

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### II. 1 Analisis Beban

##### II. 1. 1 Pengertian beban

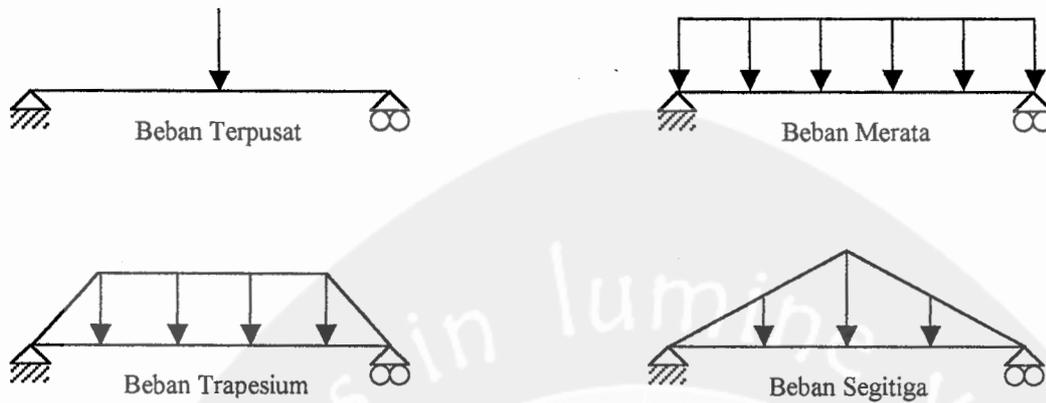
Secara umum beban diartikan suatu berat yang dihasilkan dari massa / gaya yang ditimbulkan karena pengaruh gravitasi bumi atau gerakan tertentu pada bidang yang menerimanya. Dalam Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Rumah dan Gedung 1987 menjelaskan beberapa jenis beban yang bekerja pada suatu struktur bangunan. Beban-beban tersebut adalah sebagai berikut ini.

- a. **Beban Mati** ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.
- b. **Beban Hidup** ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang

berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh ( energi kinetik ) butiran air.

- c. **Beban Angin** ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.
- d. **Beban Gempa** ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa adalah gaya-gaya dari dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.
- e. **Beban Khusus** ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan fondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

Analisis pembebanan hanya memperhitungkan pengaruh beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Ada beberapa tipe pembebanan yang bekerja pada portal struktur seperti beban terpusat, beban merata, beban trapesium, dan beban segitiga. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.1 Jenis-jenis beban

Beban-beban tersebut kemudian ditranslasikan dalam bentuk beban terpusat atau beban merata yang membebani struktur baik secara vertikal maupun horisontal.

### II. 1. 2 Kombinasi pembebanan

Struktur dan komponen struktur harus memenuhi syarat kekuatan terhadap bermacam-macam kombinasi beban sehingga kuat perlu dapat terpenuhi seperti yang tercantum dalam SK SNI T-15-1991-03. Kombinasi pembebanan tersebut adalah sebagai berikut ini.

1.  $U = 1,2D + 1,6L$
2.  $U = 1,05 (D + L_R + E)$
3.  $U = 1,05 (D + L_R - E)$
4.  $U = 0,9D + E$
5.  $U = 0,9D - E$

Dengan :

$D$  = beban mati

$L$  = beban hidup

$L_R$  = beban hidup tereduksi =  $0,6L$

$E$  = beban gempa

Beban-beban pada pelat lantai yang bekerja pada balok anak maupun balok portal biasanya didistribusikan menjadi beban segitiga maupun trapesium. Untuk memudahkan penghitungan, beban-beban tersebut diekivalenkan dengan beban merata disepanjang baloknya.

## **II. 2 Metoda Analisis Gempa**

Beban gempa merupakan beban dinamik yang nilainya merupakan fungsi dari waktu dan dapat berubah-ubah dalam waktu yang relatif pendek. Penghitungan respon struktur terhadap beban gempa dapat dihitung dengan analisis statik ekuivalen atau dengan analisis dinamik. Analisis statik ekuivalen hanya boleh dilakukan untuk struktur-struktur sederhana dan beraturan dan tidak menunjukkan perubahan yang mencolok dalam perbandingan antara berat dan kekakuan antar tingkat karena cara beban statik ekuivalen hanyalah suatu pendekatan yang meniru pengaruh dinamik dari beban sesungguhnya.

Pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung, menjadi beban-beban horisontal terpusat yang bekerja pada masing-masing tingkat lantai.

### II. 2. 1 Penghitungan distribusi gaya geser horisontal total akibat gempa sepanjang tinggi gedung

Besarnya gaya gempa yang harus diperhitungkan ditentukan dengan rumus:

$$V_x = V_y = C \cdot I \cdot K \cdot W_t \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

$$V_x = V_y = \text{Gaya gempa} / \text{gaya geser dasar total}$$

C = Koefisien gempa yang berlaku untuk wilayah tertentu dan untuk jenis tanah tertentu pula

I = faktor keutamaan

K = faktor jenis konstruksi

$W_t$  = kombinasi beban mati ditambah beban hidup yang direduksi

Koefisien K = 1 dimaksud untuk struktur dengan daktilitas penuh. Untuk jenis struktur lain, gaya gempa diperbesar dengan memberi faktor jenis konstruksi  $K > 1$ . Harga C diambil dari grafik koefisien gempa dasar dan didasarkan atas T struktur. Oleh karena itu, pengambilan T ( waktu getar alami struktur ) yang tepat menjadi sangat penting.

Untuk struktur portal beton, waktu getar alami ditentukan dengan rumus empiris :

$$T_c = 0,06 H^{3/4} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

yang mana H adalah tinggi bangunan dalam satuan meter.

Distribusi gaya geser horisontal total akibat gempa sepanjang tinggi gedung :

1. Arah X

$$F_{i,x} = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V_x[1] \dots\dots\dots (2.3)$$

2. Arah Y

$$F_{i,y} = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V_y[1] \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan :

$F_i$  = gaya geser horisontal akibat gempa pada lantai ke  $- i$

$W_i$  = berat struktur lantai ke  $- i$

$h_i$  = tinggi lantai ke  $- i$  terhadap lantai dasar

$V_{x,y}$  = gaya geser horisontal total akibat gempa untuk arah X dan Y

Sedangkan gaya geser di tingkat dasar yang diperoleh dari analisis ragam spektrum respon harus lebih besar dari 0,9 kali beban geser dasar total dari analisis statik ekuivalen ( $V_{dinamik} \geq 0,9 V_{statik}$ ).

### **II.3 Pedoman Penghitungan dan Analisis Pembebanan**

Pedoman dan peraturan yang akan digunakan dalam menyelesaikan penghitungan dan analisis adalah sebagai berikut ini.

- a Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Rumah dan Gedung, SK SNI T-15-1991-03.
- b Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, 1987.

- c Peraturan Pembebanan Indonesia, 1987.
- d Petunjuk Perencanaan Beton Bertulang dan Dinding Bertulang untuk Rumah dan Gedung, 1987.

#### II. 4 Dinding Geser

Konsep dinding geser (*shear wall*) sangat efektif untuk menahan beban lateral sudah lama dikemukakan. Jika deformasi antara portal terbuka (*open frame*) dan dinding geser dibandingkan, akan terlihat bahwa deformasi antara dua sistem tersebut berlainan. Deformasi pada portal terbuka (*open frame*) besarnya cenderung sama pada tingkat atas dan bawah. Sedangkan deformasi pada dinding geser (*shear wall*) sangat kecil di dasar dan besar di puncak.

Dinding geser pada gedung pada umumnya dihubungkan dengan portal-portal, dan tidak seperti gedung bertingkat satu, pengaruh sambungan ( pengaruh perbatasan / *boundary* ) antara dinding geser dan portal sangat besar dan kekakuannya jauh berbeda daripada dinding geser yang berdiri sendiri. Sifat-sifat lendutan (*deflection*) dapat langsung diturunkan dari lendutan dinding geser yang berdiri sendiri, dan metode penghitungan untuk dinding geser yang berdiri sendiri merupakan dasar metode penghitungan untuk dinding geser dengan pengaruh perbatasan.

Lendutan dinding geser bertingkat banyak bisa dibedakan atas deformasi lentur, deformasi geser, dan deformasi akibat rotasi pondasi. Diantara ketiga jenis deformasi ini, deformasi akibat lentur dan rotasi pondasi merupakan yang terbesar pada gedung bertingkat banyak. Karakteristik lendutan dinding berbeda jauh

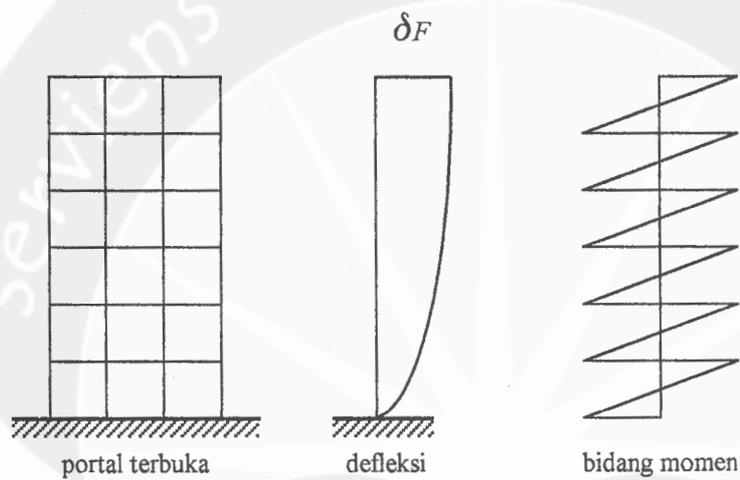
dengan karakteristik lendutan portal, dan lendutan dinding terutama dipengaruhi oleh deformasi tipe geser. Perpindahan relatif tingkat-tingkat atas suatu dinding geser jauh lebih besar daripada tingkat-tingkat bawah, sedangkan perpindahan relatif tingkat-tingkat atas dan bawah pada portal hampir sama.

Dengan demikian, pada gedung yang sesungguhnya, bila beban lateral dipikul oleh dinding geser dan portal secara bersama-sama maka bagian yang diterima oleh tingkat yang lebih atas dan yang lebih bawah akan berlainan.

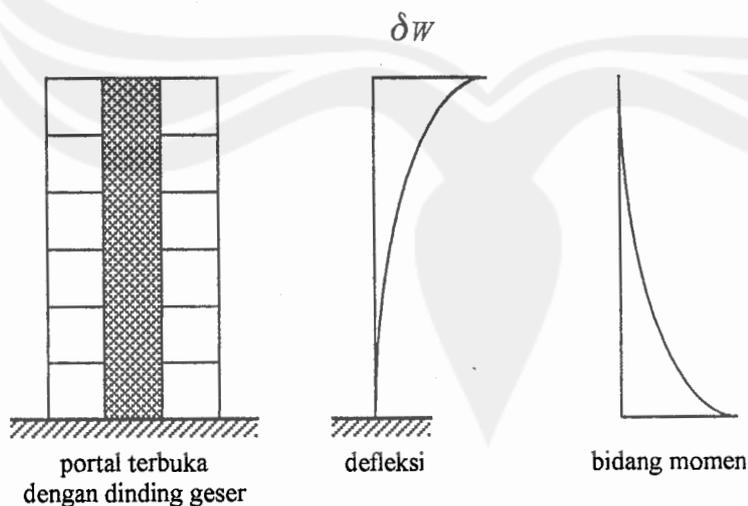
Beberapa kesimpulan yang dihasilkan ditinjau dari distribusi gaya geser pada portal dan dinding geser sebagai berikut ini. ( Muto, K., 1987 )

1. Hipotesa yang menyatakan koefisien distribusi gaya geser suatu dinding tidak berkaitan dengan letak tingkat harus ditinggalkan.
2. Koefisien distribusi gaya geser dipengaruhi oleh karakteristik ketegaran ( *rigidity* ) lentur dinding, dan umumnya gaya geser yang dipikul di tingkat-tingkat atas jauh lebih kecil. Khususnya bila dinding sangat tinggi dan langsing serta ketegaran lenturnya kecil, kapasitas pemikul gaya geser akan hilang dan pengaruh yang merugikan juga dijumpai pada beberapa kasus serta gaya geser pada kolom menjadi besar.
3. Pada beberapa kasus, struktur akan lebih efektif bila dinding geser yang kecil ( sempit ) dibatasi hanya sampai pada tingkat-tingkat tengah dan tidak diperpanjang hingga tingkat-tingkat atas.
4. Bila derajat jepitan di perletakan tidak memadai, koefisien distribusi gaya geser akan mengecil.

Koefisien distribusi dinding geser besar untuk tingkat bawah dan mengecil untuk tingkat yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh deformasi lentur, dan jika dinding geser sangat tinggi dan langsing, kecenderungan ini semakin jelas. Pada dinding geser kantilever biasa dengan tinggi sekitar 30 meter dan lebar 6 meter, kekuatan penahan pada bagian atas hampir tidak ada dan pengaruh dinding geser tidak dapat diharapkan. ( Sumber : Muto, K., 1987 )



Gambar 2.2 Defleksi dan bidang momen pada portal terbuka



Gambar 2.3 Defleksi dan bidang momen pada portal – dinding geser

Sumber : Muto, K., 1987

Kiyoshi Muto ( 1987 ) mengemukakan karakteristik dari distribusi gaya geser dari beberapa kasus dinding geser.

1. Kasus penampang dinding dan portal yang seragam dengan perletakan jepit.

Secara keseluruhan, gaya geser yang dipikul oleh dinding dan portal di perletakan sebanding dengan rasio ketegaran gesernya, tetapi semakin tinggi tingkat, rasio gaya geser yang dipikul dinding semakin berkurang, dan pada bagian yang paling atas gaya geser yang timbul berlawanan arahnya dengan gaya gempa ( disebut juga gaya geser terbalik ) dan gaya geser yang dipikul oleh kolom portal meningkat.

2. Kasus penampang dinding dan portal yang seragam dengan rotasi di dasar dinding.

Karena dasar dinding mengalami rotasi, gaya geser yang dipikul oleh dinding berkurang di semua tingkat ( dari atas sampai bawah ) dan gaya geser terbalik meningkat di bagian atas sehingga pengaruh dinding berkurang banyak.

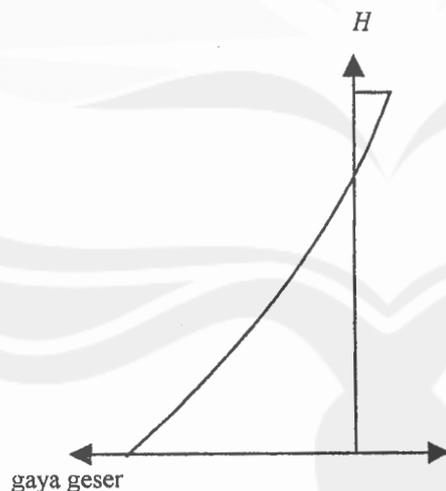
3. Kasus penampang dinding dan portal yang seragam dengan tinggi dinding yang lebih rendah dari tinggi gedung.

Bila dinding terletak di tingkat-tingkat tengah dan bawah, gaya geser terbalik tidak mungkin terjadi dan dinding memikul gaya geser dengan efektif.

4. Kasus penampang dinding seragam dan penampang portal tak seragam dengan perletakan jepit.

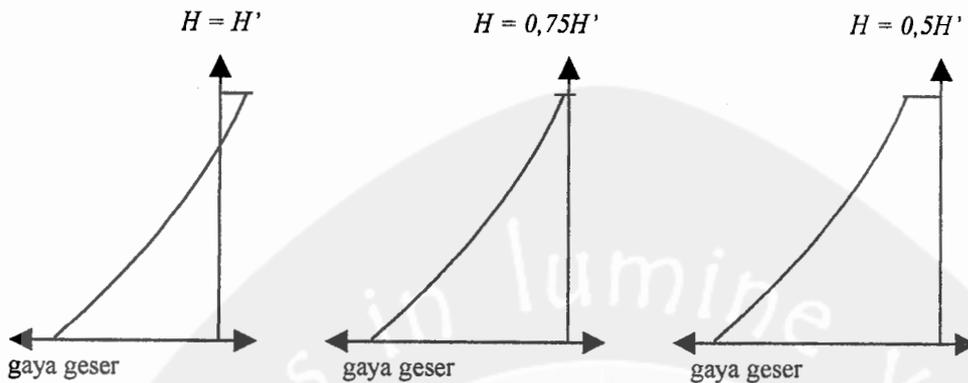
Bila kolom portal pada tingkat yang lebih tinggi semakin kecil, gaya geser terbalik akan semakin kecil karena bagian atas dinding sebanding dengan kolom yang berukuran sama dari bawah sampai ke atas.

Pada kasus pertama, kedua, dan keempat yang mana tinggi dinding geser sama dengan tinggi struktur dan sekalipun dengan beberapa kondisi perletakan yang berbeda, menunjukkan karakteristik yang sama yaitu bahwa pada tingkat-tingkat atas gaya geser yang dipikul dinding semakin berkurang, dan pada bagian yang paling atas gaya geser yang timbul berlawanan arahnya dengan gaya gempa dan gaya geser yang dipikul oleh kolom portal meningkat.



Gambar 2.4 Diagram distribusi gaya geser dengan tinggi dinding geser sama dengan tinggi struktur

Sedangkan pada kasus ketiga yang mana tinggi dinding geser lebih rendah dibanding dengan tinggi portal, menunjukkan gaya geser terbalik tidak mungkin terjadi dan dinding memikul gaya geser dengan efektif.



Gambar 2.5 Diagram distribusi gaya geser dengan tinggi dinding geser yang lebih rendah dari tinggi struktur

Dengan :

H = tinggi dinding geser

H' = tinggi struktur

## II. 5 Getaran Bebas

Permasalahan sistem yang bergetar bebas dapat diuraikan dalam beberapa persamaan berikut :

$$V = A \sin \omega t + B \cos \omega t \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

Selanjutnya dapat diperoleh defferensial tingkat pertama dan kedua,

$$V' = A \omega \cos \omega t - B \omega \sin \omega t \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

$$V'' = -A \omega^2 \sin \omega t - B \omega^2 \cos \omega t$$

$$= -\omega^2 V \quad \dots \dots \dots (2.7)$$

Nilai konstanta A dan B dapat diperoleh dari kondisi awal pada saat  $t = 0$  sebagai berikut,

Dari persamaan 2.5 didapat  $V_0 = B$

Dari persamaan 2.6 didapat  $V_0' = A \omega$  ; atau  $A = \frac{V_0'}{\omega}$

Dari persamaan 2.7 didapat  $V_0'' = -B \omega^2$  ; atau  $B = -\frac{V_0''}{\omega^2}$

Dengan memasukkan nilai-nilai A dan B tersebut ke persamaan 2.5 dan 2.6 diperoleh,

$$V = \frac{V_0'}{\omega} \sin \omega t + V_0 \cos \omega t \quad ; \text{ atau}$$

$$V = \frac{V_0'}{\omega} \sin \omega t - \frac{V_0''}{\omega^2} \cos \omega t \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Dan,

$$V' = V_0' \cos \omega t - V_0 \omega \sin \omega t \quad ; \text{ atau}$$

$$V' = V_0' \cos \omega t + \frac{V_0''}{\omega} \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Jika ditinjau lebih lanjut maka persamaan 2.8 dapat ditulis menjadi,

$$V = R \left( \frac{V_0'}{\omega} \sin \omega t + \frac{V_0}{R} \cos \omega t \right) \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Karena,  $\frac{V_0'}{\omega} = \cos \theta$  dan  $\frac{V_0}{R} = \sin \theta$  ; akan diperoleh :

$$V = R ( \cos \theta \sin \omega t + \sin \theta \cos \omega t ) \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Mengingat rumus trigonometri,  $\sin ( a + b ) = \sin a \cos b + \cos a \sin b$ , maka persamaan yang terakhir menjadi,

$$V = R \sin ( \omega t + \theta ) \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan cara yang sama, apabila pada persamaan 2.10 di substitusikan,

$$\frac{V_0'/\omega}{R} = \sin \beta \text{ dan } \frac{V_0}{R} = \cos \beta \text{ ; akan diperoleh}$$

$$V = R (\sin \beta \sin \omega t + \cos \beta \cos \omega t) \dots\dots\dots (2.13)$$

Mengingat rumus trigonometri,  $\cos (a - b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b$ , maka persamaan yang terakhir menjadi,

$$V = R \cos (\omega t - \beta) \dots\dots\dots (2.14)$$

Persamaan 2.12 dan persamaan 2.14 adalah penyelesaian sistem yang bergetar bebas tanpa redaman, dengan :

$$R = \text{amplitudo getaran} = \sqrt{V_0^2 + (V_0'/\omega)^2}$$

$$\theta = \text{arc tg} \left( \frac{V_0'}{V_0/\omega} \right)$$

$$\beta = \text{arc tg} \left( \frac{V_0'/\omega}{V_0} \right)$$

$$\omega = \text{frekuensi alami} = \sqrt{k/m}$$

$k$  = kekakuan geser tingkat

$m$  = massa bangunan

Sedangkan periode getarnya dapat diperoleh dari rumus berikut,

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \dots\dots\dots (2.15)$$

## II. 6 Metoda Analisis Struktur

Analisis struktur atas Gedung Batavia City Jakarta ini menggunakan program SAP – 90 ( *Structural Analysis Program – 90* ) versi P 5.40, *copyright* © 1978 – 1992, Edward L. Wilson. Pemodelan struktur digambarkan oleh program SAPLOT setelah program SAP – 90 dijalankan dan penggambaran model struktur secara 3 dimensi.

Pemodelan struktur dengan variasi tinggi dinding geser dilakukan pada penambahan tinggi dinding geser setiap kenaikan 3 lantai dari keseluruhan 30 lantai yang ada, dimulai dari portal tanpa dinding geser sampai dengan portal dengan dinding geser penuh. Beban lateral akibat gempa dianggap bekerja pada arah-arah utama ( memanjang dan melintang ).

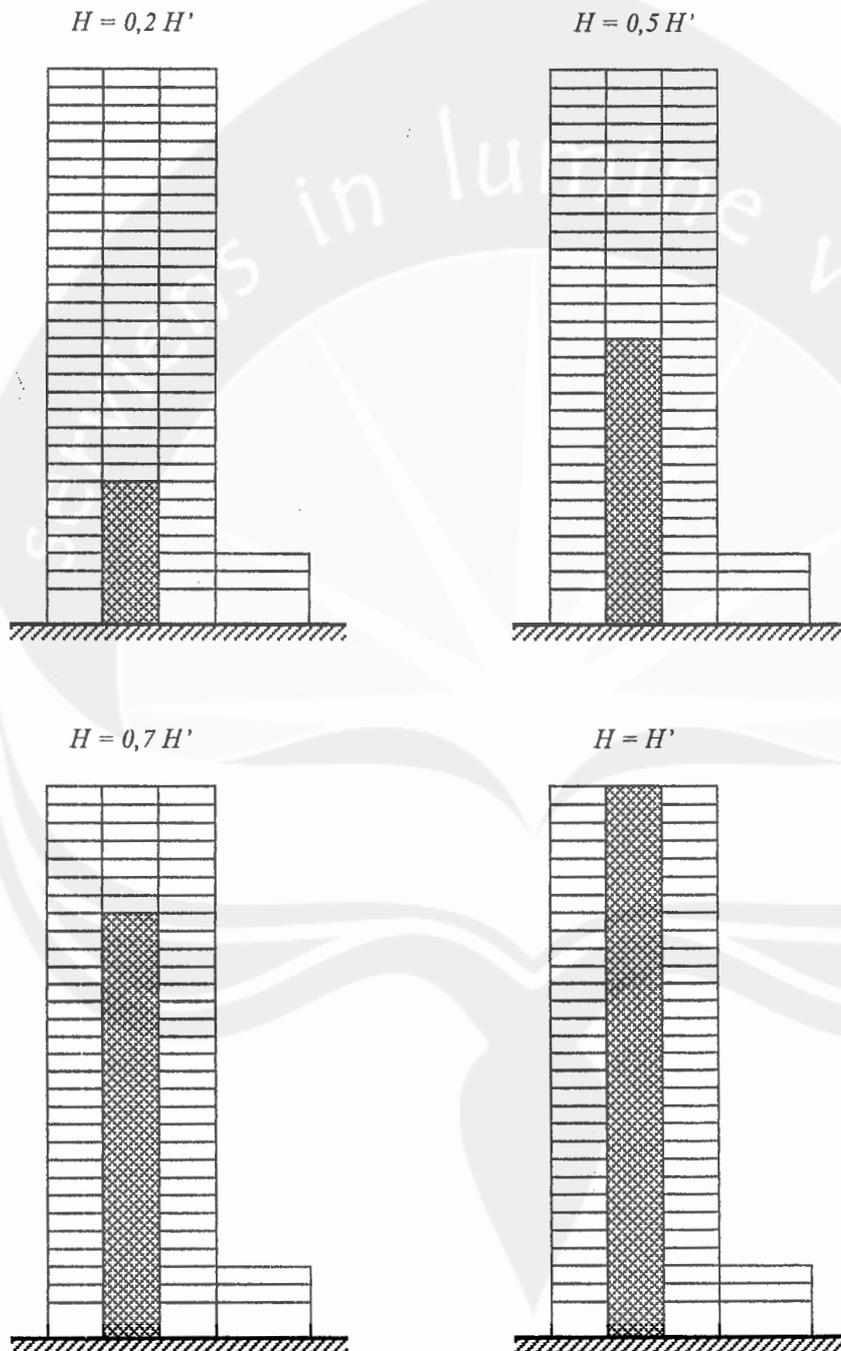
Pemodelan struktur tersebut digambarkan sebagai berikut :

Dengan :

$H$  = tinggi dinding geser

$H'$  = tinggi portal

Berikut digambarkan beberapa pemodelan struktur dengan variasi tinggi dinding geser,



Gambar 2.6 Pemodelan struktur dengan berbagai variasi tinggi dinding geser

Langkah-langkah analisis struktur adalah sebagai berikut ini.

1. Penghitungan pembebanan menurut ketentuan SK SNI T-15-1991-03 dan PPI 1987.
2. Penghitungan mekanika struktur akibat adanya gaya-gaya yang bekerja pada struktur yang meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa dengan menggunakan program SAP – 90.
3. *Output* program SAP – 90, berupa hasil hitungan struktur yang meliputi waktu getar struktur, defleksi, momen, dan gaya geser.
4. Analisis dan pembahasan perilaku struktur meliputi waktu getar struktur, *base shear reaction* dan *base moment reaction*, defleksi, gaya geser kolom, gaya geser balok, momen kolom, dan momen balok.
5. Kesimpulan tinggi dinding geser efektif.