

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 DINDING GESER

2.1.1 Pengertian Dinding Geser

Dinding geser (*shear wall*) adalah suatu dinding yang dirancang agar dapat menahan gaya-gaya lateral, biasanya gaya-gaya ini dihasilkan oleh fenomena alam seperti gempa bumi.

Menurut SNI 03-2847-2002 mengenai Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, dinding geser adalah komponen struktur yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur dan menahan gaya-gaya lateral.

Dinding geser adalah elemen-elemen vertikal sebagai sistem penahan gaya horizontal. Dinding geser harus diletakkan pada tiap tingkat struktur tanpa spasi (menerus). Untuk membentuk struktur kotak yang efektif, panjang dinding geser yang sama harus diletakkan simetris pada empat sisi gedung. Dinding geser harus ditambah pada interior gedung apabila dinding bagian eksterior tidak memberikan kekuatan dan kekakuan yang cukup. Dinding geser lebih efisien apabila bentuknya lurus vertikal dan didukung pada pondasi dinding. Apabila dinding geser tidak lurus, bagian lain gedung akan membutuhkan penambahan kekuatan. (Timothy, 2005)

Selain dapat memberikan suatu bangunan kekuatan lateral, dinding geser juga dapat memberikan kekakuan lateral yang berfungsi menahan lantai atas dan atap dari goyangan ke samping yang berlebihan pada saat sedang terjadi gempa. Menurut Schueller (1989) dinding geser adalah unsur pengaku vertikal yang dirancang untuk menahan gaya lateral atau gempa yang bekerja pada bangunan.

Smith dan Coull (1991), dinding geser mempunyai kekakuan yang baik karena mampu meredam deformasi akibat gempa. Sehingga kerusakan struktur dapat dihindari.

Melihat adanya kemampuan dinding geser dalam menahan gaya lateral dan juga mengurangi resiko kehancuran bangunan, dinding geser menjadi suatu komponen yang penting untuk bangunan-bangunan yang tinggi seperti gedung dan juga pada bangunan yang berada pada daerah yang rawan terjadi gempa bumi.

2.1.2 JENIS DINDING GESER

Menurut SNI -1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, dinding geser diklarifikasikan berdasarkan jenis tulangan dan juga jenis geometrinya.

Jenis dinding geser berdasarkan jenis tulangan dibagi menjadi dua jenis (SNI -1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung), yaitu:

1. Dinding geser bertulang kantilever
2. Dinding geser bertulang berangkai

Dinding geser bertulang kantilever adalah suatu subsistem struktur gedung yang fungsi utamanya adalah untuk memikul beban geser akibat pengaruh gempa rencana, yang runtuhnya disebabkan oleh momen lentur (bukan oleh gaya geser) dengan terjadinya sendi plastis pada kakinya, dimana nilai momen lelehnya dapat mengalami peningkatan terbatas akibat pengerasan regangan. Rasio antara tinggi dan lebar dinding geser tidak boleh kurang dari 2 dan lebar tersebut tidak boleh kurang dari 1,5 m.

Dinding geser bertulang berangkai adalah suatu subsistem struktur gedung yang fungsi utamanya adalah untuk memikul beban geser akibat pengaruh gempa rencana, yang terdiri dari dua buah atau lebih dinding geser yang dirangkaikan oleh balok-balok perangkai dan yang runtuhnya terjadi dengan sesuatu daktilitas tertentu oleh terjadinya sendi-sendi plastis pada ke dua ujung balok-balok perangkai dan pada kaki semua dinding geser, di mana masing-masing momen lelehnya dapat mengalami peningkatan hampir sepenuhnya akibat pengerasan regangan. Rasio antara bentang dan tinggi balok perangkai tidak boleh lebih dari 4.

Jenis dinding geser berdasarkan geometrinya dibagi menjadi tiga jenis (SNI -1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung), yaitu:

1. Dinding langsing (*flexuring wall*)
2. Dinding pendek (*squat wall*)
3. Dinding berangkai (*coupled shear wall*)

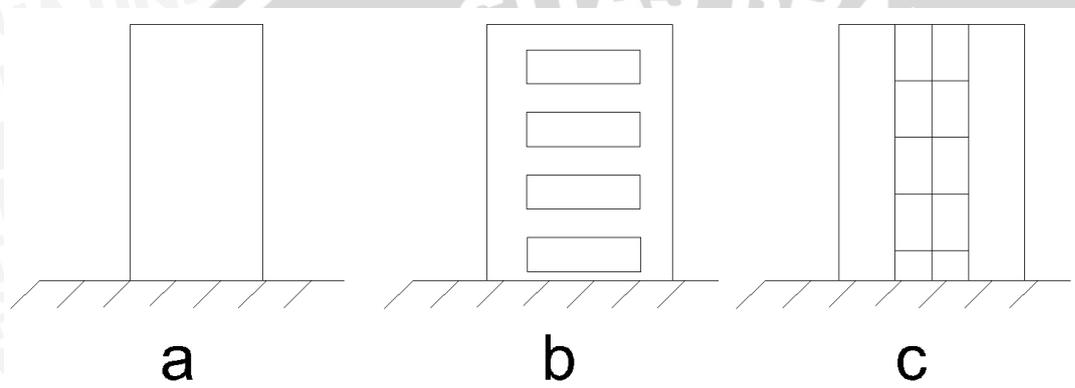
Dinding langsing (*flexuring wall*), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $hw/lw \geq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku lentur. Dinding geser kantilever termasuk dalam kategori ini.

dinding pendek (*squat wall*), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $hw/lw \leq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku geser.

dinding berangkai (*coupled shear wall*), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding, yang dihubungkan oleh balok-balok perangkai, sebagai gaya-gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar pasangan dinding tersebut.

Dinding geser berdasarkan pemakaiannya dibedakan menjadi tiga jenis yaitu:

- Dinding geser kantilever
- Dinding geser berantai
- Dinding geser gabungan (struktur dinding-struktur rangka)



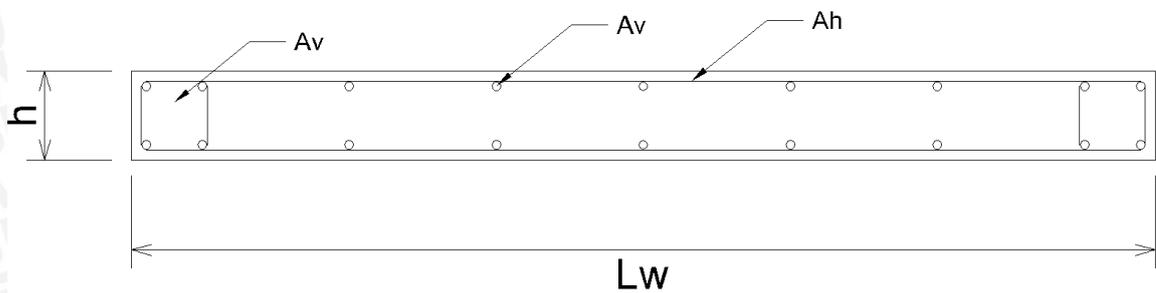
Gambar 2.1 Macam-macam dinding geser berdasarkan pemakaiannya.

Berdasarkan letak dan fungsinya, shear wall / dinding geser dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis yaitu:

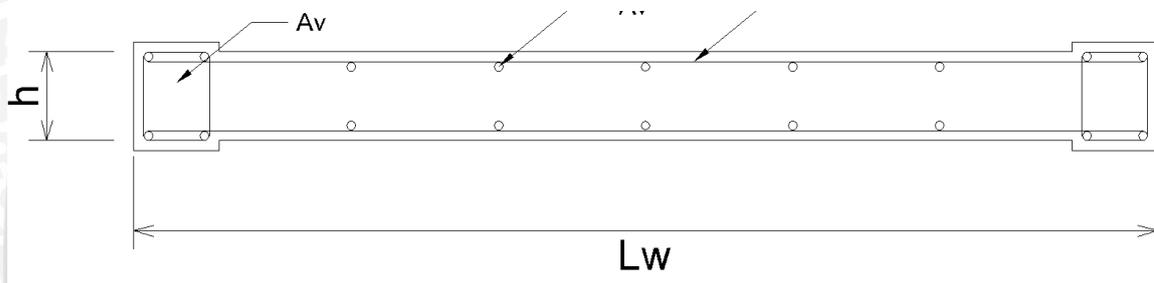
- Bearing Walls*: adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.
- Frame Walls*: dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari *frame* beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.
- Core walls*: dinding geser yang terletak di 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.

Berdasarkan geometri penampangnya, dinding geser dibagi dalam dua kelompok yaitu dengan ketebalan yang sama dan dengan ketebalan yang berbeda. Perbedaan ketebalan ini ditujukan untuk mengantisipasi tegangan pada serat terluar yang melebihi $0,2 f'c$ (Nawy, 1996). Pengumpulan tulangan tarik di tepi dinding pada dinding geser tanpa perbedaan

ketebalan seperti pada gambar 2.2, tinggi efektif (d) penampang yang tidak dihitung secara teliti, ditentukan sebesar 0,8 dari lebar dinding ($0,8 L_w$) (SNI Ps. 3.4.10-3, 1991).



Gambar 2.2 Macam-macam dinding geser berdasarkan geometri penampangnya.



Gambar 2.2 Macam-macam dinding geser berdasarkan geometri penampangnya.

Untuk dinding geser dengan rasio tinggi dinding geser (H_w) terhadap lebarnya (L_w) lebih dari satu atau sama dengan 2, secara esensi akan bereaksi seperti kantilever tegak (Nawy, 1996), sehingga kekuatannya lebih ditentukan oleh momen lentur dari pada geser. Semakin kecil rasio H_w terhadap L_w maka daerah keruntuhan geser menjadi semakin kritis. H_w dihitung dari dasar penjepitan samapi setinggi dinding.

2.1.3 Parameter Dinding Geser

Parameter yang mempengaruhi kekuatan-deformasi kolom secara umum terdiri dari rasio beban aksial (n), aspek rasio (α), rasio perkuatan longitudinal (ρ_v), rasio perkuatan transversal (ρ_s).

1. Rasio Beban Aksial (n)

Rasio beban aksial (n) merupakan perbandingan dari beban aksial (P) terhadap kapasitas beban aksial ($A_g f'_c$) atau dapat dituliskan sebagai berikut :

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

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. Dalam beberapa penelitian terdahulu tingginya beban aksial dapat mengurangi kekuatan dan daktilitas kolom, namun di sisi lain dapat meningkatkan kekuatan geser dinding geser. Peningkatan kekuatan geser dinding geser tersebut terjadi karena beban aksial dapat membuat dinding geser lebih kaku yang menghasilkan penundaan retak dan peningkatan efek *shear friction*.

2. Aspek Ratio (α)

Aspek rasio merupakan suatu perbandingan antara panjang dinding geser dengan tinggi penampang dinding geser (L)

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

Keterangan :

D = tinggi penampang dinding geser

L = panjang geser dinding geser

Aspek rasio dapat dijadikan sebagai indikator untuk kegagalan kolom beton bertulang akibat beban lateral. Peningkatan nilai aspek rasio dapat meningkatkan daktilitas.

3. Rasio Tulangan Transversal

Tulangan transversal (sengkang) disebut juga tulangan geser, karena tulangan ini memiliki fungsi utama untuk menahan geser. Rasio tulangan transversal merupakan perbandingan khusus yang memiliki banyak defeni tentang tulangan transversal. Berikut ini adalah dua jenis rasio tulangan transversal yang sering digunakan pada penelitian-penelitian :

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

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

Keterangan:

A_v = luas penampang tulangan transversal

s = jarak antar pusat tulangan sengkang

b_s dan h_s = dimensi terhadap garis tengah sengkang

b_h dan h_h = dimensi inti beton diukur ke bagian luar sengkang

b) Rasio luas (ρ_h) : merupakan rasio antara luas penampang tulangan transversal dengan luas penampang beton yang tegak lurus dengan arah beban lateral

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

Keterangan:

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

Σd_d = jumlah dari diameter saluran grouting, jika ada, sepanjang bidang horizontal web

4. Rasio Tulangan Longitudinal (ρ_v)

Rasio tulangan longitudinal merupakan perbandingan dari total luasan tulangan longitudinal dengan luas efektif pada beton.

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

Keterangan:

A_s = luas total tulangan longitudinal

b = lebar dinding geser

D = tinggi penampang dinding geser

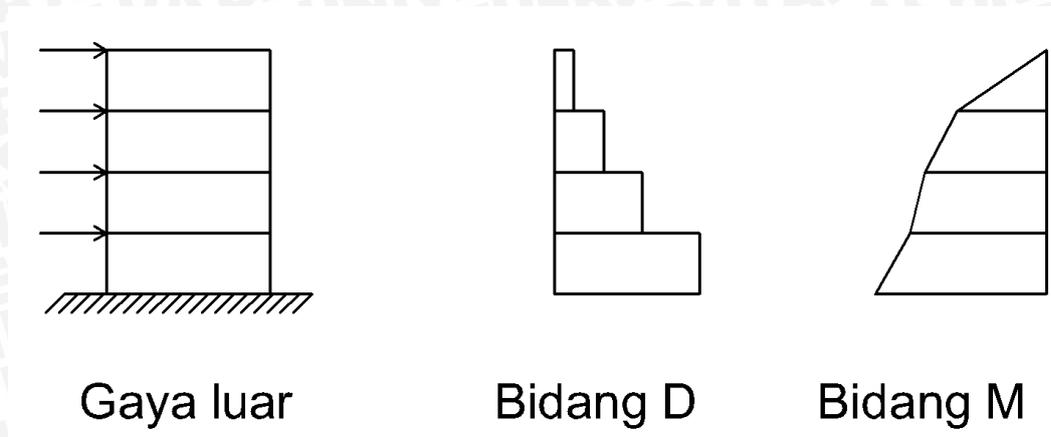
Tulangan longitudinal (tulangan memanjang) disebut juga tulangan lentur, karena memiliki fungsi utama untuk menahan lentur. Oleh karena itu, jumlah dan luas tulangan longitudinal pada suatu struktur dapat berpengaruh terhadap kekuatan struktur tersebut dalam menahan lentur. Di sisi lain, kegagalan menahan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

2.1.4 Dinding Penahan Gempa yang Berdiri Sendiri.

Pada umumnya dinding geser direncanakan dengan menggabungkan dinding geser dengan portal-portal. Apabila dihubungkan di sekeliling dinding geser, ketegaran dan daya tahan dinding menjadi lebih besar dibandingkan dengan dinding geser yang berdiri sendiri (*Free Standing Wall*). Namun perhitungan dinding geser yang dihubungkan dengan portal didasari oleh teori dinding geser yang berdiri sendiri akan dijabarkan terlebih dahulu.

Apabila dinding geser yang berdiri sendiri dibebani gaya gempa horisontal, bidang momen yang terjadi akan berbentuk trapesium di semua tingkat kecuali pada tingkat yang

paling atas mempunyai bentuk segitiga. Sedangkan gaya geser berupa segiempat untuk semua tingkat.

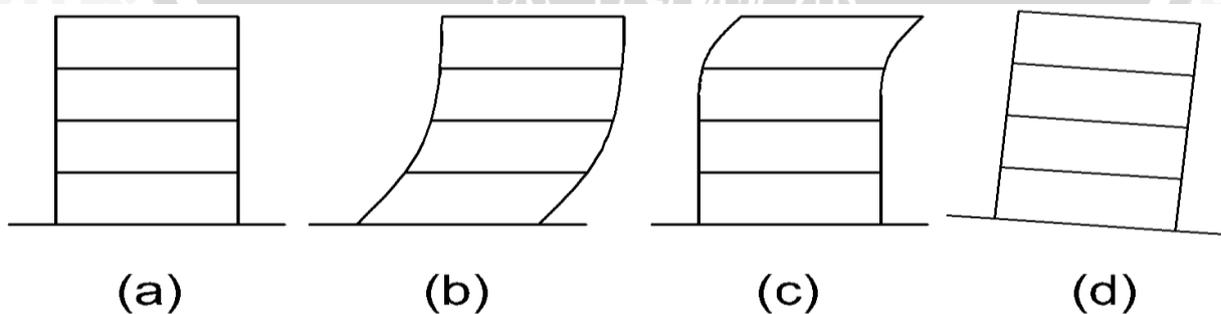


Gambar 2.3 bidang momen dan gaya geser pada dinding akibat gaya lateral. (sumber: Kiyoshi Muto, Seismic Analysis..., Shokoku-Sha, 1965)

Akibat gaya lateral yang bekerja pada dinding geser, dinding ini akan mengalami deformasi yang dibedakan atas:

- Deformasi geser (Gambar 2.5 b)
- Deformasi lentur (Gambar 2.5 c)
- Deformasi akibat rotasi pada pondasi (Gambar 2.5 d)

Deformasi total diperoleh dengan menjumlahkan deformasi-deformasi diatas.



Gambar 2.4 Deformasi yang terjadi pada dinding geser. (sumber: Kiyoshi Muto, Seismic Analysis..., Shokoku-Sha, 1965)

Deformasi Geser

Tegangan geser (τ) pada dinding, oleh luas dinding efektif (A_w) dan distribusi tegangan tergantung pada besar kolom yang ada di samping dinding. Jika sayap kolom besar, tegangan akan dibagi merata pada lintang kolom maupun dinding dan tegangan (τ) geser akan sama dengan tegangan rata-rata.

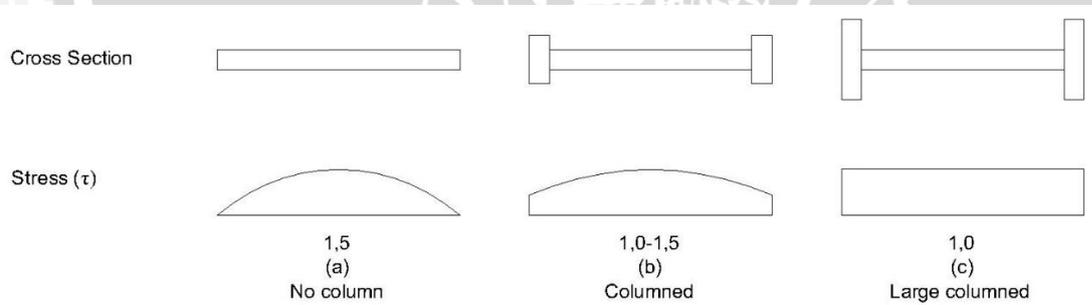
$$\tau_{\max} = \frac{Q}{A_w} \quad (2.1)$$

Pada luas penampang kolom yang sangat kecil, distribusi tegangan geser akan mendekati bentuk parabola dan tegangan maksimum di garis berat sama dengan 1,5 kali tegangan rata-rata

$$\tau_{\max} = 1,5 \times \frac{Q}{A_w} \quad (2.2)$$

Keadaan yang sering terjadi umumnya berada diantara dua keadaan diatas. Dengan demikian dapat dirumuskan sebagai:

$$\tau_{\max} = k \times \frac{Q}{A_w} \quad (2.3)$$



Gambar 2.5 Tegangan geser (τ) pada dinding dengan penampang kolom yang bervariasi. (sumber: Kiyoshi Muto, Seismic Design Analysis....., Shokoku-Sha, 1965)

Lendutan relatif dinding geser pada tingkat ke-n δ_{sn} , akibat gaya geser dapat diturunkan sebagai berikut:

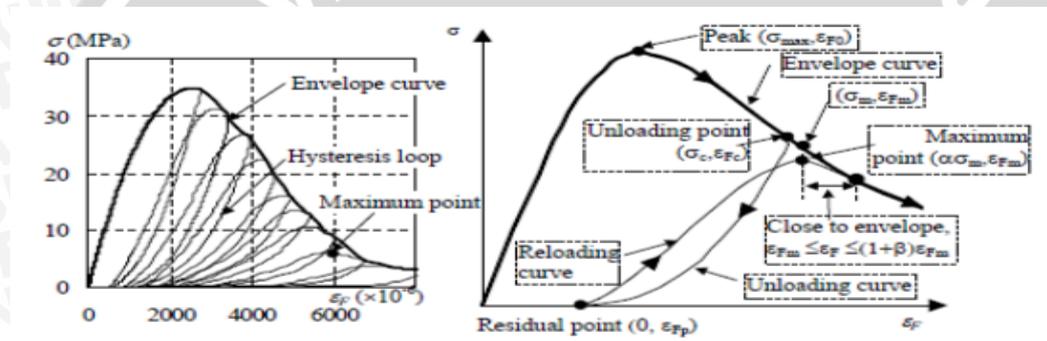
$$\gamma_n = \frac{\tau_{\max}}{G} = k \frac{Q_n}{G.A_{wn}} \quad (2.4)$$

2.2 Beban Siklik

2.2.1 Pengertian Beban Siklik

Beban siklik merupakan beban berulang yang diterima oleh suatu struktur. 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.

Pada struktur kolom, 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 kolom.



Gambar 2.6 *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. Selain itu, tingkat pembebanan dan jumlah siklus sangat mempengaruhi respon tegangan-regangan beton.

Dari gambar 2.3 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*. Unloading curve (σ, ϵ_{Fu}) adalah jika nilai ϵ_F di wilayah pasca-puncak berkurang dengan tegangan (σ) : antara *unloading point* (σ_c, ϵ_{Fc}) dan *residual point* (0, ϵ_{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*.

2.3 DAKTILITAS

Daktilitas struktur adalah suatu kemampuan yang dimiliki struktur bangunan untuk tetap mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang membuat struktur bangunan gedung tetap berdiri walaupun kondisinya sudah dalam keadaan yang hampir runtuh.

Menurut Prof Dr Ir Sri Murni Dewi MS, daktilitas adalah kemampuan bangunan untuk merubah kekakuannya dan menyerap energi gempa serta tetap menjaga integrasi struktur. Fungsi daktilitas untuk menjaga integrasi bangunan agar penghuni dapat menyelamatkan diri. Daktilitas bangunan didapat dengan merancang mekanisme pembentukan sendi plastis pada tempat yang tidak membahayakan integrasi. Dalam keadaan normal, struktur bangunan bersifat kaku dan kuat (*stiff and strong*), sementara dalam keadaan darurat ia harus bersifat *ductile*.”

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).

Karena daktilitas dapat mencegah suatu keruntuhan secara mendadak, daktilitas sering dibuat untuk menjadi tujuan akhir yang ingin dicapai oleh bangunan tahan gempa. Hal ini dilakukan setiap penghuni bangunan ataupun gedung dapat menyelamatkan dirinya. Selain itu daktilitas memiliki kemampuan struktur dalam menyerap pengaruh energi gempa dan juga menahan pengaruh deformasi akibat kondisi beban berlebih.

Untuk melihat perilaku dari daktail dapat dilakukan dengan mendesain kolom, balok, dan pertemuannya. Hal ini dilakukan agar keruntuhan dapat dihindari.

2.3.1 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)

$$\mu_{\epsilon} = \frac{\epsilon}{\epsilon_y} \quad (2-5)$$

Keterangan :

μ_{ϵ} = Daktilitas regangan

ϵ = Tegangan total

ϵ_y = Tegangan saat leleh

Daktilitas yang berarti hanya bisa didapatkan jika tegangan plastis dapat dikembangkan hingga panjang yang cukup. Jika tegangan plastis terbatas sehingga

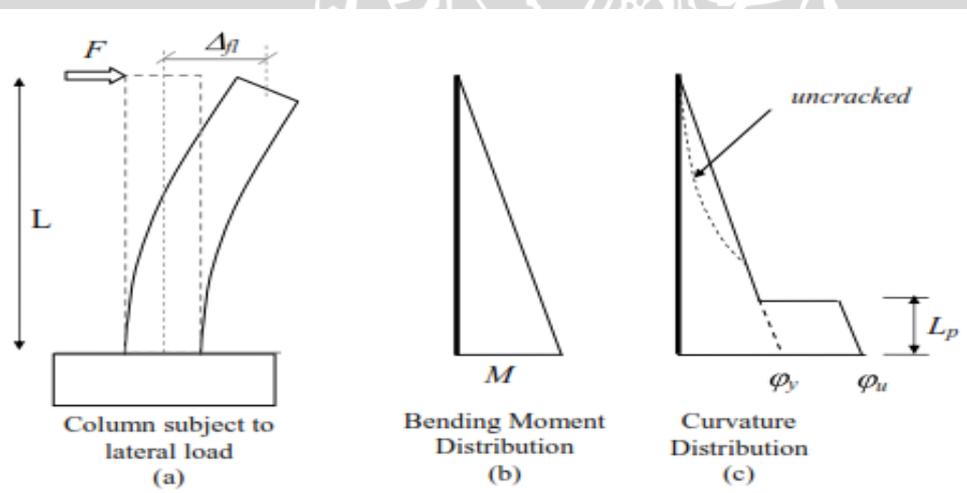
panjang yang terbentuk kurang, maka akan muncul kebutuhan daktilitas tegangan yang sangat besar.

2.4 Perpindahan (Displacement)

Saat kolom 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.

2.4.1 Perpindahan lentur (Δ_{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 kolom dengan balok dengan panjang plastis yang dapat dianalisa.



Gambar 2.7 Perpindahan Lentur

Sumber : Wibowo (2012 : 22)

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

$$\Delta_{fl} = \Delta_{fe} + \Delta_{fp} \quad \dots(2-6)$$

Keterangan :

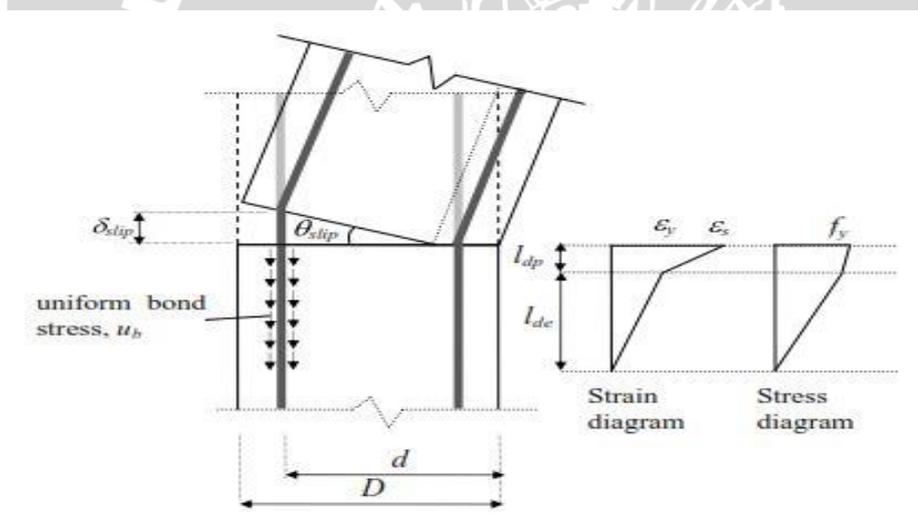
Δ_{fl} = Perpindahan lentur

Δ_{fe} = Perpindahan lentur elastis

Δ_{pe} = Perpindahan lentur plastis

2.4.2 Perpindahan Penetrasi Leleh (Δ_y)

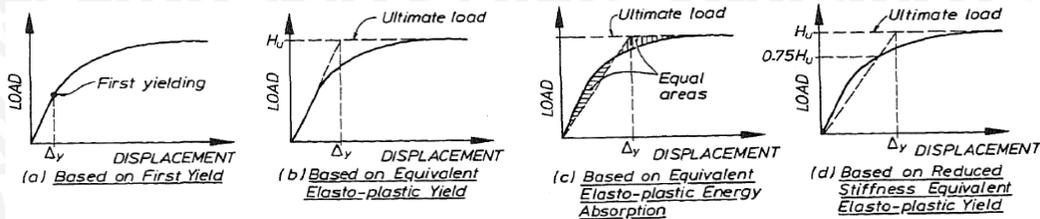
Perpindahan penetrasi leleh (*yield penetration displacement*) disebut juga sebagai *slip penetration*. Perpindahan saat leleh terjadi saat adanya rotasi pada struktur yang kaku pada ujung kolom, dimana keadaan leleh dicapai saat muncul celah yang terbuka di hubungan pondasi dengan kolom dari penetrasi 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 kolom.



Gambar 2.8 Mekanisme *yield displacement*

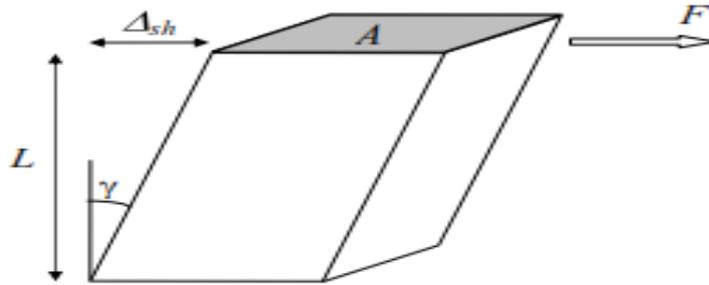
Sumber : Wibowo (2012 : 26)

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



Gambar 2.9 Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh

2.4.3 Perpindahan geser (Δ_{sh})



Gambar 2.10 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.

2.5 Keruntuhan Struktur Beton Bertulang

Apabila sebuah elemen struktur beton diberikan suatu beban secara bertahap hingga mencapai keruntuhan, adapun tiga tahapan pada elemen tersebut sebelum mengalami keruntuhan yaitu:

- a. Tahapan beton tanpa retak

Apabila beton diberikan beban awal dengan kapasitas kecil, maka tegangan tarik yang terjadi masih lebih rendah daripada modulus keruntuhan (tegangan tarik lentur pada saat beton mulai retak). Pada kondisi ini seluruh penampang melintang menahan lentur, dengan tekan pada satu sisi dan tarik pada sisi lainnya.

- b. Tahapan beton mulai terjadi retak (tegangan elastis)

Setelah melalui tahapan pertama, beban terus ditingkatkan sehingga melampaui modulus keruntuhan beton. Akibatnya adalah retak mulai terjadi di bagian bawah. Ketika tegangan tarik pada bagian bawah beton sama dengan modulus

keruntuhan, terbentuklah momen retak M_{cr} . Apabila beban yang diberikan terus ditambah, maka retak akan menyebar menuju garis netral. Penyebaran retak terjadi pada penampang beton yang momen aktualnya lebih besar dari momen retak. Pada tahap selanjutnya, baja yang menahan tegangan tarik karena beton telah mengalami retak pada bagian bawah beton. Kondisi ini berlanjut selama tegangan tekan pada serat atas lebih kecil daripada $0,5 f_c'$ dan selama tegangan baja lebih kecil dari titik lelehnya. Pada kondisi ini tegangan tekan berubah secara linear terhadap jarak dari sumbu netral sebagai sebuah garis lurus. Adapun variasi tegangan regangan garis lurus terjadi pada beton bertulang pada kondisi beban layan normal karena pada tingkat beban tersebut tegangan yang terjadi lebih kecil dari $0,5 f_c'$ (McCormac,2011).

c. Tahapan keruntuhan (tegangan ultimit)

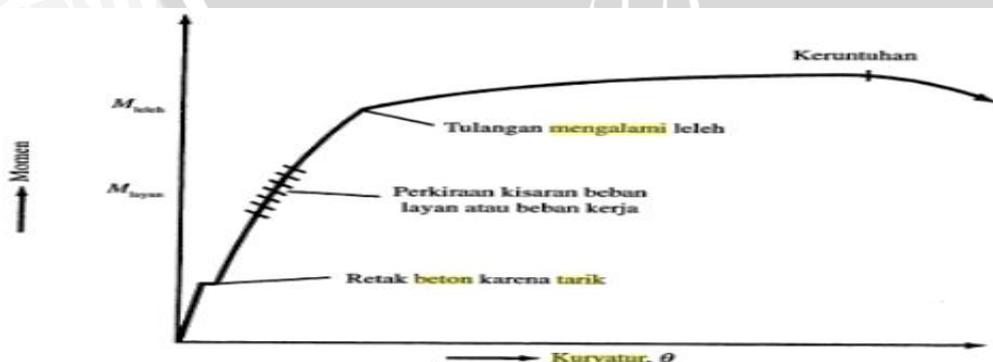
Tahap keruntuhan dimulai ketika beban yang diberikan semakin besar hingga tegangan tekannya lebih besar daripada $0,5 f_c'$. Keretakan tarik akan semakin merambat ke atas sehingga tegangan beton yang terjadi tidak berbentuk garis lurus lagi.

Diagram momen kurvatur digunakan untuk menggambarkan ketiga tahapan perilaku beton terhadap keruntuhan dengan hubungan

$$\theta = \frac{\epsilon}{y}$$

Keterangan : θ adalah perubahan sudut dalam panjang tertentu

ϵ adalah regangan pada serat yang berjarak y dari sumbu netral balok.



Gambar 2.11. Diagram Momen-Kurvatur Balok Beton Bertulang yang mengalami Tarik

Sumber : internet

Penjelasan diagram dimulai pada tahap pertama, yaitu pada saat momen-momen kecil yang lebih kecil dari momen retak, seluruh penampang melintang balok mampu menahan lentur. Kondisi ini digambarkan dalam diagram sebagai garis vertikal menyerupai garis lurus.

Pada saat momen bertambah melebihi momen retak, kemiringan kurva sedikit berkurang karena beton tidak cukup kaku seperti tahap sebelumnya. Tahapan ini digambarkan sebagai garis yang hampir lurus dari M_{cr} hingga pada suatu titik dimana baja tulangan telah mencapai titik lelehnya. Supaya baja tulangan mencapai kondisi leleh, maka beban yang diberikan harus lebih besar hingga lendutan beton membesar pula.

Apabila tulangan telah leleh, beton mempunyai kapasitas momen tambahan yang sangat kecil sehingga hanya sedikit beban tambahan yang diperlukan untuk meningkatkan putaran sudut dan lendutan. Pada kondisi ini, kemiringan pada diagram adalah sangat datar.

2.5.1 Tipe Keruntuhan

Keruntuhan merupakan tahapan lanjutan setelah retak terjadi dalam jumlah yang cukup banyak. Tipe-tipe keruntuhan pada beton bertulang dapat dikondisikan bergantung pada desain perencanaan beton bertulang. Terdapat dua tipe keruntuhan pada beton bertulang, yaitu :

1. Keruntuhan Lentur

Keruntuhan akibat perilaku lentur terjadi dalam tiga kondisi yang berbeda yaitu :

- a) Keruntuhan Tarik : Kondisi ini terjadi apabila regangan baja lebih besar daripada regangan pada beton. Hal ini dikarenakan jumlah tulangan baja lebih sedikit sehingga baja akan leleh terlebih dahulu sebelum beton mencapai kondisi leleh. Penampang yang mengalami keruntuhan tarik disebut dengan penampang *underreinforced*.
- b) Keruntuhan Tekan : Keruntuhan tekan terjadi apabila beton telah mengalami leleh sebelum tulangan baja mencapai titik leleh. Nilai regangan beton lebih besar dari regangan baja. Penampang yang mengalami keruntuhan tekan disebut penampang *overreinforced*. Kondisi keruntuhan tekan bersifat getas dan sangat berbahaya pada sebuah bangunan karena tidak memberikan tanda-tanda sebelum keruntuhan terjadi.

- c) Keruntuhan Balanced : Keruntuhan balanced terjadi apabila baja dan beton mencapai titik leleh pada waktu yang bersamaan, sehingga regangan baja dan beton adalah sama.

2. Keruntuhan Geser



Gambar 2.12 Keruntuhan geser

Sumber : Wibowo (2012 : 105)

Keruntuhan geser disebabkan transfer beban ke tumpuan telah melampaui mekanisme momen lentur dan gaya geser yang terjadi secara bersamaan. Keruntuhan jenis ini bersifat getas dan terjadi secara tiba-tiba. Berbeda dengan keruntuhan lentur yang memberikan tanda-tanda. Oleh karena itu dalam perencanaan struktur, desain pada elemen harus didesain supaya kekuatan geser lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi sebelum keruntuhan geser (Dede, 2012).

2.6 Kekakuan

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

$$k = \frac{P}{x} \quad (2-7)$$

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 kolom terhadap panjang efektif kolom tersebut. Penurunan kekakuan aksial secara teori dapat dirumuskan sebagai berikut :

Rumus Tegangan (σ)

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2-8)$$

P = Beban yang terjadi

A = Luas penampang kolom

σ = Tegangan

Rumus Regangan (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2-9)$$

ϵ = Regangan

δ = Perpendekan kolom

L = Panjang efektif kolom

Hubungan Tegangan dan Regangan

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (\text{Hukum Hooke}) \quad (2-10)$$

σ = Tegangan

E = Modulus elastisitas

ϵ = Regangan

Maka,

$$\sigma = E \cdot \frac{\delta}{L} \quad (2-11)$$

$$\frac{P}{A} = E \cdot \frac{\delta}{L} \quad (2-12)$$

$$\frac{P}{\delta} = \frac{EA}{L} \quad (2-13)$$

P/δ merupakan parameter kekakuan aksial. Jadi rumus kekakuan tersebut adalah :

$$K = \frac{E \cdot A}{L} \quad (2-14)$$

K = Nilai kekakuan aksial

E = Modulus elastisitas

A = Luas Penampang

L = Panjang efektif

