

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan kawasan dengan kondisi tektonik yang cukup aktif didunia. Gempa bumi sering terjadi di Indonesia karena letaknya yang berada pada jalur *Ring of Fire* atau wilayah yang sering mengalami peristiwa gempa bumi (Wicaksana dan Rosyidah, 2021). Selain itu Indonesia juga berada diantara tiga lempeng bumi yaitu lempeng Eurasia, pasifik dan Indo-Australia yang memiliki pergerakannya masing-masing (Sudika, dkk., 2016). Jika dilihat dari peta gempa yang telah dimutakhirkan pada tahun 2017 oleh tim pemutakhiran Peta Sumber dan Bahaya Indonesia tahun 2017, terlihat jelas bahwa gempa yang terjadi dari pulau sumatera sampai papua dengan berbagai besaran magnitudo. Dalam 20 tahun terakhir ini telah terjadi gempa dari magnitudo 6,3 (Yogyakarta 2006) hingga magnitudo 9,2 (Aceh 2004). Dan gempa-gempa ini telah mengakibatkan kehilangan jiwa, kerusakan infrastruktur dan menghancurkan bangunan-bangunan yang tidak memenuhi syarat-syarat perencanaan.

Dengan demikian, perencanaan infrastruktur dan bangunan harus menyertakan pengaruh gempa yang akan menimbulkan percepatan pergerakan tanah (*ground motion*) dilokasi infrastruktur bangunan (Sidi, 2017). Selain itu, beban gempa yang direncanakan juga menyesuaikan kondisi tanah dilapangan dimana gedung akan dibangun. Jika kondisi tanah dikategorikan tanah sedang, maka menurut SNI 1726-2019 diklasifikasikan pada kelas situs SD. Struktur yang

dibangun dengan beban gempa kelas situs SD belum tentu sesuai apabila dibangun pada kondisi kelas situs SC, maupun kelas situs SE walaupun pada kota yang sama (Syarif, dkk., 2021). Oleh karena itu, perlu dilakukannya penelitian dengan menggunakan kelas situs yang berbeda untuk struktur gedung dan respon spektral pada kota yang sama.

Pada tahun 2019, telah diterbitkannya SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Dimana peraturan tersebut mengatur tentang beban gempa pada suatu struktur bangunan gedung dan juga terdapat ketentuan-ketentuan yang berbeda dari SNI 1726-2002. Misalnya seperti peta gempa Indonesia yang tentunya akan mempengaruhi desain respon spektrumnya (Setiawan, dkk., 2021). Penggunaan standar-standar terbaru ini sangat penting karena pada standar tersebut mengalami perbesaran parameter-parameter gaya gempa (Kadir, dkk., 2017).

Berdasarkan Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Medan tahun 2021, kota Medan tergolong daerah yang tidak rawan terhadap bencana gempa. Namun tetap perlu diwaspadai akan potensi bencana akibat guncangan gempa, terutama didaerah atau lokasi yang memiliki tingkat kerapatan bangunan yang tinggi. Dalam hal ini, penulis mencoba mengangkat judul skripsi ini dengan harapan dapat menjadi sebuah referensi mengenai analisa perbandingan struktur bangunan ruko pada lokasi SC – SD – SE atau lokasi tanah keras – tanah sedang – tanah lunak, yang telah dijabarkan didalam SNI 1726-2019 dan SNI 2847-2013. Adapun bangunan yang akan dianalisis adalah bangunan ruko di kota Medan.

Karena bangunan ruko ini umumnya paling banyak dibangun salah satunya dikawasan kota Medan.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang dapat diidentifikasi adalah sebagai berikut :

1. Kerusakan bangunan yang disebabkan oleh gempa karena tidak memenuhi syarat-syarat perencanaan.
2. Struktur bangunan yang dibangun diatas tanah sedang belum tentu sesuai apabila dibangun diatas tanah keras maupun tanah lunak.
3. Desain bangunan ruko di kota medan perlu diperiksa tingkat *performance* terhadap desain gempa pada kondisi tanah yang berbeda.

## 1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil berdasarkan latar belakang untuk penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana perilaku struktur desain bangunan tahan gempa terhadap beberapa aspek persyaratan yaitu *Interstory Drift*, perioda gempa dan gaya geser dasar serta kondisi *Strong Column Weak Beam* (SCWB) di ketiga kondisi tanah ?
2. Bagaimana perbandingan hasil desain struktur bangunan ruko yang terletak pada lokasi SC-SD-SE ?
3. Bagaimana tingkat *performance* bangunan ruko di ketiga kondisi tanah terhadap desain gempa ?

#### 1.4 Batasan Masalah

Penulisan skripsi ini hanya dibatasi pada :

1. Perilaku struktur dan desain struktur yang direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dianalisis dengan beban gempa metode respon spektrum menggunakan bantuan *software* SAP2000.
2. Analisis ini hanya dibatasi pada struktur atas yaitu struktur utama kolom dan balok. Tidak memperhitungkan struktur bawah, tidak mendesain sambungan dan tidak menganalisis biaya dan waktu. Bangunan difungsikan sebagai rumah toko 3 lantai dengan struktur beton bertulang pada kondisi tanah keras (SC), tanah sedang (SD) dan tanah lunak (SE) yang diasumsikan diwilayah Kota Medan menggunakan pedoman persyaratan struktur yaitu SNI 1726-2019, SNI 1727-2020 dan SNI 2847-2013.
3. Tingkat *performance* bangunan hanya menggunakan analisa ATC-40.

#### 1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada skripsi ini yaitu :

1. Untuk mengetahui perilaku struktur bangunan tahan gempa diketiga kondisi tanah berdasarkan beberapa aspek persyaratan yaitu *Interstory Drift*, perioda gempa dan gaya geser dasar serta kondisi *Strong Column Weak Beam* (SCWB).
2. Untuk mengetahui perbandingan desain struktur tulangan bangunan ruko pada kondisi tanah keras (SC), tanah sedang (SD) dan tanah lunak (SE).

3. Untuk mengetahui perbandingan tingkat *performance* desain bangunan ruko di ketiga kondisi tanah.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. untuk memperluas wawasan dan pengetahuan tentang analisa struktur bangunan terhadap beban gempa pada karakteristik lokasi situs tanah yang berbeda.
2. Dapat menghemat biaya dan waktu dibandingkan melakukan tes eksperimen.
3. Dapat dijadikan sebagai bahan referensi terhadap penelitian yang sejenis dan sebagai bahan pertimbangan untuk dikembangkan lebih lanjut.

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan ini diuraikan sebagai berikut :

1. **BAB I : PENDAHULUAN**, Bab ini berisi tentang penjelasan umum latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.
2. **BAB II : LANDASAN TEORI**, Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai teori-teori umum tentang struktur bangunan, parameter yang digunakan, pembebanan serta ketentuan-ketentuan dalam desain yang harus dipenuhi.

3. **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**, Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai prosedur atau cara untuk menyelesaikan permasalahan pada skripsi ini.
4. **BAB IV : ANALISA DATA**, Bab ini menjelaskan hasil dan pembahasan analisis yang dilakukan untuk memperoleh jawaban sesuai dengan permasalahan.
5. **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**, Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Teori Ruko (Rumah Toko)**

Ruko adalah salah satu jenis bangunan yang berasal dari kata rumah dan toko. Rumah yang berarti tempat berpenghuni dan toko berarti ruang untuk kegiatan usaha, jadi Ruko dapat dikatakan sebagai sebuah bangunan yang menggabungkan fungsi hunian dan kerja dalam satu tempat. Dengan titik tolak yang sederhana ini, menyebabkan Ruko dapat berkembang dengan sangat pesat. Disamping praktis dan murah, fungsi Ruko mampu menampung kegiatan dalam skala ekonomi kecil (Harisdani dan Lubis, 2004). Perkembangan tren rumah sebagai tempat usaha untuk mensiasati efektivitas dan mobilitas yang tinggi dari manusia modern semakin menunjukkan perkembangan yang luar biasa akhir-akhir ini. Hal ini dapat dilihat dari bisnis properti rumah toko (Ruko) yang semakin marak di setiap kota di Indonesia tidak terkecuali di Medan. Selain itu permintaan klien untuk membangun rumah sekaligus sebagai tempat usaha dari berbagai kalangan seperti dokter, bidan, sampai guru pun membanjir. Pemesanan desain Ruko ini juga datang dari *enterpreuner* yang juga berkeinginan menjalankan usahanya dari rumah.

Ruko memang merupakan solusi yang cukup baik untuk mengatasi kebutuhan akan rumah tinggal sekaligus juga tempat mengembangkan usaha dari rumah. Dari mulai usaha jasa, sampai dengan usaha perdagangan dapat mengembangkan usaha mereka. Melalui desain Ruko yang baik akan tercipta

mobilitas dan efektivitas yang tinggi dari para pemakainya. Makanya saat ini Ruko banyak diminati dan harus direncanakan tahan terhadap gempa kegagalan dalam suatu struktur bangunan yang disebabkan gempa tidak terjadi.

Bangunan ruko yang dibangun pada umumnya memiliki tipologi yang sama yaitu lebar antara 4 sampai 5 meter dan panjang antara 12 sampai 20 meter. Sekali pembangunan ruko menghasilkan minimal 2 sampai 3 unit ruko dalam satu tapak dengan tampilan yang umumnya seragam. Bentuknya persegi panjang dan seringkali jarang menyisakan lahan terbuka pada bagian dalam atau belakang bangunan. Pada bagian depan seringkali ditutupi dengan perkerasan berupa *paving block* dan menyisakan pohon sebagai peneduh atau bahkan ditebang bersih demi efektifitas penggunaan lahan parkir.

## **2.2 Teori Gempa**

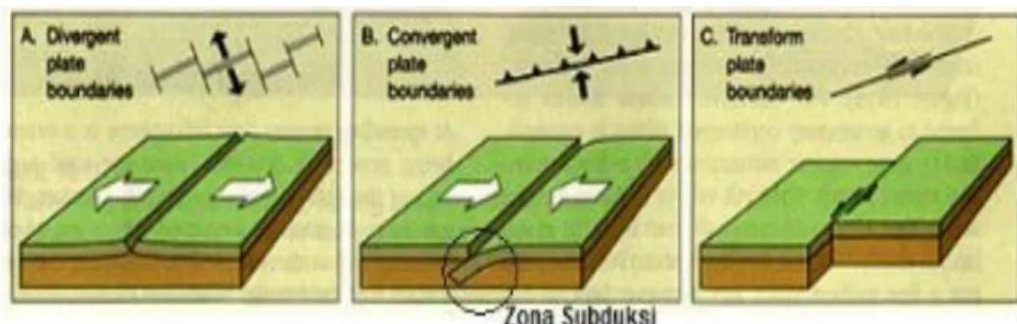
Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Pengertian tersebut sekaligus menjawab mengapa permukaan tanah menjadi bergetar, yaitu akibat energi gempa yang merambat dari pusat gempa ke segala arah. Sebagaimana diketahui bahwa suatu kekuatan akan terkandung dalam suatu energi, artinya energi gempa akan menghasilkan suatu kekuatan yang dalam hal ini adalah getaran tanah (Pawiradikromo, 2012). Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik.

### **2.2.1 Mekanisme Gempa Bumi**

Gempa bumi tektonik lebih sering terjadi dibandingkan semua jenis gempa lainnya. Gempa bumi ini disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi (kerak bumi).



Walaupun kelihatannya diam, akan tetapi lapisan-lapisan bagian permukaan bumi (*litosfer*) yang materialnya bersifat padat, keras dan dingin selalu bergerak. Ini diakibatkan oleh sejumlah energi yang menekan dan menarik lapisan tersebut sebagai hasil dari proses konveksi yang terjadi pada lapisan dibawahnya (*astenosfer*) yang sifat materialnya lebih cair, lemah dan jauh lebih panas. Lapisan terluar bumi ini bergerak melalui lempeng-lempengnya, sehingga menimbulkan tekanan, tarikan dan geseran pada lempeng-lempeng itu sendiri. Artinya lempeng-lempeng itu dapat saling bertubrukan (*konvergen*), saling menjauh (*divergen*), dan saling bergeser horizontal (*transform*) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Jenis-jenis pertemuan dua lempeng tektonik, a) pertemuan divergen; b) pertemuan konvergen; c) pertemuan saling bergeser horizontal

Sumber : Faisal, 2015

Secara geologis, Indonesia terletak di antara tiga lempeng utama dunia yaitu Australia, Eurasia, dan Pasifik sehingga menyebabkan Indonesia menjadi salah satu Negara yang rawan gempa bumi. Selain itu, gempa bumi tektonik biasanya jauh lebih kuat getarannya dibandingkan dengan gempa bumi vulkanik, gempa bumi runtuh, maupun gempa bumi buatan. Oleh karena itu, getaran gempa bumi tektonik merupakan gempa yang paling banyak menimbulkan

kerusakan terhadap benda atau bangunan di permukaan bumi dan mengakibatkan banyaknya korban jiwa.

### **2.3 Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa**

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diperlukan standar dan peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi serta menghindari dan meminimalisir kerusakan struktur bangunan dan korban jiwa terhadap gempa bumi yang sering terjadi. Oleh karena itu, struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Jadi, bangunan yang dirancang secara konvensional harus mampu berdeformasi inelastik, dengan kata lain bangunan harus berperilaku duktail.

### **2.4 Sistem Struktur**

Sistem struktur adalah kombinasi dari berbagai elemen struktur yang disusun sedemikian rupa sehingga membentuk satu kesatuan struktur yang dapat memikul beban-beban yang direncanakan (Tumilar, 2006).

#### **2.4.1 Sistem Rangka Pemikul Momen**

Sistem rangka pemikul momen adalah suatu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban gravitasi adalah beban mati struktur dan beban hidup. Sedangkan beban angin dan beban gempa termasuk dalam beban lateral. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur. SRPM dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik A dan B.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik C.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk Kategori Desain Seismik D atau E.

#### 2.4.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada dasarnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di zona resiko gempa yang tinggi. Struktur harus direncanakan menggunakan sistem penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan detailing yang khusus dan mempunyai daktilitas penuh. Komponen struktur rangka ini harus memenuhi kondisi pada pasal 21.5 SNI 2847 2013.

#### 2.4.3 Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur

SNI 1726:2019 pasal 7.2.2 tabel 12 mengatur batasan sistem struktur dan tinggi struktur, dimana masing-masing sistem pemikul gaya seismik mempunyai faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  yang berbeda-beda.

### 2.5 Kekuatan Desain Struktur

Perencanaan struktur beton bertulang suatu gedung harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847-2013. Kekuatan rencana komponen struktur harus lebih besar dari kekuatan perlu. Pasal 22.5.1 SNI 2847-2013 mensyaratkan agar momen lentur desain penampang didasarkan pada :

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.1)$$

$M_n$  merupakan beban lentur nominal dengan  $\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan.  $M_u$  merupakan kekuatan lentur perlu pada penampang.

Pasal 22.5.2 SNI 2847-2013 mensyaratkan agar beban aksial desain penampang didasarkan pada :

$$\phi P_n \geq P_u \quad (2.2)$$

$P_n$  merupakan kekuatan tekan nominal dengan  $\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan.  $P_u$  merupakan kekuatan tekan perlu pada penampang.

Pasal 22.5.4 SNI 2847-2013 mensyaratkan agar gaya geser desain penampang didasarkan pada :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.3)$$

$V_n$  merupakan kekuatan geser nominal dengan  $\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan.  $V_u$  merupakan kekuatan geser perlu pada penampang.

## 2.6 Struktur Beton

Beton merupakan suatu elemen struktur yang terdiri dari partikel-partikel agregat yang dilekatkan oleh pasta yang terbuat dari semen portland dan air. Pasta itu mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel agregat dan setelah beton segar dicorokan, ia akan mengeras sebagai akibat dari reaksi-reaksi kimia eksotermis antara semen dan air sehingga membentuk suatu bahan struktur yang padat dan dapat tahan lama, (Ferguson, 1991, dalam Muhammad Ikhsan Saifuddin, 2012). Karakteristik beton adalah kuat tekan atau kuat desaknya. Kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan kuat tariknya, sehingga beton baik untuk menahan gaya tekan tetapi tidak baik menahan tarik.

## 2.6.1 Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan gabungan dari dua jenis bahan, yaitu beton polos yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi tetapi kekuatan tarik yang rendah dan batangan- batangan baja yang ditanamkan di dalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. (Chu-Kia Wang dan Charles G., 2018).

### 2.6.1.1 Balok

Balok merupakan salah satu elemen utama penyusun struktur gedung yang umumnya terpasang secara horizontal/lateral. Sebagai elemen struktur utama, terhubung dengan kolom sehingga berbentuk rangka yang stabil dalam memikul beban baik beban gravitasi maupun gempa.

Fungsi utama dari balok ialah menyalurkan beban gravitasi yang berasal dari pelat lantai, kemudian menyalurkannya kedalam elemen kolom berupa gaya dan momen. Saat gempa terjadi, balok berperan aktif dalam menjaga kestabilan struktur dengan menyerap energi gempa melalui sendi plastis pada ujung-ujungnya.

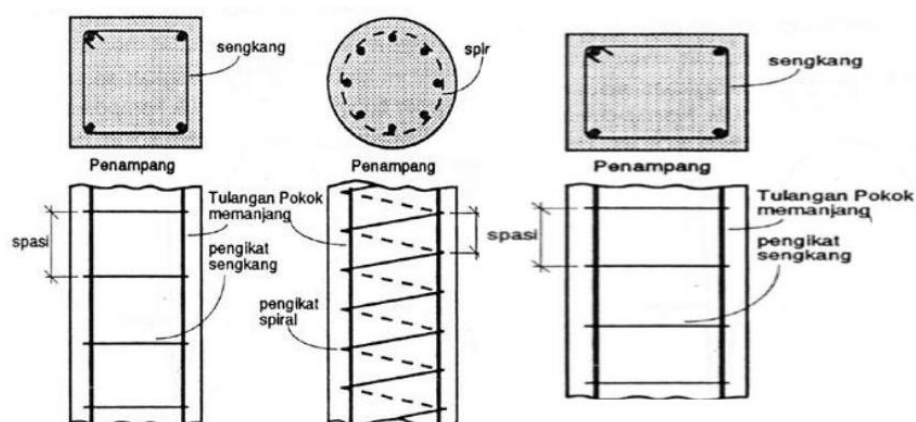
Untuk perencanaan struktur balok SRPMK dapat dilihat pada SNI 2847:2013 pasal 10.5 dan 21.5. Pada pasal 21.5.2 & terdapat desain tulangan longitudinal balok, Pasal 21.5.3 tentang desain transversal balok dan pasal 11.5 tentang desain torsi. Untuk faktor reduksi pada pasal 21.1.3.

### 2.6.1.2 Kolom

Kolom merupakan elemen struktur utama yang memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen lentur. Kolom juga elemen struktur yang berperan

penting dalam memikul beban lateral (khususnya gempa) pada struktur Gedung. Ada tiga jenis kolom beton bertulang didalam buku struktur beton bertulang (Dipohusodo,1994) yaitu :

1. Kolom memakai pengikat sengkang lateral yang merupakan kolom beton ditulangi dengan batang tulangan pokok yang memanjang, dimana jarak spasi diikat dengan sengkang kearah lateral. Fungsi tulangan ini untuk mengikat tulangan pokok yang memanjang agar tetap stabil.
2. Kolom memakai pengikat spiral yang bentuknya sama dengan yang pertama, hanya saja sebagai pengikat tulangan pokok memanjang. Tulangan spiral yang dililitkan keliling membentuk heliks menerus disepanjang kolom. Tulangan ini berfungsi memberikan kemampuan kolom yang menampung deformasi yang cukup besar sebelum mengalami runtuh dan sanggup menghindari terjadinya kehancuran seluruh struktur.
3. Kolom komposit merupakan bagian struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.



Gambar 2.2 : Jenis kolom berdasarkan tipe penulangan

Sumber : Dipohusodo, 1994

## 2.7 Pembebanan untuk Perencanaan Bangunan Gedung

Suatu struktur gedung yang dibangun harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan agar struktur bangunan menghasilkan kekuatan yang mampu menahan beban-beban terfaktor. Pembebanan struktur berdasarkan SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019.

### 2.7.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan dasar (SNI 1727:2020 pasal 4.2.2) adalah sebagai berikut:

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

Kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik adalah sebagai berikut:

6.  $1,2D + E_v + E_h + L$
7.  $0,9D - E_v + E_h$

Kombinasi pembebanan bila pengaruh beban seismik dengan faktor kuat lebih adalah sebagai berikut:

6.  $1,2D + E_v + E_{mh} + L$
7.  $0,9D - E_v + E_{mh}$

Untuk pengaruh beban seismik  $E_h$  dan  $E_v$  harus ditentukan sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.4.2.1 dan pasal 7.4.2.2.

Faktor redundansi ( $\rho$ ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik masing-masing dalam kedua arah ortogonal untuk semua struktur. Untuk penggunaan nilai redundansi dapat dilihat pada SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.

#### 2.7.1.1 Beban Mati

Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, kalding gedung dan komponen arsitektural dan struktural lain serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

#### 2.7.1.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk bahan konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati.

Jika ingin mereduksi beban hidup merata terdapat pada SNI 1727 : 2020 pasal 4.7 namun ada syarat (SNI 1727:2020 pasal 4.7.3) jika  $L \geq 4,79$  kN/m<sup>2</sup>, lalu garasi mobil penumpang dan tempat pertemuan tidak boleh direduksi.

#### 2.7.1.3 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang timbul akibat pergerakan tanah dimana struktur itu berdiri. Pembebanan struktur beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019. Analisis beban gempa terdapat tiga cara, yaitu analisis gaya lateral ekuivalen, analisis spektrum respons ragam dan analisis riwayat respons seismik. Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen-komponen struktur,



dan elemen-elemen fondasi harus sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor. Untuk kombinasi dan pengaruh beban seismik dapat dilihat pada SNI 1726:2019 pasal 7.4.

## **2.8 Tata Cara Perencanaan Gedung Tahan Gempa**

Gedung dengan segenap komponen struktur yang direncanakan tahan gempa harus didesain detailnya sedemikian rupa sehingga keseluruhannya dapat berperilaku duktail sepenuhnya. Oleh karena itu, peraturan menetapkan suatu taraf gempa rencana yang menjamin struktur gedung tidak rusak sewaktu menahan gempa kecil atau sedang, dan saat menahan gempa kuat yang lebih jarang terjadi, struktur mampu mempertahankan perilaku perubahan bentuk secara duktail.

Pada tiap struktur SRPM yang akan dibangun terdapat beberapa daftar kriteria yang harus di evaluasi agar termasuk dalam SRPM tahan gempa. Dalam penelitian ini kriteria tahan gempa pada struktur, antara lain:

- a. Periode alami struktur
- b. Gaya geser seismik
- c. Penentuan simpangan antar lantai
- d. SCWB (*Strong Column Weak Beam*)

## **2.9 Peraturan Pembebanan Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2019**

Perencanaan suatu konstruksi gedung harus memperhatikan aspek kegempaan, terutama di Indonesia karena merupakan salah satu daerah dengan zona gempa yang tinggi. Indonesia memiliki peraturan sendiri beserta peta gempanya. Peraturan yang berlaku saat ini ialah SNI 03-1726-2019 yang

merupakan revisi dari SNI 03-1726-2012 dimana parameter wilayah gempanya sudah tidak digunakan lagi dan diganti berdasarkan dari nilai  $S_s$  (parameter respons spectral percepatan gempa pada periode pendek) dan nilai  $S_1$  (parameter respons spectral percepatan gempa pada periode 1 detik) pada setiap daerah yang ditinjau. Dalam hal ini, tata cara perencanaan bangunan gedung tahan gempa menjadi lebih rasional dan akurat.

### 2.9.1 Gempa Rencana dan Faktor Keutamaan

Tata cara ini menentukan pengaruh 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 terlewat sebesar 2 persen selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

Tabel 2.1: Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori resiko</b>
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <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

Sumber : SNI 1726-2019

Tabel 2.2 : Faktor keutamaan gempa

Kategori resiko	Faktor Keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI 1726-2019

### 2.9.2 Klasifikasi Situs dan Parameter

Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, berikut disajikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3: 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	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ 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: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

**CATATAN:** N/A = tidak dapat dipakai

Sumber : SNI 1726-2019

### 2.9.3 Parameter Percepatan Gempa

Parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismic pada Bab 14 yang tertera dalam SNI 03-1726-2012 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun ( $M_{CER}$ , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

Untuk penentuan respons spectral percepatan gempa  $M_{CER}$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismic pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan factor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spectrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan menggunakan Pers. (2.4) dan (2.5).

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.4)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.5)$$

Dimana :

$S_s$  = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek

$S_1$  = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda 1,0 detik

$F_a$  = Koefisien perioda pendek

$F_v$  = Koefisien perioda 1,0 detik

Tabel 2.4 : Koefisien perioda pendek ( $F_a$ )

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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 <sup>(a)</sup>					

Sumber : SNI 1726-2019

Tabel 2.5: Koefisien perioda 1,0 detik ( $F_v$ )

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 1 detik, $S_I$					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS <sup>(a)</sup>					

Sumber : SNI 1726-2019

#### 2.9.4 Percepatan Tanah Puncak

Berdasarkan SNI 1726:2019, besarnya percepatan tanah puncak diperoleh dengan mengalikan koefisien situs  $F_{PGA}$  dengan nilai PGA yang diperoleh dari Gambar. Besarnya  $F_{PGA}$  ditentukan dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 : Koefisien situs untuk PGA ( $F_{PGA}$ )

Kelas Situs	PGA $\leq 0,1$	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA = 0,5	PGA $\geq 0,6$
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	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
SF	SS <sup>(a)</sup>					

Sumber : SNI 1726-2019

Keterangan:

PGA = Nilai PGA dibantuan dasar mengacu pada peta Gempa SNI 1726:2019.

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisa respon spesifik.

Percepatan tanah puncak dapat diperoleh dengan menggunakan Pers 2.6 berikut:

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (2.6)$$

Dimana:

$PGA_M$  = Nilai percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

PGA = percepatan tanah puncak terpetakan

$F_{PGA}$  = Nilai koefisien situs untuk PGA

#### 2.9.5 Parameter Percepatan Spektrum Desain

Parameter percepatan spektrum desain untuk perioda pendek ( $S_{DS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{D1}$ ) harus ditetapkan melalui Pers. 2.7 – 2.10.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.7)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.8)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.10)$$

dimana:

$S_{DS}$  = Respon spektrum percepatan respon desain untuk perioda pendek

$S_{D1}$  = Respon spektrum percepatan desain untuk perioda 1,0 detik

T = Perioda getar fundamental struktur

Untuk mendapatkan spektrum respon desain harus dikembangkan dengan mengikuti ketentuan berikut:

1. Untuk perioda yang lebih kecil  $T_0$ , spektrum respon percepatan desain,  $S_a$  didapatkan dari Pers. 2.11,

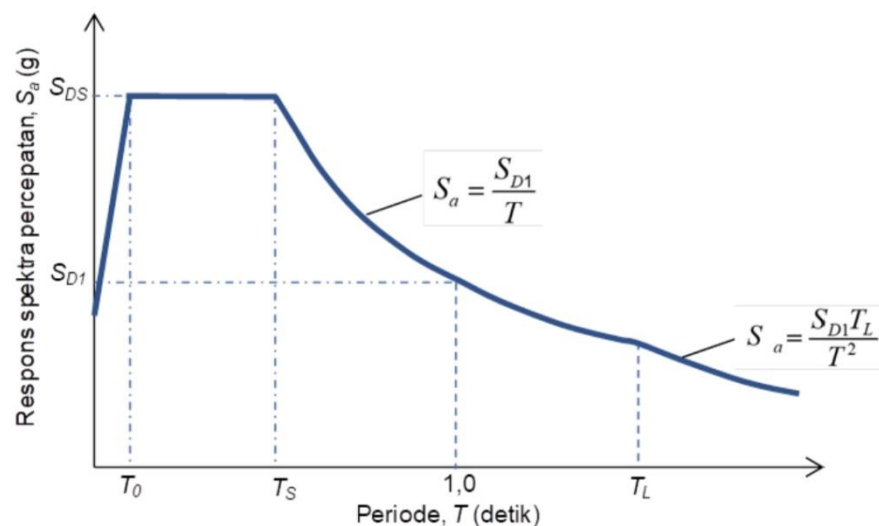
$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.11)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , spektrum respon percepatan desain,  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$ .

3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_S$ , spektrum respon percepatan desain  $S_a$  diambil berdasarkan Pers. 2.12.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.12)$$

Selanjutnya, semua parameter respon desain diplot di dalam grafik dan akan menghasilkan respon spektrum desain seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 : Respon spektrum desain

Sumber : SNI 1726-2019

### 2.9.6 Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya,  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ , sesuai 0. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur,  $T$ .

Apabila  $S_1$  lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 2.7 saja, di mana berlaku semua ketentuan di bawah:

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan periode fundamental struktur,  $T_a$ , yang ditentukan sesuai dengan 0 adalah kurang dari 0,8  $T_s$ , di mana  $T_s$  ditentukan sesuai dengan 0;
2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah kurang dari  $T_s$ ;
3. Persamaan (31) digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik,  $C_s$ ;



4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di 0 atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal pemikul gaya seismik tidak melebihi 12 m.

Apabila digunakan alternatif prosedur penyederhanaan desain pada pasal 0, kategori desain seismik diperbolehkan untuk ditentukan dari Tabel 2.7, dengan menggunakan nilai  $S_{DS}$  yang ditentukan dalam 0.

Tabel 2.7 : 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

Tabel 2.8 : Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

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

Sumber : SNI 1726-2019

## 2.10 Pemilihan Sistem Struktur Penahan Beban Gempa

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam tabel 2.7. Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya lateral.

Faktor modifikasi respon yang sesuai,  $R$ , Faktor kuat lebih sistem,  $\Omega_0$ , dan faktor pembesaran defleksi,  $C_d$ , sebagaimana ditunjukkan tabel 2.9 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpang antar lantai tingkat desain.

Tabel 2.9 : Sistem Rangka Pemikul Momen Beserta faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5/2	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5/2	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4 1/2	3	4	TB	TB	10 <sup>g</sup>	TI <sup>h</sup>	TI <sup>h</sup>
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3 1/2	3	3	TB	TB	TI <sup>i</sup>	TI <sup>i</sup>	TI <sup>i</sup>
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>	8	3	5/2	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 1/2	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 1/2	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5/2	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4 1/2	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber : SNI 1726-2019

## 2.11 Redudansi

Faktor redundansi ( $\rho$ ), harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur sesuai dengan ketentuan berikut:

1. Kondisi di mana nilai  $\rho$  adalah 1,0

Nilai  $\rho$  diijinkan sama dengan 1,0 untuk hal-hal berikut ini:

- Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C;
- Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta;
- Desain Komponen non structural;
- Desain Struktur non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung

- Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih;
- Desain elemen struktur atau sambungan di mana kombinasi berbanding faktor kuat lebih;
- Struktur dengan sistem pereda ;
- Desain struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

2. Faktor redundansi,  $\rho$ , untuk kategori desain seismik D sampai F

Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F,  $\rho$  harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, dimana  $\rho$  diijinkan diambil 1,0;

- Masing-masing tingkat menahan 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau;
- Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat menahan lebih dari 35% geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat untuk konstruksi rangka ringan.

## 2.12 Evaluasi Kriteria SRPMK Tahan Gempa Metode Respon Spektrum

### 2.12.1 Analisis Respon Spektrum Ragam

Metode analisis ragam spektrum respons mendefinisikan bahwa simpangan struktur yang terjadi merupakan penjumlahan dari simpangan masing-masing ragam getarnya. Menurut Budiono dan Supriatna (2011) parameter respons terkombinasi respons masing-masing ragam yang ditentukan melalui spektrum respons rencana gempa merupakan respons maksimum. Pada umumnya, respons masing-masing ragam mencapai nilai maksimum pada saat yang berbeda sehingga respons maksimum ragam-ragam tersebut tidak dapat dijumlahkan begitu saja (Hari, 2017). Terdapat dua cara metode superposisi, yaitu metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares*) dan Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination*).

Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan ragam respons menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90% (SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1). Untuk penjumlahan respons ragam yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination/ CQC*). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan apabila selisihnya kurang dari 15%. Untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/ SRSS*).

### 2.12.2 Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, Geser dasar seismik ( $V$ ) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.13.

$$V = C_s \cdot W_t \quad (2.13)$$

dimana:

$C_s$  = Koefisien respon seismik yang ditentukan

$W_t$  = Berat total gedung

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1, untuk mendapatkan koefisien  $C_s$  digunakan persamaan-persamaan yang terdapat pada Pers. 2.14 – Pers.2.17.

1.  $C_s$  maksimum

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.14)$$

2.  $C_s$  hasil hitungan

$$C_s \text{ Hasil Hitungan} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.15)$$

3.  $C_s$  minimum

$$C_s \text{ minimum} = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (2.16)$$

4.  $C_s$  minimum tambahan

Sedangkan sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana  $S_1$  jika lebih besar dari 0,6 g maka  $C_s$  harus tidak kurang dari Pers.

2.14.

$$C_s \text{ minimum tambahan} = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.17)$$

Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser  $V_t$ , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dengan Pers. 2.18.

$$V_t \geq V \quad (2.18)$$

Maka, apabila nilai akhir respons dinamik lebih kecil dari nilai respons ragam pertama, maka harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala yang ditentukan dengan Pers. 2.19.

$$\text{Faktor skala} = \frac{V}{V_t} \geq 1 \quad (2.19)$$

dimana:

$V_t$  = Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons yang telah dilakukan

$V$  = Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen pada penggunaan program penghitung struktur

### 2.12.3 Periode Alami Struktur

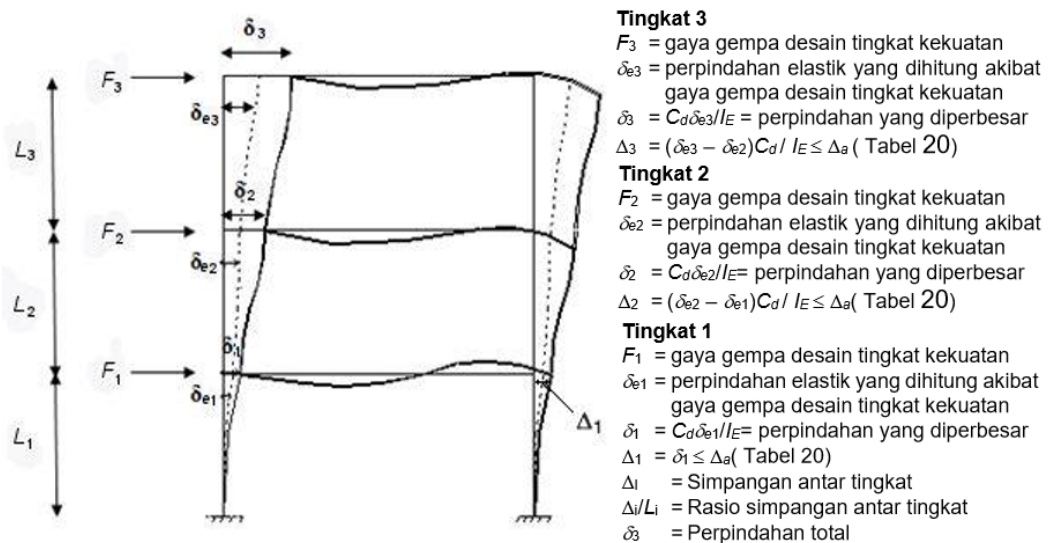
Periode adalah besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan di mana frekuensi alami pada struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan struktur.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.6, periode struktur fundamental ( $T$ ) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode

struktur fundamental memiliki nilai batas minimum dan batas maksimum yang dapat dilihat pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.2.

#### 2.12.4 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6. Penentuan simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau (lihat Gambar 2.4). Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan,  $\Delta$  harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan dalam 0 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.



Gambar 2.4 : Penentuan simpangan antar tingkat

Sumber : SNI 1726-2019

Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b pada Tabel 13 pasal 7.3.3.4, simpangan antar tingkat desain,  $\Delta$ , harus dihitung sebagai selisih terbesar

dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau.

Simpangan antar lantai, nilainya harus diperbesar dengan menggunakan Pers. 2.20

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.20)$$

dimana :

$C_d$  = faktor pembesaran simpangan lateral

$\delta_{xe}$  = simpangan di tingkat-x yang disyaratkan

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

Simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ) seperti didapatkan dari Tabel 2.10. untuk semua tingkat.

Tabel 2.10 : Simpangan antar tingkat izin

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

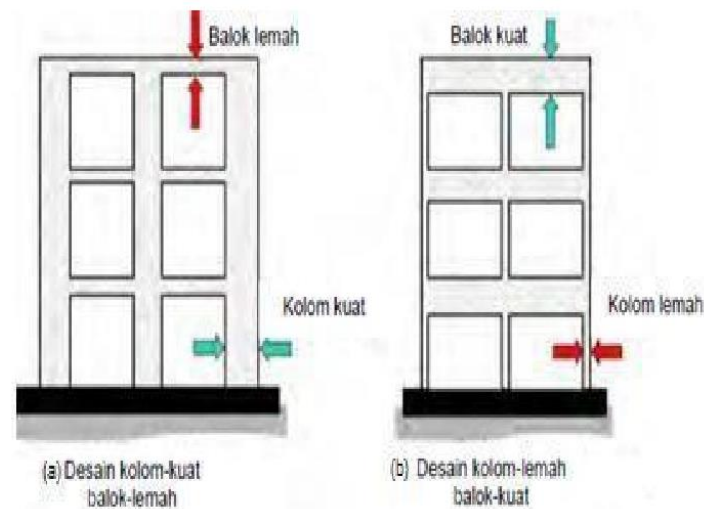
Catatan:  $h_{sx}$  = Tinggi tingkat yang bersangkutan

Sumber : SNI 1726-2019

### 2.12.5 Konsep *Strong Column Weak Beam*

Menurut Pawirodikromo (2012), konsep yang saat ini diterima untuk perencanaan seismik struktur rangka beton bertulang adalah pendekatan kolom kuat-balok lemah (*strong column-weak beam*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



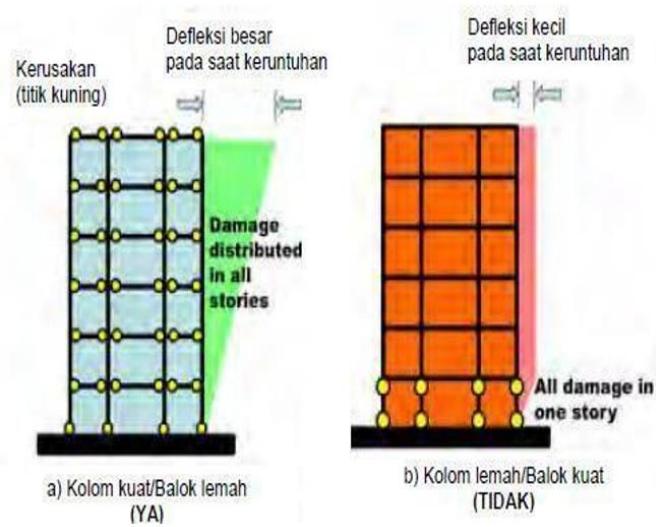


Gambar 2.5 : Konsep kolom kuat balok lemah

*Sumber : C.V.R Murty, 2005*

Dalam konsep kolom kuat – balok lemah, kerusakan pertama kali diharapkan terjadi pada balok terlebih dahulu. Apabila pendetailan balok dilakukan dengan baik, maka perilaku daktile dapat dipastikan dan struktur rangka bangunan dapat berdeformasi secara berarti meskipun mengalami kerusakan secara progresif yang disebabkan oleh lelehnya tulangan balok.

Pada gempa besar, tipe kerusakan terjadi pada beberapa balok di seluruh struktur tersebut, tetapi ini dapat dipertimbangkan sebagai “kerusakan yang dapat diterima” karena tidak menyebabkan keruntuhan bangunan secara mendadak (Gambar 2.6.a). Di lain pihak, kolom yang lebih lemah dibandingkan balok akan menerima kerusakan berat secara lokal pada bagian atas dan bawah kolom pada lantai tertentu (Gambar 2.6.b), keruntuhan pada keseluruhan bangunan, sekalipun kolom-kolom di lantai atasnya masih dalam kondisi tidak rusak.



Gambar 2.6 : Kerusakan pada balok-kolom struktur rangka beton bertulang

Sumber : C.V.R Murty, 2005

Berdasarkan SNI 2847:2013, konsep *strong column weak beam* ditentukan berdasarkan Pers. 2.21

$$\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5} \sum M_{nb} \quad (2.21)$$

dimana:

$M_{nc}$  = momen kapasitas 2 kolom yang bertemu di *joint*

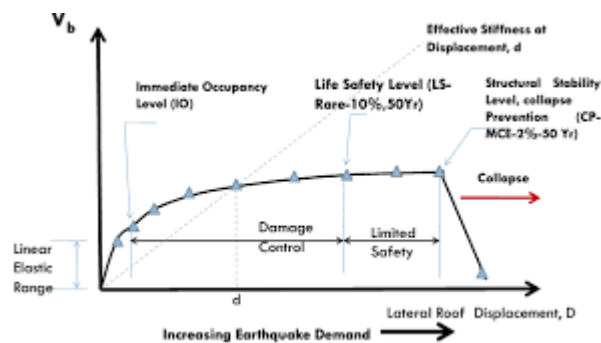
$M_{nb}$  = momen kapasitas 2 balok yang menumpu di *joint*

### 2.13 Kinerja Struktur Metode ATC-40

Respon bangunan terhadap gerakan tanah akibat gempa menyebabkan perpindahan lateral dan deformasi pada setiap elemen struktur. Pada level rendah, deformasi elemen akan dalam rentang elastis (linear) dan tidak akan ada kerusakan yang timbul. Pada level respon tinggi, deformasi elemen akan melebihi kapasitas linear elastis dan bangunan akan mengalami kerusakan. Untuk memberikan kinerja seismik yang andal, sistem penahan gaya lateral yang lengkap

harus dimiliki oleh suatu bangunan, yang mampu membatasi perpindahan lateral akibat gempa pada level kerusakan yang berkelanjutan dan untuk tujuan kinerja yang diinginkan. Faktor-faktor dasar yang mempengaruhi kemampuan sistem penahan gaya lateral untuk melakukan hal tersebut meliputi massa bangunan, kekakuan, redaman, dan konfigurasi: kapasitas deformasi pada elemen, kekuatan dan karakter gerakan tanah. (ATC, 1996).

*Applied Technology Council-40* (1996) memberikan beberapa pertimbangan kondisi kerusakan (*damage states*) dan kinerja bangunan dibagi menjadi 6 kategori level kinerja struktur, pembagian level kinerja bangunan ditampilkan dalam gambar 2.7 dan tabel 2.11.



Gambar 2.7 : Tipikal kurva kapasitas pada berbagai tingkat kinerja struktur  
 Sumber : ATC-40, 1996

Tabel 2.11 : Level Kinerja Struktur

<i>Building Performance Levels</i>						
<i>Nonstruktural Performance Levels</i>	<i>Structure Performance Levels</i>					
	<i>SP-1 Immediate Occupancy</i>	<i>SP-2 Damage Control</i>	<i>SP-3 Life Safety</i>	<i>SP-4 Limited safety (Range)</i>	<i>SP-5 Structural Stability</i>	<i>SP-6 Not Considered</i>
<i>NP-A Operational</i>	<i>1-A Operational</i>	<i>2-A</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>
<i>NP-B Immediate Occupancy</i>	<i>1-B Immediate Occupancy</i>	<i>2-B</i>	<i>3-B</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>
<i>NP-C Life Safety</i>	<i>1-C</i>	<i>2-C</i>	<i>3-C Life Safety</i>	<i>4-C</i>	<i>5-C</i>	<i>6-C</i>
<i>NP-D Hazards Reduced</i>	<i>NR</i>	<i>2-D</i>	<i>3-D</i>	<i>4-D</i>	<i>5-D</i>	<i>6-D</i>
<i>NP-E Not Consider</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>3-E</i>	<i>4-E</i>	<i>5-E Structural Stability</i>	<i>Not Applicable</i>

Sumber : ATC-40, 1996

Penjelasan lebih lanjut kinerja stuktur menurut ATC-40 sebagai berikut :

1. *Immeddiate Occupancy*, SP-1 : Bila terjadi gempa, hanya terjadi sedikit kerusakan, dimana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa, sistem pemikul gaya vertikal dan lateral pada struktur masih mampu memikul gaya gempa yang terjadi.
2. *Damage Control*, SP-2 : Tingkat kerusakan struktural yang terjadi berada diantara IO dan LS. Tingkat ini memiliki kemampuan yang lebih baik dalam membatasi kerusakan struktural yang terjadi pada bangunan dibandingkan LS., dalam ATC-40 tidak disebutkan secara signifikan, dalam kategori ini, permodelan bangunan baru dengan beban rencana dengan beban gempa yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10%.
3. *Life Safety*, SP-3: Saat gempa terjadi, pada struktur timbul kerusakan yang cukup signifikan tetapi belum mengalami keruntuham, namun struktur

mampu menahan gempa kembali. Komponen-komponen struktur utama tidak runtuh. Bangunan masih dapat digunakan jika dilakukan perbaikan.

4. *Limited Safety*, SP-4: Bangunan yang ada tidak sebaik *Life Safety* dan tidak seburuk *Structural Stability*, ketika *Life Safety* tidak efektif atau ketika hanya beberapa kerusakan kritis yang dapat dikurangi.
5. *Structural Stability*, SP-5: Kondisi dimana merupakan batas kemampuan dari struktur dimana struktural dan non-struktural sudah mengalami kerusakan yang parah, struktur sudah tidak lagi mampu menahan gaya lateral karena penurunan namun struktur belum mengalami keruntuhan.
6. *Not Considered*, SP-6: Struktur sudah dalam kondisi runtuh, sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.

ATC-40 juga memberikan batasan rasio *drift* pada *performance point* yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur. Batasan rasio *drift* ditampilkan pada tabel 2.12.

Tabel 2.12 : Batasan Rasio *Drift* Atap

Interstory drift limit	Performance level			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Maximum total drift	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maximum inelastic drift	0.005	0.005-0.015	No limit	No limit

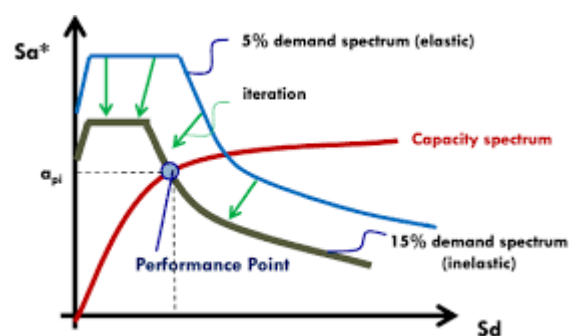
Sumber : ATC-40, 1996

## 2.14 Pushover Analysis

Menurut Wisnumurti (2008) Analisis Pushover sebuah sarana untuk memberikan solusi yang berdasarkan *Performance Based Seismic Design* yang pada intinya adalah mencari kapasitas struktur.

Dewobroto (2006) menjelaskan Pushover atau analisa statik nonlinier merupakan prosedur analisa yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan, analisa pushover dapat dilakukan dengan beberapa program komersil yang ada seperti SAP2000, ETABS, GTStrudl, Adina.

Lumantara dan Ginsar (2004) menjelaskan hubungan antara perpindahan lateral lantai atap dan gaya geser dasar digambarkan dalam suatu kurva yang menggambarkan kapasitas struktur dan dinamakan kurva kapasitas (*capacity curve*). Untuk mengetahui perilaku struktur yang ditinjau terhadap intensitas gempa yang diberikan, kurva kapasitas ini kemudian dibandingkan dengan tuntutan (*demand*) kinerja yang berupa *response spectrum* sebagai intensitas (periode ulang) gempa.



Gambar 2.8 Hubungan *Capacity Curve* dan *Demand*

Sumber : ATC-40, 1996

Dewobroto (2005) menjelaskan analisa *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu untuk perencanaan tahan gempa, walaupun demikian harus dapat menyesuaikan dengan keterbatasan yang ada yaitu :

1. Hasil analisa *pushover* masih berupa suatu pendekatan, karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisa *pushover* adalah statik monotonik.
2. Pemilihan pola beban lateral yang digunakan dalam analisa adalah sangat penting.
3. Untuk membuat model analisa nonlinier akan lebih rumit dibandingkan model analisa linier. Model tersebut harus memperhitungkan karakteristik inelastik beban-deformasi dan elemen-elemen yang penting dan efek  $P-\Delta$ .

Lumantara dan Ginsar (2004) juga menjelaskan dengan *Capacity Spectrum Method* dapat ditunjukkan melalui kinerja bangunan yang telah direncanakan terhadap gempa dengan berbagai periode ulang.