

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Beton Bertulang

Beton bertulang (*reinforced concrete*) merupakan kombinasi antara beton dan baja sebagai tulangan. Beton tahan terhadap kuat tekan yang tinggi, tetapi kuat tariknya sangat lemah. Sementara tulangan baja dapat menahan gaya tarik dan geser. Penggunaan kedua material tersebut pada suatu struktur bangunan memungkinkannya untuk menahan gaya tekan, tarik, dan geser sekaligus sehingga struktur menjadi lebih kuat dan aman.

##### 2.1.1 Jarak Tulangan dan Selimut Beton untuk Beton Bertulang

Dalam mendesain struktur beton bertulang, jarak antar tulangan sering dipengaruhi oleh jumlah tulangan yang digunakan. Ketika tulangan yang digunakan sedikit, maka dapat mendesain jarak antar tulangan yang renggang, sebaliknya jika tulangannya banyak, maka jaraknya menjadi rapat. Bila jarak antar tulangan sangat rapat, maka campuran beton basah belum tentu seluruhnya dapat melewati tulangan baja tanpa terjadi pemisahan material. Pada umumnya, kandungan agregat untuk beton struktural berisi agregat kasar berukuran 0.75 inch (diameter 19 mm) sehingga diperlukan jarak antar tulangan minimal dan selimut beton minimal. Selain itu, selimut beton minimal diperuntukkan untuk melindungi tulangan dari karat dan kehilangan kekuatannya ketika terjadi kasus kebakaran. Maka beberapa peraturan mensyaratkan tebal selimut beton minimal yang diperlukan. Beberapa persyaratan utama pada peraturan adalah:

1. Jarak bersih antar tulangan paralel dalam satu acuan tidak boleh kurang dari  $d_b$  atau 1 inch (25,4 mm).
2. Jarak bersih antar tulangan memanjang tidak boleh kurang dari  $1,5 d_b$  atau 1,5 inch (38,1 mm).
3. Tebal selimut beton minimum untuk balok dan dinding geser yang dicor di tempat tidak boleh kurang dari 1,5 inch (38,1 mm) bila tidak berhubungan langsung dengan udara luar maupun tanah; persyaratan ini berlaku juga untuk sengkang, sengkang miring, dan spiral.

##### 2.1.2 Pengekangan Beton

Pengekangan pada beton mempengaruhi besarnya mutu beton itu sendiri. Beton yang tidak diberikan pengekangan (*unconfined*) dan beton yang diberikan pengekangan

(*confined*) memiliki perbedaan pada mutu beton. Tujuan pemasangan sengkang adalah meminimasi ukuran retak tarik diagonal atau untuk memikul tegangan tarik diagonal dari satu sisi retak ke sisi retak lainnya. Sangat sedikit tarik yang dipikul oleh sengkang sampai setelah retak mulai terbentuk. (McCormac. 2000)

Pengekangan pada inti penampang dinding geser (*concrete core*) yang diakibatkan adanya tulangan horizontal berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan tekan beton pada daerah terkekang dalam menerima kuat tekan secara aksial. Perbandingan jarak antar tulangan horizontal terhadap inti penampang dinding geser (*concrete core*) daerah terkekang merupakan salah satu variabel yang berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan dinding geser.

Dengan adanya dinding geser dengan pengekangan yang diakibatkan karena tulangan tulangan horizontal sangat berpengaruh sekali terhadap ketahanan struktur yang direncanakan, sehingga dinding geser tersebut memiliki kekuatan yang lebih besar dan pada penampang dinding geser lebih dapat menerima gaya aksial yang lebih besar.

### **2.1.3 Syarat Penulangan Tulangan Horizontal Dinding Geser**

Berdasarkan SK SNI 03-2847- 2002, persyaratan penulangan tulangan horizontal untuk dinding geser harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Semua batang tulangan non-pratekan harus diikat dengan sengkang dan ikat lateral, paling sedikit ukuran D-10 untuk tulangan vertikal lebih kecil dari D-32, dan palin tidak D-13 untuk tulangan D-36, D-44, D-56, dan *bundle* tulangan vertikal. Sebagai alternatif, boleh juga digunakan kawat ulir atau jaringan kawat las dengan luas penampang ekuivalen.
2. Spesi vertikal sengkang dan sengkang ikat tidak boleh melebihi 16 kali diameter ukuran tulangan vertikal, 48 kali diameter batang atau kawat sengkang dan kait ikat, atau ukuran terkecil dari komponen struktur tersebut.
3. Sengkang dan kait ikat harus diatur sedemikian hingga setiap sudut dan tulangan vertikal yang berselang harus mempunyai dukungan lateral yang didapat dari sudut sebuah sengkang atau kait ikat yang sudut dalamnya tidak lebih dari  $135^\circ$ , dan tidak boleh ada batang tulangan yang jarak bersihnya lebih dari 150 mm pada setiap sisi sepanjang sengkang atau sengkang ikat terhadap batang tulangan yang didukung secara lateral. Jika tulangan vertikal terletak di sekeliling perimeter suatu lingkaran, maka sengkang berbentuk lingkaran penuh dapat dipergunakan.

4. Sengkang dan sengkang ikat di atas pondasi atau lantai pada tiap tingkat harus diletakkan secara vertikal tidak lebih dari  $\frac{1}{2}$  jarak spasi sengkang dan sengkang ikat, sedangkan di bawah tulangan horizontal terbawah dari panel atau drop panel yang berada di atas harus berjarak tidak lebih dari  $\frac{1}{2}$  jarak spasi sengkang.

5. Jika terdapat balok atau konsol pendek yang menyatu pada keempat sisi suatu dinding geser, sengkang dan kait ikat boleh dihentikan tidak lebih dari 75 mm di daerah tulangan terbawah dari balok atau konsol pendek yang paling kecil dimensi vertikalnya.

## 2.2 Dinding Geser

Dinding geser merupakan suatu dinding struktural pada gedung yang memiliki fungsi utama untuk dapat menahan gaya geser atau lateral akibat pengaruh gempa. Keruntuhan pada dinding geser disebabkan oleh momen lentur bukan oleh gaya geser yang terjadi sendi plastis pada kaki dinding (SNI 03-1726-2002).

Semakin tinggi suatu gedung, simpangan horizontal yang terjadi akibat gaya lateral akan semakin besar. Dinding geser menjadi alternatif pada gedung tinggi untuk meningkatkan kekakuan pada struktur bangunan sehingga dapat mengurangi simpangan yang terjadi. Fungsi lain dari penggunaan dinding geser adalah untuk mereduksi momen yang diterima oleh struktur rangka akibat gaya lateral sehingga dimensi struktur rangka pada bangunan tinggi dapat dibuat lebih efisien.

Gaya lateral yang terjadi pada suatu gedung akibat beban gempa maupun angin akan disebar melalui struktur lantai yang berfungsi sebagai diafragma horizontal yang kemudian akan ditahan oleh dinding geser karena memiliki kekakuan yang besar untuk menahan gaya lateral (Shueller, 1989). Dinding geser dapat dianggap sebagai balok yang tebal karena kakuannya dan kemampuannya berinteraksi terhadap gaya lateral serta lentur dalam menahan gaya lateral, torsi, dan momen guling tergantung dari konfigurasi geometri, orientasi, dan lokasi dinding geser pada suatu bangunan.

Pada dinding geser, banyaknya tulangan harus dikontrol agar dinding geser dapat berperilaku duktail. Apabila beban pada dinding geser bertambah, maka akan timbul retak-retak pada daerah yang bertepatan dengan lokasi-lokasi tulangan horizontal, saat dalam keadaan batas keruntuhan, selimut beton di luar tulangan horizontal akan terlepas. Jika beban terus bertambah akan terjadi keruntuhan dan tekuk lokasi tulangan memanjang pada panjang yang tak tertumpu oleh tulangan horizontal. Sehingga dapat dikatakan bahwa dalam keadaan

batas keruntuhan, selimut beton akan terlepas lebih dahulu sebelum lekatan baja-beton hilang.

### 2.2.1 Jenis Dinding Geser

Jenis dinding geser berdasarkan letak dan fungsinya yaitu :

1. Bearing walls adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.
2. Frame walls adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris dinding geser.
3. Core walls adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam gedung, yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terletak di kawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan ekonomis.

### 2.3 Parameter yang Mempengaruhi Perilaku Dinding Geser

Beberapa hal sebagai parameter yang mempengaruhi kekuatan dan deformasi dari dinding geser adalah: rasio beban aksial, aspek rasio, rasio tulangan vertikal, dan rasio tulangan melintang.

#### 2.3.1 Rasio Beban Aksial ( $n$ )

Rasio beban aksial merupakan perbandingan antara beban aksial terhadap kapasitas beban dukung aksialnya  $A_g f'_c$  sebagai berikut:

$$n = \frac{P}{A_g f'_c} \quad (2-1)$$

Beban tekan aksial pada umumnya mengurangi kapasitas keruntuhan daktilitas karena peningkatan kedalaman daerah tekan pada struktur. Hal tersebut dapat menyebabkan peningkatan keruntuhan leleh dan penurunan keruntuhan ultimit. Tingginya beban aksial dapat mengurangi kekuatan dan daktilitas dinding geser, namun di sisi lain dapat meningkatkan kekuatan geser dinding geser. Peningkatan kekuatan geser pada dinding geser tersebut terjadi karena beban aksial dapat membuat dinding geser lebih kaku yang menghasilkan penundaan retak dan peningkatan efek *shear friction*.

#### 2.3.2 Aspek Rasio ( $\alpha$ )

Aspek rasio ( $\alpha$ ) merupakan perbandingan panjang dinding geser dengan tinggi penampang dinding geser seperti yang diberikan oleh:

$$\alpha = \frac{L}{D} \quad (2-2)$$

Dimana:

L = panjang bentang geser dinding geser

D = tinggi penampang dinding geser

Aspek rasio dapat digunakan sebagai indikator untuk perilaku runtuhnya perkuatan dinding geser beton akibat beban lateral. Jika aspek rasio meningkat, keuletan meningkat dan perilaku kegagalan berganti dari mode ke mode. Peningkatan nilai aspek rasio dapat meningkatkan daktilitas.

### 2.3.3 Rasio Tulangan Vertikal ( $\rho_v$ )

Rasio tulangan vertikal ( $\rho_v$ ) merupakan perbandingan dari luas total tulangan vertikal dengan luas efektif pada beton. Ditunjukkan sebagai berikut:

$$\rho_v = \frac{A_s}{b D} \quad (2-3)$$

Dimana:

$A_s$  = luas total tulangan vertikal

b = lebar dinding geser

D = tinggi penampang dinding geser

Tulangan vertikal (tulangan memanjang) yang dikenal juga sebagai tulangan lentur memiliki fungsi utama untuk menahan gaya lentur. Oleh karena itu, jumlah dan luas tulangan vertikal pada suatu struktur dapat berpengaruh terhadap kekuatan struktur tersebut dalam menahan gaya lentur. Di sisi lain, kegagalan menahan beban lateral tergantung pada kekuatan lentur suatu struktur.

### 2.3.4 Rasio Tulangan Horizontal ( $\rho_h$ )

Tulangan horizontal (senggang) adalah tulangan yang memiliki fungsi utama untuk menahan geser, karena fungsi tersebut tak jarang tulangan horizontal disebut sebagai tulangan geser. Rasio tulangan horizontal adalah suatu perbandingan khusus yang memiliki banyak defini tentang tulangan horizontal. Berikut ini adalah dua jenis rasio tulangan horizontal yang sering digunakan pada penelitian-penelitian :

a. Rasio Volumetrik : merupakan rasio antara volume tulangan horizontal dengan volume inti beton yang diukur hingga di bagian luar tulangan horizontal. Peneliti yang menggunakan rasio volumetrik adalah Park dan Paulay (1975)

$$\rho_h = \frac{A_v(2b_s+2h_s)}{b_h h_h s} \quad (2-4)$$

Dimana:

$A_v$  = luas penampang tulangan horizontal

$b_s$  dan  $h_s$  = dimensi terhadap garis tengah tulangan horizontal

$b_h$  dan  $h_h$  = dimensi inti beton diukur ke bagian luar tulangan horizontal

b. Rasio luas: merupakan rasio antara luas penampang tulangan horizontal dengan luas penampang beton yang tegak lurus dengan arah beban lateral

$$A_{v.min} = \frac{0.35 b_v s}{f_{sy}} \quad (2-5)$$

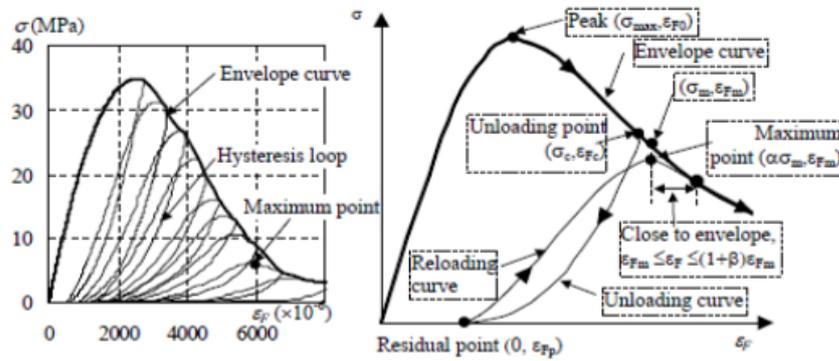
Dimana:

$b_v$  = lebar efektif pada web untuk geser ( $b_w - \Sigma d_d$ )

## 2.4 Beban Siklik

Beban siklik merupakan beban berulang yang diterima oleh suatu struktur dan berpotensi menyebabkan fraktur kelelahan (*fatigue*). Kegagalan struktur juga bisa disebabkan oleh beban siklik yang terjadi, meskipun desain awal struktur memiliki kekuatan yang memenuhi persyaratan yang ditentukan. Kegagalan *fatigue* yang merupakan fenomena dimana beton pecah ketika mengalami beban berulang pada tegangan lebih kecil daripada kekuatan tekan maksimum dan kekuatan *fatigue* yang didefinisikan sebagai kekuatan yang dapat didukung untuk sejumlah siklus tertentu. Kekuatan *fatigue* dipengaruhi oleh berbagai pembebanan, tingkat pembebanan, *load history*, dan sifat material. (Al-Sulayfani & Al-Tae, 2008)

Pada struktur dinding geser, beban aksial merupakan representatif dari berat sendiri dan beban siklik merupakan beban luar yang terjadi berulang, misalkan beban gempa. Beban aksial dan siklik ini akan bekerja secara bersamaan pada struktur dinding geser.



Gambar 2.1 Hysteresis Loop  
 Sumber : Parmo, dkk. 2013

Untuk memprediksi perilaku struktur beton dibawah pembebanan seismik, model tegangan-tegangan beton dibawah beban siklik (*hysteresis loop*) adalah hal yang penting untuk diamati. (Watanabe at. All) Selain itu, tingkat pembebanan dan jumlah siklus sangat mempengaruhi respon tegangan-regangan beton. Seperti dinyatakan dalam model Mander dkk. (1988) untuk beton terkekang. (Saadatmanesh at. All, 1994)

Dari gambar 2.1 dapat dilihat bahwa : *unloading point* adalah titik dimana *unloading* dimulai, *residual point* adalah titik ketika *unloading* penuh (tegangan mencapai nol), dan *maximum point* adalah persimpangan *unloading point* dengan *unloading curve*. (Al-Sulayfani & Al-Tae, 2008) Unloading curve ( $\sigma, \epsilon_{Fu}$ ) adalah jika nilai  $\epsilon_F$  di wilayah pasca-puncak berkurang dengan tegangan ( $\sigma$ ) : antara *unloading point* ( $\sigma_c, \epsilon_{Fc}$ ) dan *residual point* ( $0, \epsilon_{Fp}$ ) (tegangan mencapai 0 kN). Setelah benar-benar *unloading* diturunkan sampai nol, tegangan dan regangan meningkat lagi dari *residual point*. Kemudian, pendekatan ke *maximum point* ( $\alpha\sigma_m, \epsilon_{Fm}$ ) yang disebut *reloading curve* ( $\sigma - \epsilon_{Fr}$ ). Titik akhir dari *reloading curve* dan titik awal *unloading curve* disebut *envelope curve*. (Watanabe at. All)

**2.5 Perpindahan (Displacement)**

Saat dinding geser memperoleh beban lateral maka akan terjadi perpindahan sebagian komponen struktur dari kondisi awal. Secara umum terdapat 3 jenis perpindahan akibat beban lateral, yaitu perpindahan lentur, perpindahan saat leleh, dan perpindahan geser. Sedangkan rumus untuk perpindahan total adalah sebagai berikut.

$$\Delta = \Delta_{fl} + \Delta_y + \Delta_{sh} \tag{2-6}$$

Keterangan :

$\Delta$  = Perpindahan total

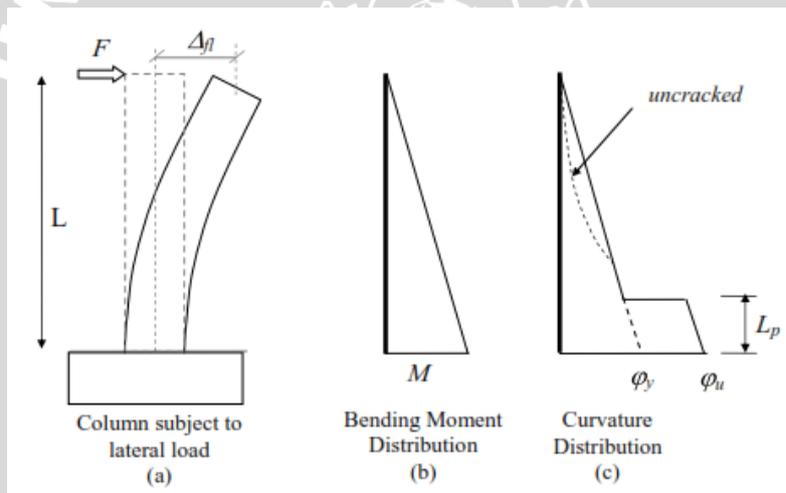
$\Delta_{fl}$  = Perpindahan lentur

$\Delta_y$  = Perpindahan saat leleh

$\Delta_{sh}$  = Perpindahan geser

### 2.5.1 Perpindahan Lentur ( $\Delta_{fl}$ )

Pada saat terjadi perpindahan lentur terdapat dua tahap perpindahan yang dialami oleh suatu struktur yaitu perpindahan elastis dan plastis. Perpindahan elastis terjadi jika struktur diberi beban lateral dan akan terjadi *displacement* namun masih dapat kembali ke bentuk semula, sedangkan perpindahan plastis terjadi saat beban lateral terus diberikan dan terjadi *displacement* hingga struktur berubah bentuk dan tidak dapat kembali ke bentuk asalnya. Pada saat terjadi perpindahan plastis akan muncul sendi plastis pada daerah pertemuan antara dinding geser dengan balok dengan panjang plastis yang dapat dianalisa.



Gambar 2.2 Perpindahan Lentur

Sumber : Wibowo (2012 : 22)

Estimasi perpindahan lentur bisa didapatkan dengan mengidealisasi-kan distribusi kelengkungan pada daerah elastis dan plastis.

$$\Delta_{fl} = \Delta_{fe} + \Delta_{fp} \quad (2-7)$$

Keterangan :

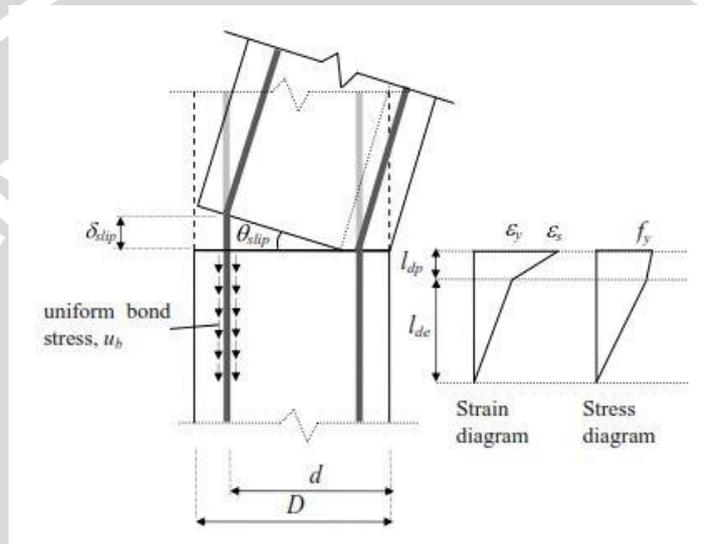
$\Delta_{fl}$  = Perpindahan lentur

$\Delta_{fe}$  = Perpindahan lentur elastis

$\Delta_{fp}$  = Perpindahan lentur plastis

### 2.5.2 Perpindahan Penetrasi Leleh ( $\Delta_y$ )

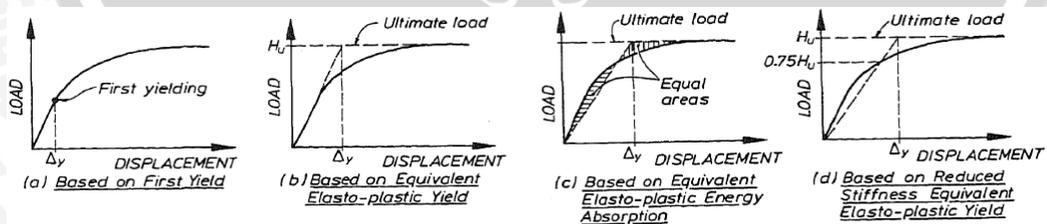
Perpindahan penetrasi leleh (*yield penetration displacement*) disebut juga sebagai *slip penetration*. Perpindahan saat leleh terjadi saat adanya rotasi pada struktur yang kaku pada ujung dinding geser, dimana keadaan leleh dicapai saat muncul celah yang terbuka di hubungan pondasi dengan dinding geser dari penetrasi tegangan plastis pada regangan tulangan di pondasi. Rotasi pada struktur yang kaku dapat meningkatkan total *drift* dengan sangat signifikan yang dipisahkan dari deformasi lentur yang didapatkan dari distribusi kelengkungan pada tinggi dinding geser.



Gambar 2.3 Mekanisme Yield Displacement

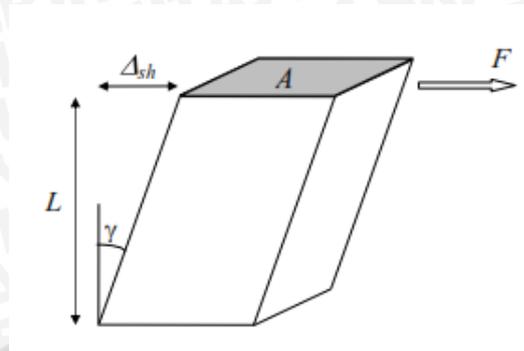
Sumber : Wibowo (2012 : 26)

Lendutan pada titik leleh dapat diambil dari titik potong beban yang mana beban diambil 75% dari beban *ultimate* (Park, 1988).



Gambar 2.4 Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh

### 2.5.3 Perpindahan Geser ( $\Delta_{sh}$ )



Gambar 2.5 Perpindahan Geser

Sumber : Wibowo (2012 : 35)

Terdapat beberapa metode yang dapat memodelkan perpindahan geser yaitu metode ACI 318-2002, FEMA 273, Priestley (1994), dan Sezen & Moehle (2004). Ke empat metode tersebut bisa digunakan sebagai perbandingan untuk mendapatkan nilai perpindahan geser. Secara umum, keempat metode tersebut dapat direpresentasikan pada rumus di bawah ini.

$$V = V_c + V_s + V_p \quad (2-8)$$

Keterangan :

$V$  = Perpindahan geser total

$V_c$  = Kekuatan geser pada beton

$V_s$  = Kekuatan geser pada baja

$V_p$  = Kekuatan geser pada *inclined strut* (hanya untuk model Priestley)

### 2.6 Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan dari suatu struktur untuk tidak mengalami keruntuhan secara tiba-tiba, tetapi masih mampu berdeformasi cukup besar pada saat mencapai beban maksimum sebelum struktur tersebut mengalami keruntuhan (Park dan Paulay, 1975).

Sementara menurut SNI 03-1726-2002, daktilitas merupakan kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

Daktilitas sering dijadikan tujuan akhir yang ingin dicapai oleh bangunan tahan gempa karena daktilitas mampu mencegah keruntuhan secara mendadak agar terdapat waktu yang cukup agar penghuni gedung dapat menyelamatkan diri. Daktilitas menunjukkan kemampuan struktur dalam menahan pengaruh deformasi akibat kondisi pembebanan yang berlebihan dan menyerap pengaruh energi gempa.

Perilaku daktail dapat dipastikan dengan mendesain balok, dinding geser, dan pertemuannya dengan hati-hati, sehingga keruntuhan dapat dihindari, bahkan ketika terjadi gempa yang menghancurkan. Pendetailan yang daktail adalah suatu proses untuk memastikan bahwa ketentuan di atas diberlakukan ketika memproporsikan elemen struktur rangka beton bertulang dan menyediakan baja tulangan yang dibutuhkan. Hal ini dapat dicapai melalui pemilihan dimensi dan pengaturan tulangan balok, dinding geser, dan titik pertemuannya dengan tepat.

Daktilitas suatu struktur dikelompokkan kedalam 3 jenis berdasarkan segi yang ditinjau dalam perhitungan yaitu daktilitas tegangan (*strain ductility*), daktilitas lengkungan (*curvature ductility*), daktilitas lendutan (*displacement ductilty*).

### 2.6.1 Daktilitas Regangan

Daktilitas bisa didefinisikan sebagai kemampuan dari material untuk dapat menahan tegangan plastis tanpa penurunan yang drastis. Dari pengertian tersebut terlihat ada hubungan khusus antara tegangan dengan daktilitas. Daktilitas regangan merupakan perbandingan antara total tegangan yang terjadi dengan tegangan yang terjadi saat leleh. (Paulay, 1992)

$$\mu_{\epsilon} = \frac{\epsilon}{\epsilon_y} \quad (2-9)$$

Keterangan :

$\mu_{\epsilon}$  = Daktilitas regangan

$\epsilon$  = Tegangan total

$\epsilon_y$  = Tegangan saat leleh

Daktilitas yang berarti hanya bisa didapatkan jika tegangan plastis dapat dikembangkan hingga panjang yang cukup. Jika tegangan plastis terbatas sehingga panjang yang terbentuk kurang, maka akan muncul kebutuhan daktilitas tegangan yang sangat besar.

## 2.6.2 Daktilitas Kurvatur

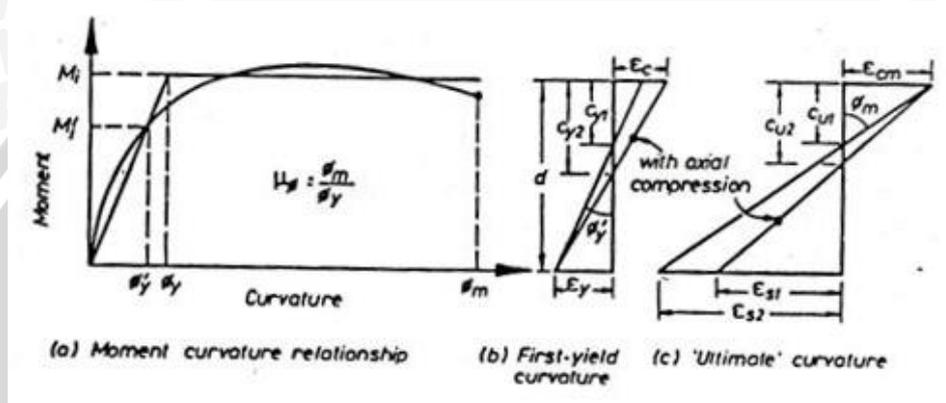
Hal yang paling berpengaruh pada deformasi struktur plastis adalah rotasi pada daerah yang berpotensi sendi plastis. Oleh karena itu perlu adanya hubungan antara rotasi per unit panjang dengan momen lentur, seperti yang ditunjukkan oleh persamaan berikut ini.

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_m}{\phi_y} \quad (2-10)$$

Keterangan :

$\phi_m$  = kelengkungan maksimum yang diharapkan

$\phi_y$  = kelengkungan saat terjadi leleh



Gambar 2.6 Definisi Daktilitas Kurvatur  
Sumber : Paulay dan Priestley, 1994

## 2.6.3 Daktilitas Perpindahan

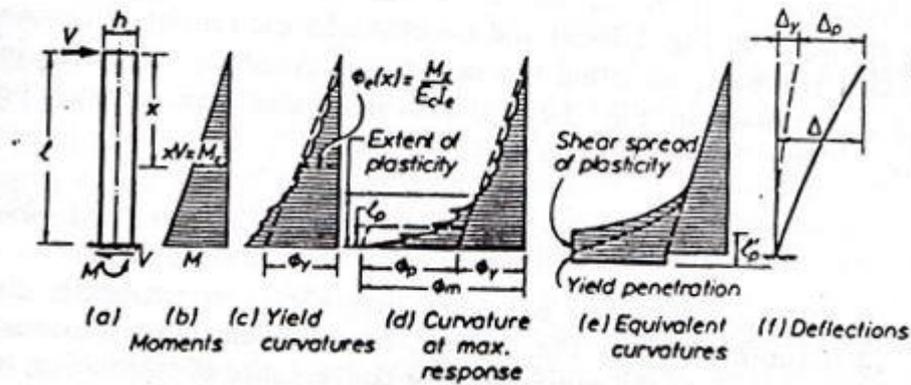
Daktilitas perpindahan umumnya digunakan untuk mengevaluasi struktur yang dikenai beban gempa. Daktilitas lendutan merupakan perbandingan dari total lendutan yang terjadi dengan lendutan saat awal terjadi leleh.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (2-11)$$

Keterangan:

$\Delta_u$  = Perpindahan total saat ultimit

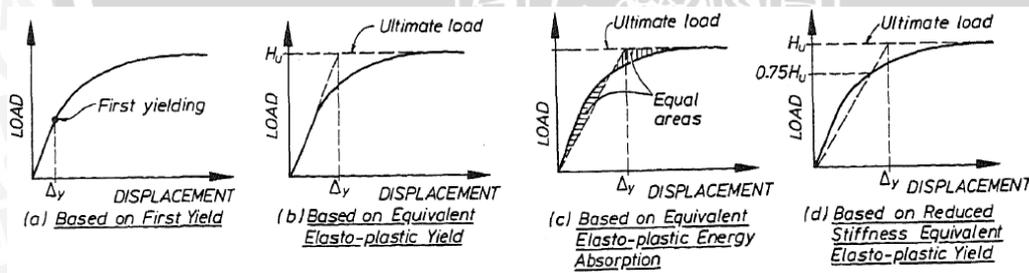
$\Delta_y$  = Perpindahan saat terjadi leleh



Gambar 2.7 Daktilitas Perpindahan pada Kantilever  
 Sumber : Paulay, 1988

Pada struktur, ketika respon gempa yang terjadi melebihi beban rencana maka deformasi inelastis harus tercapai. Ketika struktur mampu merespon keadaan inelastis tanpa penurunan kemampuan yang drastis, maka hal ini bisa disebut dalam keadaan daktail. Keadaan sempurna terjadi saat *ideal elastic/ perfectly plastic (elastoplastic)*.

Perpindahan pada saat leleh dapat diambil dari titik potong beban yang mana beban diambil 75% dari beban *ultimate*. (Paulay, 1988)



Gambar 2.8 Alternatif Pengambilan Perpindahan pada Titik Leleh  
 Sumber : Paulay, 1988

### 2.7 Kekakuan

Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan suatu elemen untuk menghasilkan suatu lendutan atau merupakan rasio antara beban dengan perpindahan dinding geser. Rumus umum kekakuan adalah : (Genre & Timoshenko, 1996)

$$k = \frac{P}{x} \tag{2-12}$$



Keterangan:

P = Beban yang terjadi (kg)

x = Deformasi searah beban (m)

k = Kekakuan struktur (kg/m)

Kekakuan aksial dipengaruhi oleh nilai modulus elastisitas bahan serta luas penampang dinding geser terhadap panjang efektif dinding geser tersebut. Penurunan kekakuan aksial secara teori dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$K = \frac{E \cdot A}{L} \quad (2-13)$$

Keterangan:

K = Nilai kekakuan aksial

E = Modulus elastisitas

A = Luas Penampang

L = Panjang efektif

