

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Beton Bertulang

Beton kuat terhadap tekan, tetapi lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, perlu tulangan untuk menahan gaya tarik untuk memikul beban-beban yang bekerja pada beton. (Nawy, Edward G, 2008)

##### 2.1.1 Baja Tulangan Ringan

Baja tulangan untuk beton terdiri dari batang, kawat, dan jaring kawat baja las yang seluruhnya dirakit sesuai standar ASTM. Sifat-sifat terpenting baja tulangan adalah sebagai berikut: Modulus Young ( $E_s$ ), Kekuatan Leleh ( $f_y$ ), Kekuatan batas ( $f_u$ ), Mutu baja yang ditentukan, dan Ukuran atau diameter batang atau kawat. Untuk menambah lekatan antara beton dengan baja, dibuat bentuk ulir pada permukaan.

Baja tulangan Ringan merupakan tulangan baja dengan mutu 40.000 psi atau  $f_y = 275$  MPa yang diatur dalam ASTM A 615. Biasanya digunakan untuk baja tulangan berdiameter kecil  $\leq 19$  mm.

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

Sangatlah perlu untuk menjaga timbulnya rongga-rongga pada beton serta kepastian bahwa campuran beton basah dapat melewati tulangan baja tanpa terjadi pemisahan material. Kandungan agregat untuk beton struktural sering kali berisi agregat kasar berukuran 0,75 inch (diameter 19 mm), maka diperlukan adanya jarak antar tulangan minimal dan selimut beton minimal yang diperbolehkan. Lagipula, untuk melindungi penulangan dari karat dan kehilangan kekuatannya dalam kasus kebakaran, maka beberapa peraturan mensyaratkan tebal selimut beton minimal yang diperlukan. Beberapa persyaratan utama pada peraturan ACI 318 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 kolom 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.

### 2.1.3 Pengekangan Beton

Terdapat perbedaan pada mutu beton antara beton yang tidak diberikan pengekangan (*unconfined*) dan beton yang diberikan pengekangan (*confined*). Pengekangan pada inti penampang kolom (*concrete core*) yang diakibatkan adanya sengkang berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan tekan beton pada daerah terkekang dalam menerima kuat tekan secara aksial. Perbandingan jarak antarsengkang terhadap inti penampang kolom (*concrete core*) daerah terkekang merupakan salah satu variabel yang berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan kolom.

Efek dari pengekangan adalah untuk meningkatkan kekuatan dan tegangan ultimit pada beton. Dengan adanya kolom dengan pengekangan yang diakibatkan karena tulangan sengkang sangat berpengaruh sekali terhadap ketahanan struktur yang direncanakan, sehingga kolom tersebut memiliki kekuatan yang lebih besar dan pada penampang kolom lebih dapat menerima gaya aksial yang lebih besar.

Pada umumnya, pengekangan dapat menggunakan sengkang biasa ataupun tulangan berbentuk spiral. Pengekangan kolom dengan tulangan berbentuk spiral sangat rapat (kolom spiral) memiliki perilaku yang lebih daktail daripada pengekangan kolom dengan sengkang biasa ataupun pengekangan kolom dengan spiral kurang rapat (Winter dan Nilson, 1993).

### 2.1.4 Syarat Penulangan Sengkang Kolom

Berdasarkan SK SNI 03-2847-2002, persyaratan penulangan sengkang untuk kolom 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 longitudinal lebih kecil dari D-32, dan paling tidak D-13 untuk tulangan D-36, D-44, D-56, dan *bundle* tulangan longitudinal. 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 longitudinal, 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 longitudinal 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 longitudinal 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 kolom, 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 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atau ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui fondasi (Edward G, Nawy, 1990).

SNI 03-2847-2002 memberikan definisi kolom adalah komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melebihi tiga yang digunakan terutama untuk

mendukung beban aksial tekan. Sedangkan komponen struktur tekan tegak yang mempunyai rasio tinggi bebas terhadap dimensi lateral terkecil rata-rata kurang dari tiga disebut dengan pedestal.

Sebagai bagian dari suatu kerangka bangunan dengan fungsi dan peran seperti tersebut, kolom menempati posisi penting dalam sistem struktur bangunan. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan. Pada umumnya keruntuhan atau kegagalan komponen tekan tidak diawali dengan tanda peringatan yang jelas dan bersifat mendadak. Oleh karena itu dalam merencanakan struktur kolom harus diperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan lebih tinggi daripada komponen struktur lainnya.

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

### 2.2.1 Parameter yang Mempengaruhi Perilaku Kolom

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

#### 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 umumnya mengurangi kapasitas daktilitas kurvatur karena peningkatan kedalaman zona kompresi, yang dapat menyebabkan peningkatan kurva



kelengkungan dan penurunan kelengkungan ultimit (Paulay & Priestley, 1992). Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Sheikh dan Yeh, 1990) mencatat bahwa beban aksial tinggi mengurangi kekuatan dan daktilitas dari bagian terbatas beton sangat signifikan. Namun, peningkatan beban aksial meningkatkan kekuatan geser (Sezen dan Moehle, 2004). Patwardhan (2005) menganalisis data uji termasuk spesimen kolom Sezen (2002) dan mengamati bahwa peningkatan beban aksial meningkatkan geser retak kekuatan terlepas dari aspek rasio, kekuatan beton, dan ukuran kolom, sejak peningkatan beban aksial membuat kolom kaku, penundaan retak dan meningkatkan efek gesekan geser.

Pengaruh rasio beban aksial pada kegagalan beban aksial telah banyak diteliti di Pusat PEER (Lynn 2001; Sezen 2002; dan Elwood 2003). Hasil menunjukkan bahwa kecenderungan pada kegagalan aksial tergantung pada beban aksial pada kolom dan jumlah tulangan melintang. Moehle (2005) mengamati bahwa membangun kegagalan hasil dari hilangnya beban aksial daya dukung pada kolom (kegagalan aksial) bukan dari pengurangan kekuatan lateral (kegagalan lateral). Akibatnya simpangan pada beban aksial biasanya lebih besar dari simpangan terkait dengan kegagalan beban lateral untuk kolom dengan beban aksial yang rendah. Sebaliknya, kolom mengalami beban aksial lebih tinggi cenderung mengalami kegagalan beban aksial dengan cara yang lebih rapuh mendekati pada kegagalan simpangan beban lateral.

## 2. Aspek Rasio ( $\alpha$ )

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

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

Dimana: L = panjang bentang geser kolom

D = tinggi penampang kolom

Panjang bentang geser dapat didefinisikan sebagai tinggi kolom untuk kolom dengan kelengkungan tunggal seperti kolom kantilever, atau dapat dinyatakan sebagai panjang kolom yang diukur dari titik *contra flexure* ke bagian kritis untuk kolom kelengkungan ganda.

Aspek rasio dapat digunakan sebagai indikator untuk perilaku runtuhnya perkuatan kolom beton akibat beban lateral. Jika aspek rasio meningkat, keuletan meningkat dan perilaku kegagalan berganti dari mode geser (untuk kolom dengan L/D rasio kurang dari 2) ke mode lentur (untuk L/D ratio lebih besar dari 4).

### 3. Rasio Tulangan Longitudinal ( $\rho_v$ )

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

$$\rho_v = \frac{A_s}{bD}$$

(2-3)

Dimana:

$A_s$  = luas total tulangan longitudinal

$b$  = lebar kolom

$D$  = tinggi penampang kolom

Nama lain dari tulangan longitudinal (tulangan memanjang) adalah tulangan lentur, karena fungsi yang paling utama dari tulangan longitudinal adalah 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.

### 4. Presentase Tulangan Transversal ( $\rho_s$ )

Tulangan transversal (senggang) adalah tulangan yang memiliki fungsi utama untuk menahan geser, karena fungsi tersebut tak jarang tulangan transversal disebut sebagai tulangan geser. Rasio tulangan transversal adalah suatu 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 : 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)

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

Dimana:

$A_v$  = luas penampang tulangan transversal

$b_s$  dan  $h_s$  = dimensi terhadap garis tengah sengkang

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

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

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

Dimana:

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

### 2.2.2 Kolom Bertulangan Ringan

Menurut penelitian yang telah ada sebelumnya, kolom tulangan ringan memiliki kemampuan daktilitas yang terbatas dengan kapasitas simpang yang relatif besar dibandingkan dengan kapasitas simpang pada desain kolom umumnya. Beberapa karakteristik dari kolom tulangan ringan diantaranya:

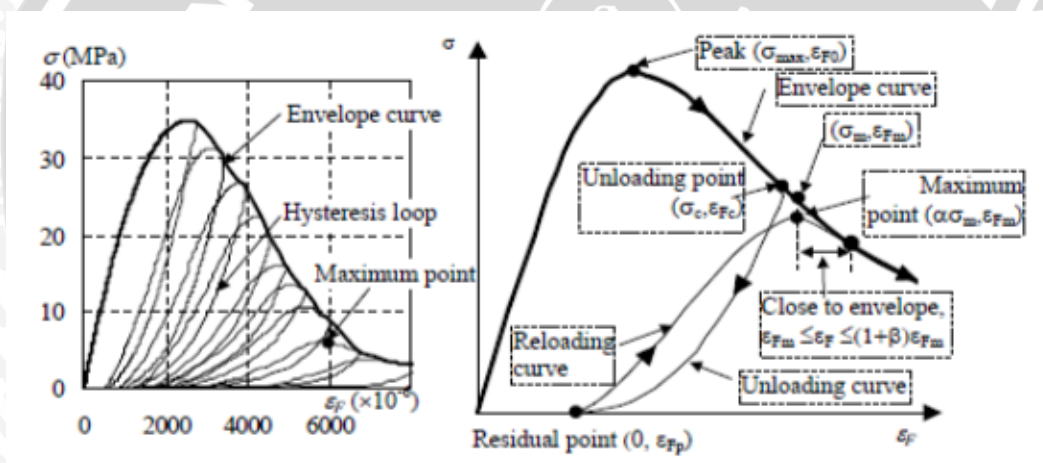
1. Aspek rasio sedang berkisar antara 2 - 4
2. Rasio tulangan longitudinal 0,5% - 1,5%
3. Rasio volumetrik tulangan transversal yaitu selain 0.1%
4. Rasio beban aksial berkisar antara 0,1 - 0,4

(Wibowo, 2012:77)

### 2.3 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 2.1 Histeresis Loop

Sumber: Parmo, dkk (2013)

Untuk memprediksi perilaku struktur beton dibawah pembebanan seismik, model tegangan-tegangan beton dibawah beban siklik (*histeresis loop*) adalah hal yang penting untuk diamati. Selain itu, tingkat pembebanan dan jumlah siklus sangat mempengaruhi respon tegangan-regangan beton.

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*. 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* ( $\alpha\sigma_m, \varepsilon_{Fm}$ ) yang disebut *reloading curve* ( $\sigma - \varepsilon_{Fr}$ ). Titik akhir dari *reloading curve* dan titik awal *unloading curve* disebut *envelope curve*.

## 2.4 Retak

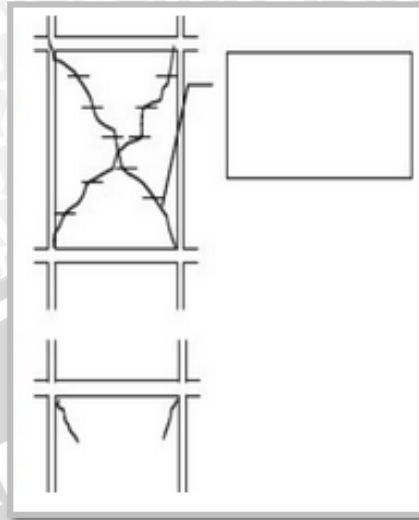
Retak diakibatkan penurunan yang tidak seragam, susut, beban bertukar arah, perbedaan unsur kimia dan perbedaan suhu. Pada kondisi di lapangan, variasi pola retak berbeda satu dengan lainnya. Hal tersebut dikarenakan perbedaan tegangan tarik yang ditimbulkan oleh beban, momen dan geser. Retak dimulai dari retak permukaan yang tidak dapat terlihat secara kasat mata. Apabila pembebanan diberikan secara terus menerus dapat mengakibatkan retak rambut yang merambat hingga pada akhirnya terjadi kegagalan atau keruntuhan pada struktur (Restian, 2008).

Retak struktural terjadi akibat pembebanan yang mengakibatkan munculnya tegangan lentur, geser dan tarik. Menurut Triwiyono (2004), retak struktural terdiri dari: retak lentur yang berupa garis lurus sejajar dengan arah gaya yang bekerja; retak geser lentur berupa retak miring lanjutan dari retak lentur sebelumnya, dan retak geser berupa retak diagonal membentuk sudut  $45^\circ$  terhadap gaya yang bekerja pada komponen tersebut.

### 2.4.1 Jenis-jenis Retak Kolom

#### 1. Retak geser

Retak dengan pola diagonal atau miring pada kolom biasanya disebut retak geser, yang disebabkan oleh gaya pada arah horisontal atau datar. Retak geser seperti ini cukup membahayakan bila tidak segera di tangani, karena bisa menyebabkan kolom roboh dan tidak mampu menopang bangunan.



Gambar 2.2 Retak geser kolom

*Sumber: Internet*

## 2. Retak lentur

Retak dengan pola horisontal/datar biasanya disebut retak lentur, disebabkan oleh tekanan yang berlebihan pada kolom. Seperti halnya retak geser, retak lentur perlu ditangani dengan cermat.



Gambar 2.3 Retak lentur

*Sumber: Ismail (2010:11)*

## 3. Selimut beton terkelupas

Selimut beton pada kolom terkelupas, dapat disebabkan oleh rendahnya kualitas/mutu beton yang digunakan, sehingga kekuatan beton terhadap tekanan berkurang dan



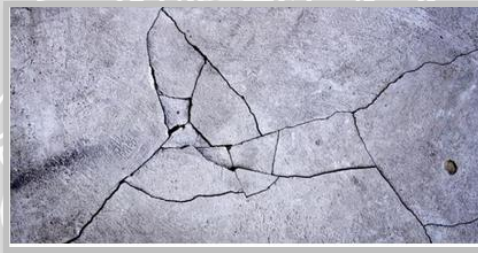
selimut beton mudah pecah. Kontrol terhadap tahapan pembangunan sangat diperlukan untuk mencegah penurunan kualitas beton.

#### 4. Tulangan bengkok

Kerusakan pada kolom dimana tulangan besi utama terlihat bengkok. Secara kasat mata terlihat kolom sedikit bengkok. Hal ini diakibatkan kurangnya jumlah dan atau kurangnya ukuran besi pengikat (sengkang).

#### 5. Retak rambut dengan pola tidak beraturan

Saat usia bangunan masih muda, retak-retak rambut sudah bisa dideteksi. Sekalipun retak rambut tidak membahayakan, namun cukup mengganggu pemandangan. Retak-retak kecil ini banyak disebabkan oleh pengaruh lingkungan, yaitu perubahan suhu panas dan dingin yang drastis. Misalnya rumah dibangun pada musim panas, setelah selesai terpapar hujan terus menerus.



Gambar 2.4 Retak rambut

Sumber: *Internet*

### 2.4.2 Lebar Retak Ijin dan Pengendalian Lebar Retak

Secara umum penyebab retak pada beton dikarena kekuatan tarik beton yang rendah. Pada suatu batang yang tegangan tulangnya rendah kemudian dibebani, maka retak yang terjadi akan sangat kecil dan hampir tidak terlihat. Retak pada kondisi ini disebut retak mikro yang disebabkan oleh tegangan lentur.

Apabila tulangan mempunyai kapasitas tegangan yang tinggi, pada saat menerima beban layan maka retak akan terlihat. Besarnya retak tersebut juga mempunyai suatu batasan yakni sampai ukuran maksimum tertentu sehingga penampilan struktur tidak rusak dan tidak terjadi korosi pada baja tulangan.

Keretakan pada beton tidak dapat dihindari sehingga perlu adanya kontrol terhadap retak. Ukuran retak harus dibatasi dengan distribusi tulangan. Penggunaan beberapa

tulangan kecil dengan jarak yang sedang akan menghasilkan retak yang lebih kecil daripada penggunaan tulangan diameter besar dengan jarak lebih lebar.

Adanya kontrol terhadap retak lentur pada dasarnya bertujuan untuk penggunaan detail tulangan yang lebih masuk akal (sesuai pengalaman di lapangan maupun di laboratorium) sehingga akan menjaga terjadinya retak pada kisaran nilai yang masuk akal.

Perhitungan lebar retak maksimum pada suatu struktur beton bertulang menurut SNI 03-2847-2002 adalah :

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \beta \cdot f_s^3 \sqrt{d_c \cdot A} \quad (2-6)$$

Dimana :

$\omega$  = lebar retak maksimum (dalam satuan inch atau mm)

$\beta = \frac{h-c}{d-c}$  = harga rata-rata faktor tinggi atau perbandingan jarak dari serat tarik terluar beton ke sumbu netral dengan jarak dari titik berat tulangan tarik ke sumbu netral (ditentukan oleh metode tegangan kerja)

$f_s$  = tegangan maksimum pada tulangan untuk taraf beban kerja atau dapat dihitung dengan  $0,6 f_y$

$d_c$  = tebal selimut beton sampai pusat tulangan (inch)

$A$  = luas beton yang tertarik dibagi dengan banyaknya tulangan (inch<sup>2</sup>)

$$= \frac{bt}{\gamma_{bc}} \text{ dimana } \gamma_{bc} \text{ adalah banyaknya tulangan pada sisi yang tertarik}$$

Besarnya lebar retak tergantung pada lokasi, jenis struktur, tekstur permukaan beton, iluminasi, dan faktor lain. Lebar retak yang lebih kecil diperlukan untuk batang dengan lingkungan agresif seperti bahan kimia dan percikan air asin. Sejumlah perkiraan lebar retak maksimum yang diizinkan untuk balok beton bertulang dalam berbagai situasi terangkum dalam tabel berikut :

Tabel 2.1 Lebar Retak Ijin Maksimum

Batang yang bersentuhan dengan	Lebar retak yang diizinkan	
	inch	mm



Udara kering	0,016	0,41
Udara lembab, tanah	0,012	0,30
Larutan bahan kimia	0,007	0,18
Air laut dan percikan air laut	0,006	0,15
Untuk struktur penahan air	0,004	0,10

Sumber: *Beton Bertulang suatu Pendekatan Dasar (G.Nawy,Edward:1998)*

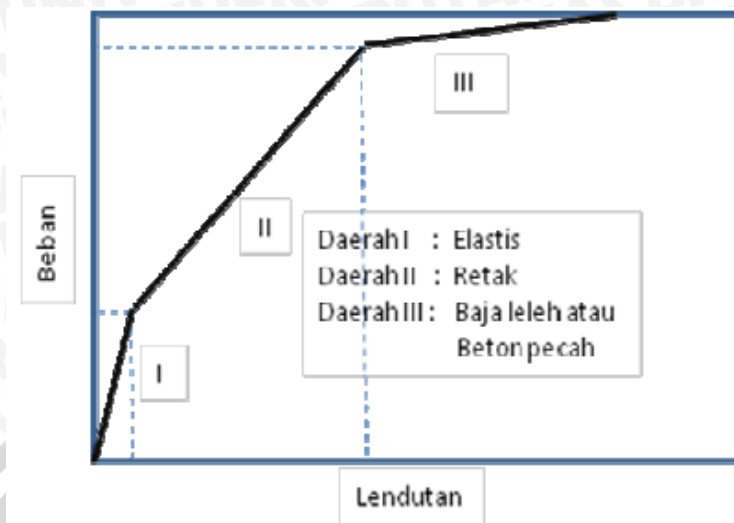
Menurut SNI 03-2847-2002 lebar retak tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang di dalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar. Sedangkan menurut ACI Code lebar retak yang diizinkan untuk konstruksi yang berada di laut atau daerah basah adalah 0,2 mm dan konstruksi yang tahan terhadap cuaca lebar retak izin adalah 0,41 mm.

Permasalahan utama pada pengendalian retak untuk struktur beton bertulang adalah pada lebar retak yang terjadi bukan pada jumlah retak. Sehingga perkiraan lebar retak merupakan hal yang utama dalam *serviceability* untuk pembebanan jangka panjang. Metode yang digunakan saat ini mengenai retak didasarkan atas percobaan sebelumnya yang membuktikan bahwa:

1. Lebar retak dapat diminimalisir dengan menggunakan tulangan ulir.
2. Lebar maksimum retak yang disebabkan oleh bekerjanya beban kurang lebih berbanding lurus dengan besar tegangan yang terjadi pada tulangan.
3. Lebar retak lentur dapat dibuat sekecil mungkin apabila tulangan tersusun dengan baik pada daerah tarik beton.
4. Lebar retak pada permukaan beton berbanding lurus dengan jumlah selimut beton.

## 2.5 Perilaku Keruntuhan Kolom Beton Bertulang

Perilaku keruntuhan beton dapat dibagi dalam tiga tahapan, yaitu: elastis penuh (belum retak), tahapan mulai terjadi retak-retak (tegangan elastis) dan tahapan plastis (leleh pada baja atau beton pecah). Perilaku keruntuhan struktur beton bertulang dapat digambarkan dalam bentuk kurva beban-lendutan seperti yang terlihat pada **gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Perilaku beban – lendutan struktur beton bertulang

Sumber: Internet

Berikut ini merupakan penjelasan dari tahapan perilaku keruntuhan neton bertulang yang terjadi, yaitu:

1. Tahapan beton tanpa retak

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

2. Tahapan beton mulai terjadi retak (tegangan elastis)

Saat beban terus ditingkatkan melampaui modulus keruntuhan balok, retak mulai terjadi di bagian bawah beton bertulang. Ketika tegangan tarik pada bagian bawah beton sama dengan modulus keruntuhan, terbentuklah momen retak  $M_{cr}$ . Apabila beban yang diberikan terus ditingkatkan, retak tersebut akan menyebar mendekati 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).

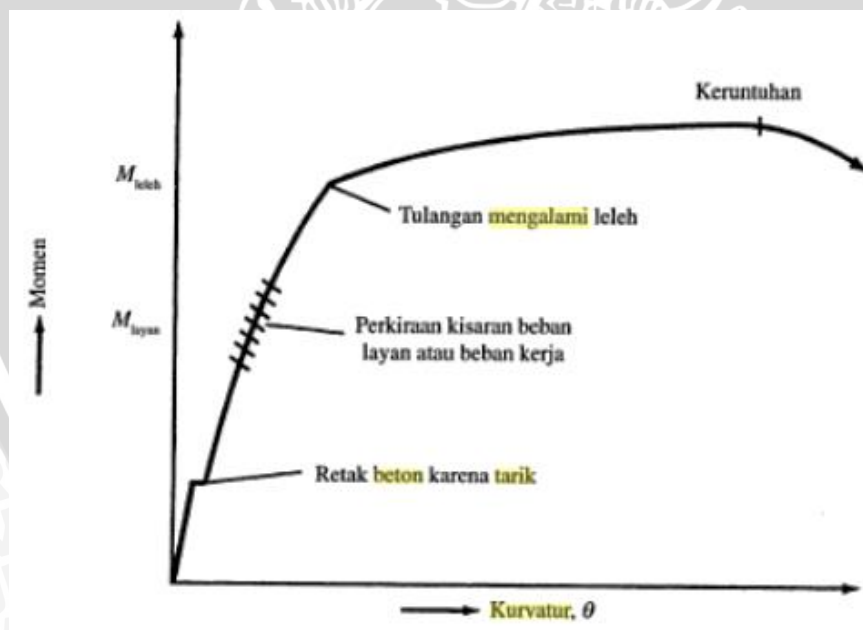
3. Tahapan keruntuhan (tegangan ultimit)

Penambahan beban yang terus ditambah sampai tegangan tekannya lebih besar dari setengah  $f_c'$  mengakibatkan retak tarik akan merambat lebih ke atas. Demikian pula dengan letak sumbu netral, sehingga tegangan beton tidak lagi berbentuk garis lurus. Penggambaran dari ketiga tahapan perilaku beton bertulang tersebut, ditunjukkan pada diagram momen-kurvatur di bawah ini.

$$\theta = \frac{\epsilon}{y} \tag{2-7}$$

Dimana :  $\theta$  adalah perubahan sudut dalam panjang tertentu

$\epsilon$  adalah regangan pada serat yang berjarak  $y$  dari sumbu netral balok.



Gambar 2.6 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 Momen Kapasitas

Untuk menganalisis besarnya beban dan momen yang terjadi pada tahapan keruntuhan beton bertulang, dapat dihitung menggunakan momen kapasitas yang terdiri dari momen retak, momen leleh, dan momen ultimit.

#### 1. Momen Retak

Menurut Siddiq S. (1992), benda uji yang dibebani dengan beban kombinasi tekan  $N$ , beban lateral  $Q$  dan momen lentur  $Q \times H$ , secara teoritis besarnya kapasitas kolom pada saat mengalami retak dapat dianalisis dari momen retak penampang benda uji tersebut. Besarnya momen retak dihitung dengan persamaan berikut:

$$M_{retak} = \frac{f_r \times I_g}{Y_b} \quad (2-8)$$

$$f_r = 0,6 \sqrt{f_c'} \quad (2-9)$$

$$I_{beton} = \frac{1}{12} b h^3 \quad (2-10)$$

$$Q_{max} = \frac{M_{retak}}{ln} \quad (2-11)$$

#### 2. Momen Leleh

Momen leleh ( $M_y$ ) dihitung dengan persamaan berikut:



$$M_y = A_s \times f_y \left( d - \frac{A_s \times f_y}{0,85 f'c b} \right) \quad (2-12)$$

$$Q_{leleh} = \frac{M_{leleh}}{\text{Panjang bersih kolom}} \quad (2-13)$$

Untuk menentukan besarnya  $Q_{leleh}$  berdasarkan pengukuran *strain* pada baja tulangan, dihitung dengan menggunakan *strain* leleh. Besarnya *strain* leleh =  $464/200000 = 0,018$  ( $2300 \times 10^{-6}$ ). Bila *strain* baja tulangan mencapai atau melebihi nilai  $2300 \times 10^{-6}$ , berarti baja telah leleh atau komponen telah mencapai atau melampaui momen leleh.

### 3. Momen Ultimit

Momen Ultimit merupakan momen batas keruntuhan dari elemen struktur. Momen ultimit,  $M_u$  dihitung dengan persamaan berikut:

$$M_u = 0,85 \cdot f'c \cdot ab \left( d - \frac{a}{2} \right) + A's \cdot f's (d - d') \quad (2-14)$$

#### 2.5.2 Tipe Keruntuhan Beton Bertulang

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 2.7 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).