

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

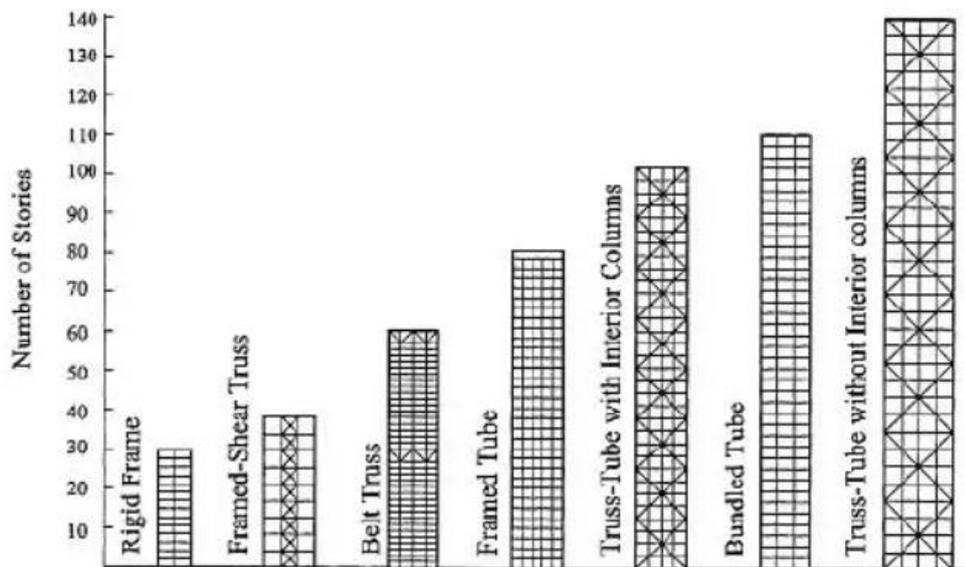
Gempa bumi merupakan gelombang seismik yang bisa terjadi karena banyak faktor mulai dari pergeseran lempeng tektonik, aktivitas gunung berapi, hingga gempa yang diakibatkan oleh aktivitas manusia itu sendiri. Indonesia adalah salah satu negara yang daerahnya rawan terjadi gempa, hal ini dikarenakan Indonesia dilalui oleh tiga lempeng tektonik, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng Indo – Australia, dan Lempeng Eurasia. Sehingga, dalam sebuah perancangan pembangunan gedung bertingkat di Indonesia, beban gempa menjadi salah satu beban yang harus di perhitungkan untuk mencapai titik keamanan komponen struktur. Komponen struktur ini meliputi : fondasi, balok, kolom, dan plat lantai.

2.2 Struktur Bangunan Tinggi

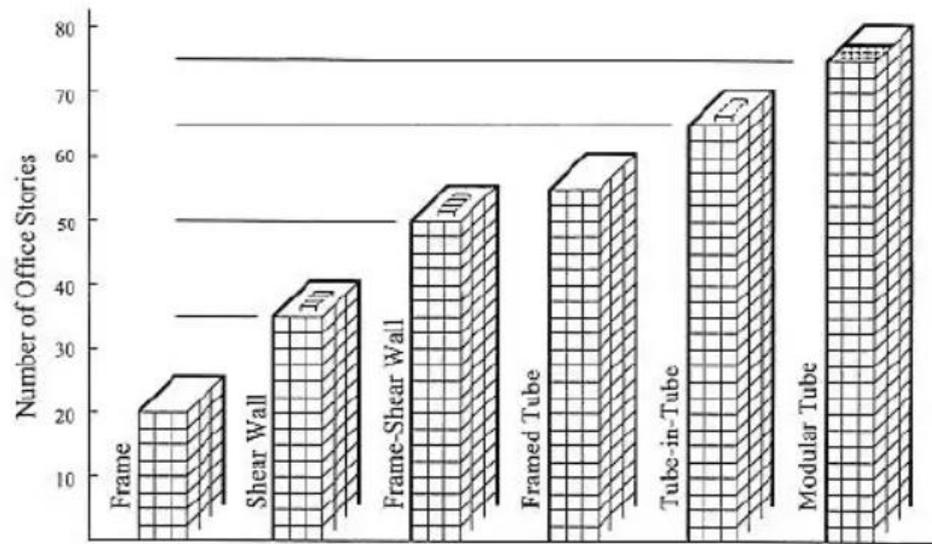
Pada struktur bangunan bertingkat tinggi gaya-gaya yang terjadi diakibatkan bisa secara alamiah dan manusia, atau bisa diambil kesimpulan bahwa terdapat 2 jenis gaya yaitu geofisik dan manusia. Beban geofisik dibagi atas tiga jenis yaitu gravitasi, meteorologi, dan seismologi. Yang tercakup dalam beban gravitasi ialah beban mati, beban yang tidak akan berubah sepanjang usia bangunan. Yang tercakup dalam beban meteorologi ialah beban yang dapat berubah seiring berjalannya waktu seperti beban angin, hujan, dan salju. Yang tercakup dalam beban seismologi ialah beban gempa, dan beban yang dihasilkan oleh manusia ialah beban pergerakan dari manusia itu sendiri didalam bangunan (beban hidup).

(Schueller, 2001)

Menurut Fazlur Khan (1996) dalam Ali (2007) mengklasifikasikan sistem struktural untuk gedung-gedung tinggi yang berkaitan dengan ketinggian gedung tersebut dengan pertimbangan untuk efisiensi dalam bentuk diagram "*Heights for Structural Systems*". Fazlur Khan juga mengembangkan klasifikasi sistem struktural ini menurut material utama yang digunakan seperti pada gambar 2,1 yang menggunakan material baja dan gambar 2.2 yang menggunakan material beton



Gambar 2.1 Klasifikasi Bangunan Tinggi Rangka Baja



Gambar 2.2 Klasifikasi Bangunan Tinggi Rangka Beton

2.3 Material

Bahan dasar untuk membuat membentuk sesuatu. Atau secara umum material didefinisikan sebagai obyek pengalaman indra dengan cirri-ciri kekeluasan, masa, gerak, dan ditentukan oleh uang dan waktu (Hasan Shadaly, 1983).

2.3.1 Baja Struktural

Setiap struktur baja merupakan gabungan dari batang-batang yang dihubungkan dengan sambungan. Penyambungan struktur baja dapat dilakukan dengan alat penyambung, antara lain dengan paku keling, dengan baut atau dengan las (Charles G. Salmon and John E. Johnson, 1996).

Menurut William T. Segui (2013) Baja struktural memiliki berbagai macam sifat, termasuk dari segi kekuatan dan daktilitasnya, hal ini ditentukan oleh komposisi kimia di dalam baja tersebut. Komponen utama dari baja paduan yaitu besi, komponen lain dari baja struktural dengan jumlah yang sangat kecil,

adalah karbon, komponen yang memiliki kontribusi terhadap kekuatan kepada baja struktural tetapi mengurangi daktilitas, dan komponen lain dari beberapa tingkatan baja berupa tembaga, mangan, nikel, kromium, molibdenum, dan silikon. Baja struktural dapat dikelompokkan sesuai dengan komposisi mereka yaitu :

1. Baja karbon

Sebagian besar terdiri dari besi dan karbon, dengan karbon kurang dari 1%.

2. Low-alloy steels

Besi dan karbon plus komponen lainnya (biasanya kurang dari 5%). Komponen tambahan terutama untuk meningkatkan kekuatan, yang dicapai dengan mengorbankan pengurangan keuletan

3. High-alloy or specialty steels

Serupa dalam komposisi untuk baja paduan rendah tetapi dengan persentase komponen yang lebih tinggi ditambahkan ke besi dan karbon. Baja ini memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada baja karbon rencana dan juga memiliki beberapa kualitas khusus, seperti ketahanan terhadap korosi

2.3.2 Agregat Halus (Pasir)

Menurut SNI 1970:2008, agregat halus merupakan hasil dari pasir alam yang terbentuk secara disintegrasi 'alami' dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu serta memiliki ukuran butiran terbesar 4,75 mm (No. 4). Berdasarkan jenisnya, pasir dapat dibedakan menjadi :

1. Pasir Urug

Pasir urug merupakan pasir yang bisa digunakan untuk bagian bawah keramik serta pengurugan pondasi. Campuran dalam pasir urug yang biasa digunakan yaitu batuan kecil dan kayu.

2. Pasir Batu (Sirtu)

Pasir yang merupakan hasil dari endapan gunung api, bersumber dari endapan lahar. Sirtu biasa digunakan untuk bahan pencampur dalam beton/semen, bahan bangunan, dan bahan urugan. Sirtu dalam tiap jenis penggunaannya, memiliki spesifikasi yang bergantung dengan distribusi besar ukuran butir hasil dari analisis ayakan.

3. Pasir Pasang

Pasir yang digunakan dalam pemasangan tembok.

4. Pasir Beton

Pasir yang digunakan dalam bahan pembuatan pasangan beton.

5. Pasir Aspal

Pasir yang digunakan sebagai bahan pembuatan aspal.

2.3.3 Agregat Kasar (Batu Pecah)

Merupakan Agregat yang dihasilkan akibat dari hasil disintegrasi 'alami' batuan atau yang dihasilkan dari batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu, memiliki ukuran butiran antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci) (SNI 1928:2008).

Agregat kasar pada beton berfungsi sebagai komponen utama dengan cara memberikan kekuatan penumpu terbesar dalam beton. Kekuatan beton tergantung pada kekuatan agregat kasarnya. Jenis-jenis agregat kasar yang umum adalah :

1. Batu pecah alami

Batu ini dapat dicari dari cadas atau batu pecah alami yang digali. Batu ini berasal dari gunung api, yang berjenis sedimen atau jenis metamorf. Walaupun dapat menghasilkan kekuatan yang tinggi terhadap mutu beton, dalam pengerjaan lapangan, batu pecah tidak mudah untuk dikerjakan apabila dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya.

2. Kerikil alami

Kerikil ini bisa didapat dari proses alami yaitu pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh aliran air. Kekuatan dari kerikil ini lebih rendah daripada batu pecah, namun dalam pengerjaan di lapangan kerikil jauh lebih mudah dibandingkan batu pecah.

3. Agregat kasar buatan

Agregat ini bisa berupa *slag* atau *shale*, dapat digunakan untuk beton ringan.

2.3.4 Beton

Beton merupakan campuran dari agregat halus, agregat kasar, udara, semen portland atau semen hidraulik jenis lain, dengan tambahan bahan lain yang membentuk masa padat, atau tidak menggunakan tambahan sama sekali (SNI 03-2847- 2002). Menurut SNI-03-2847-2002 beton diklasifikasikan menjadi 8 jenis yaitu :

1. Beton bertulang

Beton dengan tulangan yang memiliki luas dan jumlah tulangan yang sesuai dengan nilai minimum, dan juga disyaratkan boleh menggunakan atau tidak menggunakan prategang, serta perencanaan yang didasarkan dengan asumsi

bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

2. Beton normal

Beton dengan berat satuan 200 kg/m^3 sampai 500 kg/m^3 , dibuat dengan menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

3. Beton polos.

Beton yang tidak menggunakan tulangan atau memiliki tulangan namun kurang dari ketentuan minimum.

4. Beton pracetak

Elemen beton yang menggunakan atau tidak menggunakan tulangan, yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan.

5. Beton prategang

Beton bertulang yang sudah diberikan tegangan tekan didalam beton guna untuk mengurangi tegangan tarik potensial didalam beton yang diakibat oleh beban kerja.

6. Beton ringan

Beton yang memiliki berat satuan tidak lebih dari 900 kg/m^3 dan mengandung agregat ringan.

7. Beton ringan-pasir

Beton ringan yang terdiri dari pasir berat normal, sebagai agregat halusya.

8. Beton ringan-total

Beton ringan yang agregat halusya tidak hanya terdiri dari pasir alami.

2.3.5 Semen Portland

Merupakan semen hidrolis hasil dari penggilingan terak, komposisi semen portland terdiri dari kalsium silikat yang memiliki sifat hidrolis, serta penggilingan dilakukan secara bersamaan menggunakan bahan tambahan yang berbentuk kristal dengan jumlah satu atau lebih kedalam senyawa kalsium sulfat, serta boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI-15-2049-2004).

2.3.6 Kayu Bangunan

Kayu bangunan merupakan kayu yang didapatkan dengan cara mengubah bentuk kayu yang semula bulat menjadi kayu dengan bentuk balok, papan ataupun bentuk-bentuk lain yang disesuaikan dengan kebutuhan dan tujuan penggunaannya (SNI 03-3527-1994).

2.3.7 Material Komposit

Material komposit merupakan material yang tercipta dari kombinasi antara dua material atau lebih, dengan tidak mengubah atau tetap mempertahankan sifat karakteristik masing-masing material. Material komposit dapat terjadi dikarenakan material- material tersebut tidak saling bercampur dengan sempurna. Pengertian lain dari material komposit adalah sebuah material yang merupakan kombinasi makroskopik dari dua atau lebih material yang berbeda, tetapi masih memiliki ikatan antar kedua material tersebut. Penggunaan material komposit biasanya tidak hanya bersifat struktural, tetapi juga untuk listrik, termal, tribologi, dan pengaplikasian di lingkungan. Hasil dari material komposit memiliki sifat struktural yang seimbang dan lebih unggul. (Callister, D.W.Jr., 2003).

2.4 **Komponen Struktur**

Komponen struktur terdiri dari komponen struktur bagian atas dan komponen struktur bagian bawah, kedua hal ini merupakan bagian yang penting dalam perancangan bangunan bertingkat. Dibawah ini akan diberikan penjelasan tentang komponen struktur.

2.4.1 **Fondasi**

Fondasi adalah komponen struktural yang memiliki fungsi sebagai tempat menempatkan bangunan dan mentransfer beban dari struktur di atasnya ke tanah yang bertugas memikul beban struktur tersebut. Dalam menentukan jenis pondasi seorang perencana perlu memperhatikan keadaan tanah di lapangan untuk mengetahui jenis fondasi yang sesuai terhadap kondisi tanah tersebut. Beberapa jenis fondasi yaitu: fondasi telapak, fondasi rakit, fondasi tiang pancang, dan fondasi gabungan yang memikul lebih dari satu kolom (Nawy, 1990).

Fondasi *spun pile* merupakan fondasi tiang pancang yang memiliki bentuk bulat berfungsi sebagai tiang fondasi (paku bumi). Kelebihan dari fondasi ini mudah dan fleksibel pemasangannya, kekurangan dari fondasi ini dari segi kuat tekan yang tidak merata akibat pembuatan yang diputar.

2.4.2 **Kolom**

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai ang

bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996).

Suatu kolom harus mampu menahan gaya aksial dan beban terfaktor dari semua lantai atau atap beserta momen maksimum dari beban terfaktor pada suatu bentang lantai atau atap yang ditinjau. Pada konstruksi menerus harus diberikan pertimbangan terhadap pengaruh beban lantai atau atap tak seimbang baik pada kolom eksterior dan interior, maupun dari pembebanan eksentris akibat penyebab lainnya (SNI 2847:2013 pasal 8.10.1 - 8.10.2).

2.4.3 Balok

Sebuah bentangan balok yang menahan beban akan menimbulkan momen lentur dan terjadi regangan lentur di dalam balok tersebut. Regangan yang timbul mengakibatkan munculnya tegangan yang harus ditahan balok. Tegangan yang muncul di bagian atas disebut tegangan tekan, sedangkan yang di bagian bawah disebut tegangan tarik (Dipohusodo, 1994).

2.4.4 Pelat

Pelat adalah elemen struktur yang membentang horizontal, menyalurkan beban, meliputi beban hidup dan beban mati ke rangka pendukung vertikal dari sebuah sistem struktur. Komponen-komponen tersebut dibuat agar dapat bekerja dalam satu arah (pelat satu arah) atau bekerja dalam dua arah yang saling tegak lurus (pelat dua arah) (Nawy, 1990).

2.5 Pembebanan Struktur

Menurut SNI 1727:2013, beban merupakan gaya yang berasal dari berat

seluruh bahan bangunan, barang-barang, efek lingkungan, selisih perpindahan, dan penghuni yang ada di dalam bangunan gedung. Berdasarkan jenisnya, beban yang biasa digunakan di Indonesia untuk perancangan struktur dibedakan menjadi: beban mati, beban hidup, beban gempa.

2.5.1 Beban Mati

Berat keseluruhan bahan konstruksi yang terpasang, meliputi dinding, dinding partisi tetap, *finishing*, lantai, atap, plafon, klading gedung, komponen arsitektural, dan struktural lainnya, serta peralatan layan terpasang termasuk berat keran disebut beban mati (SNI 1727:2013 pasal 3.1.1). Dalam menentukan beban mati ketika melakukan perancangan harus sesuai dengan berat bahan konstruksi yang sebenarnya dan apabila tidak ada informasi yang jelas, nilai yang digunakan adalah nilai yang telah disetujui oleh pihak yang berwenang (SNI 1727:2013 pasal 3.1.2)

2.5.2 Beban Hidup

Beban hidup didefinisikan sebagai beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban banjir, beban gempa, beban hujan, maupun beban mati (SNI 1727:2013 pasal 4.1)

2.5.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah gaya elemen struktur aksial, geser dan lentur yang dihasilkan dari penerapan gaya gempa horizontal dan vertikal seperti ditetapkan selanjutnya dalam 0 (SNI 1726:2019 pasal 8.3). Beban gempa diakibatkan oleh

pergerakan lempengan permukaan bumi, sehingga hal ini menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi struktur sebuah gedung. Pada tiap daerah perancangan beban gempa pada struktur berbeda-beda ini dikarenakan adanya perbedaan kondisi geografis pada tiap daerah.

2.6 Perencanaan Terhadap Gempa

2.6.1 Tipe Profil Tanah

Jenis tanah ditetapkan sebagai Tanah Keras, Tanah Sedang, dan Tanah Lunak apabila untuk lapisan setebal 30 m paling atas dipenuhi syarat-syarat yang tercantum pada Tabel 4 (SNI-03-1726-2002 pasal 4.6.3)

2.6.2 Wilayah Gempa

Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 Wilayah Gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 1, di mana Wilayah Gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan Wilayah Gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Pembagian Wilayah Gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh Gempa Rencana dengan perioda ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap Wilayah Gempa ditetapkan dalam Gambar 1 dan Tabel 5. (SNI-03-1726-2002 pasal 4.7.1)

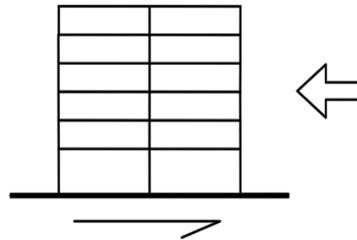
2.6.3 Perilaku Struktur Akibat Beban Gempa

Pondasi merupakan titik singgung antara bangunan dengan tanah, maka gerak seismik akan bekerja pada bangunan melalui pondasi. Gerak seismik akan ditahan oleh massa bangunan dengan membangun gaya inersia pada seluruh struktur. Besar gaya inersia (F) bergantung pada massa bangunan (m), percepatan

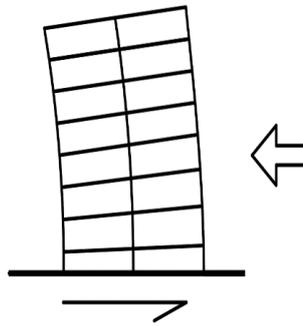
permukaan (a) dan sifat struktur. Apabila bangunan dan pondasinya kaku, maka percepatannya akan sama dengan permukaan, yaitu menurut rumus Newton (Schueller, 2001).

$$F = m.a \quad (2-1)$$

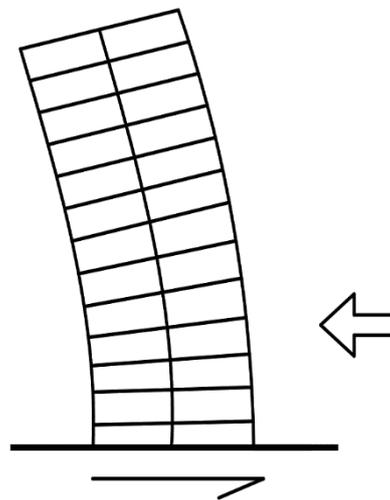
Untuk struktur yang hanya sedikit berubah bentuk (deformasi), artinya menyerap sebagian energi, besar gayanya akan kurang dari massa dikali percepatannya ($F < m.a$) seperti gambar 2.5b Akan tetapi, struktur yang fleksibel mempunyai waktu getar alamiah yang mendekati waktu getar gelombang permukaan, dapat mengalami gaya yang jauh lebih besar yang ditimbulkan oleh gerak permukaan yang berulang-ulang ($F > m.a$) seperti pada gambar 2.5c (Schueller, 2001).



**Gambar 2.3 Perilaku Struktur Terhadap Beban Lateral Apabila
($F = m.a$)**



**Gambar 2.4 Perilaku Struktur Terhadap Beban Lateral Apabila
($F < m.a$)**



**Gambar 2.5 Perilaku Struktur Terhadap Beban Lateral Apabila
($F > m.a$)**

2.6.4 Simpangan Antar Tingkat

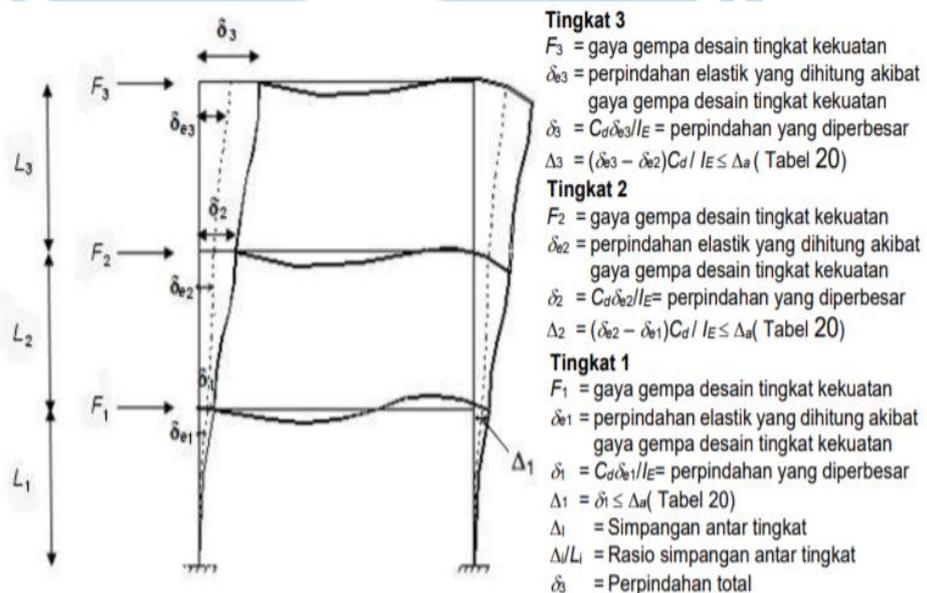
Menurut SNI-1726-2019 pasal 7.8.6 Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau (lihat Gambar 2.6) Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain

tegangan izin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan dalam 0 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin. Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b pada (Tabel 13 SNI-1726-2019), simpangan antar tingkat desain, Δ , 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 pusat massa di tingkat-x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2-2)$$

Keterangan :

- C_d = faktor pembesaran simpangan lateral dalam (tabel 12 SNI-1726-2019)
 δ_{xe} = simpangan di tingkat-x yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan dengan analisis elastik
 I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 0



Gambar 2.6 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

2.6.5 Batasan Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat desain (Δ) seperti ditentukan dalam 0, atau 0, tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari Tabel 2-3 untuk semua tingkat.

Tabel 2.1 Simpangan Antar Tingkat ($\Delta^{a,b}$)

Struktur	Kategori Resiko		
	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.	$0,025h_{s,x}^c$	$0,020h_{s,x}$	$0,015h_{s,x}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{s,x}$	$0,010h_{s,x}$	$0,010h_{s,x}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{s,x}$	$0,007h_{s,x}$	$0,007h_{s,x}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{s,x}$	$0,015h_{s,x}$	$0,010h_{s,x}$

Catatan :

^a $h_{s,x}$ adalah tinggi tingkat dibawah tingkat-x

^b adalah Untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar tingkat izin harus sesuai dengan persyaratan 0

^c Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat

dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam 0 tidak diabaikan.

a Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

2.6.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung

Menurut SNI-1726-2019 Kategori risiko dibagi menjadi 4 kategori berdasarkan jenis gedung dan pemanfaatannya. Apabila kategori dari suatu gedung semakin tinggi maka risiko bangunan akan rusak terhadap gempa juga semakin besar. Kategori risiko dapat dilihat pada tabel 3 hal 24-25 SNI-1726-2019.

2.6.7 Faktor Keutamaan Gempa

Berdasarkan SNI-1726-2019 pasal 4.1.2 kategori risiko tiap gedung dan nongedung struktur bangunan harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e , dalam melakukan perencanaan gempa pada gedung yang ditinjau. Faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada tabel 4 SNI-1726-2019 hal 25.

2.6.8 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. 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. Tabel 2.4 akan menunjukkan tentang SDs dan tabel 2.5 menunjukkan SD1 (SNI-1726-2019)

Tabel 2.2 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 < S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 < S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,5 < S_{DS}$	D	D

Tabel 2.3 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

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