

## BAB III

### LANDASAN TEORI

Landasan teori yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, prinsip bangunan geser, distribusi dinding geser, koefisien distribusi untuk dinding geser berlubang, simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya geser dasar dan momen guling, sebagaimana yang akan dijelaskan berikut ini.

#### 3.1 Prinsip Shear Building

Apabila suatu struktur bangunan bertingkat banyak bergoyang ke arah horisontal, maka umumnya terdapat 3 macam pola goyangan yang terjadi. Kombinasi antara kelangsingan struktur, jenis struktur utama penahan beban dan jenis bahan yang dipakai akan berpengaruh terhadap pola goyangan yang dimaksud.

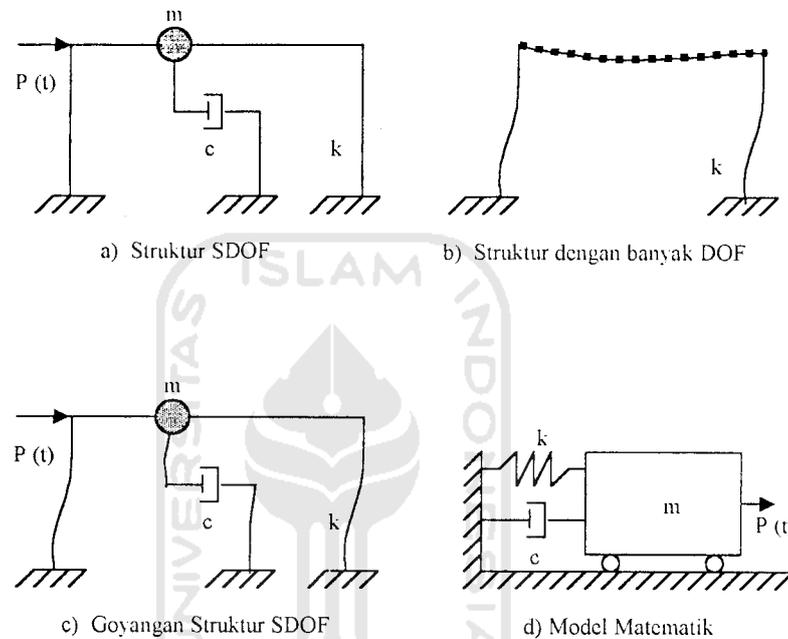
Pola goyangan yang pertama adalah bangunan yang bergoyang dengan dominasi geser (*shear mode*). Pola bangunan seperti ini akan terjadi pada bangunan bertingkat banyak dengan portal terbuka sebagai struktur utama. Secara keseluruhan bangunan seperti ini akan relatif fleksibel, sementara plat-plat lantai relatif kaku terhadap arah horisontal. Pola goyangan yang kedua adalah pola goyangan bangunan yang didominasi oleh lentur (*flexural mode*). Bangunan yang mempunyai pola goyangan seperti ini adalah bangunan yang mempunyai struktur dinding yang kaku baik pada *frame-walls* atau *cantilever wall* yang kedua-duanya

dijepit secara kaku pada pondasinya. Pola goyangan yang ketiga adalah kombinasi diantara dua pola goyangan di atas.

Pada analisis dinamika struktur pola goyangan pertamalah yang umumnya diadopsi, artinya struktur cukup fleksibel dengan lantai-lantai tingkat yang relatif kaku. Untuk sampai pada anggapan hanya terdapat satu derajat kebebasan pada setiap tingkat, maka terdapat 3 penyederhanaan sebagai berikut ini .

1. Massa struktur dianggap terkonsentrasi pada tiap lantai tingkat. Massa yang dimaksud adalah massa struktur akibat berat sendiri, beban berguna, beban hidup dan berat kolom pada  $\frac{1}{2}$  tingkat di bawah dan di atas tingkat yang bersangkutan. Massa itu semua kemudian dianggap terkonsentrasi pada satu titik (*lumped mass*) pada elevasi tingkat yang bersangkutan. Hal ini bertujuan agar struktur yang terdiri atas tak terhingga derajat kebebasan berkurang menjadi satu derajat kebebasan saja.
2. Lantai – lantai tingkat dianggap sangat kaku dibanding dengan kolom – kolomnya karena balok – balok portal disatukan secara monolit oleh plat lantai. Hal ini berarti bahwa *beam column joint* dianggap tidak rotasi sehingga lantai tingkat tetap horisontal sebelum dan sesudah terjadi penggoyangan seperti tampak pada Gambar 3.1.
3. Simpangan massa dianggap tidak dipengaruhi oleh beban aksial kolom atau deformasi aksial kolom diabaikan. Disamping itu pengaruh P-delta terhadap momen kolom juga diabaikan.

Dengan anggapan – anggapan tersebut di atas maka portal seolah – olah menjadi bangunan yang bergoyang akibat gaya lintang saja (lentur balok dianggap tidak ada) atau bangunan yang pola goyongannya didominasi oleh geser (*shear mode*) (Widodo 2000).



**Gambar 3.1.** Bangunan Dengan Perilaku *Shear Building*

### 3.2 Distribusi Dinding Geser

Interaksi dinding geser dan portal dilakukan untuk memperbesar kekakuan struktur dalam mendukung gaya pada arah horisontal . Namun karena lendutan pada dinding maupun portal memiliki karakteristik lendutan yang berbeda jauh maka perpindahan relatif tingkat yang diterima oleh struktur bagian yang lebih atas dan yang lebih bawah akan berlainan. Menurut Muto (1974), distribusi gaya

geser pada portal dan dinding tersebut bisa dijabarkan dalam kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut ini.

1. 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.
2. 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.
3. Bila derajat jepitan di perletakan tidak memadai maka koefisien gaya geser akan mengecil.

### 3.3 Koefisien Distribusi untuk Dinding Geser Berlubang

Koefisien distribusi gaya geser untuk dinding geser berlubang dihitung dengan rumus berikut yang didasarkan pada perpindahan relatif  $\delta n$  akibat gaya geser hipotesis  $Q_n$ .

$$\text{Rumus praktis } Dn = \frac{Q_n}{\delta n} \quad (3.0)$$

yang satuannya adalah  $12EK/h^2$ .

Perpindahan relatif  $\delta n$  diakibatkan oleh deformasi lentur, deformasi geser dan deformasi akibat rotasi pondasi. Untuk kasus ini, deformasi geser dinyatakan

sebagai  $\delta_F$ , yakni deformasi geser yang timbul akibat adanya lubang. Perhitungan  $\delta_F$  bervariasi sesuai dengan ukuran lubang dan karenanya metode analisa dibedakan atas metode untuk kasus lubang yang kecil dan kasus lubang yang besar.

### 3.3.1 Kasus Lubang Kecil

Deformasi geser pada dinding geser dengan lubang yang kecil bisa diperoleh dengan mengalikan deformasi geser untuk dinding geser tanpa lubang dengan suatu faktor koreksi. Bila dinyatakan dalam angka ketegaran, ketegaran geser dinding berlubang,  $D_F$ , bisa dihitung dengan mengalikan ketegaran geser dinding tanpa lubang,  $D_S$ , dengan faktor reduksi ketegaran  $\gamma$  :

$$D_F = D_S \times \gamma \quad (3.1)$$

di mana  $\gamma = 1 - 1,25p$ , merupakan faktor reduksi ketegaran akibat adanya lubang. Adapun  $p$  dapat diperoleh dari persamaan (3.2).

$$p = \sqrt{\frac{A_o}{A_w}} \quad (3.2)$$

di mana :

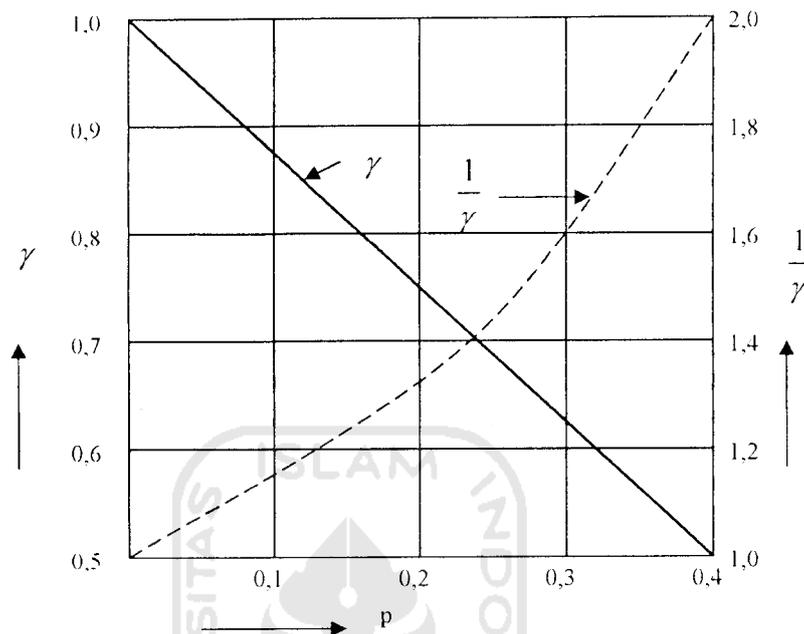
$A_o$  : luas lubang,

$A_w$  : luas bagian dinding atau luas yang dikelilingi garis as kolom dan balok.

Persamaan (3.2) hanya bisa diterapkan bila  $p < 0,4$ , bila dinyatakan dalam perpindahan relatif, persamaan yang selaras adalah :

$$\delta_F = \frac{1}{\gamma} \times \delta_S \quad (3.3)$$

Faktor  $\gamma$  dan  $\frac{1}{\gamma}$  ditunjukkan pada Gambar 3.2



**Gambar 3.2** Faktor  $\gamma$  dan  $\frac{1}{\gamma}$   
(Muto, 1974)

### 3.3.2 Kasus Lubang Besar

Bila ukuran lubang besar, sifat-sifat dinding akan mendekati sifat-sifat portal dan deformasi geser  $\delta_f$  bisa diperoleh dengan memperluas teori portal. Metode perhitungan  $\delta_f$  dari portal yang ekuivalen dan metode penentuan tegangan pada berbagai bagian portal seperti ini bisa diringkas sebagai berikut.

*Metode eksak* : Dinding berlubang dinyatakan dengan garis as kolom dinding dan balok dinding, dan diselesaikan dengan metode analisa portal yang memperhitungkan deformasi lentur, deformasi geser dan daerah tegar.

*Metode pendekatan* : Bila dinding memiliki lubang – lubang yang beraturan, metode pendekatan yang sama seperti untuk portal dinding dapat diterapkan.

### 3.4 Simpangan relatif lantai

Simpangan massa ke- $i$  atau  $Y_i$  diperoleh dengan menjumlahkan pengaruh atau kontribusi tiap-tiap mode. Kontribusi mode ke –  $i$  terhadap simpangan horisontal massa ke –  $j$  dinyatakan dalam produk antara  $\Phi_{ij}$  dengan suatu modal amplitudo  $Z_j$ .

$$Y_{ij} = \sum \Phi_{ij} \cdot Z_j \quad (3.4)$$

Dengan;  $Y_{ij}$  = Simpangan relatif lantai ke –  $i$ ,

$\Phi_{ij}$  = mode shape lantai  $i$ , mode  $j$ , dan

$Z_j$  = modal amplitudo mode  $j$ .

Nilai simpangan relatif lantai akan semakin besar untuk lantai yang lebih tinggi, hal ini sesuai dengan pola goyangan pada mode pertama.

### 3.5 Simpangan antar tingkat

Simpangan antar tingkat (*inter-story drift*) adalah simpangan yang terjadi pada tiap lantai struktur, simpangan ini dihitung dengan cara simpangan relatif lantai atas dikurangi simpangan relatif lantai di bawahnya. *Inter-story drift* sangat mungkin terjadi pada tingkat yang lemah. Terjadinya distribusi kekakuan struktur secara vertikal yang tidak merata akan menyebabkan adanya suatu tingkat yang lemah tersebut. *Inter-story drift* dapat dihitung dengan rumus,

$$\Delta Y_i(t) = Y_i(t) - Y_{i-1}(t) \quad (3.5)$$

Dengan;  $\Delta Y_i(t)$  = simpangan antar tingkat,

$Y_i$  = Simpangan relatif lantai ke  $-i$ , dan

$Y_{i-1}(t)$  = Simpangan relatif lantai ke  $-(i-1)$ .

### 3.6 Gaya geser dasar

Gaya horisontal lantai atau gaya lantai maksimum yang bekerja pada suatu massa ke  $-i$  sebagai akibat dari mode ke  $-j$  dapat dicari yaitu :

$$F_i = k \cdot y_i \quad (3.6)$$

Dengan;  $F_i$  = Gaya lantai ke  $-i$ ,

$k$  = kekakuan total kolom,

$y_i$  = simpangan relatif tingkat ke  $-i$

Gaya geser tingkat ke  $-i$  dapat dicari dengan rumus,

$$S_i = -\left( \sum_i^n F_i \right) \quad (3.7)$$

Dengan;  $S_i$  = Gaya geser tingkat ke  $-i$ ,

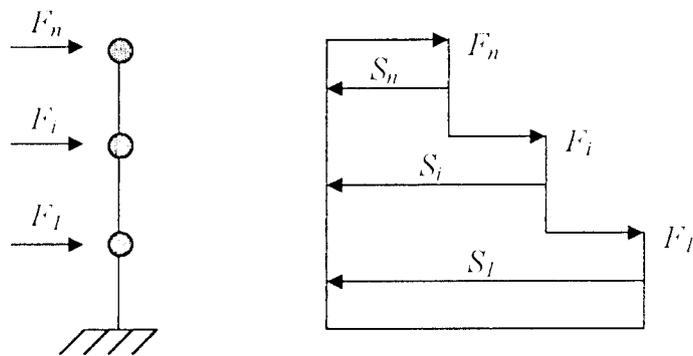
$F_i$  = Gaya horisontal massa ke  $-i$ .

Sedangkan gaya geser dasar merupakan penjumlahan dari gaya lantai tetapi arahnya berlawanan. Gaya geser dasar dicari dengan rumus,

$$S_l = -\left( \sum_{i=1}^n F_i \right) \quad (3.8)$$

Dengan;  $S_l$  = Gaya geser dasar,

$F_i$  = Gaya horisontal massa ke  $-i$ .



**Gambar 3.3.** Model Struktur Gaya geser

Keterangan :

$$S_n = F_n$$

$$S_i = F_n + F_i$$

$$S_l = F_n + F_i + F_l$$

$S_l$  Gaya geser dasar.

### 3.7 Momen Guling

Momen guling didapat dengan mengalikan gaya lantai yang terjadi pada setiap tingkat ( $F_i$ ) dengan tinggi lantai ( $h_i$ ), maka,

$$M_i = \sum_{k=i}^n F_k \cdot (h_k - h_{(k-1)}) \quad (3.9)$$

Dengan;  $M_i$  = Momen guling lantai ke- $i$ ,

$F_k$  = Gaya horisontal lantai ke- $k$ ,

$h_k$  = elevasi lantai ke- $k$  terhadap dasar bangunan,

$h_{(k-1)}$  = elevasi lantai ke- $(k-1)$  terhadap dasar bangunan,

$h_0 = 0$ .

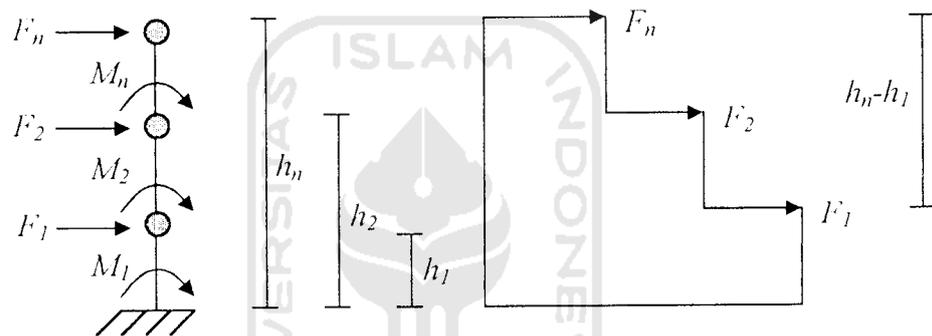
Sedangkan momen guling dasar dapat dicari dengan rumus,

$$M_I = \sum_{k=1}^n F_k \cdot h_k \quad (3.10)$$

Dengan;  $M_I$  = Momen guling dasar,

$F_k$  = Gaya horisontal lantai ke- $k$ ,

$h_k$  = elevasi lantai ke- $k$  terhadap dasar bangunan.



Gambar 3.4. Model Struktur Momen guling

Keterangan :  $M_I = F_1 \cdot h_1 + F_2 \cdot h_2 + F_n \cdot h_n$

$$M_2 = F_2 \cdot (h_2 - h_1) + F_n \cdot (h_n - h_1)$$

$$M_n = F_n \cdot (h_n - h_{(n-1)})$$

$M_I$  = Momen guling dasar.

### 3.7 Resonansi

Beban dinamik akan mengakibatkan respon atau simpangan yang lebih besar daripada simpangan statik ( $Y_{st}$ ). Persamaan differensial suatu massa SDOF tanpa redaman dengan beban harmonik sederhana dinyatakan dalam bentuk :

$$Y(t) = \frac{P_0}{k} \cdot \frac{1}{1-r^2} \{ \sin(\Omega t) - r \sin(\omega t) \} \quad (3.11)$$

$$\text{Dengan } r = \frac{\Omega}{\omega}$$

*Dynamic Load Factor (DLF)* merupakan suatu perbandingan antara simpangan akibat beban dinamik  $Y(t)$  dan simpangan akibat beban static  $Y_{st}$  pada saat tertentu, maka nilai *DLF* adalah suatu nilai yang berada dibelakang simpangan statik. Persamaan (3.11) dapat menjadi :

$$y(t) = y_{st} DLF \quad (3.12)$$

$$\text{dengan } DLF = \frac{1}{|1-r^2|} \{ \sin(\Omega t) - r \sin(\omega t) \} \quad (3.13)$$

Pada persamaan (3.11) tersebut bahwa respon struktur akan dipengaruhi oleh frekuensi beban dinamik ( $\Omega$ ) dan frekuensi sudut ( $\omega$ ) dari struktur yang bersangkutan. Apabila frekuensi sudut beban sama dengan frekuensi sudut struktur, maka penyebut pada persamaan (3.11) akan sama dengan nol, sehingga secara teoritik respon struktur akan menjadi tak terhingga. Kondisi seperti itu umumnya dinamakan peristiwa resonansi. Sesuatu yang memberikan indikasi

adalah tingkat kedekatan frekuensi, semakin dekat antara dua frekuensi tersebut maka respon struktur akan semakin besar dan sebaliknya.

Plot hubungan antara *Dynamic Load Factor (DLF)* dan rasio frekuensi  $r$  disajikan pada gambar 3.5. Pada gambar tersebut tampak bahwa nilai *DLF* akan besar sekali pada nilai rasio frekuensi yang mendekati satu, hal ini sesuai prinsip resonansi seperti yang dibahas sebelumnya. Juga terlihat bahwa nilai *DLF* akan semakin kecil jika nilai rasio frekuensi menjauhi satu.

