

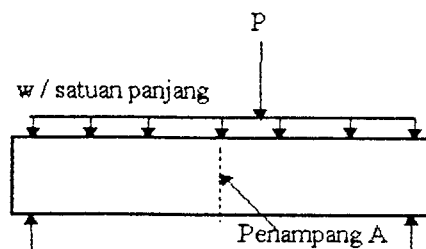
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

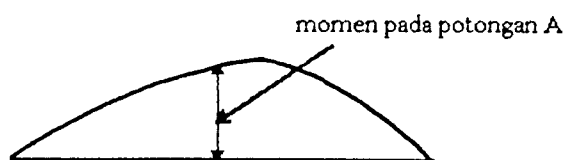
#### 2.1 Tinjauan Umum

Balok adalah elemen struktur yang mendukung beban luar dan berat sendiri, terutama oleh momen dan geser internal (MacGregor, J.G., 1997). Gambar 2.1 menunjukkan *simple beam* yang mendukung berat sendiri balok,  $w$  merupakan beban terbagi merata per satuan panjang, dan beban berguna,  $P$ .

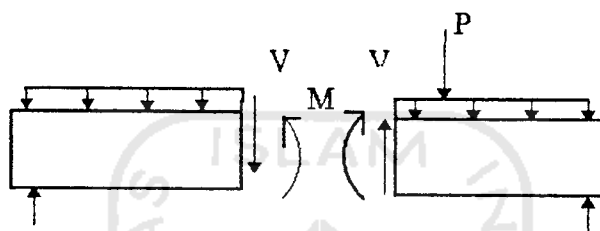
Akibat beban  $w$  dan  $P$ , menimbulkan momen lentur seperti pada gambar 2.2. Momen lentur diakibatkan pengaruh beban yang diturunkan berdasarkan hukum pembebanan statis. Untuk balok terdukung sederhana dengan bentangan tertentu dan suatu unit pembebanan,  $w$  dan  $P$ , maka momen yang terjadi akan tergantung pada komposisi dan ukuran penampang balok.



Gambar 2.1 Balok



Gambar 2.2 Diagram momen lentur



Gambar 2.3 Diagram *free body* yang menunjukkan momen internal dan gaya geser

Pada penampang balok, terdapat momen tahanan internal  $M$  seperti ditunjukkan dalam gambar 2.3, diperlukan untuk keseimbangan momen lentur yang terjadi. Geser tahanan internal  $V$ , ditunjukkan dalam gambar tersebut (MacGregor, J.G., 1997).

Balok beton bertulang merupakan balok nonhomogen, karena terdiri dari dua material yang berbeda. Metode yang digunakan dalam menganalisis balok-balok beton bertulang juga berbeda dengan analisis balok yang disusun dari bahan yang sama (homogen). Namun bagaimanapun prinsip dasar perhitungannya adalah sama. Pada setiap penampang melintang balok terdapat gaya internal yang dapat berubah menjadi komponen normal dan tangensial terhadap penampang balok. Komponen normal terhadap penampang disebut *bending stresses* (ditinjau dari sumbu netral balok mengalami tarik pada satu bagian dan tekan pada bagian yang lain). Fungsinya adalah untuk menahan momen lentur pada penampang balok. Sedangkan komponen tangensial

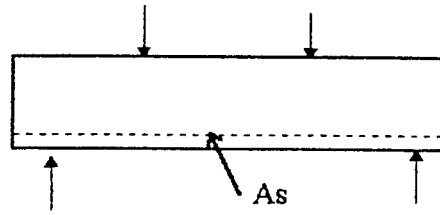
untuk menahan momen lentur pada penampang balok. Sedangkan komponen tangential yang dikenal sebagai *shear stresses* berfungsi untuk menahan gaya geser atau gaya melintang.

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami ratak-retak. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberikan perkuatan penulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul didalam sistem. Untuk keperluan penulangan tersebut digunakan bahan baja yang memiliki sifat teknis menguntungkan, dan baja tulangan yang digunakan dapat berupa batangan baja ataupun kawat rangkaian las ( *wire mesh* ) yang berupa batang kawat baja yang dirangkai (dianyam) dengan teknik pengelasan.

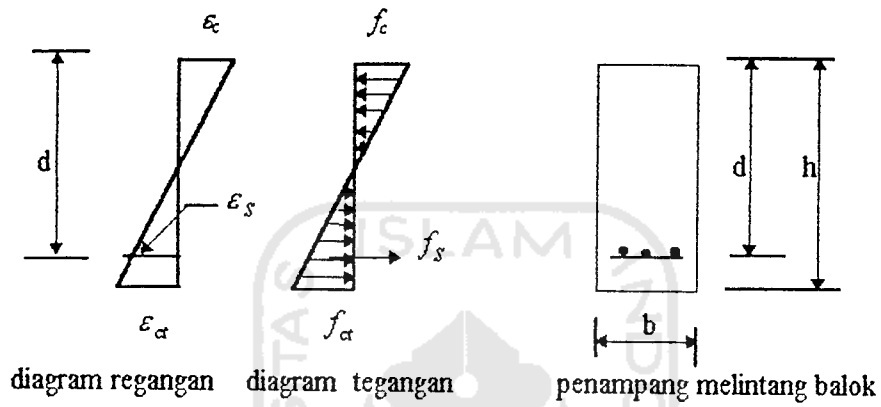
Balok dengan mutu tinggi lebih cenderung untuk mengalami keruntuhan lelah daripada balok biasa. Kelakuan dari balok-balok beton bertulang secara tidak langsung dipengaruhi oleh kekuatan beton itu sendiri, karena kemampuan untuk menahan tekan sangat mempengaruhi kuat lentur balok. Karenanya beton mutu tinggi mempunyai peranan yang penting dalam kelakuan lentur balok yang ditinjau terhadap kekakuan, kekuatan dan daktilitas balok (Nilson, A.H. dalam Russell, H.G-Editor., 1985).

## **2.2 Perilaku Lentur pada Komponen Balok Beton Bertulang**

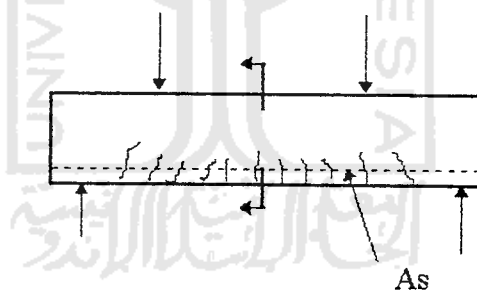
Beban-beban yang bekerja pada struktur seperti diperlihatkan pada gambar 2.4, baik yang berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin (dapat berarah horisontal), atau juga beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur.



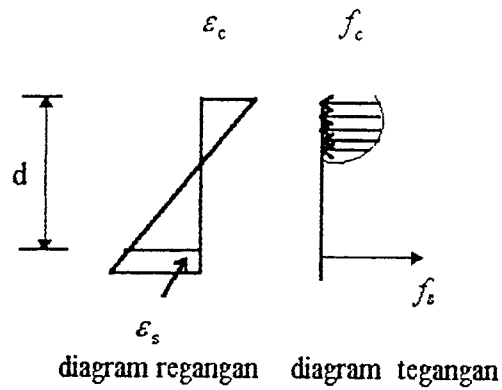
Gambar 2.4 Pembebanan dan penampang balok



Gambar 2.5 Tegangan-regangan penampang sebelum retak



Gambar 2.6 Distribusi retak-tarik



Gambar 2.7 Tegangan-regangan setelah terjadi retak

Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena beban luar. Pada gambar 2.5 diperlihatkan tegangan dan regangan penampang balok sebelum terjadinya retak akibat beban luar tersebut.

Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur disepanjang bentang balok seperti terlihat pada gambar 2.6. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luar mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Karena itulah perencana harus mendesain penampang elemen balok sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban bekerja, dan masih mempunyai keamanan yang cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan. Apabila suatu gelegar balok sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah dari penampang. Regangan-regangan tersebut menyebabkan timbulnya tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan disebelah atas dan tegangan tarik di bagian bawah, seperti terlihat pada gambar 2.7. Agar stabilitasnya terjamin, batang balok sebagai bagian dari sistem yang menahan lentur harus kuat untuk menahan tegangan tekan dan tarik tersebut. Karena beton hanya dapat menahan tekan, maka pada daerah dimana tegangan tarik bekerja diperkuat dengan batang tulangan baja.

Dalam mendesain atau menganalisis balok dengan mutu tinggi, peraturan ACI memperbolehkan untuk menggunakan distribusi tegangan persegi empat, parabola, atau

bentuk-bentuk yang lain, selama kekuatannya berada dalam batasan yang sesuai dengan hasil-hasil percobaan tekan. Namun bagaimanapun, adalah lebih tepat untuk menggunakan distribusi tegangan tekan persegi empat ekuivalen. Berdasarkan data-data yang ada saat ini, tampak bahwa untuk balok-balok bertulangan kurang (*under-reinforced*), beberapa metode ACI yang ada sekarang dapat digunakan untuk beton dengan kuat tekan sampai 103 MPa atau 15.000 psi (Nilson, A.H. dalam Russell, H.G.-Editor, 1985).

### **2.3 Tegangan Geser pada Komponen Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi**

Dalam desain struktur beton bertulang, lentur selalu menjadi pertimbangan pertama untuk menentukan momen perlawanan bersyarat yang dapat digunakan untuk memastikan jika akan terjadi keruntuhan dapat memberikan peringatan kepada penghuninya. Pada saat yang sama, balok juga menahan gaya geser akibat lenturan. Sifat keruntuhan akibat gaya geser pada suatu elemen struktur beton bertulang adalah getas (*brittle*), tidak daktil, dan keruntuhannya terjadi secara tiba-tiba tanpa ada peringatan. Hal tersebut disebabkan kekuatan geser struktur beton bertulang terutama tergantung pada kekuatan tarik dan tekan beton. Keadaan ini sangat berbeda dengan tujuan perencanaan yang selalu menginginkan suatu struktur yang daktil. Karena kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya, maka desain terhadap geser merupakan hal yang sangat penting dalam struktur beton. Dengan demikian, meskipun prediksi keruntuhan geser cukup sulit, seorang perencana harus berupaya agar jenis keruntuhan geser tidak terjadi. Untuk komponen struktur beton bertulang, apabila gaya geser yang bekerja sedemikian besar hingga diluar kemampuan beton untuk menahannya, perlu dipasang baja tulangan tambahan untuk menahan geser tersebut.

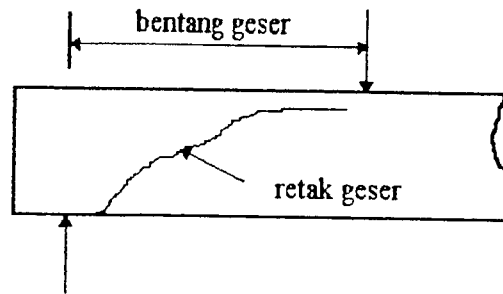
Pada balok beton bertulangan lentur arah memanjang, tulangan baja sepenuhnya menahan gaya tarik yang timbul akibat lenturan. Sementara itu, apabila beban yang bekerja terus meningkat, tegangan tarik dan geser juga akan meningkat seiring dengan beban. Sedangkan tulangan baja yang diperuntukkan menahan tarik dalam balok letaknya tidak berada pada tempat timbulnya tegangan tarik diagonal. Untuk itu diperlukan tulangan sengkang untuk menahan tegangan tarik diagonal tersebut di tempat-tempat yang dibutuhkan.

Dengan demikian penulangan geser mempunyai empat fungsi utama (Nawy, 1990) sebagai berikut :

1. memikul sebagian gaya geser luar rencana  $V_u$ ,
2. mencegah penjalaran retak diagonal sehingga tidak menerus ke bagian tekan beton,
3. memegang dan mengikat tulangan memanjang pada posisinya sehingga tulangan memanjang ini mempunyai kapasitas yang baik untuk memikul lentur,
4. memberikan semacam ikatan pada daerah beton yang tertekan apabila sengkang ini berupa sengkang tertutup.

#### **2.4 Beberapa Jenis Retak pada Balok**

Tegangan tarik dengan variasi besar dan kemiringan, baik sebagai akibat geser saja maupun gabungan dengan lentur, akan timbul disetiap tempat disepanjang balok, yang harus diperhitungkan pada analisis dan perencanaan. Pada balok beton tanpa tulangan, kerusakan akibat geser umumnya akan terjadi pada daerah sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok, dan dinamakan bentang geser. Pada gambar 2.8, retak akibat tarik diagonal merupakan salah satu cara terjadinya kerusakan geser.



Gambar 2.8 Kerusakan tipikal akibat tarik diagonal

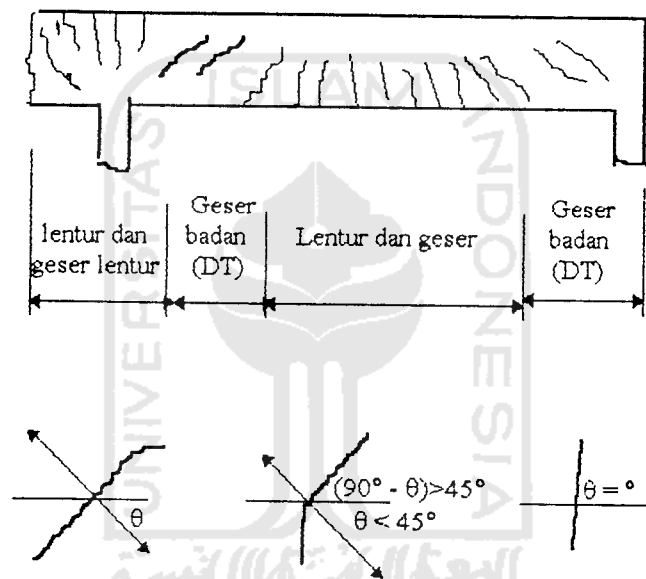
Untuk bentang geser yang lebih pendek, kerusakan akan timbul sebagai kombinasi dari pergeseran, remuk, dan belah. Sedangkan untuk balok beton tanpa tulangan dengan bentang geser lebih panjang, retak karena tegangan tarik lentur akan terjadi terlebih dahulu sebelum timbul retak karena tarik diagonal. Dengan demikian terjadinya retak tarik lenturan pada balok tanpa tulangan merupakan peringatan awal kerusakan geser.

Pada dasarnya, macam-macam retak dalam balok dibagi menjadi tiga jenis yang dijelaskan sebagai berikut ini (gambar 2.9).

1. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mengalami momen yang besar, proses terjadinya retak lentur dimulai dari tepi balok tarik, terus masuk merambat ke dalam balok dengan arah hampir vertikal ( $\theta \cong 0$ ). Kecenderungan retak lentur terjadi pada balok yang semakin langsing.
2. Retak geser lentur (*flexural shear crack*), terjadi pada balok sebagai kelanjutan dari retak lentur, dan lebar atau panjang retak ini dikendalikan oleh adanya tulangan memanjang. Bila tegangan tarik diagonal pada daerah di atas retak ini melampaui kekuatan tarik beton, retak tersebut akan menjalar membelok ke arah diagonal. Retak jenis ini dapat dijumpai pada balok beton bertulang biasa dan prategang.



3. Retak geser badan (*web shear crack*), adalah retak miring yang tanpa didahului oleh retak lentur, biasa terjadi pada daerah garis netral penampang dengan gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil ( $\theta \cong 45^\circ$ ). Kejadian retak geser badan jarang dijumpai pada balok beton bertulang biasa, tetapi lebih sering dijumpai pada balok beton prategang berbentuk huruf I dengan badan tipis dan *flens* (sayap lebar).



Gambar 2.9 Jenis retak pada balok beton bertulang (Nawy, 1990)

Jadi, keretakan diagonal pada badan balok dapat berkembang sebelum terjadinya retak lentur (*flexural cracks*) ataupun sebagai perpanjangan retak lentur yang telah ada. Jenis retak diagonal *web-shear cracks* terjadi pada titik yang tegangan gesernya melampaui kekuatan tarik beton, dan *flexural-shear cracks* timbul apabila kombinasi tegangan geser dan tegangan tarik melampaui kekuatan tarik beton. *Flexural-shear cracks* ini hampir selalu diawali dengan keretakan lentur (Standar Baru SNI T-15-1991-03).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pada beton mutu tinggi, bagian retak tarik diagonal lebih halus bila dibandingkan dengan beton normal. Pada beton mutu normal retak-retak biasanya berkembang pada ikatan (*interface*) antara agregat dengan pasta semen, kemudian berkembang melalui pasta ke segala arah. Sebaliknya retak pada beton mutu tinggi terjadi melalui agregat yang disebabkan oleh perbedaan kekuatan dan kekakuan relatif pasta terhadap batuan lebih kecil atau tidak mencukupi (*4th international symposium on utilization of HSC / HPC, Paris, 1996*).

