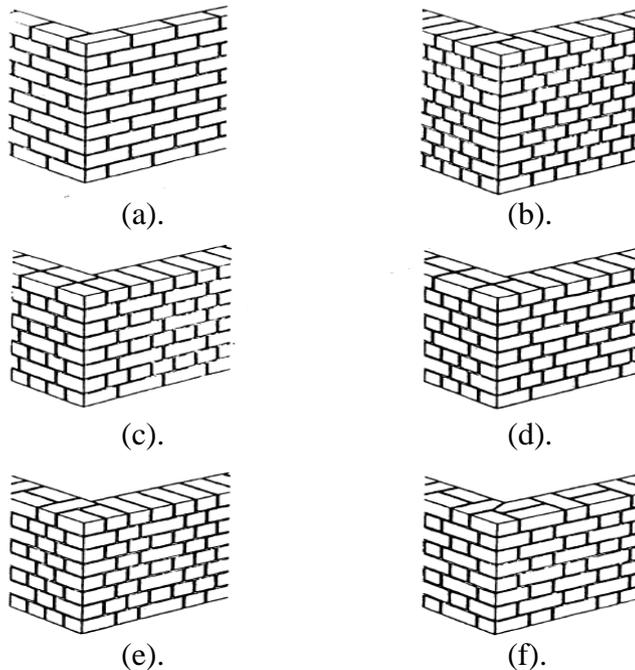


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Dinding Bata Merah

Dinding berfungsi sebagai bagian struktur yang menahan dan menyalurkan beban-beban di atasnya, yaitu beban atap dan lantai yang berada di atasnya. Selain itu, dinding dapat memberikan fungsi stabilisasi pada struktur bangunan, terutama untuk menerima beban-beban horizontal (lateral) yang diakibatkan gempa atau angin yang cukup besar. Jenis dinding yang umum banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia salah satunya adalah dinding bata merah. Hal ini terkait dengan kemudahan proses pengerjaannya serta ketersediaan material batu bata yang sangat banyak.

Dengan kemudahan proses pembuatan dan ketersediaan material batu bata, membuat mayoritas pembuatan dinding di Indonesia terdiri atas bata merah dan mortar sebagai perekat antara bata yang satu dengan bata yang lainnya. Menurut (Frick, 1980:134) aturan penyusunan batu bata merah dapat dibedakan melalui pengaturannya. Untuk (Gambar 2.1 a) yaitu batu bata memanjang atau setengah bata, (Gambar 2.1 b) aturan batu melintang, (Gambar 2.1 c) aturan batu memanjang-melintang bersilang, (Gambar 2.1 d) aturan batu silang, (Gambar 2.1 e) aturan Belanda, dan (Gambar 2.1 f) aturan batu Gothic.



**Gambar 2.1** Aturan penyusunan batu bata merah  
Sumber : Frick (1980)

### 2.1.1 Bata merah

Batu bata adalah bahan bangunan yang diperuntukkan untuk konstruksi, dibuat dari tanah liat atau tanpa campuran bahan lain, dibakar dengan suhu yang tinggi sehingga tidak mudah hancur bila direndam (NI-10-1978, SII-0021-78).

Masyarakat Indonesia telah lama mengenal bata merah sebagai bahan penyusun dinding, baik untuk bangunan gedung bertingkat maupun bangunan rumah sederhana. Untuk Indonesia sendiri pembuatan bata merah mayoritas masih dibuat oleh masyarakat pedesaan (*home industry*). Bata merah dibuat dengan mencampurkan tanah liat, air, kotoran hewan dan sekam padi (Frick, 1980).

Untuk saat ini ukuran batu bata yang beredar di kalangan masyarakat memiliki ukuran dimensi yang beragam baik dari hasil pekerjaan lokal (*home industry*) ataupun hasil pabrikasi. Menurut NI-10-1978 ukuran standar yang biasa digunakan untuk bangunan adalah:

1. (Panjang x Lebar x Tinggi) = (240 mm x 115 mm x 52 mm)
2. (Panjang x Lebar x Tinggi) = (230 mm x 110 mm x 50 mm)

Penyimpangan yang diijinkan untuk ukuran batu bata di atas adalah:

1. Panjang maksimum 3%
2. Lebar maksimum 4%
3. Tebal maksimum 5%

### 2.1.2 Beton bertulang

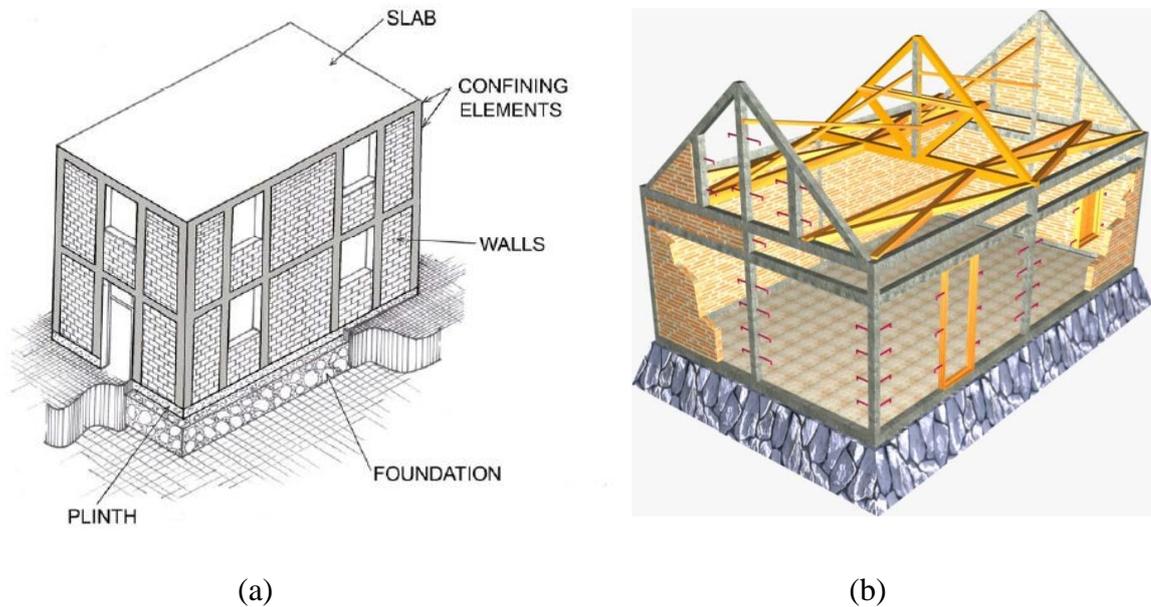
Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang di syaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. (SNI 03- 2847 – 2002, Pasal 3.13)

Sifat utama dari baja tulangan, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Karena baja tulangan harganya mahal, maka sedapat mungkin dihindari penggunaan baja tulangan untuk memikul beban tekan.

Dari sifat utama tersebut dapat dilihat bahwa tiap-tiap bahan mempunyai kelebihan dan kekurangan, maka jika kedua bahan (beton dan baja tulangan) dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton. Beton juga tahan terhadap kebakaran dan melindungi baja supaya awet.

## 2.2 Dinding Bata Terkekang (*Confined Masonry*)

Dinding bata terkekang adalah konstruksi yang terdiri dari dinding batu bata yang dikekang keempat sisinya oleh elemen horizontal maupun vertikal yang terbuat dari beton bertulang seperti gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Contoh bangunan dengan dinding bata terkekang: (a) *flat reinforced concrete roof* dan (b) *pitched timber roof*

Sumber : (a) Brzev, (2008) (b) Boen, (2009)

Di dalam dinding bata terkekang, ikatan yang kuat terjadi antara kolom-balok pengekok dengan dinding bata, dimana hal ini terjadi karena tidak adanya celah di antara keduanya (Iyer *dkk*, 2013). Pada kejadian gempa (*seismic*), ikatan yang kuat tersebut membuat dinding batu bata dapat bertindak sebagai dinding geser, sehingga terjadi peningkatan kemampuan dinding di dalam menerima beban lateral (Meli *dkk*, 2011).

## 2.3 Bukaannya

Bukaan merupakan suatu elemen yang tidak terpisahkan dengan fungsi bangunan. Bukaan dapat didefinisikan sebagai luasan berlubang pada elemen dinding dengan ukuran tertentu yang berfungsi sebagai akses keluar-masuk manusia maupun sirkulasi udara. Di dalam elemen dinding, bukaan dapat berupa lubang angin, jendela dan pintu.

Menurut (Ching & Adams, 2008) ukuran dan letak bukaan, khususnya bukaan berupa pintu ditentukan berdasarkan keperluan akses fisik dan keterbatasan modular material dinding yang digunakan.

## 2.4 Kriteria Perhitungan

### 2.4.1 Beban-beban yang bekerja

Beban merupakan gaya luar yang bekerja pada suatu bidang struktur. Penentuan secara pasti besarnya beban-beban yang bekerja pada suatu struktur merupakan salah satu pekerjaan yang cukup susah. Beberapa jenis beban yang sering ditemukan adalah sebagai berikut: (Setiawan, 2008)

#### 1. Beban Hidup (*Live Loads*)

Beban hidup adalah semua beban yang bersifat dapat berpindah-pindah (beban berjalan) atau beban yang bersifat sementara yang ditempatkan pada suatu tempat tertentu.

Beberapa contoh beban hidup antara lain kelengkapan meja atau kursi kantor, manusia, beban air pada kolam renang, dinding partisi, dan lain sebagainya.

#### 2. Beban Mati (*Dead Loads*)

Beban mati adalah segala sesuatu bagian struktur yang bersifat tetap termasuk di dalam hal ini adalah berat sendiri struktur tersebut. Beberapa contoh beban mati antara lain berat sendiri balok, kolom, pelat lantai dan dinding. Contoh lain adalah jendela, dinding, peralatan elektrikal, dan lain sebagainya.

#### 3. Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi (baik itu merupakan gempa tektonik atau vulkanik) yang mempengaruhi struktur tersebut.

Gempa mengakibatkan beban pada struktur karena interaksi tanah dengan struktur dan karakteristik respons struktur. Beban gempa adalah beban yang merupakan fungsi dari waktu, sehingga respons yang terjadi pada suatu struktur juga tergantung dari riwayat waktu pembebanan tersebut.

Beban gempa adalah beban percepatan tanah yang berupa suatu rekaman percepatan tanah untuk suatu gempa tertentu, sehingga untuk setiap waktu tertentu akan memiliki harga percepatan tanah tertentu.

#### 4. Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada suatu struktur, akibat dari pengaruh struktur yang memblokir aliran angin sehingga energi kinetik angin akan dikonversi menjadi tekanan energi potensial yang menyebabkan terjadinya beban angin. Efek dari beban angin pada suatu struktur bergantung pada berat jenis dan kecepatan udara, sudut luas angin, bentuk dan kekakuan struktur begitu juga dengan faktor-faktor lainnya.

### 2.4.2 Kombinasi beban terfaktor

Tahanan rencana harus melebihi jumlah dari beban bekerja yang dikalikan dengan suatu faktor beban. Penjumlahan beban-beban kerja ini yang dinamakan sebagai kombinasi pembebanan. Menurut SNI 1726-2012 struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut:

$$1. \quad 1,4 D \quad (2-1)$$

$$2. \quad 1,2 D + 1,6 L + 0,5( L_r \text{ atau } R ) \quad (2-2)$$

$$3. \quad 1,2 D + 1,6 ( L_r \text{ atau } R ) + ( L \text{ atau } 0,5W ) \quad (2-3)$$

$$4. \quad 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5( L_r \text{ atau } R ) \quad (2-4)$$

$$5. \quad 1,2 D + 1,0 E + L \quad (2-5)$$

$$6. \quad 0,9 D + 1,0 W \quad (2-6)$$

$$7. \quad 0,9 D + 1,0 E \quad (2-7)$$

dengan :

D = beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen.

L = beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung.

$L_r$  = beban hidup yang diakibatkan oleh pembebanan atap.

R = beban hujan.

W = beban angin.

E = beban gempa.

### 2.4.3 Wilayah gempa

Parameter percepatan gempa ditentukan berdasarkan dua hal yakni, Parameter percepatan terpetakan dan Kelas Situs. Parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode 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 seismik pada pasal 14 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam waktu 50 tahun ( $MCE_R$ , 2% dalam 50 tahun) dan dinyatakan dalam bilangan decimal terhadap percepatan gravitasi. Bila  $S_1 \leq 0,04g$  dan  $S_s \leq 0,15g$ , maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A. (SNI 1726-2012 Pasal 6.1.1)

Untuk kelas situs mengatur klarifikasi berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklarifikasikan sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bias ditentukan kelas situsnya, maka

kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika dinas atau pemerintah yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF. (SNI-1726-2012 Pasal 6.1.2)

#### **2.4.4 Konfigurasi struktur gedung**

Struktur gedung dapat dibedakan menjadi 2 golongan, yaitu beraturan dan tidak beraturan. Menurut SNI-1726-2012 mengatur 9 syarat yang kemudian dapat menentukan suatu gedung beraturan atau tidak.

Analisis bangunan gedung beraturan dapat dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen. Sedangkan untuk bangunan gedung yang tidak beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan dinamik sehingga analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respon dinamis.

#### **2.4.5 Sistem struktur**

Filosofi bangunan tahan gempa adalah bila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen struktural (kolom dan balok retak) maupun pada komponen non-strukturalnya (dinding retak, genting dan langit-langit jatuh, kaca pecah, dll). Bila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturalnya, akan tetapi komponen strukturalnya tidak boleh rusak. Bila terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi jiwa penghuni tetap selamat, yang artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni bangunan untuk menyelamatkan diri.

Menurut SNI-1726-2012 terdapat beberapa sistem dan subsistem struktur gedung penahan gempa yaitu sebagai berikut:

1. Sistem Kolom Kantilever

Sistem struktur penahan gaya gempa, di mana gaya lateral yang diakibatkan oleh gempa disalurkan ke kolom yang berperilaku sebagai kolom kantilever yang terjepit di bagian dasar gedung.

2. Sistem Ganda

Sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh sistem rangka pemikul momen dan dinding geser ataupun oleh rangka pemikul momen dan rangka bresing.

### 3. Sistem Interaksi Dinding Geser dengan Rangka

Sistem struktur yang menggunakan kombinasi dinding geser dan sistem rangka beton bertulang biasa.

### 4. Sistem Rangka Gedung

Sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul dinding geser ataupun oleh rangka bresing.

### 5. Sistem Dinding Penumpu

Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, yang beban gravitasinya dipikul oleh dinding penumpu dan sistem bresing, sedangkan beban lateral akibat gaya gempa dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing.

### 6. Sistem Baja tidak didetail

Sistem yang tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismic dan tidak termasuk sistem kolom kantilever.

### 7. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem struktur 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 SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).

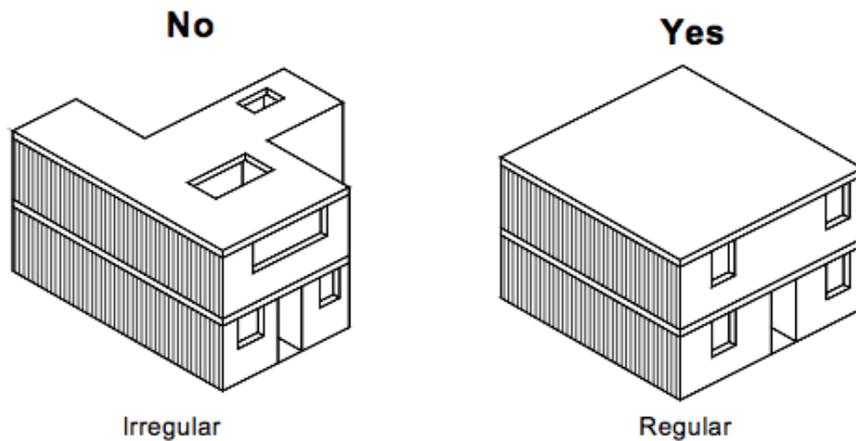
## 2.5 Metode Analisis dan Desain

### 2.5.1 Konsep perencanaan dan desain

Melalui pengalaman dari gempa bumi sebelumnya telah diketahui bahwa desain konseptual sebuah bangunan sangat penting untuk diperhatikan demi mendapatkan kinerja yang memuaskan dari bangunan itu sendiri. Para arsitek memiliki peran yang penting didalam mengembangkan desain konsep bentuk keseluruhan, ukuran dan dimensi dari sebuah bangunan. Sedangkan para insinyur struktural memiliki tanggung jawab untuk menganalisis keamanan bangunan dan bekerja sama dengan para arsitek untuk memastikan bahwa desain tersebut telah memenuhi persyaratan struktural dan arsitektural.

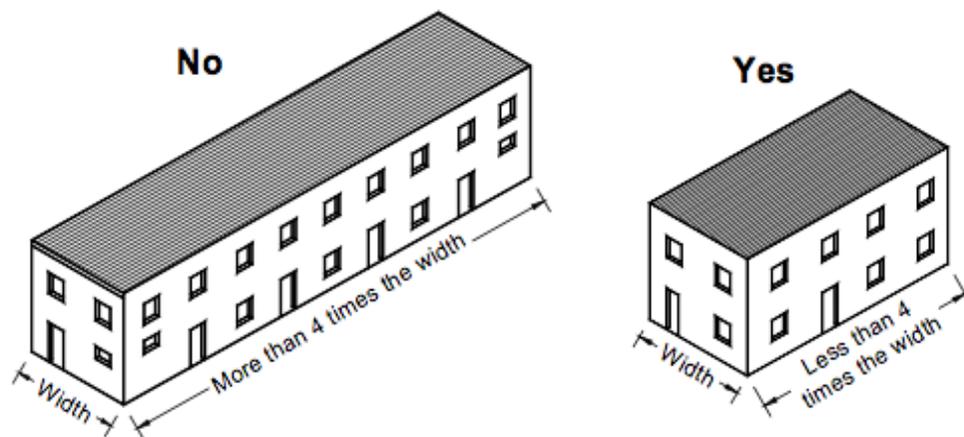
Tata letak sebuah bangunan sederhana merupakan salah satu syarat utama demi tercapainya bangunan yang aman dari goncangan gempa. Menurut (Blondet, 2005) dan (Brzev, 2008) syarat-syarat konsep desain bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut:

- a. Perencanaan bentuk bangunan harus berbentuk biasa atau simetris.



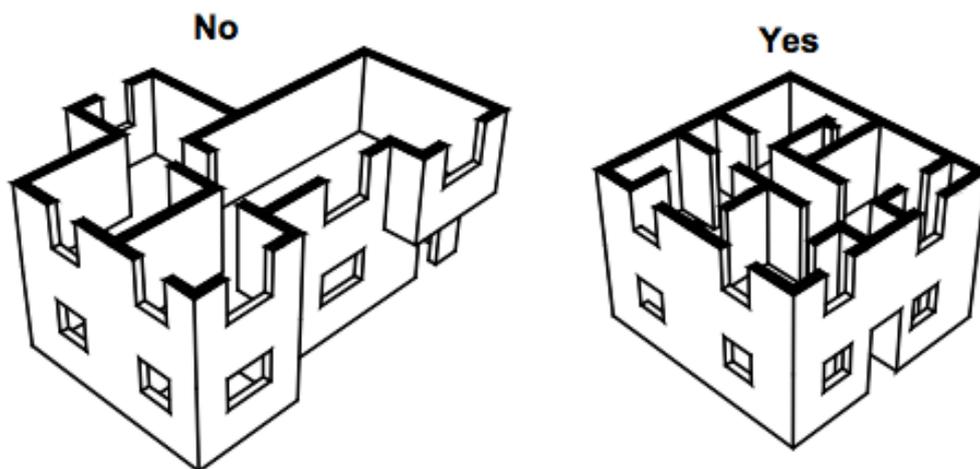
**Gambar 2.3** Rencana bangunan sederhana  
Sumber : Meli *dkk* (2011)

- b. Bangunan tidak terlalu panjang. Rasio Panjang ( $p$ ) x Lebar ( $l$ ) dalam rencana tidak boleh melebihi 4.



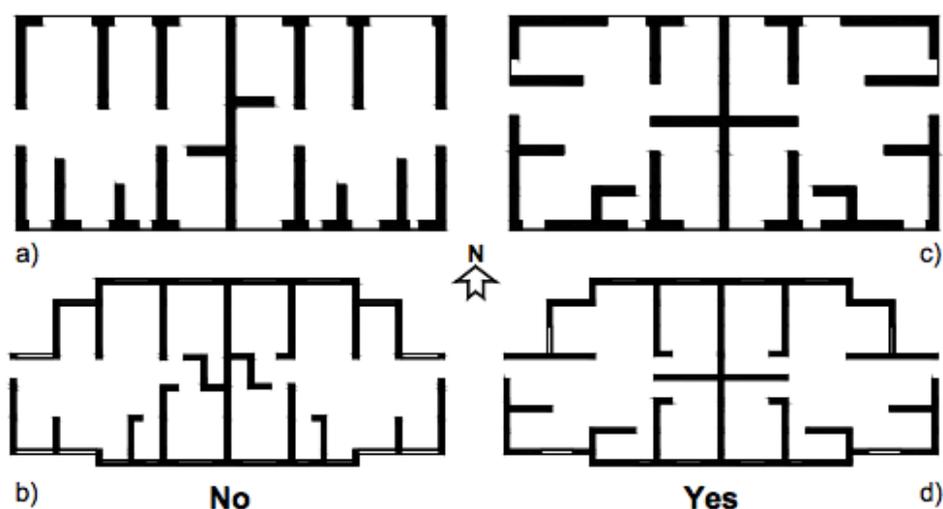
**Gambar 2.4** Bangunan dengan aspek rasio panjang x lebar  
Sumber : Meli *dkk* (2011)

- c. Dinding harus dibangun secara simetris untuk meminimalkan efek torsi. Sebagai catatan bahwa tidak selalu mungkin untuk memiliki tata letak dinding simetris yang sempurna. Pada gambar 2.5 (kanan) merupakan dinding yang tidak ideal, namun jauh lebih baik daripada tata letak dinding yang berada di sebelah kiri.



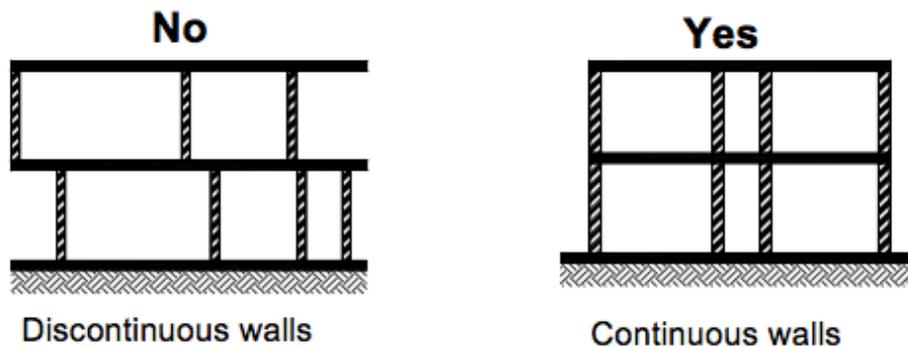
**Gambar 2.5** Tata letak dinding  
Sumber : Meli *dkk* (2011)

- d. Kinerja gaya gempa yang terjadi pada dinding bata terkekang sangat bergantung kepada ketahanan dinding gesernya sehingga sangat penting untuk memiliki jumlah dan panjang dinding yang memadai disetiap arah. Pada gambar 2.6 (a dan b) menunjukkan rencana bangunan dengan distribusi dinding yang tidak memadai. Untuk menghindari torsi (putaran) bangunan tahan gempa, dinding harus ditempatkan terpisah dan dengan jarak sejauh mungkin, sebaiknya di bagian luar bangunan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 (c dan d).



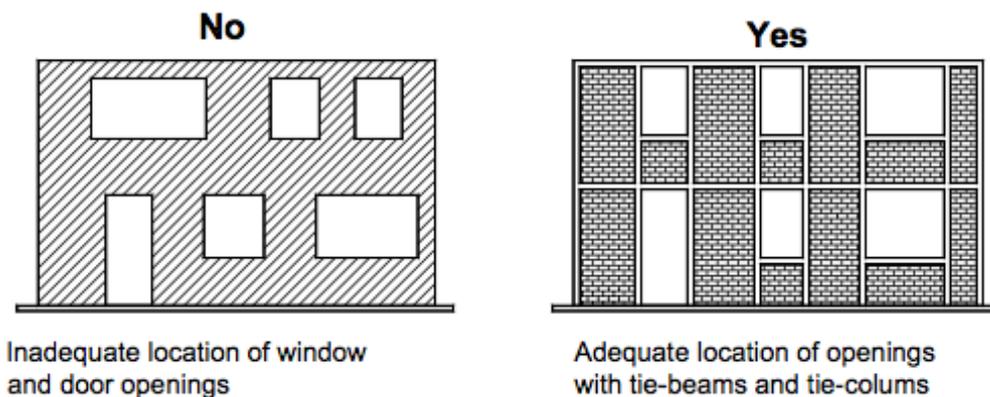
**Gambar 2.6** Distribusi dinding rencana a) dan (b) tidak memiliki dinding arah timur-barat yang cukup; c) dan d) memiliki panjang dinding N-S dan E-W yang memadai (perhatikan ada beberapa dinding yang kuat di sekeliling rencananya)  
Sumber : Meli *dkk* (2011)

- e. Dinding harus selalu ditempatkan secara terus menerus dan saling menyambung antara satu dengan yang lainnya. Gambar 2.7 (kiri) menunjukkan dinding yang berimbang sedangkan Gambar 2.7 (kanan) menunjukkan dinding yang terus menerus secara vertikal.



**Gambar 2.7** Kontinuitas dinding-dinding antar lantai (bagian vertikal)  
Sumber : Meli *dkk* (2011)

- f. Bukaan (pintu dan jendela) harus ditempatkan pada posisi yang sama di setiap lantai seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8



**Gambar 2.8** Lokasi bukaan pada bangunan  
Sumber : Meli *dkk* (2011)

### 2.5.2 Bagian-bagian dinding bata terkekang

Kepadatan dinding merupakan indikator keamanan utama untuk bangunan batu bata terkekang dengan tingkat rendah yang mengalami beban seismik dan gravitasi. Dari gempa bumi sebelum-sebelumnya menunjukkan bahwa bangunan batu bata terkekang dengan kepadatan dinding yang memadai dapat menahan dampak dari gempa besar sehingga bangunan tidak mengalami keruntuhan.

Kerapatan dinding dapat diukur melalui indeks kerapatan dinding,  $d$ , yang merupakan : (Meli *dkk*, 2011)

$$d = \frac{A_w}{A_p} \quad (2-8)$$

dengan :

$d$  = Kerapatan dinding.

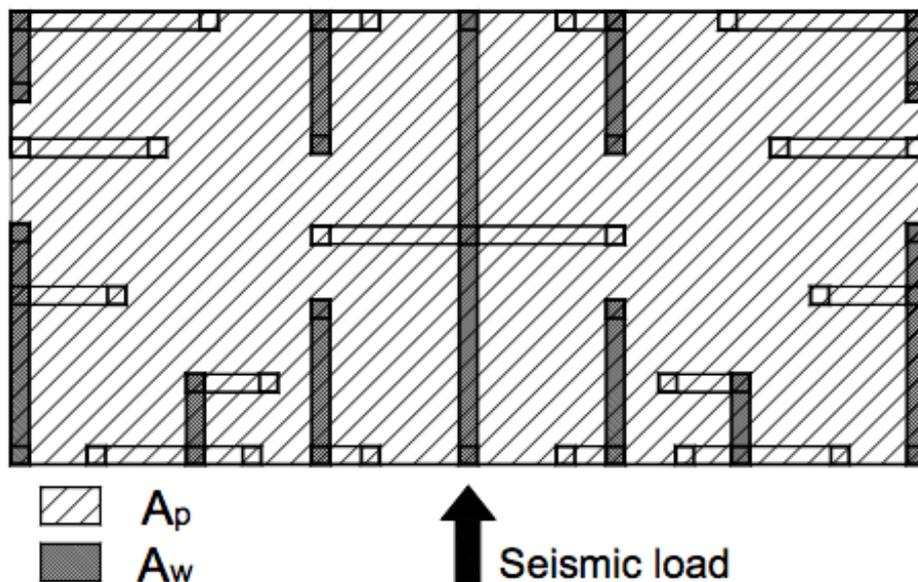
$A_w$  = Luas area dinding pada potongan denah bangunan satu arah.

$A_p$  = Luas area lantai denah bangunan.

Sebagai catatan bahwa luas penampang dinding tidak boleh dimasukkan ke dalam perhitungan  $A_w$  jika:

- Dinding dengan bukaan, dimana area bukaan pada dinding tidak terkekang lebih besar 10% dari luas permukaan dinding.
- Karakteristik dinding dengan perbandingan tinggi dan panjangnya lebih besar dari 1,5.

Nilai  $d$  harus ditentukan untuk semua arah dari rencana bangunan (longitudinal dan transversal).



**Gambar 2.9** Parameter indeks kepadatan dinding  
Sumber : Meli *dkk* (2011)

### 2.5.3 Dinding bata terkekang dengan bukaan

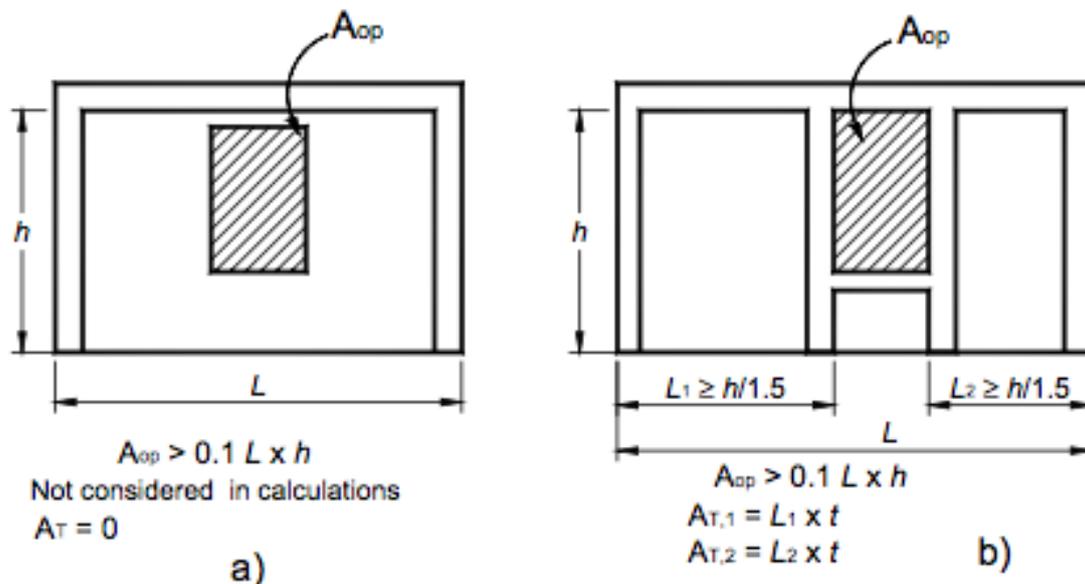
Melalui bukti dan laporan dari gempa bumi sebelumnya, adanya bukaan yang signifikan memiliki pengaruh negatif terhadap ketahanan seismik dinding batu bata

terkekang. Idealnya, elemen pengikat (kolom pengikat) harus disediakan pada sisi bukaan, tetapi hal itu tidak selalu layak untuk dilakukan. Efek bukaan pada kinerja struktur batu bata terkekang bergantung kepada ukuran dan lokasinya. Menurut (Meli *dkk*, 2011) lubang besar dianggap memiliki area yang lebih besar 10% dari area panel dinding, sementara untuk lubang kecil memiliki luas kurang dari atau sama dengan 10% area panel dinding.

Gambar 2.10 menunjukkan panel dinding bata terkekang dengan lubang besar. Berikut dua pendekatan yang dapat diikuti untuk mempertimbangkan efek dari bukaan :

- Batasan elemen (kolom pengikat) tidak disediakan pada ujung bukaan, oleh karena itu panel tidak dianggap terkekang, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10 (a) akibatnya panel tidak boleh dimasukkan ke dalam perhitungan kepadatan dinding dan kontribusinya terhadap hambatan seismik bangunan harus diabaikan.
- Batasan elemen ditentukan pada bukaan seperti yang ditunjukkan gambar 2.10 (b) dan dua panel dinding batu terkekang harus dimasukkan ke dalam perhitungan kepadatan dinding.

Perhatikan bahwa  $L$  menunjukkan panjang total panel dinding batu bata terkekang termasuk kolom pengikat,  $h$  menunjukkan tinggi dinding dan  $t$  menunjukkan ketebalan dinding.

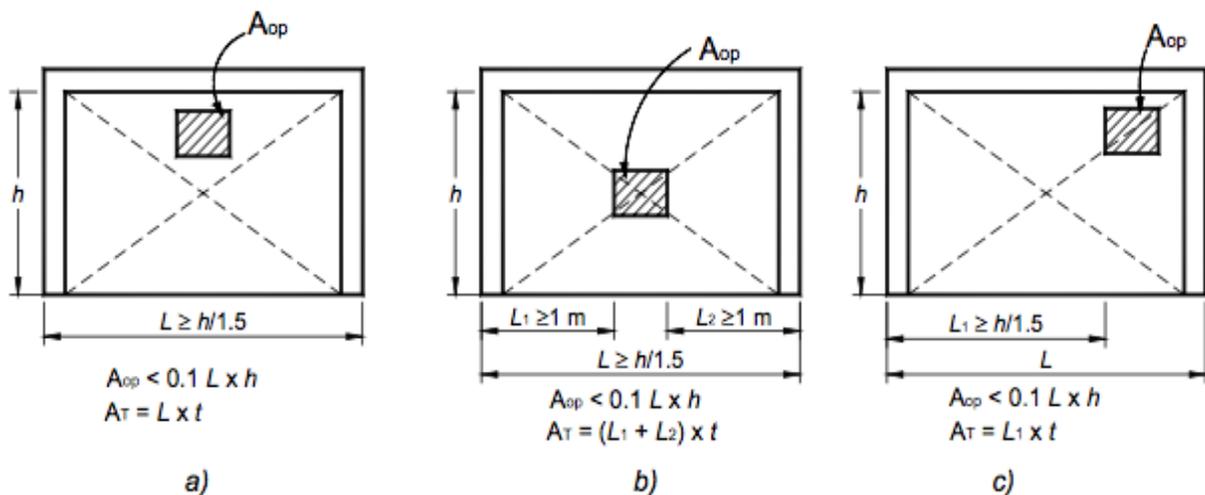


**Gambar 2.10** Dinding batu bata terkekang dengan lubang besar: a) merupakan panel tidak terkekang – tidak dimasukkan ke dalam perhitungan kepadatan dinding dan b) kolom pengikat yang tersedia pada bukaan dan dua panel dinding terkekang dapat dipertimbangkan ke dalam perhitungan kepadatan dinding.

Sumber : Meli *dkk* (2011)

Pada gambar 2.11 menunjukkan dinding batu bata terkekang dengan lubang kecil. Efek dari bukaan ini bisa dipertimbangkan ke dalam perhitungan kepadatan dinding jika :

- Bukaan dapat diabaikan bila berada diluar pamel diagonal, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11 (a) seluruh area penampang melintang dinding dapat dipertimbangkan ke dalam perhitungan kepadatan dinding (area  $A_T$ ).
- Bila bukaan terletak di persimpangan daerah diagonal (gambar 2.11 (b)), panel penampang melintang ( $A_T$ ) yang dipertimbangkan dalam perhitungan kepadatan dinding harus mengecualikan panjang bukaan.
- Bila bukaan terletak didekat salah satu ujung panel, maka panel penampang melintang ( $A_T$ ) yang dipertimbangkan ke dalam perhitungan kepadatan dinding harus menggunakan panjang kolom yang lebih besar seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11 (c).

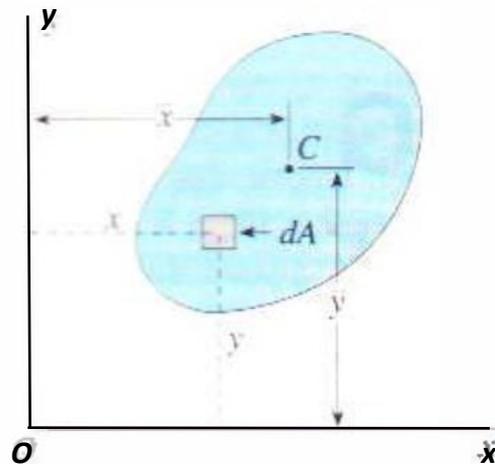


**Gambar 2.11** Panel dinding batu bata terkekang dengan lubang kecil: a) bukaan terletak di luar area diagonal dapat diabaikan; b) dan c) bukaan harus dimasukkan ke dalam perhitungan kepadatan dinding

Sumber : Meli *dkk* (2011)

## 2.5.4 Karakteristik penampang

### a. Luas penampang



**Gambar 2.12** Area bidang untuk bentuk sembarang dengan pusat berat di C  
Sumber : Gere&Timoshenko (2000)

Luas penampang didefinisikan sebagai integral dari luas elemen diferensial  $dA$ .

$$A = \int dA \quad (2-9)$$

dengan :

$A$  = Luas Penampang Keseluruhan ( $mm^2$ )

$dA$  = Luas elemen diferensial =  $dx \cdot dy$

$dx$  = Lebar elemen

$dy$  = Tinggi elemen

Koordinat  $xy$  ditentukan secara bebas dengan titik pusat  $O$  sembarang, luas penampang tidak bergantung pada letak titik pusat  $O$ .

#### a. Momen statis

Momen pertama (momen statis) dari area gambar 2.12 terhadap sumbu  $x$  dan  $y$  masing-masing didefinisikan sebagai berikut:

##### 1. Terhadap sumbu $x$ :

$$M_{sx} = \int y \cdot dA \quad (\text{in}^3 \text{ atau } mm^3) \quad (2-10)$$

##### 2. Terhadap sumbu $y$ :

$$M_{sy} = \int x \cdot dA \quad (\text{in}^3 \text{ atau } mm^3) \quad (2-11)$$

Momen statis bisa bertanda positif dan bisa bertanda negatif, tergantung pada posisi sumbu  $x, y$ . Momen statis suatu penampang sama dengan nol, bila momen statis tersebut dihitung terhadap garis netral yang melalui titik pusat berat penampang.

b. Titik Berat Penampang

Koordinat  $\bar{x}$  dan  $\bar{y}$  dari pusat berat C (Gambar 2.6) sama dengan momen pertama di bagi dengan luasnya :

$$\bar{x} = \frac{M_{sy}}{A} = \frac{\int x \cdot dA}{\int dA} \quad (2-12)$$

$$\bar{y} = \frac{M_{sx}}{A} = \frac{\int y \cdot dA}{\int dA} \quad (2-13)$$

Titik pusat berat suatu penampang dapat dinyatakan sebagai titik tangkap resultante gaya dalam arah horizontal dan vertikal atau suatu titik dimana semua berat terpusat pada titik tersebut.

c. Momen inersia penampang

Momen inersia suatu area bidang terhadap sumbu x dan y dapat didefinisikan dengan integral:

a. Momen inersia terhadap sumbu x:

$$I_x = \int y^2 dA \text{ (cm}^4\text{)} \quad (2-14)$$

b. Momen inersia terhadap sumbu y:

$$I_y = \int x^2 dA \text{ (cm}^4\text{)} \quad (2-15)$$

Kedua momen inersia ini dapat disebut juga sebagai momen inersia kartesian.

### 2.5.5 Kategori resiko gedung

Menurut SNI-1726-2012, untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$ . Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV. Berdasarkan fungsinya gedung akan di klarifikasikan sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <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 non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <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 jempu</li> </ul>	III
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</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 non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	

Sumber : SNI-1726-2012

**Tabel 2.1** Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan 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 sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Sumber : SNI-1726-2012

**Tabel 2.2** Faktor keutamaan gempa

Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI-1726-2012

**Tabel 2.3** Faktor R untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat-lebih sistem, $\Omega_0^b$	Faktor pembebanan defleksi, $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n (m)^c$				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>c</sup>	E <sup>c</sup>	F <sup>c</sup>
A. Sistem dinding penumpu	7.1.1	7.1.2	7.1.3	7.1.4	7.1.5	7.1.6	7.1.7	7.1.8
1. Dinding geser beton bertulang khusus	5	$2\frac{1}{2}$	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa	4	$2\frac{1}{2}$	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail	2	$2\frac{1}{2}$	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah	4	$2\frac{1}{2}$	4	TB	TB	12 <sup>k</sup>	12 <sup>k</sup>	12 <sup>k</sup>
6. Dinding geser pracetak biasa	3	$2\frac{1}{2}$	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	$2\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	TB	TB	48	30	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	$3\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata prategang	2	$2\frac{1}{2}$	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	$6\frac{1}{2}$	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	$6\frac{1}{2}$	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	$2\frac{1}{2}$	2	TB	10	TI	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	$3\frac{1}{2}$	TB	20	20	20	20

Sumber : SNI-1726-2012

**Tabel 2.4** 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
	> 175	> 15	> 50
SE (tanah lunak)	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m 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 6.10.1)	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		

Sumber : SNI-1726-2012

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

**Tabel 2.5** Koefisien situs,  $F_a$ 

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 0,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF			$SS^b$		

Sumber : SNI-1726-2012

**CATATAN:**

- Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier.
- SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

**Tabel 2.6** Koefisien situs  $F_v$ 

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda 1 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF			SS <sup>b</sup>		

Sumber : SNI-1726-2012

**CATATAN:**

- Untuk nilai-nilai antara  $S_1$  dapat dilakukan interpolasi linier.
- SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

**2.5.6 Parameter percepatan spektrum desain**

Parameter percepatan spektrum desain untuk periode pendek,  $S_{DS}$  dan pada periode 1 detik.  $S_{D1}$  harus ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2-16)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2-17)$$

**2.5.7 Periode fundamental pendekatan**

Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik untuk struktur dinding geser batu bata atau beton dapat diijinkan untuk ditentukan dari persamaan sebagai berikut:

$$T_a = \frac{0,0062}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (2-18)$$

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{n=1}^x \left( \frac{h_n}{h_i} \right)^2 \frac{A_i}{[1+0,83 \left( \frac{h_i}{D_i} \right)^2]} \quad (2-19)$$

dengan :

- $T_a$  = periode fundamental pendekatan.  
 $h_n$  = ketinggian struktur dari atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (m).  
 $C_w$  = faktor fundamental pendekatan.  
 $A_B$  = luas dasar struktur (m<sup>2</sup>).  
 $A_i$  = luas badan dinding geser i (m<sup>2</sup>).  
 $D_i$  = panjang dinding geser i (m).  
 $h_i$  = tinggi dinding geser i (m).  
 $x$  = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif dalam menahan gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

### 2.5.8 Spektrum respons desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spectrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu SNI-1726-2012 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_o$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_o} \right) \quad (2-20)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_o$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ .
3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

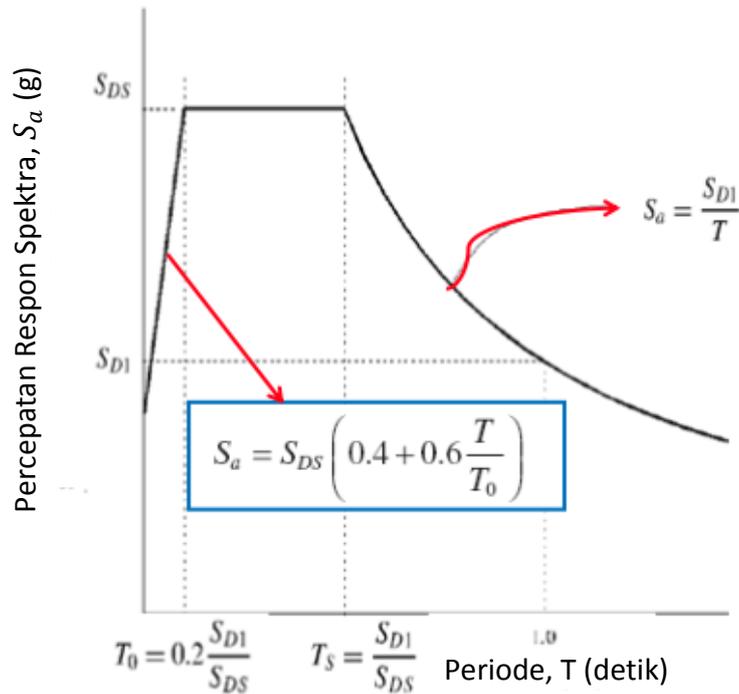
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2-21)$$

dengan :

- $S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek.  
 $S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik.  
 $T$  = perioda getar fundamental struktur.

$$T_o = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-22)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-23)$$



**Gambar 2.13** Spektrum respons desain  
Sumber : SNI-1726-2012

### 2.5.9 Geser dasar seismik

Geser dasar seismik  $V$  dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W_{\text{tot}} \quad (2-24)$$

dengan :

$C_s$  = koefisien respons seismik.

$W_{\text{tot}}$  = berat seismik efektif gedung.

Koefisien respons seismik,  $C_s$  harus ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

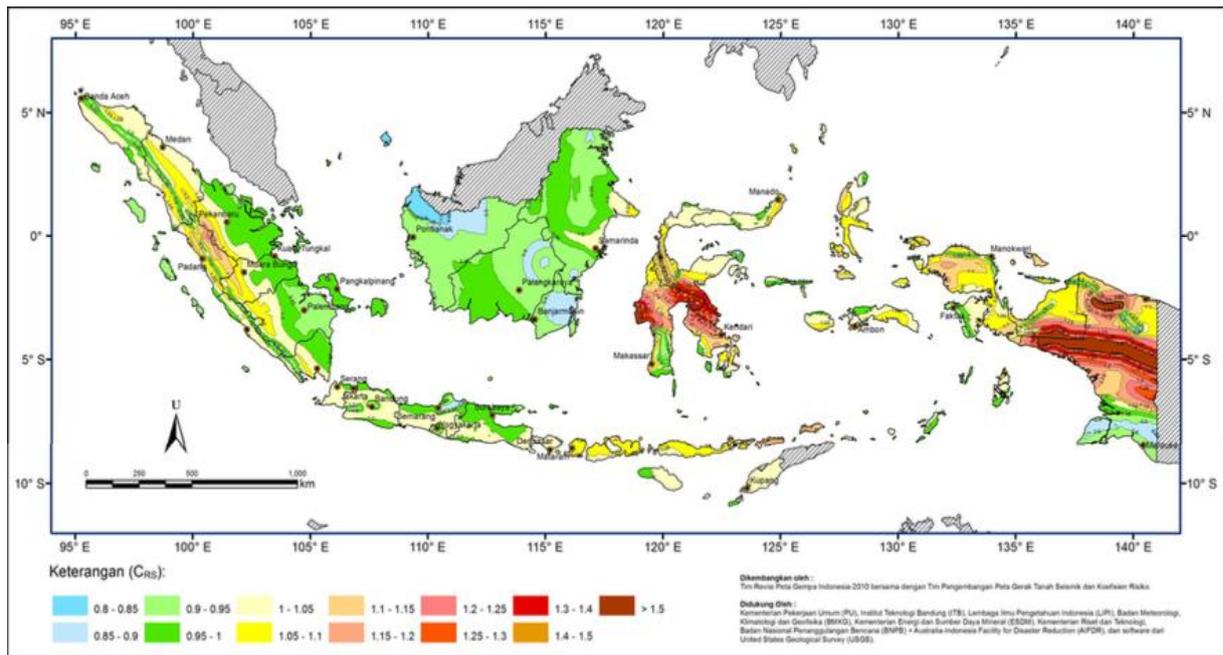
a.  $C_s$  (hitungan) =  $S_{DS} / \left( \frac{R}{I_e} \right)$  (2-25)

b. Nilai  $C_s$ , yang dihitung tidak perlu melebihi hasil persamaan berikut:

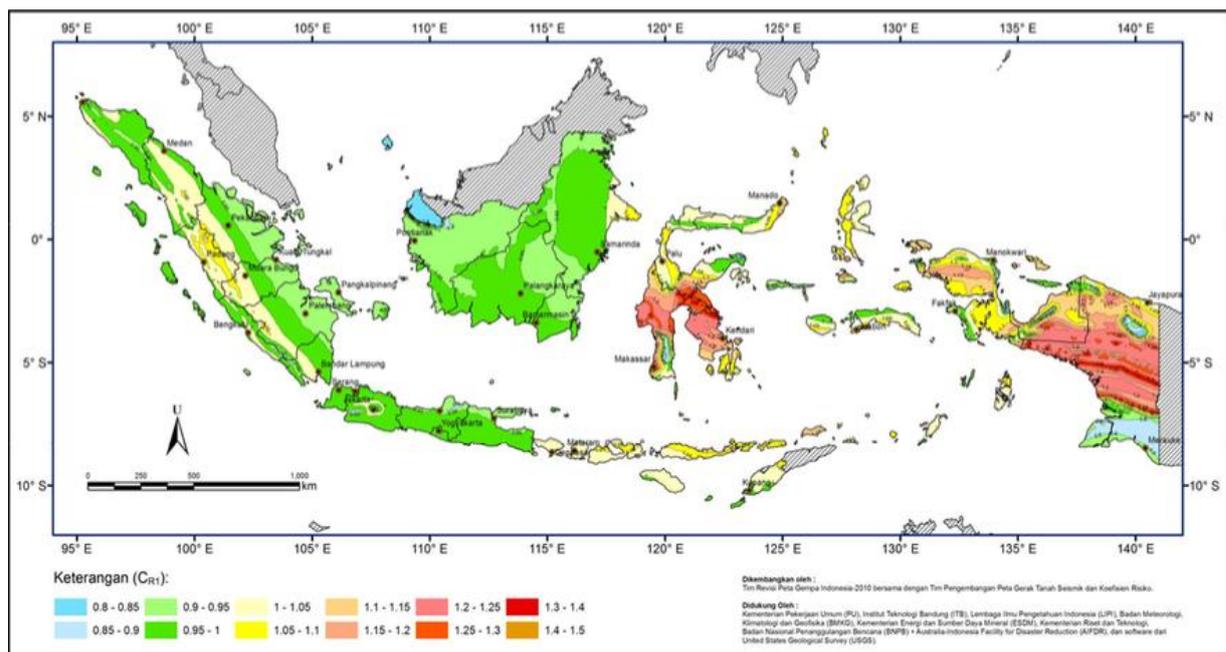
$$C_s (\text{maks}) = S_1 / \left( T \left( \frac{R}{I_e} \right) \right) \quad (2-26)$$

c. Dan juga nilai  $C_s$  yang dihitung tidak kurang dari hasil persamaan berikut:

$$C_s (\text{min}) = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \quad (2-27)$$



**Gambar 2.14**  $C_{RS}$ , Koefisien resiko terpetakan, perioda respons spektrum 0,2 detik  
Sumber : SNI-1726-2012



**Gambar 2.15**  $C_{R1}$ , Koefisien resiko terpetakan, perioda respons spektrum 1 detik  
Sumber : SNI-1726-2012

(Halaman ini sengaja dikosongkan)