstruksi pelat lantai. Angkur harus mampu menahan gaya horizontal terfaktor yang tegak lurus bidang dinding sebesar minimum 0,2 kali berat daerah tributari dinding pada sambungan, tapi tidak kurang dari 0,24

### 2.6.3 Sistem Ganda atau Dual System

Ada struktur bangunan tinggi sering digunakan sistem gabungan antara portal penahan momen dengan dinding geser yang disebut sebagai sistem ganda (dual system). Sistem ganda (dual system) digunakan terutama pada bangunan tinggi yang dibangun di daerah yang terkena pengaruh gempa bumi. Struktur sistem ganda (dual system) memiliki kemampuan yang tinggi dalam memikul gaya geser. Proses desain terdiri dari dua langkah. Pertama, bangunan itu dirancang untuk kekuatan tingkat servis yang diperoleh dengan menggunakan spektrum respons spesifik lokasi elastis dengan periode ulang 25 tahun. Pada tahap ini, anggota struktural pada dasarnya dirancang untuk tetap elastis, dimana simpangan antar lantai secara keseluruhan dibatasi hingga 0,5%. Kedua, komponen diperiksa untuk memenuhi kriteria penerimaan pencegahan keruntuhan. Untuk tujuan ini, bangunan dimodelkan secara analitis, dan analisis riwayat respons nonlinier dilakukan pada tingkat MCE, yang membutuhkan tujuh pasang target gerakan tanah yang cocok dengan spektrum dengan periode ulang rata-rata 2475 tahun, Menurut kriteria penerimaan pencegahan keruntuhan, balok dan kolom dari rangka momen khusus dan dinding inti diharapkan memiliki perilaku daktail nonlinier. dan perilaku getas linier masing-masing di bawah pembebanan lentur dan geser. Balok kopling diharapkan memiliki perilaku daktail nonlinier di bawah beban geser. Tindakan ulet seperti balok kopling deformasi membutuhkan rasio permintaan-kapasitas 1,5, sedangkan tindakan getas seperti deformasi geser pada dinding inti membutuhkan 1,0. Rasio simpangan antar lantai puncak diperkirakan akan tetap di bawah 4,5%, dengan penyimpangan sisa maksimum 1,5%.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 sistem ganda terdiri dari :

- a) angka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi,
- b) Pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang- kurangnya 25% dari seluruh beban lateral,
- c) Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama- sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda.



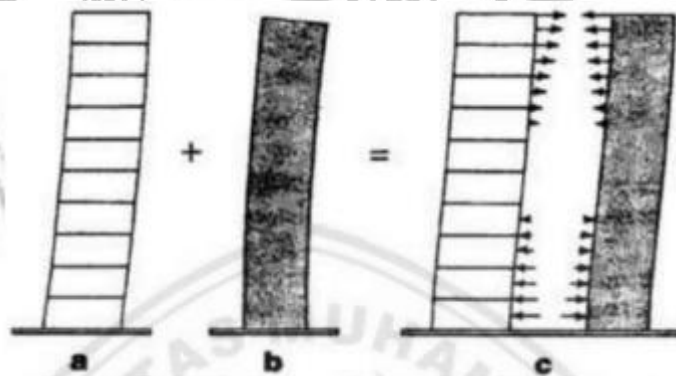
**Gambar 2.6** Interaksi rangka dan dinding dalam sistem ganda

*Sumber : SNI 1727 2013*

Penggabungan antara portal penahan momen dan dinding geser dapat memberikan hasil yang baik untuk memperoleh kekenyalan./daktilitas (ductility) dan kekakuan sistem struktur. Dalam gedung tinggi seringkali terjadi eksentrisitas yang berlebihan terutama untuk gedung tinggi yang bentuknya tidak beraturan. Hal ini terjadi karena tidak berimpitnya pusat massa dan pusat kekakuan gedung, sehingga bisa menyebabkan rotasi pada gedung. Dengan adanya interaksi antara portal dan dinding geser, dinding geser akan berperilaku flexural/bending mode, sedangkan frame akan berdeformasi dalam shear mode, gaya geser dipikul oleh frame pada bagian atas dinding geser (shearwall) memikul gaya geser pada bagian bawah, sehingga eksentrisitas yang terjadi tidak terlalu besar.

#### 2.6.4 Interaksi elemen antara SRPM dinding geser

Untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur terhadap gaya lateral dapat digunakan kombinasi antara rangka kaku dengan dinding geser (dual system). Pada struktur kombinasi ini, dinding geser dan kolom-kolom struktur akan dihubungkan secara kaku (rigid) oleh balok-balok pada setiap lantai bangunan. Dengan adanya hubungan yang rigid antara kolom, balok, dan dinding geser akan memungkinkan terjadinya interaksi antara struktur rangka dan dinding geser secara menyeluruh pada bangunan, dimana struktur rangka dan dinding geser akan bekerja bersama-sama dalam menahan beban yang bekerja baik itu beban gravitasi maupun beban lateral. Selain itu, dengan menggunakan sistem ganda ini, maka simpangan lateral akan jauh berkurang seiring dengan peningkatan jumlah lantai struktur. Semakin tinggi suatu struktur gedung, semakin kecil simpangan yang terjadi. Besarnya simpangan 11 keseluruhan yang terjadi pada sistem rangka kaku-dinding geser diperoleh dengan cara menggabungkan perilaku kedua elemen tersebut seperti yang terdapat pada gambar di bawah.



**Gambar 2.7** Superimpos mode individu dari deformasi

- a) Deformasi mode lentur untuk dinding geser (Gambar 2.5 b) Pada struktur dinding geser, sudut deformasi (lendutan) paling besar terjadi pada bagian atas bangunan sehingga sistem dinding geser memberikan kekakuan paling kecil pada bagian atas bangunan
- b) Interaksi antara rangka kaku dan dinding geser

Interaksi antara struktur rangka kaku dan dinding geser diperoleh dengan membuat superposisi mode s defleksi terpisah yang menghasilkan kurva S datar. Perbedaan sifat defleksi antara dinding geser dan rangka kaku menyebabkan dinding geser menahan simpangan rangka kaku pada bagian bawah, sedangkan rangka kaku akan menahan simpangan dinding geser pada bagian atas. Dengan demikian, geser akibat gaya lateral akan dipikul oleh rangka pada bagian atas bangunan dan dipikul oleh dinding geser dibagian bawah bangunan.

## **2.7 Metode Analisis dan Pemodelan Bangunan**

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis data, Metode analisis data kuantitatif adalah metode yang bergantung kepada kemampuan untuk menghitung data secara akurat. Selain itu, metode ini juga memerlukan kemampuan untuk menginterpretasikan data yang kompleks. Beberapa contoh metode analisis kuantitatif, seperti analisis deskriptif, regresi, dan faktor. Metode analisis data kuantitatif mempunyai berbagai macam jenis analisis seperti teknik korelasional, regresi, komparasi, deskriptif dan sejenisnya.

Metode ini merupakan pendekatan pengolahan data melalui metode statistik atau matematik yang terkumpul dari data sekunder. Kelebihan dari metode ini adalah kesimpulan yang lebih terukur dan komprehensif. Metode metode lainnya yang dapat digunakan dalam proses analisis data adalah analisis teks, statistical, diagnosa, prediktif, preskriptif.

### **2.7.1 Metode Statis Ekuivalen**

Analisis statik ekuivalen merupakan suatu cara analisis statik struktur, dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban-beban statik horizontal untuk menirukan pengaruh gempa yang sesungguhnya akibat gerakan tanah. Pada bangunan-bangunan yang sangat tinggi, tidak beraturan, serta bangunan-bangunan yang memerlukan ketelitian yang sangat besar digunakan perencanaan analisis dinamik, yang terdiri dari analisis ragam respons spektrum dan analisis respons dinamik riwayat waktu (time history).

### 2.7.2 Metode Dinamis

Metode Dinamis adalah metode penyelesaian dengan menguraikan solusi menjadi beberapa tahap atau iterasi sedemikian hingga solusi dari persoalan tersebut dapat dipandang sebagai serangkaian keputusan yang saling berkaitan. Selain itu, metode dinamis adalah metode yang pengerjaannya menggunakan bantuan aplikasi atau program dalam komputer.

Berikut adalah dinamis yang dipakai pada penelitian ini:

### 2.7.3 Metode RSA (Respon Spekturum Analisis)

Metode analisis dinamik respon spektrum yang dilihat berdasarkan nilai displacement, dan drift. Maksud dari penelitian ini adalah menganalisis struktur gedung dengan analisis dinamik respon spektrum yang ditinjau berdasarkan displacement, dan drift. Tujuan yang dapat diambil dari penelitian ini dapat menganalisis Batas Layan, Batas Ultimate, Kontrol Partisi Massa, Level Kinerja Struktur Menurut ATC – 40 pada gedung bertingkat menggunakan analisis dinamik respon Spektrum

Analisis dinamik bertujuan untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisis ragam spektrum respon. Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah untuk menggantikan pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisis beban static ekuivalen. Pada analisis ragam spektrum respon, sebagai spectrum percepatan respon gempa rencana harus dipakai diagram koefisien gempa dasar (C) untuk wilayah masing-masing gempa. Nilai C tersebut tidak berdimensi sehingga respon masing-masing ragam merupakan respon relatif.

Gambar 2.8 getaran gempa

